

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

SOPHIA SCHARF DIRKSEN

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS DA BACIA DO RIO PIRAÍ
NAS ADJACÊNCIAS DA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DO CAMPUS DA UFSC
JOINVILLE**

Joinville

2018

SOPHIA SCHARF DIRKSEN

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS DA BACIA DO RIO PIRAÍ
NAS ADJACÊNCIAS DA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DO CAMPUS DA UFSC
JOINVILLE**

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia de Infraestrutura do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Msc. Helena Paula Nierwinski.

Coorientadora: Msc. Simone Malutta.

Joinville

2018

SOPHIA SCHARF DIRKSEN

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville, 05 de Julho de 2018.

Prof. Msc. Valéria Bennack
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Msc. Helena Paula Nierwinski
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Msc. Simone Malutta
Coorientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Marcelo Heidemann
Universidade Federal de Santa Catarina

Msc. Priscilla Amadi Klahold
Geoforma Engenharia Ltda.

Dedico este trabalho aos meus queridos pais Valério e Marilene.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo agradeço a Deus por estar sempre ao meu lado, me guiando no caminho da fé e da honestidade e, por ter me dado forças para seguir meu caminho.

Aos meus pais amados Valério e Marilene, vocês acreditaram no meu potencial e nunca desistiram de mim e da nossa família. Sempre lutaram muito para que eu e meu irmão tivéssemos uma boa educação e condições de concluir uma graduação. Obrigada, eu amo vocês!

Ao meu irmão Matheus por ter seguido ao meu lado por todos esses anos. Aos meus queridos avós, Elias, Lúcia e Maria, por todas as orações feitas e por todos os abraços carinhosos que recebo quando chego em casa. Vô Elias, obrigada por todas as aulas de matemática, você é meu ídolo! Ao meu querido vô Nini que já não se encontra neste plano, mas que batalhou arduamente para garantir educação a toda família.

Obrigada também a todos meus tios e primos que de certa forma contribuíram para minha formação, principalmente Jorge e Francisco, com quem dividi meus primeiros anos de universidade.

Ao meu amor, Otávio, obrigada por todo apoio, companheirismo e amizade nesses anos de namoro.

A minha querida orientadora Prof. Msc. Helena Paula Nierwinski, você foi fundamental para o sucesso deste trabalho, obrigada pela enorme paciência e orientação (não apenas no sentido acadêmico), obrigada por tudo!

Agradeço também a minha coorientadora Prof. Msc. Simone Malutta e ao Prof. Dr. Marcelo Heidemann por toda ajuda na realização deste trabalho.

Agradeço a Geoforma Engenharia Ltda. e toda sua equipe por ter transmitido tanto conhecimento durante o estágio realizado na empresa e, por permitir que eu pudesse utilizar as suas dependências para a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os amigos, da universidade e da vida, vocês sempre estiveram ao meu lado nas horas boas e ruins. Obrigada!

Por fim, agradeço a todos os professores da UFSC Campus Joinville por todos os ensinamentos adquiridos e todas as pessoas que de certa forma contribuíram para este trabalho. Muito obrigada a todos!

RESUMO

As instalações da Universidade Federal de Santa Catarina, campus Joinville, serão implantadas futuramente na área conhecida como Curva do Arroz, às margens da BR-101, km 52, na região sul do município de Joinville/SC. Desta forma, este trabalho teve por objetivo realizar a caracterização básica de amostras de solo coletadas nas adjacências da área do campus, que compõem a bacia hidrográfica do Rio Piraí. Foram selecionados sete pontos para coleta de material. Nestas amostras foram realizados ensaios de granulometria com sedimentação, densidade real dos grãos, limites de liquidez e de plasticidade, difractometria de raios-X e permeabilidade em amostras indeformadas. Com o resultado dos ensaios foi possível realizar a classificação das amostras por meio dos Sistemas Unificado e da AASHTO. Os resultados da difractometria de raios-X e dos ensaios de permeabilidade colaboraram na identificação das propriedades dos solos da área. Após a classificação foi possível criar um mapa orientativo dos solos existentes no local. De um modo geral, os solos das amostras P01- Profundidade 1 e P02 apresentaram classificações MH/ A7-5 nas Classificações Unificada e AASHTO, respectivamente. Os ensaios de permeabilidade forneceram solos de caráter argiloso com valores medianos á altos de plasticidade. As amostras de solo P01 – Profundidade 2 e P05 foram classificados como ML/A7-5, com plasticidade média e solos de caráter siltoso no ensaio de permeabilidade. As amostras P03 e P04 foram classificadas como ML/A-5, com plasticidade média e baixa respectivamente. O ensaio de permeabilidade forneceu solos de caráter siltoso para amostra P03 e argiloso para a amostra P04. A amostra de solo P06 foi classificada como CH/A7-6 com plasticidade muito alta.

Palavras-chave: Caracterização Geotécnica. Classificação de solos. Campus Curva do Arroz.

ABSTRACT

The facilities of the Federal University of Santa Catarina, Campus Joinville, will be installed in an area known as Curva do Arroz, at the edge of BR-101, km 52, in the southern region of Joinville / SC. Thus, this work aimed to perform the basic characterization of soil samples taken in adjacent areas of the campus that is part of the Pirai River hydrographic basin. Seven points were selected for the collection of soil samples. In these samples were performed sieve analysis and hydrometer tests, real density of the grains, liquid and plastic limits, X-ray diffractometry and permeability in undisturbed samples. With the test results was possible to perform the classification of the samples by means Unified and AASHTO soil classification systems. The results of the X-ray diffractometry and permeability tests contributed for the identification of soil properties in the area. After the classification was possible to create a guidance map of the existing soils in the place. In general, the soil samples P01 - depth 1 and P02 presented classification MH/A7-5 according to the AASHTO soils classification systems, respectively. The permeability tests provided soils with clayey character with medium to high plasticity. The soil samples P01 - Depth 2 e P05 were classified as ML/A7-5, with medium plasticity and soils with silty character in the permeability test. The samples P03 and P04 were classified as ML/A-5, with medium to low plasticity, respectively. The permeability test provided soils with silty character for the sample P03 and clayey for the sample P04. The soil sample P06 was classified as CH/A7-6 with very high plasticity.

Keywords: Geotechnical characterization. Soil classification. Curva do Arroz Campus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva granulométrica de um solo.....	21
Figura 2 - Imagens (de cima para baixo) de areia fina, média e grossa	21
Figura 3 - Exemplos de graduação de solos granulares	23
Figura 4 - Curvas granulométricas de areias com diferentes valores de CC e CNU ..	24
Figura 5 - Aparelho de Casagrande e cinzéis	25
Figura 6 - Abertura do sulco antes e depois do ensaio de LL	26
Figura 7 - Curva de determinação do valor de LL	26
Figura 8 - Ensaio de Limite de Plasticidade.....	27
Figura 9 – Determinação do limite de Contração.....	30
Figura 10 – Esquema de funcionamento do permeâmetro de carga variável.....	35
Figura 11 - Minerais presentes em uma amostra de Latossolo	39
Figura 12 - Classificação Unificada de solos	40
Figura 13 - Símbolos da Classificação Unificada	40
Figura 14 - Carta de Plasticidade	41
Figura 15 - Classificação AASHTO.....	42
Figura 16 – Locais de coleta das amostras dentro da Bacia do Rio Piraí.....	45
Figura 17 - Localização das amostras	46
Figura 18 - Mapa geológico do município de Joinville.....	47
Figura 19 - Amostras secas até a umidade higroscópica.....	49
Figura 20 - Peneira usada na preparação da amostra para análise granulométrica ...	50
Figura 21 - Cápsulas para determinação do teor de umidade.....	52
Figura 22 - Material retido na peneira de abertura 2,0 mm.....	53
Figura 23 - Béqueres com solução de hexametáfosfato de sódio em repouso	53
Figura 24 - Agitador mecânico utilizado.....	54
Figura 25 – Realização do ensaio de sedimentação	54
Figura 26 - Amostra moldada na concha de latão	55
Figura 27 - Ranhura feita na amostra	56
Figura 28 - Esfera conformada sobre a placa de vidro.....	57
Figura 29 - Cilindro conformado sobre a placa de vidro	57
Figura 30 - Cilindros do ensaio de LP.....	58
Figura 31 - Picnômetro mais solo seco	59

Figura 32 - Aplicação de vácuo aos picnômetros.....	59
Figura 33 - Picnômetros cheios de água com solo	60
Figura 34 - Extração de amostra indeformada no ponto P04.....	61
Figura 35 - Realização de leituras no permeâmetro de carga variável.....	62
Figura 36 - Difratorômetro de Raios X - X'Pert MDP.....	63
Figura 37 - Curva granulométrica P01 - profundidade 1	65
Figura 38 - Curva granulométrica P01 - profundidade 2	65
Figura 39 - Curva granulométrica P02.....	66
Figura 40 - Curva granulométrica P03	67
Figura 41 - Curva granulométrica P04.....	68
Figura 42 - Curva granulométrica P05	68
Figura 43 - Curva granulométrica P06.....	69
Figura 44 - Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P01 – prof 1	75
Figura 45- Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P01 – prof 2	76
Figura 46 - Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P02.....	77
Figura 47 - Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P03	77
Figura 48 - Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P04.....	78
Figura 49 - Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P05	79
Figura 50 - Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P06.....	79
Figura 51 - Mapa orientativo de solos.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Nomenclatura segundo a faixa de diâmetro dos grãos.....	21
Tabela 2 - Classificação quanto à plasticidade.....	28
Tabela 3 - Valores típicos de LL e IP para solos brasileiros.....	28
Tabela 4- Valores típicos de Índice de Consistência.....	29
Tabela 5 - Massa específica da água em função da temperatura, em g/cm ³	31
Tabela 6 - Valores típicos de densidade real dos grãos.....	33
Tabela 7 - Valores típicos de coeficientes de permeabilidade	34
Tabela 8 - Valores de viscosidade d'água a diferentes temperaturas	37
Tabela 9 - Classificação de solos adotada pela AASHTO	43
Tabela 10 - Coordenadas dos pontos de coleta	44
Tabela 11 – Quantidade de solo para o ensaio de granulometria.....	50
Tabela 12 - Quantidade de material de acordo com o tamanho dos grãos.....	51
Tabela 13 - Tabela resumo dos ensaios.....	70
Tabela 14 - Resultado da permeabilidade das amostras.....	73
Tabela 15 - Porcentagem dos minerais presentes nos solos.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Å – Ångström.

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ASTM - American Society for Testing and Materials.

CC– Coeficiente de curvatura.

cm – Centímetro.

CNU – Coeficiente de não uniformidade.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

Cu K α - Energia de raios x.

D₁₀ – Diâmetro efetivo.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DRX – Difração de raios x.

g – Grama.

ha – Hectares.

HRB – Highway Research Board.

i – Gradiente hidráulico.

IC – Índice de Consistência.

ICSD - Inorganic Crystal Structure Database.

IP – Índice de Plasticidade.

k – Coeficiente de permeabilidade.

K₂₀ – Coeficiente de permeabilidade na temperatura de 20°C.

keV – Mil elétrons-volt.

kg – Quilograma.

km – Quilômetro.

km² - Quilometro quadrado.

LC – Limite de Contração.

LL – Limite de Liquidez.

LP – Limite de Plasticidade.

m – Metro.

MCT - Miniatura Compacto Tropical.

mm – Milímetro.

NP – Não Plástico.

Q – Vazão.

SC – Santa Catarina.

SimGeo - Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas de Joinville.

SUCS – Sistema Unificado de Classificação de Solos.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1. OBJETIVOS.....	17
1.1.1. Objetivo Geral	17
1.1.2. Objetivos Específicos.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA	18
2.2 ENSAIOS DE LABORATÓRIO	19
2.2.1 Preparação de amostras.....	19
2.2.2 Análise Granulométrica	20
2.2.3 Limites de Atterberg	24
2.2.3.1 Limite de Liquidez (LL).....	25
2.2.3.2 Limite de Plasticidade (LP).....	27
2.2.3.3 Índice de Plasticidade (IP).....	27
2.2.3.4 Índice de Consistência.....	29
2.2.3.5 Limite de Contração	29
2.2.4 Densidade real dos grãos.....	30
2.2.5 Permeabilidade	33
2.2.6 Permeâmetro de carga variável.....	35
2.2.7 Difração de raios x (DRX).....	37
2.3 CLASSIFICAÇÕES	39
2.3.1 Classificação Unificada	39
2.3.2. Classificação Rodoviária (AASHTO)	42
3 METODOLOGIA.....	44
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE COLETA DAS AMOSTRAS.....	44
3.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Pirai.....	46
3.1.2 Geologia do local.....	47
3.2 PREPARAÇÃO DO SOLO PARA ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	49
3.2.1 Amostra para análise granulométrica	50
3.2.2 Amostra para determinação dos limites de liquidez e plasticidade.....	51
3.2.3 Amostra para determinação da massa específica real dos grãos	51

3.2.4 Determinação do teor de umidade de solos	51
3.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	52
3.4 DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ.....	55
3.5 DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE.....	56
3.6 DENSIDADE REAL DOS GRÃOS	58
3.7 PERMEÂMETRO DE CARGA VARIÁVEL	60
3.8 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
4.1 CURVAS GRANULOMÉTRICAS	64
4.2 CLASSIFICAÇÕES UNIFICADA E RODOVIÁRIA (AASHTO)	71
4.3 COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE.....	71
4.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS X	73
4.5 MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS (G)	80
4.6 MAPA ORIENTATIVO.....	81
5 CONCLUSÃO	84
REFERÊNCIAS	86
APÊNDICE A – LIMITES DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE	89
APÊNDICE B – DENSIDADE REAL DOS GRÃOS	97

1 INTRODUÇÃO

Os solos são constituídos por partículas sólidas e vazios. Estes vazios podem estar preenchidos por água e/ou ar, que estão livres para se deslocar dentro do sistema. O comportamento dos solos está diretamente relacionado com a movimentação das partículas sólidas e, com as forças transmitidas entre elas (PINTO, 2006).

Para que se faça uma correta avaliação do comportamento dos solos em obras de engenharia, o primeiro passo deve ser a identificação adequada do mesmo. De acordo com Oliveira *et al* (1998), conhecer as características do solo é imprescindível para as obras da construção civil, pois é sobre o mesmo que se assentam as estruturas.

Fernandes (2016) afirma que um dos objetivos da Mecânica dos Solos é “[...] primeiramente, estabelecer teorias que permitam explicar o comportamento mecânico e hidráulico de maciços terrosos” (p.32). Neste sentido, a caracterização e a classificação geotécnica constituem os elementos iniciais básicos para a previsão de comportamento dos mesmos.

Levando em conta a diversidade e diferença do comportamento, os solos podem ser agrupados e organizados em diversos conjuntos, tendo cada grupo, propriedades distintas para analisar e solucionar adequadamente um problema (PINTO, 2006).

Existem diversas formas de classificar os solos, como pela sua origem (residual ou sedimentar), pela sua evolução (ação do intemperismo), pela presença ou não de matéria orgânica, pela estrutura ou pelo preenchimento de vazios (saturação) (PINTO, 2006).

A literatura de Engenharia geotécnica apresenta vários tipos de classificações de solos, como a classificação Unificada, Rodoviária (AASHTO), Regional, MCT (Miniatura Compacto Tropical), etc. No entanto, neste presente trabalho será utilizada a classificação Unificada e Rodoviária (AASHTO), por se tratarem de metodologias mais usuais (DAS, 2007).

A utilização destes sistemas de classificação de solos exige a realização de um conjunto de ensaios de caracterização das amostras. O termo caracterização é usado para nomear um grupo de ensaios, que fornecem resultados sobre características dos solos

analisados. A caracterização geotécnica básica é realizada por meio de uma gama de ensaios, normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), tais como: Amostra de Solos - Preparação para ensaios de compactação e caracterização (NBR 6457:2016), Teor de Umidade Natural (NBR 6457:2016), Análise Granulométrica (NBR 7181:2017), Determinação do Limite de Liquidez (NBR 6459:2017), Determinação do Limite de Plasticidade (NBR 7180:2016) e Massa específica dos grãos (NBR 6508:2017).

Além dos ensaios de caracterização básica, foram realizados ensaios de permeabilidade em amostras indeformadas, para se conhecer a capacidade de infiltração do solo.

Também foram realizados ensaios de difractometria de raios-X, com o intuito de avaliar a composição mineralógica destes solos e obter um maior entendimento do processo de formação dos mesmos.

Para a presente pesquisa, foram caracterizadas e classificadas amostras de solo coletadas nas adjacências da Curva do Arroz, às margens da BR-101, km 52, região sul de Joinville, onde será implantado o Campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O local do campus foi doado pelo Município de Joinville e pelo Estado de Santa Catarina com intuito educacional, já que, se caracteriza como utilidade pública e de interesse social (FOSSARI, 2010).

Todas as amostras de solo coletadas estão presentes dentro da bacia hidrográfica do Rio Piraí. Os locais de coletas dos solos estão inseridos em uma área onde ocorre um projeto desenvolvido pela UFSC, visando caracterizar os sedimentos desta área.

A partir dos resultados obtidos da campanha de ensaios, foi possível caracterizar e classificar geotecnicamente alguns solos da bacia hidrográfica do Rio Piraí, nas adjacências da área do futuro campus da UFSC e apresentar um mapa orientativo com os solos presentes na área.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Caracterizar e classificar amostras de solos coletadas junto à bacia do Rio Piraí, nas adjacências da área de implantação do futuro campus da UFSC Joinville-SC.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Coletar, preparar e realizar ensaios de caracterização nos solos selecionados;
- Analisar resultados de ensaios e classificar os solos;
- Apresentar um mapa orientativo com o posicionamento dos tipos de solo de acordo com a caracterização realizada;
- Determinar o coeficiente de permeabilidade dos solos da região e classificá-los;
- Analisar a mineralogia dos solos selecionados, com o objetivo de compreender o processo de formação e composição dos mesmos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para classificar e caracterizar um solo no âmbito da Engenharia Geotécnica, a literatura recomenda a execução de uma série de ensaios necessários para avaliação do material. No presente referencial teórico será realizada uma breve explicação sobre a importância da caracterização e classificação dos solos e sobre os ensaios de análise granulométrica, limites de Atterberg, densidade real dos grãos, permeabilidade e difractometria de raios-X.

2.1 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA

Nas obras de engenharia um dos maiores riscos de insucesso é devido à falta de estudo das interações solo-estrutura. A caracterização e classificação dos solos são necessárias para poder entender seu comportamento mecânico e hidráulico e, desta forma, garantir a segurança nas mais diversas situações de obra (OLIVEIRA *et al*, 1998).

Os solos são classificados através do agrupamento em relação às características físicas, químicas, mineralógicas e morfológicas. A utilização de um sistema de classificação é imprescindível para que, quando se refere a um solo, se tenha uma designação entendida por todos (PINTO, 2006).

Para que se possa classificar um determinado solo é necessário, inicialmente caracterizá-lo. Segundo Oliveira (1998) “[...] a base da caracterização é a descrição dos aspectos, ou características de interesse à elucidação do caráter dos solos, com vistas àquelas classificações” (p.197).

De um modo geral, a sequência de estudo deve contemplar as seguintes etapas: descrição – caracterização – classificação. A etapa de descrição nada mais é que o procedimento que precede a caracterização do solo, ou seja, o processo de análise tátil-visual, onde se observam características como cor, textura, plasticidade e estrutura dos solos. A análise tátil-visual permite a identificação de eventuais matérias orgânicas presentes na amostra, minerais sobressalentes, além da verificação do estado do material *in situ*. Após este

reconhecimento inicial, segue-se para etapa de caracterização, geralmente composta por uma série de ensaios de laboratório e a classificação propriamente dita, utilizando-se metodologias consagradas pela literatura (OLIVEIRA *et al*, 1998).

Os sistemas convencionais de classificação, em sua maioria, se baseiam em ensaios como análise granulométrica e limites de liquidez. As duas classificações de uso recorrente no meio geotécnico são o SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos), formulado por Casagrande e a classificação Rodoviária, sugestão do HRB (Highway Research Board), também conhecida como classificação AASHTO (OLIVEIRA *et al*, 1998).

Com os resultados dos ensaios de caracterização é possível se classificar os solos. Partindo-se do conhecimento do agrupamento ao qual o solo pertence, pode-se obter uma estimativa da natureza e das propriedades mecânicas do solo, auxiliando no desenvolvimento de projeto e execução das obras.

2.2 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

2.2.1 Preparação de amostras

A caracterização dos solos está diretamente ligada à qualidade da preparação das amostras, e isso levou à necessidade de uma padronização, garantindo resultados satisfatórios dos ensaios independente do operador.

Nesse sentido a ABNT NBR 6457:2016 descreve como devem ser preparadas as amostras para ensaios de caracterização de solos.

Resumidamente, a norma apresenta critérios para obtenção de amostras representativas para os ensaios de análise granulométrica, limites de liquidez e plasticidade e densidade real dos grãos. Detalhes da preparação das amostras para cada um dos ensaios realizados neste trabalho serão apresentados no capítulo de Metodologia.

2.2.2 Análise Granulométrica

A análise granulométrica tem por objetivo a avaliação da distribuição dos grãos presentes numa determinada amostra de solo. O ensaio que permite esta avaliação é normatizado pela ABNT NBR 7181:2017.

A composição granulométrica é uma propriedade básica e fundamental para reconhecimento do solo e entendimento de suas propriedades, por isso, deve ser feita previamente aos outros ensaios de caracterização.

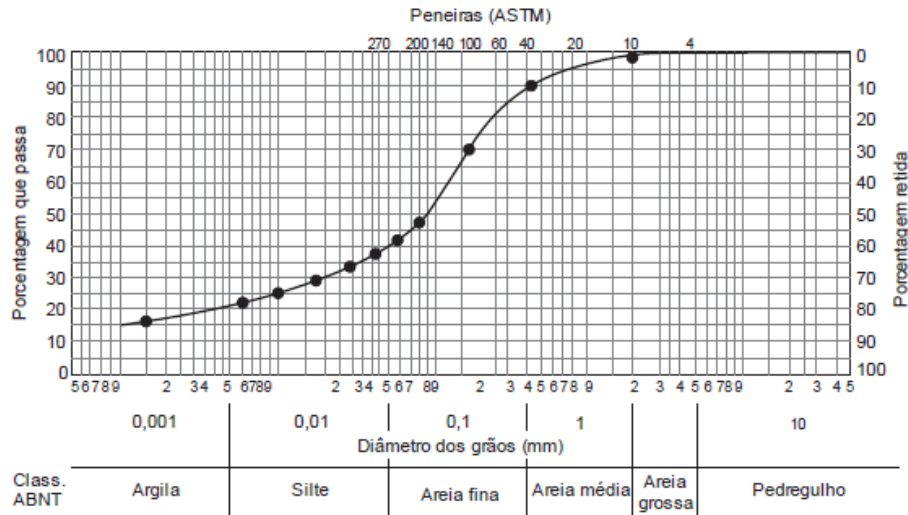
De acordo com Das (2007) “[...] análise granulométrica é a determinação da faixa de tamanho das partículas presentes em um solo, expressa como uma porcentagem do peso total seco” (p. 22).

O ensaio de análise granulométrica é uma combinação de peneiramento e sedimentação. O peneiramento é feito para as partículas maiores que 0,075 mm de diâmetro, já a sedimentação é feita para as partículas menores que 0,075 mm de diâmetro (FERNANDES, 2016).

Os resultados obtidos através da análise granulométrica são expressos graficamente por meio da curva granulométrica, conforme demonstra a Figura 1. No eixo das abcissas representa-se o diâmetro das partículas em milímetros em escala logarítmica e, no eixo das ordenadas, a porcentagem em peso do material que tem dimensão menor que a considerada e, passa na peneira (CAPUTO, 1988).

A norma ABNT NBR 6502:1995 apresenta a distinção entre tipos de solos com base no tamanho dos grãos que predominam numa amostra de solo. Desta forma, os solos podem receber as seguintes denominações: argilas, siltes, areias e pedregulhos, em ordem crescente de diâmetro. A Tabela 1 mostra a nomenclatura definida pela norma, segundo a faixa de variação do diâmetro dos grãos. Observa-se que os siltes, areias e pedregulhos podem ser divididos em fino, médio e grosso, e, partículas com diâmetro maior que 200 mm são denominadas matacões. A Figura 2 apresenta imagens comparativas entre grãos de uma areia fina, média e grossa, na qual se pode observar o aumento progressivo do diâmetro dos grãos (FERNANDES, 2016).

Figura 1 - Curva granulométrica de um solo



Fonte: Fernandes (2016, p. 37).

Tabela 1- Nomenclatura segundo a faixa de diâmetro dos grãos

Fração	Limites definidos pela NBR 6502
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 2,0 mm a 4,8 mm
Areia média	De 0,42 mm a 2,0 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: ABNT NBR 6502:1995.

Figura 2 - Imagens (de cima para baixo) de areia fina, média e grossa



Fonte: Fernandes (2016, p. 38).

Através da análise da curva granulométrica e da nomenclatura dada pela ABNT NBR 6502:1995 observa-se que o peneiramento se adequa basicamente aos pedregulhos e areias, pois a peneira de diâmetro 0,075 mm, quase que coincide com o diâmetro de 0,06 mm, que separa as argilas e os siltes da parte granular. Dessa forma, a distribuição das partículas que passam na peneira nº 200 (0,075 mm) é determinada pela sedimentação (FERNANDES, 2016).

O ensaio de sedimentação é realizado dentro de uma proveta com volume conhecido, que contem uma solução de solo com hexametáfosfato de sódio, como agente defloculante e, água destilada. A análise granulométrica por sedimentação se baseia na Lei de Stokes. Segundo esta lei as partículas decantam com velocidades diferentes, dependendo da forma, tamanho, peso e viscosidade da água (DAS, 2007).

O uso de hexametáfosfato de sódio como agente defloculante garante que ocorra a sedimentação de cada partícula do solo, de forma isolada. No aspecto natural os solos estão agrupados, formando flocos, sendo que esses flocos devem ser desagregados, pela ação do agente defloculante, garantindo assim a determinação do diâmetro e porcentagens das partículas isoladas (PINTO, 2006).

O ensaio de granulometria por peneiramento permite a caracterização de materiais granulares sem finos e, através da análise da curva granulométrica, é possível determinar algumas propriedades importantes sobre o solo analisado, como diâmetro efetivo (D_{10}), coeficiente de não uniformidade (CNU) e coeficiente de curvatura (CC).

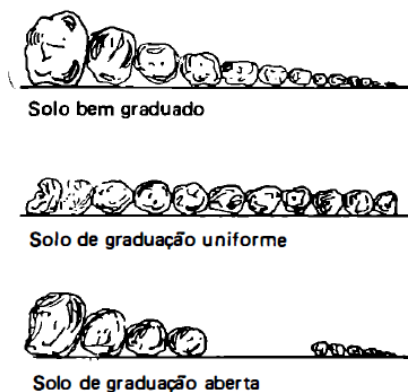
De acordo com Fernandes (2016) “[...] um solo com determinado diâmetro efetivo, tem 10% em peso de partículas com dimensões inferiores a D_{10} ” (p. 40). Através de relações empíricas é possível se determinar a condutividade hidráulica dos solos.

Da mesma maneira que o diâmetro efetivo (D_{10}), o D_{60} significa que um solo tem 60% em peso das partículas com dimensões inferiores a D_{60} . Assim, o coeficiente de não uniformidade CNU representa a diversidade de partículas presentes em um solo granular e pode ser expresso através da Equação 1. Em geral, quanto maior for CNU, mais diversidade de tamanho de partículas haverá e mais bem graduado será o solo. O termo bem graduado significa que existem diversos tamanhos de partículas no solo, permitindo um maior entrosamento e maior resistência. Um solo bem graduado tem CC entre 1 e 3, se não estiver dentro desse limite é considerado mal graduado, e caso CNU for próximo de 1 terá granulometria uniforme. A Figura 3 apresenta exemplos de composições granulométricas de

solos granulares bem graduados, de graduação uniforme e graduação aberta, respectivamente (PINTO, 2006).

$$CNU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

Figura 3 - Exemplos de graduação de solos granulares



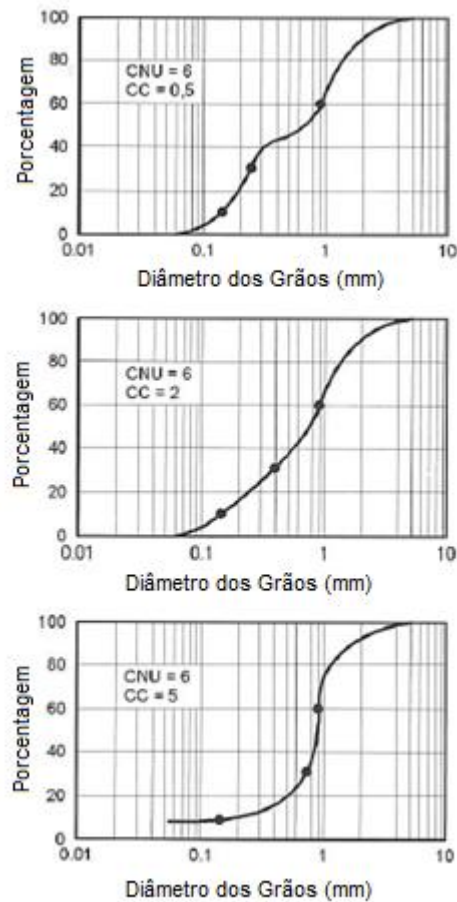
Fonte: Caputo (1988, p. 26).

O coeficiente de curvatura CC é definido pela relação entre D_{10} e D_{60} , conforme expresso pela Equação 2 e assim, indica a forma da curva granulométrica (PINTO, 2006).

$$CC = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}} \quad (2)$$

A Figura 4 mostra três curvas granulométricas de solos granulares, com diferentes valores de CC e CNU. Para a curva com valor de CC menor que 1, observa-se a ocorrência de uma descontinuidade causada pela falta de grãos de um determinado diâmetro. Quando CC é maior que 3 a curva é muito homogênea na parte central. Quando o CC está entre 1 e 3 a curva torna-se suave, sem apresentar uma subida brusca (PINTO, 2006).

Figura 4 - Curvas granulométricas de areias com diferentes valores de CC e CNU



Fonte: Sousa Pinto (2006, p. 66).

2.2.3 Limites de Atterberg

Em meados do século XX, Atterberg iniciou um estudo sobre o teor de umidade e o comportamento dos solos. As argilas apresentam um parâmetro chamado de coesão verdadeira, ou seja, uma espécie de cimento natural que promove a aglutinação dos grãos. Os solos argilosos podem, de acordo com o teor de umidade, ser divididos em quatro estados: sólido, semi-sólido, plástico e líquido (DAS, 2007).

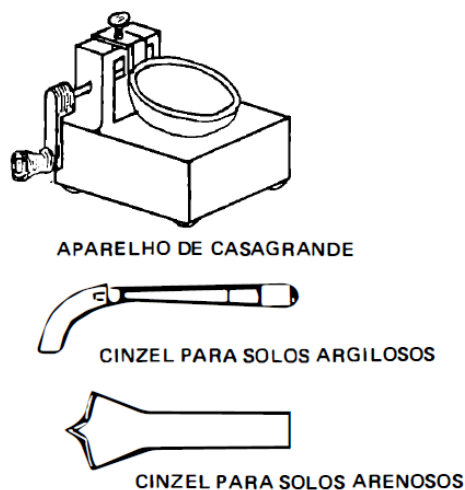
O limite de contração é definido quando um solo passa do estado sólido para o semi-sólido. A transição entre o estado semi-sólido para o plástico é chamada de limite de plasticidade (LP) e entre o estado plástico e líquido é chamada de limite de liquidez (LL) (DAS, 2007).

2.2.3.1 Limite de Liquidez (LL)

O limite de liquidez (LL) é determinado pelo aparelho de Casagrande, que é formado por um prato de latão no formato de concha, apoiado sobre um suporte de ebonite. Através de um eixo excêntrico é possível se produzir quedas repetidas ao prato, com alturas de 1 cm e com intensidade constante, definida pelo operador. As diretrizes de execução deste ensaio são ditadas pela ABNT NBR 6459:2017.

A Figura 5 mostra uma imagem do aparelho de Casagrande, bem como, os cinzéis apropriados para cada tipo de solo (CAPUTO, 1988).

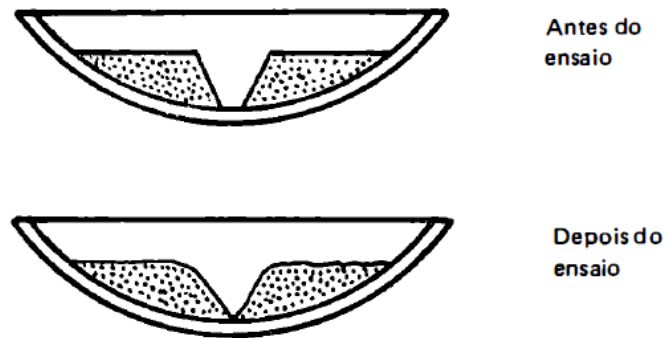
Figura 5 - Aparelho de Casagrande e cinzéis



Fonte: Caputo (1988, p. 54).

Através do número de golpes obtidos para fechar o sulco feito na amostra, é possível traçar uma reta que indica a relação entre o número de golpes e o teor de umidade. A Figura 6 mostra a diferença da abertura do sulco do solo dentro da concha do aparelho de Casagrande, antes e depois da realização do ensaio (CAPUTO, 1988).

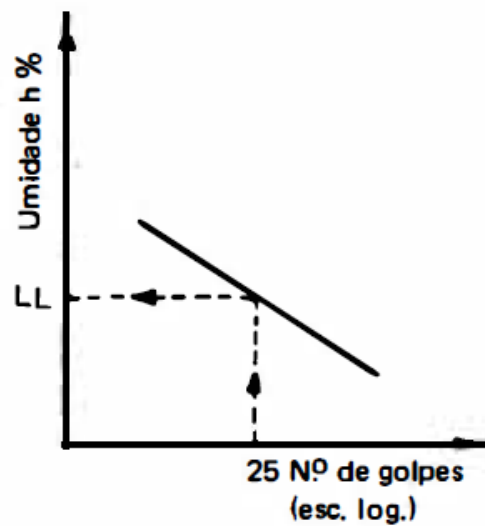
Figura 6 - Abertura do sulco antes e depois do ensaio de LL



Fonte: Caputo (1988, p. 54).

A Figura 7 representa o gráfico obtido através dos resultados do ensaio, realizado para diferentes umidades do solo. De acordo com a ABNT NBR 6459:2017, o limite de liquidez (LL) corresponde à umidade do solo para a qual são necessários 25 golpes para fechar o sulco feito pelo cinzel (CAPUTO, 1988).

Figura 7 - Curva de determinação do valor de LL



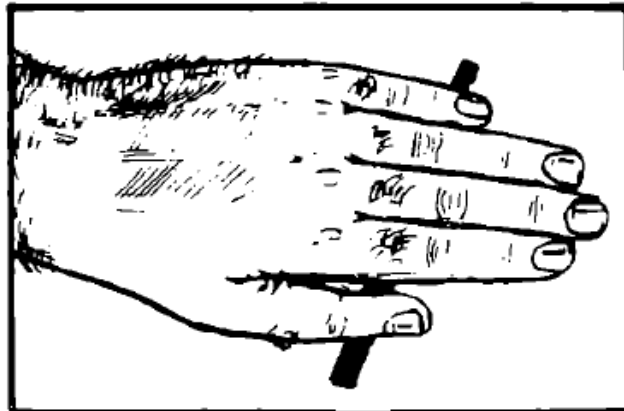
Fonte: Caputo (1988, p. 55).

2.2.3.2 Limite de Plasticidade (LP)

O limite de plasticidade (LP) é normatizado pelo ABNT NBR 7180:2016 e, é definido como a umidade limite na qual se é possível moldar um cilindro de 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, sem provocar fraturas. De acordo com os procedimentos ditados por esta norma, a execução do ensaio deve ser manual, moldando-se o cilindro sobre uma placa de vidro. A Figura 8 mostra a realização do ensaio de limite de plasticidade (CAPUTO, 1988).

A norma recomenda a realização de pelo menos três ensaios, e o resultado final consistirá na média dos valores encontrados em cada ensaio. Para que o ensaio seja válido os valores encontrados não devem ter variação superior a 5% em relação à média calculada.

Figura 8 - Ensaio de Limite de Plasticidade



Fonte: Caputo (1988, p. 56).

2.2.3.3 Índice de Plasticidade (IP)

O índice de plasticidade é a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, conforme demonstra a Equação 3.

$$IP = LL - LP \quad (3)$$

O índice de plasticidade é geralmente associado a solos argilosos, pois quanto maior seu valor mais plástico será o solo. Em areias o índice de plasticidade é nulo, podendo-se, então, considerar $IP=NP$ (não plástico) (CAPUTO, 1988). A Tabela 2 demonstra como foram classificados os resultados de IP qualitativamente em relação à plasticidade dos solos.

Tabela 2 - Classificação quanto à plasticidade

IP	DESCRIÇÃO
0	Não Plástico
1 - 5	Ligeiramente plástico
5 - 10	Plasticidade baixa
10 - 20	Plasticidade média
20 - 40	Plasticidade alta
> 40	Plasticidade muito alta

Fonte: Das (2007, p. 57).

Na Tabela 3, são apresentados valores típicos de LL e IP de alguns solos brasileiros.

Tabela 3 - Valores típicos de LL e IP para solos brasileiros

Solos	LL (%)	IP (%)
Residuais de arenito (arenosos finos)	29 - 44	11 - 20
Residual de gnaiss	45 - 55	20 - 25
Residual de basalto	45 - 70	20 - 30
Residual de granito	45 - 55	14 - 18
Argilas orgânicas de várzeas quaternárias	70	30
Argilas orgânicas de baixadas litorâneas	120	80
Argila porosa vermelha de São Paulo	65 - 85	25 a 40
Argilas variegadas de São Paulo	40 a 80	15 a 45
Areia argilosas variegadas de São Paulo	20 a 40	5 a 15
Argilas duras, cinzas, de São Paulo	64	42

Fonte: Sousa Pinto (2006, p. 26).

2.2.3.4 Índice de Consistência

A depender da umidade (h) em que o solo se encontra naturalmente, ele pode apresentar-se em diferentes estados: sólido, semi-sólido ou líquido. O índice de consistência permite a comparação entre a umidade natural e os limites de liquidez e índice de plasticidade, fornecendo este estado natural do solo. A Equação 4 mostra o cálculo do índice de consistência (CAPUTO, 1988).

$$IC = \frac{LL - h}{IP} \quad (4)$$

A Tabela 4 mostra os valores estimados de índices de consistência das argilas.

Tabela 4- Valores típicos de Índice de Consistência

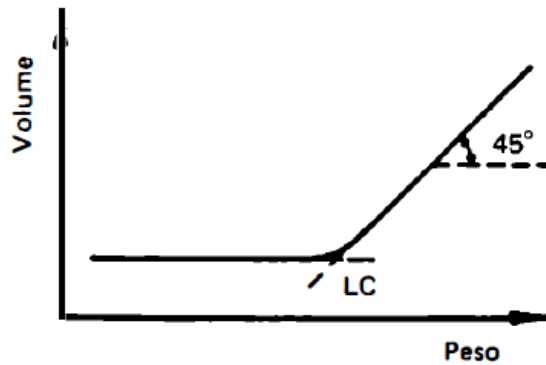
Consistência	Índice de consistência
mole	< 0,5
média	0,5 a 0,75
rija	0,75 a 1
dura	> 1

Fonte: Sousa Pinto (2006, p. 43).

2.2.3.5 Limite de Contração

O limite de contração (LC) pode ser determinado através do momento em que, a partir de um teor de umidade, o solo não se contrai mais, tendo em conta que o índice de vazios é o mesmo na amostra saturada e seca. A Figura 9 demonstra a determinação do limite de contração (CAPUTO, 1988).

Figura 9 – Determinação do limite de Contração



Fonte: Caputo (1988, p. 58).

O ensaio de limite de contração deve ser realizado quando o índice de plasticidade é muito alto. Quando se executa este ensaio realiza-se também o de grau de contração, onde, ele indica a tendência para o aparecimento de fissuras durante a secagem dos maciços terrosos (TORRES GEOTECNIA, 2018).

2.2.4 Densidade real dos grãos

De acordo com Das (2007) “[...] O peso específico relativo é definido como a relação entre o peso específico de um dado material e o peso específico da água” (p. 21).

O peso específico dos grãos ou densidade real dos grãos é um número adimensional, que é utilizado na classificação dos solos. O valor da densidade real dos grãos varia de acordo com os minerais constituintes e com a porcentagem deles presentes no solo (DAS, 2007).

Para realização deste ensaio podem ser utilizadas a norma ABNT NBR 6508:2017 – Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica ou a norma DNER – ME 093/94 – Densidade real dos solos. A diferença entre os procedimentos ditados por cada uma delas está no tamanho do picnômetro utilizado no ensaio, quantidade de material e metodologia de retirada de ar da amostra. A norma do DNER recomenda a utilização de um picnômetro de 50 cm³ com uma quantidade aproximada de 10 g de solo, enquanto a norma da ABNT recomenda a utilização de um picnômetro de capacidade de 500 cm³ e uma quantidade aproximada de 50 a 60 g, dependendo do tipo de solo. A retirada de ar da amostra pela norma do DNER deve ser realizada através do aquecimento do picnômetro e pela norma da ABNT por meio de aplicação de vácuo.

Para a determinação do peso específico real dos grãos é necessário se conhecer o volume do picnômetro e seu peso somente com água. Garantindo-se que todos os vazios do solo estão preenchidos por água, sem existência de ar no conjunto, a variação de volume de água com e sem o solo dentro do picnômetro, corresponderá ao volume do solo acrescentado. Dividindo-se o peso do solo seco pelo seu volume será possível se obter o peso específico real somente dos grãos do solo.

Como o peso específico do solo é calculado levando em conta a temperatura da água durante o ensaio, é necessário que se faça uma correção a fim de se obter resultados padronizados. O valor da densidade real deverá ser referido à temperatura de 20°C, sendo, então, chamada de δ_{20} . Para a obtenção deste valor deve-se determinar a razão entre a densidade relativa da água a temperatura t e a densidade relativa da água a 20°C. A Tabela 5 mostra a variação da massa específica da água (δt), em g/cm³, entre 1°C e 40°C.

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

Temperatura (°C)	Massa específica da água (g/cm ³)	Temperatura (°C)	Massa específica da água (g/cm ³)
1	0,9999	21	0,9980
2	1,0000	22	0,9978
3	1,0000	23	0,9976
4	1,0000	24	0,9973
5	1,0000	25	0,9971
6	1,0000	26	0,9968
7	0,9990	27	0,9965
8	0,9999	28	0,9963
9	0,9998	29	0,9960
10	0,9997	30	0,9957
11	0,9996	31	0,9954
12	0,9995	32	0,9951
13	0,9994	33	0,9947
14	0,9993	34	0,9944
15	0,9991	35	0,9941
16	0,9990	36	0,9937
17	0,9988	37	0,9934
18	0,9986	38	0,9930
19	0,9984	39	0,9926
20	0,9982	40	0,9922

Fonte: ABNT NBR 6508:2017.

Para o cálculo da massa específica dos grãos é utilizada a Equação 5, onde, para que se tenham resultados satisfatórios, os valores não podem diferir entre si em mais de 0,02 (NBR 6508:2017) e 0,009 (DNER – ME 093/94) e se tenha a média de pelo menos dois ensaios.

$$\delta = \frac{M1 \frac{100}{(100+h)}}{\left[M1 \frac{100}{(100+h)} \right] + M3 - M2} \delta T \quad (5)$$

Onde:

δ é a massa específica dos grãos do solo;

M_1 é a massa do solo úmido;

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

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

h é a umidade inicial da amostra e,

δT é a massa específica da água, na temperatura T de ensaio, da Tabela 5.

Geralmente o peso específico dos solos está entre 2,6 e 2,9 e, quando um material apresenta quartzo em sua composição, geralmente, fica em torno de 2,65. A Tabela 6 mostra valores típicos de densidade real dos grãos para diferentes tipos de minerais presentes nos solos (DAS, 2007).

Tabela 6 - Valores típicos de densidade real dos grãos

Mineral	Peso específico (G)
Quartzo	2,65
Caulinita	2,6
Ilita	2,8
Montmorilonita	2,65 - 2,80
Haloisita	2,0 - 2,55
Feldspato potássico	2,57
Feldspatos sódico e cálcico	2,62 - 2,76
Clorita	2,6 - 2,9
Biotita	2,8 - 3,2
Muscovita	2,76 - 3,1
Hornblenda	3,0 - 3,47
Limonita	3,6 - 4,0
Olivina	3,27 - 3,7

Fonte: Das (2007, p. 21).

2.2.5 Permeabilidade

O coeficiente de condutividade hidráulica ou coeficiente de permeabilidade (k) leva em consideração tanto as propriedades físicas do fluido, como do solo e, expressa, numericamente, a facilidade de um solo se deixar percolar (CAPUTO, 1988).

O coeficiente de permeabilidade é determinado através da Lei de Darcy, onde a velocidade de percolação está diretamente ligada ao gradiente hidráulico (i). A Equação 6 mostra a fórmula proposta por Darcy, em 1850 (PINTO, 2006).

$$Q = k \frac{h}{L} A \quad (6)$$

Onde:

Q é a vazão;

A é a área do permeâmetro;

k é o coeficiente de permeabilidade (ou coeficiente de condutividade hidráulica);

h é a perda de carga sobre a distância L e,

L é a espessura da camada de solo onde a carga se dissipa.

A relação h/L é chamada de gradiente hidráulico (i). Dividindo ambos os lados da Equação 6 pela área do permeâmetro, obtém-se uma simplificação da Lei de Darcy expressa pela Equação 7 (PINTO, 2006).

$$v = ki \quad (7)$$

Onde:

v é a velocidade de percolação da água;

k é o coeficiente de permeabilidade (ou coeficiente de condutividade hidráulica) e,

i é o gradiente hidráulico h/L .

Existem solos mais permeáveis que os outros, isso ocorre pelo arranjo espacial das partículas do solo (estrutura), tamanho, distribuição, vazios, composição mineralógica, grau de saturação, bem como, pelas características do fluido (CAPUTO, 1988).

A condutividade hidráulica é mais alta em areias, pois o tamanho dos vazios é maior e ocorre fluxo em todas as direções. Nas argilas, por serem formadas por partículas muito pequenas, a capacidade de infiltração diminui. A Tabela 7 mostra os valores típicos de coeficientes de permeabilidade para diferentes tipos de solos (DAS, 2007).

Tabela 7 - Valores típicos de coeficientes de permeabilidade

Solos	Coeficiente de permeabilidade (m/s)
Argilas	$<10^{-9}$
Síltes	10^{-6} a 10^{-9}
Areias argilosas	$<10^{-7}$
Areias finas	$<10^{-5}$
Areias médias	$<10^{-4}$
Areias grossas	$<10^{-3}$

Fonte: Sousa Pinto (2006, p. 117).

O estudo da condutividade hidráulica dos solos é muito importante em diversas áreas da engenharia civil como na verificação da estabilidade de encostas, permitindo a

quantificação do volume de água infiltrado no solo, em aterros sanitários, auxiliando na escolha de materiais que serão utilizados como vedação à infiltração de chorume, em sistemas de irrigação, drenagem, entre outros (CAPUTO, 1988).

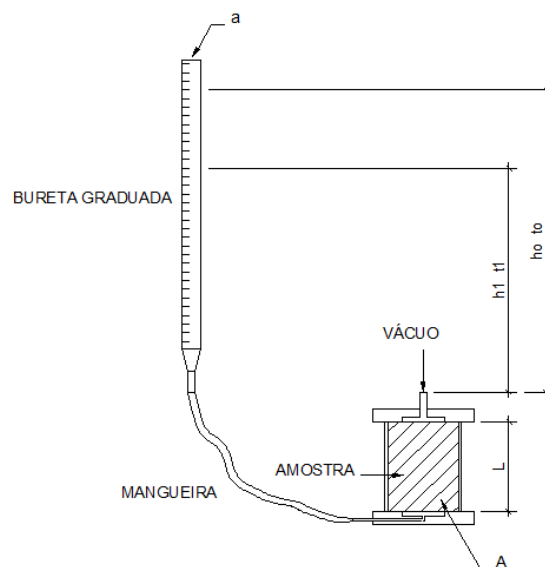
Existem diversas formas de se determinar o valor da condutividade hidráulica dos solos, tanto através de ensaios de campo, como por meio de ensaios de laboratório. Nos ensaios de laboratório estão os permeômetros de carga constante e variável e nos ensaios de campo podem ser usados, por exemplo, piezômetros de tubo aberto ou fechado, infiltrômetros e o permeômetro de Guelph (CAPUTO, 1988). Neste trabalho, a permeabilidade dos solos será estudada através da realização de ensaios de laboratório, em permeômetros de carga variável, conforme descrito no item a seguir.

2.2.6 Permeômetro de carga variável

O permeômetro de carga variável é empregado para determinar o coeficiente de permeabilidade em solos finos. Ele é mais vantajoso em relação aos outros permeômetros nesse tipo de solo, pois possui capacidade de medir, com precisão, coeficientes de permeabilidade muito baixos (CAPUTO, 1988).

Esse tipo de permeômetro é composto por uma bureta graduada, uma mangueira e uma bomba de vácuo, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 – Esquema de funcionamento do permeômetro de carga variável



Fonte: Geofoma Engenharia Ltda. (2018).

Por meio do permeâmetro de carga variável é possível se realizar a leitura dos valores das cargas hidráulicas h , em diversos instantes de tempo.

Levando em conta que a vazão que escoar pela bureta é a mesma vazão que passa pelo solo, obtém-se a Equação 8:

$$q = -a \frac{dh}{dt} \quad (8)$$

Igualando a duas Equações de vazão 6 e 8, tem-se a Equação 9.

$$-a \frac{dh}{dt} = k \frac{h}{L} A \quad (9)$$

Integrando a Equação 9 entre a condição inicial ($h=h_i$, $t=0$) e a condição final ($h=h_f$, $t=t_f$) se tem a Equação 10, que resulta o valor do coeficiente de permeabilidade.

$$k = 2,3 \frac{aL}{At} \log \frac{h_i}{h_f} \quad (10)$$

Onde:

k é o coeficiente de permeabilidade;

a é a área da bureta;

A é a área da amostra de solo;

L é a altura da amostra de solo;

h_i é a altura inicial da coluna d'água;

h_f é a altura final da coluna d'água e,

t é o intervalo de tempo do ensaio.

Os principais fatores que influenciam a permeabilidade dos solos são o índice de vazios e a temperatura do fluido. Quanto maior for a temperatura, menor a viscosidade d'água, o que facilita a penetração de água nos vazios. Para correção do coeficiente de permeabilidade (k) aplica-se o coeficiente K_{20} , determinado pela Equação 11.

$$k_{20} = k \frac{\mu_T}{\mu_{20^\circ}} \quad (11)$$

Onde:

K_{20} é o coeficiente de permeabilidade na temperatura de 20°;

k é o coeficiente de permeabilidade;

μ_T é a viscosidade da água na temperatura do ensaio e,

μ_{20° é a viscosidade da água a temperatura de 20°.

A Tabela 8 mostra os valores de viscosidade d'água a diferentes temperaturas.

Tabela 8 - Valores de viscosidade d'água a diferentes temperaturas

Temperatura T(°C)	$\frac{\mu_T}{\mu_{20^\circ}}$	Temperatura T(°C)	$\frac{\mu_T}{\mu_{20^\circ}}$
15	1,135	23	0,931
16	1,106	24	0,91
17	1,077	25	0,889
18	1,051	26	0,869
19	1,025	27	0,85
20	1,000	28	0,832
21	0,976	29	0,814
22	0,953	30	0,797

Fonte: Das (2007, p. 127).

2.2.7 Difração de raios x (DRX)

Os solos podem ser divididos em dois grandes grupos: solos residuais e os solos transportados. Os solos residuais são produtos da rocha intemperizada e permanecem no local onde ocorreu a transformação, já nos solos transportados, os produtos de alteração foram transportados para um local diferente ao que os deu origem (CAPUTO, 1988).

Segundo Caputo (1988) “[...] os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química” (p. 14).

Os principais agentes do intemperismo seriam água, temperatura, vegetação e o vento. Geralmente esses agentes agem simultaneamente em alguns locais e um deles pode ter relevância sobre o outro (CAPUTO, 1988).

Na região Centro-Sul do Brasil é muito comum encontrar solos residuais em função do clima. Os solos residuais são compostos de agregados e cristais de minerais alterados, torrões de argilominerais e partículas com diferentes tipos de resistência (CAPUTO, 1988).

Os minerais encontrados nos solos são os mesmos da rocha que os deu origem e da decomposição de minerais secundários. Os minerais que compõem os solos podem ser divididos em: silicatos (feldspato, mica, quartzo, serpentina, clorita e talco), óxidos (hematita, magnetita e limonita), carbonatos (calcita e dolomita) e sulfatos (gesso e anidrita) (CAPUTO, 1988).

Para poder identificar os minerais, são usados métodos como análise química, microscopia eletrônica e difração de raios-X (SANTOS, 1975).

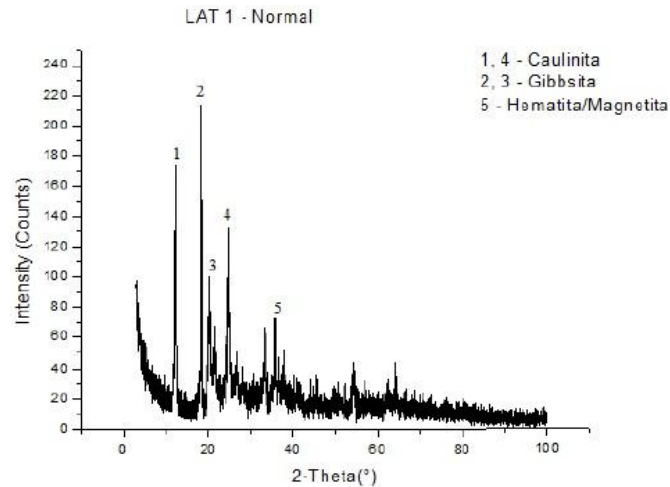
A técnica de difração de raios-X permite a análise das fases mineralógicas dos solos, identificando a composição da amostra e a presença de argilominerais ($< 4 \mu\text{m}$). Através de radiações eletromagnéticas os minerais são identificados pela análise dos arranjos atômicos na rede cristalina (SANTOS, 1975).

Os minerais são identificados através de uma linha difratada que mede a distância interplanar basal para cada rede de planos cristalinos.

O gráfico que representa a difração é formado por vários difratogramas sobrepostos, em algumas fases da amostra. Ele relaciona a intensidade das linhas difratadas em relação à distância interplanar basal.

A Figura 11 mostra o difratograma para uma amostra de um Latossolo advindo da alteração de granito-gnaise. Os minerais presentes nos picos dessa amostra são a Caulinita, Gibbsita e Hematita/Magnetita.

Figura 11 - Minerais presentes em uma amostra de Latossolo



Fonte: Cassaro (2015, p. 62).

A difratometria por raios - X é a melhor maneira de caracterizar os minerais, pois possibilita a identificação das partículas na ordem de nanômetros (SANTOS, 1975).

2.3 CLASSIFICAÇÕES

As classificações de solo têm por objetivo fornecer nomenclaturas padronizadas para grupos de solos com características em comum. As classificações Unificada e Rodoviária (AASHTO), baseadas em resultados de ensaios de granulometria e plasticidade, são amplamente difundidas no cotidiano da Engenharia Geotécnica e, serão adotadas para classificar os solos estudados no presente trabalho. Nos itens a seguir serão apresentados conceitos relacionados a ambas as classificações, descrevendo os procedimentos a serem seguidos.

2.3.1 Classificação Unificada

Classificação criada por Casagrande, em 1942, durante a Segunda Guerra Mundial, para utilização em solos de aeroportos. Nos dias atuais é uma das classificações mais usadas, podendo ser aplicada em solos de aterros de estradas, aeródromos e barragens de terra (FERNANDES, 2016).

De um modo geral, este sistema classifica os solos segundo a American Society for Testing and Materials (ASTM) em dois grandes grupos, os de graduação grosseira e os de graduação fina. Para ser considerado um solo de graduação grossa, deve-se ter mais de 50 % de material retido na peneira nº 200 (0,075 mm) e poderá ser classificado como pedregulho ou areia. Os símbolos empregados na classificação dos solos são provenientes da língua inglesa. Os de graduação grosseira como o pedregulho terão sufixo G (*gravel*), e a areia sufixo S (*sand*). Na graduação fina, onde 50 % ou mais de material passam na peneira nº 200 (0,075 mm), teremos silte, argila ou solo orgânico e terão sufixos correspondentes a M (*medium*), C (*clay*) e O (*organic*). A Figura 12 mostra um esquema para obter a classificação unificada (DAS, 2007).

Figura 12 - Classificação Unificada de solos

% P #200 < 50	G > S : G	% P #200 < 5	GW CNU > 4 e 1 < CC < 3	
			GP CNU < 4 ou 1 > CC > 3	
		% P #200 > 12	GC GM	
	S > G : S	5 < #200 < 12	GW-GC, GP-GM, etc.	
		% P #200 < 5	SW CNU > 6 e 1 < CC < 3	
			SP CNU < 6 ou 1 > CC > 3	
	% P #200 > 12	SC SM		
	5 < #200 < 12	SW-SC, SP-SC, etc.		
% P #200 > 50	C	CL		
		CH		
	M	ML		
		MH		
	O	OL		
		OH		

Fonte: Sousa Pinto (2006, p. 69).

São usados outros símbolos para indicar outras propriedades dos solos, como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Símbolos da Classificação Unificada

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

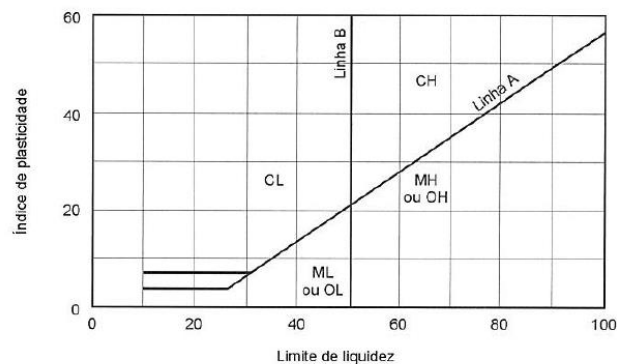
Fonte: Sousa Pinto (2006, p. 64).

Como visto na análise granulométrica, os solos granulares com poucos finos podem ser classificados como bem ou mal graduados, onde os solos bem graduados possuem diversos tamanhos de diâmetros de grãos e os mal graduados apresentam concentração de diâmetros do mesmo tamanho.

Quando mais de 12 % de finos estiverem presentes em um solo a expressão bem e mal graduada já não é mais apropriada, pois a porcentagem de finos afetará o comportamento. A avaliação deverá ser realizada considerando-se as características da parcela fina e utilizando-se a carta de plasticidade, representada na Figura 14.

Quando a porcentagem de finos estiver entre 5 e 12 %, deverá considerar-se a granulometria e carta de plasticidade, ou seja, avaliar-se a distribuição granulométrica concomitantemente ao comportamento da parcela de finos. Por exemplo, um solo com nomenclatura dada por SP-SC, será uma areia mal graduada argilosa (PINTO, 2006).

Figura 14 - Carta de Plasticidade



Fonte: Sousa Pinto (2006, p. 68).

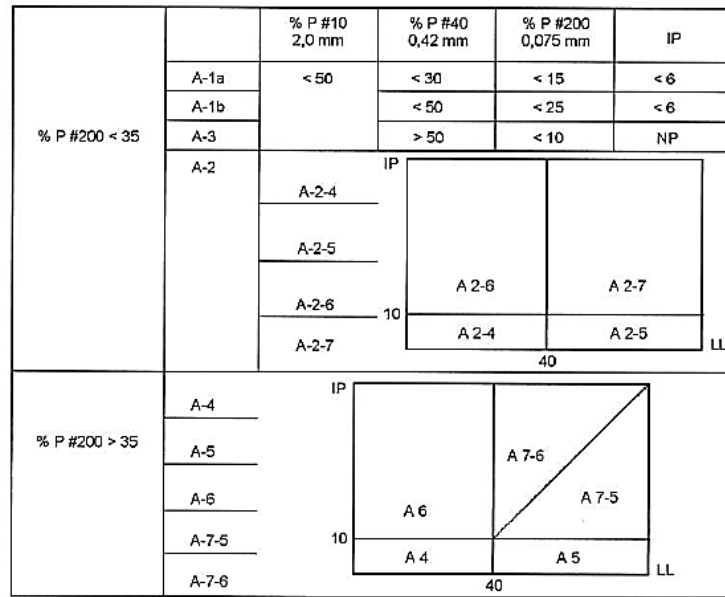
Na graduação fina os solos podem ser divididos em siltes, argilas ou solos orgânicos. Para poder examinar os solos de graduação fina é necessário relacionar um determinado valor de IP no eixo das abcissas, com um valor de LL no eixo das ordenadas. Na carta de plasticidade é definida também uma Linha A, onde os solos que estão acima dessa linha têm caráter argiloso e os que estão embaixo ou são orgânicos e possuem caráter siltoso (PINTO, 2006). A Equação 12 que descreve o comportamento da linha A é dado por:

$$IP = 0,73 * (LL - 20) \tag{12}$$

2.3.2. Classificação Rodoviária (AASHTO)

Sistema proposto pela AASHTO, em 1929, nos Estados Unidos, para fins rodoviários. O solo é classificado em sete grupos, onde o primeiro passo para classificação é verificar a porcentagem de material passante na peneira de nº 200 (0,075 mm). Se esta porcentagem for de até 35 % em peso, o solo é considerado de granulometria grosseira. Conseqüentemente, se a porcentagem passante for superior a 35 %, o solo é considerado de granulometria fina. A Figura 15 mostra os procedimentos a serem adotados para a classificação pelo sistema da AASHTO (PINTO, 2006).

Figura 15 - Classificação AASHTO



Fonte: Sousa Pinto (2006, p. 69).

Se a porcentagem de material passante na peneira nº 200 for menor que 35 %, os solos podem ser considerados de graduação grosseira. Os solos granulares podem ser divididos em: A-1-a, A-1-b, A-3 e A-2.

Os solos com classificação A-1-a devem ter menos de 50% de material passante na peneira de 2,0 mm, menos de 30 % na de 0,42 mm e menos de 15 % na peneira de 0,075 mm. Este tipo de solo faz referência a um pedregulho bem graduado (GW) no sistema de

Classificação Unificada. Na classificação A-1-b os solos devem ter menos de 50 % de material passante na peneira de 2,0 mm, menos de 50 % na peneira de 0,42 mm, menos de 25 % na peneira de 0,075 mm e, equivale a uma areia bem graduada (SW) no sistema Unificado. A classificação A-3 indica que, deve-se ter menos de 50 % do material passante na peneira de 2,0 mm, mais de 50 % na peneira de 0,42 mm e, menos de 10 % na peneira de 0,075 mm e corresponde a areia fina mal graduada (SP) (PINTO, 2006).

Os solos de classificação A-2 podem ser divididos em A-2-4, A-2-5, A-2-6 e A-2-7 e correspondem a areia com pouca quantidade de finos na classificação Unificada. O que difere os solos destas classificações são o limite de liquidez e o índice de plasticidade (PINTO, 2006).

Os solos de graduação fina, mais de 35 % de material passante na peneira nº 200, são divididos em A-4, A-5, A-6, A-7-5 e A-7-6 e, também são definidos em relação aos índices de consistência. O que difere, por exemplo, um solo A-2-4 de um A-4 é apenas a quantidade de finos (PINTO, 2006).

De acordo com a Tabela 8, os solos classificados pelo sistema AASHTO podem ser avaliados quanto ao tipo de material predominante em cada classe e quanto ao seu comportamento geral como subleito, em obras de pavimentação. Observa-se que os solos de graduação grosseira são compostos por pedras, pedregulhos, areia, areia fina e areia siltosa ou argilosa, e tem um comportamento excelente a bom como material de subleito. Já os solos de graduação fina, compõem-se por solos siltsosos ou argilosos e tem comportamento fraco a pobre no uso como subleito.

Tabela 9 - Classificação de solos adotada pela AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº200)						Materiais siltsosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº200)					
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6	
Peneiração: % que passa:												
Nº 10	50 máx.											
Nº 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.									
Nº 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	37 min.	38 min.	39 min.	40 min.
Características da fração que passa nº 40												
Limite de Liquidez - LL (%)				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	
Índice de Plasticidade - IP(%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	
Índice de grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.	
Materiais que predominam	Pedra britada, pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia siltosa ou argilosa				Solos siltsosos		Solos argilosos		
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom						Fraco a pobre					

Fonte: SENCO, 2008.

3 METODOLOGIA

Para realização dos ensaios de caracterização de solos foram utilizadas as normas da ABNT e DNER, nas quais são estabelecidas diretrizes para preparação das amostras de solo, análise granulométrica (peneiramento e sedimentação), limite de liquidez, limite de plasticidade e densidade real dos grãos. Foram realizados, também, ensaios de permeabilidade com o permeâmetro de carga variável e foi possível identificar os minerais presentes nas amostras de solo, através de difratogramas de raios -X.

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras de solo foram coletadas em alguns pontos dentro da bacia hidrográfica do Rio Piraí, nas adjacências da área de implantação do futuro campus da UFSC Joinville. Foram coletadas sete amostras de solo em seis pontos distintos, denominados P01, P02, P03, P04, P05 e P06. No ponto P01 foram coletadas duas amostras de solo, sendo uma superficial e outra a cerca de dois metros de profundidade, por estes solos apresentarem diferenças de cor e textura. A Figura 16 mostra os locais de coletas das amostras dentro da bacia do Rio Piraí. A Tabela 10 também fornece as coordenadas destes pontos de coleta.

Tabela 10 - Coordenadas dos pontos de coleta

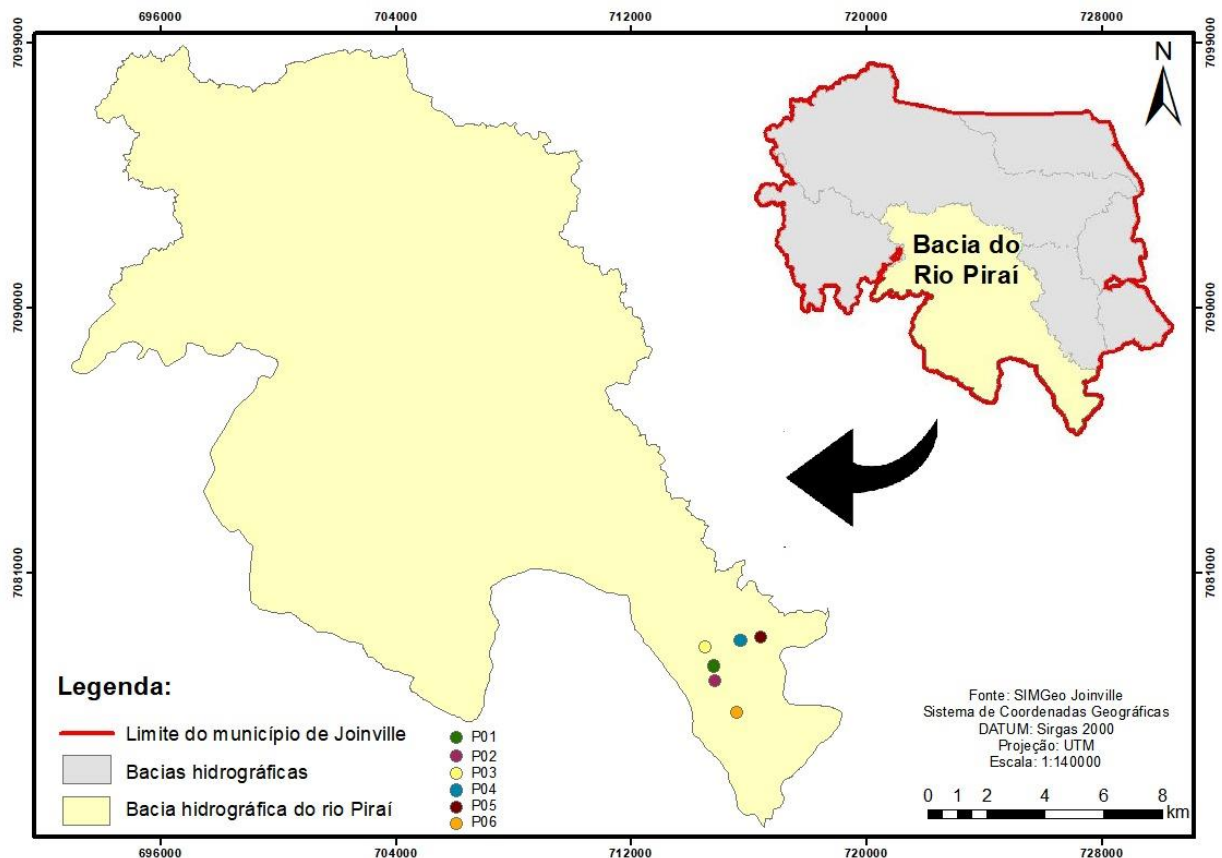
Amostras	Coordenadas	
	E (m)	N (m)
P01	715184	7078285
P02	715154	7078139
P03	714708	7078930
P04	716066	7079142
P05	716739	7079106
P06	715949	7076759

Fonte: Autora, 2018.

Os pontos P01 e P02 estão localizados exatamente sobre a área de terraplenagem onde serão construídos os prédios da universidade, mostrada na área vermelha circulada na Figura 17. A área total do terreno da universidade é de aproximadamente 118 ha, mas, apenas 73 ha serão utilizados para a implantação da universidade, já que, o restante da área possui limitações como linhas de alta tensão, contorno ferroviário e áreas verdes (FOSSARI, 2010).

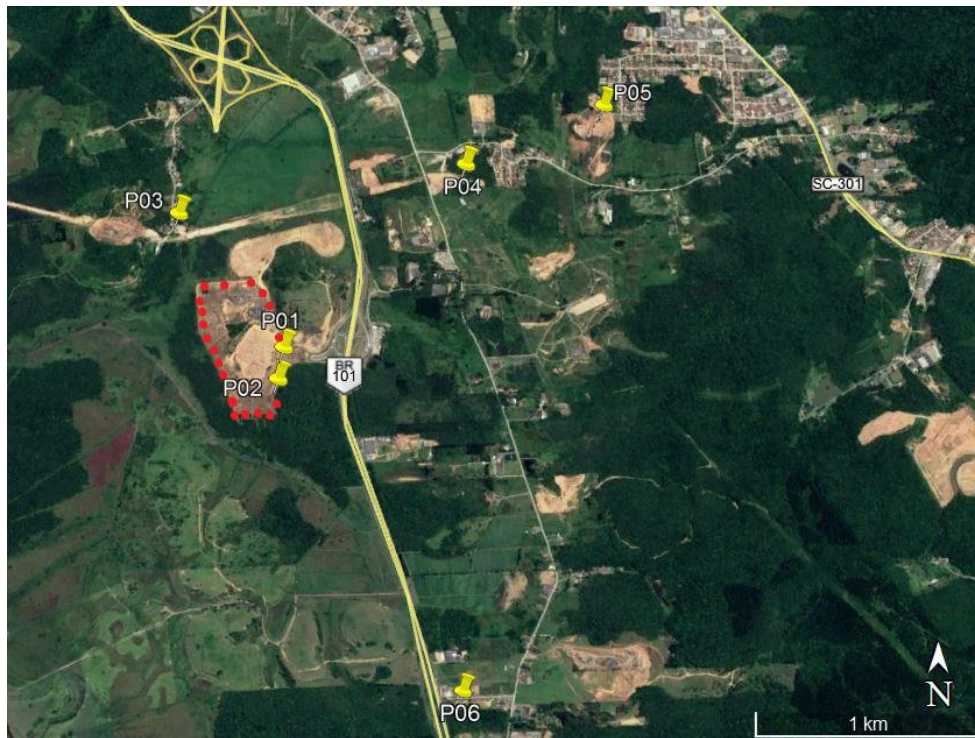
Os outros pontos de coleta de solo (P03, P04, P05 e P06) estão posicionados em áreas adjacentes à área de implantação do campus, e através destes busca-se caracterizar a bacia hidrográfica do Rio Pirai, nesta região, conforme mostra a Figura 17.

Figura 16 – Locais de coleta das amostras dentro da Bacia do Rio Pirai



Fonte: Autora, 2018.

Figura 17 - Localização das amostras



Fonte: Autora, 2018.

3.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Pirai

A bacia hidrográfica do Rio Pirai possui uma área de abrangência de 451,67 km², abastecendo cerca de 60 mil habitantes. Dentro da bacia do Rio Pirai estão os bairros do Vila Nova, Nova Brasília, Morro do Meio e Santa Catarina, todos pertencentes ao município de Joinville-SC (MAIA *et al*, 2017).

O Rio Pirai é muito importante para o município de Joinville contribuindo para o abastecimento de água potável e para rizicultura (cultura do arroz). O principal afluente do Rio Pirai é o Rio Itapocú e drena uma área de 569,50 km² (MAIA *et al*, 2017).

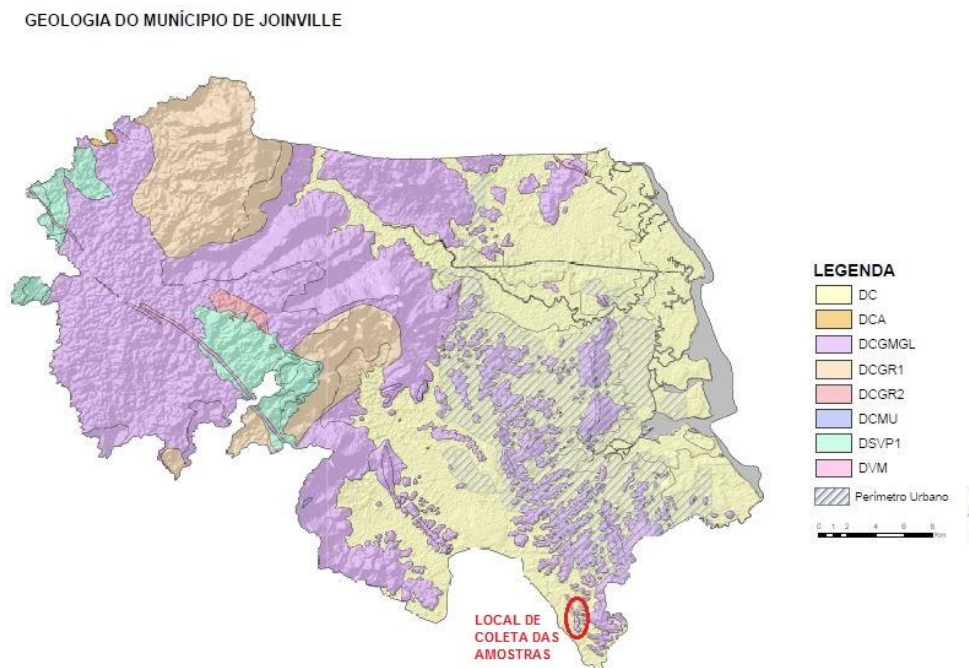
3.1.2 Geologia do local

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) criou mapas de diversidade, que permitem dividir o território nacional em domínios geológico-ambientais, para unir unidades litológicas, com características similares em relação ao uso e ocupação dos terrenos (CPRM, 2016).

Cada domínio possui características como adequabilidade/potenciabilidade e limitações para uso e ocupação do solo aplicadas em áreas de engenharia, turismo, agricultura entre outros (CPRM, 2016).

Através da base de dados do SimGeo Joinville (Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas de Joinville) e do CPRM foi possível criar um mapa geológico do município de Joinville, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 - Mapa geológico do município de Joinville



Fonte: Dalmolin, 2018.

Através do mapa geológico é possível observar que os domínios existentes no município de Joinville são:

- **DC:** “Domínio dos sedimentos cenozóicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso”. São terrenos geologicamente novos. As áreas baixas

recebem sedimentos de áreas mais altas, que foram transportados por rios e depositadas ao longo de seu curso e na faixa costeira (CPRM, 2016).

- **DCA:** É uma subdivisão do domínio DC. Constitui-se por áreas planas ao longo dos rios que recebem inundações constantemente. São materiais inconsolidados formados por sedimentos arenosos e lamosos e algumas vezes cascalho (CPRM, 2016).
- **DCGMGL:** “Domínio dos complexos gnáissico-migmatíticos e granulíticos”. O complexo gnáissico-migmatíticos é resultado da associação de rochas derivadas de outras mais antigas através de elevadas temperaturas e pressão, e os granulíticos através da formação magmática ou plutônica (CPRM, 2016).
- **DCGR1:** “Domínio dos complexos granitóides não deformados”. São rochas graníticas de diversas composições químicas e mineralógicas com pouca ou nenhuma deformação (CPRM, 2016).
- **DCGR2:** “Domínio dos complexos granitóides deformados”. São rochas granitóides com elevado grau de deformação (CPRM, 2016).
- **DCMU:** “Domínio dos corpos ultramáficos (suítes komatiíticas, suíteoleíticas, complexos bandados)”.
- **DSVP1:** “Domínio das sequências vulcânicas ou vulcanos sedimentares proterozóicas, não ou pouco dobradas e metamorfizadas”. São coberturas sedimentares que foram geradas durante o período Neoproterozóico (CPRM, 2016).
- **DVM:** “Domínio do vulcanismo fissural do tipo platô”. São rochas resultantes do magmatismo da Serra Geral. Correspondem à fase final do preenchimento da Bacia do Paraná, que foi um grande evento vulcânico que ocorreu há 135-200 milhões de anos. São coberturas sedimentares que foram geradas durante o período Neoproterozóico (CPRM, 2016).

Observa-se que no local de coleta das amostras (área circulada em vermelho na Figura 18), os domínios predominantes são o DC e o DCGMGL.

O domínio DC como comentando anteriormente é resultado da deposição de sedimentos advindos de áreas mais altas que foram transportados por rios e depositados ao longo do seu curso (CPRM, 2016).

O domínio DCGMGL é caracterizado por complexos gnáissicos-migmatíticos que são resultados da alteração de rochas por meio de altas temperaturas e pressão (rochas

metamórficas). Os gnaisses são rochas usualmente quartzo-feldspáticas com granulação média a grossa e são derivadas do metamorfismo de rochas graníticas podendo gerar compostos que cristalizam quartzo com muscovita. Os migmatitos são rochas de estruturas heterogêneas com granulação média e grossa e ocorrem em regiões de alto grau de metamorfismo. Este tipo de rocha é muito resistente e apropriada para obras de engenharia em geral (OLIVEIRA *et al*, 1998).

Este domínio também é composto por complexos granulíticos. O processo de formação dessas rochas pode ser magmático e plutônicos onde a principal diferença é que uma é formada no interior da crosta terrestre e a outra na superfície. Os principais minerais constituintes deste tipo de formação geológica são o quartzo e o feldspato. Além destes minerais, podem ocorrer muscovita e a biotita (OLIVEIRA *et al*, 1998).

3.2 PREPARAÇÃO DO SOLO PARA ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

As diretrizes para preparação das amostras para os ensaios de caracterização (análise granulométrica (por peneiramento e por sedimentação), limites de Atterberg, densidade real dos grãos) são ditadas pela ABNT NBR 6457:2016. Esta norma também estabelece o método para determinação do teor de umidade dos solos em laboratório.

As amostras foram secas ao ar até a umidade higroscópica, conforme mostra a Figura 19, e posteriormente foram destorroadas com um almofariz e homogeneizadas. Em seguida as quantidades de material necessárias para cada ensaio foram quarteadas e ensaiadas de acordo com a norma.

Figura 19 - Amostras secas até a umidade higroscópica



Fonte: Autora, 2018.

3.2.1 Amostra para análise granulométrica

Para preparação das amostras para o ensaio de análise granulométrica tomou-se certa quantidade de material homogeneizado e passado na peneira de 76 mm. O material retido foi desconsiderado, porém, nas respectivas amostras não houve material retido. A Figura 20 mostra a abertura da peneira usada na preparação das amostras para o ensaio de análise granulométrica.

Figura 20 - Peneira usada na preparação da amostra para análise granulométrica



Fonte: Autora, 2018.

Após ter passado o material na peneira de abertura 76 mm foi observado visualmente que o diâmetro máximo dos grãos dos solos era de 5 mm. De acordo com as informações fornecidas pela norma ABNT NBR 6457:2016 e apresentadas através da Tabela 11, a massa total a ser tomada para a análise granulométrica é de 1 kg para todas as amostras.

Tabela 11 – Quantidade de solo para o ensaio de granulometria

Dimensão dos grãos maiores contidos na amostra, determinada por observação visual (mm)	Quantidade mínima a tomar (kg)
< 5	1
5 a 25	4
> 25	8

Fonte: ABNT NBR 6457:2016.

3.2.2 Amostra para determinação dos limites de liquidez e plasticidade

Para a realização dos ensaios de limite de liquidez e plasticidade tomou-se parte da amostra destorroada e homogeneizada e passou-se a mesma na peneira de abertura 0,42 mm, até se obter cerca de, 200 g de material para cada amostra.

3.2.3 Amostra para determinação da massa específica real dos grãos

Para determinar a massa específica dos grãos, a amostra destorroada e homogeneizada foi passada na peneira de abertura 4,8 mm até a obtenção de cerca de 500 g de material.

3.2.4 Determinação do teor de umidade de solos

A ABNT NBR 6457:2016 descreve também como se determina o teor de umidade dos solos. A quantidade de material para a determinação da umidade foi definida conforme orientações da Tabela 12, fornecida pela ABNT NBR 6457:2016. Foram colocadas essas amostras em cápsulas metálicas com tampas e pesou-se o conjunto anotando-se como M_1 (massa do solo úmido mais a massa do recipiente, em g). O conjunto de cápsula vazia mais tampa foi pesado inicialmente e anotou-se como M_3 .

Tabela 12 - Quantidade de material de acordo com o tamanho dos grãos

Dimensão dos grãos maiores contidos na amostra, determinada visualmente (mm).	Quantidade de material (em massa seca) a tomar (g)	Balança a ser utilizada	
		capacidade nominal (g)	Resolução (g)
< 2	30	200	0,01
2 a 20	30 a 300	1500	0,1
20 a 76	300 a 3000	5000	0,5

Fonte: ABNT NBR 6457:2016.

A tampa do conjunto foi removida e a cápsula foi colocada na estufa, a uma temperatura de 105°C a 110°C por 24 horas. Após 24 horas na estufa a amostra foi retirada e quando atingiu a temperatura ambiente, colocou-se a tampa e o conjunto foi pesado, anotando-se como M_2 (massa do solo seco mais a massa do recipiente, em g). A Figura 21 mostra as cápsulas que foram usadas para determinar o teor de umidade nos solos.

Figura 21 - Cápsulas para determinação do teor de umidade



Fonte: Autora, 2018.

Para melhores resultados foram determinados sempre três teores de umidades para cada situação e calculada a média entre as três. Os resultados foram expressos com resolução de 0,1%.

3.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A ABNT NBR 7181:2017 descreve o método para realização da análise granulométrica com sedimentação. Para realizar o ensaio foi tomada quantidade de material preparado segundo a ABNT NBR 6457:2016, esse material foi anotado como Massa total (M_t). Esse material foi passado na peneira de 2,0 mm e a quantidade retida foi posta em estufa a 105°/110°C e usada, posteriormente, no peneiramento grosso. A Figura 22 mostra o material retido na peneira de abertura 2,0 mm.

Figura 22 - Material retido na peneira de abertura 2,0 mm

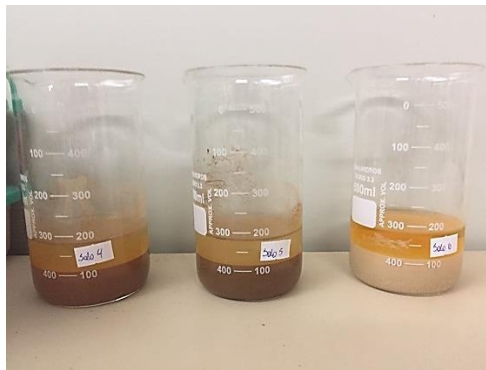


Fonte: Autora, 2018.

Para o ensaio de sedimentação e peneiramento fino, tomou-se cerca de 80 g de solo da massa total (M_t) e anotou-se essa quantidade de solo como M_h . Da massa total (M_t) utilizou-se também cerca de 100 g de solo para determinação da umidade.

Transferiu-se M_h para um béquer de capacidade de 250 cm³, e adicionou-se uma solução de hexametáfosfato de sódio, como agente defloculante. Deixou-se o solo imerso, em repouso, por pelo menos 12 horas. A Figura 23 mostra os béqueres com a solução de hexametáfosfato de sódio em repouso.

Figura 23 - Béqueres com solução de hexametáfosfato de sódio em repouso



Fonte: Autora, 2018.

Verteu-se então o material dos béqueres para um copo de dispersão com água destilada e agitou-se mecanicamente por 15 minutos. A Figura 24 mostra o agitador mecânico utilizado.

Figura 24 - Agitador mecânico utilizado



Fonte: Autora, 2018.

Cuidadosamente, foi transferido o material do agitador mecânico para uma proveta e completou-se com água destilada até atingir-se a capacidade máxima da mesma, de 1000 cm³. A Figura 25 mostra as provetas com a mistura de solo, água destilada e solução de hexametáfosfato de sódio.

Figura 25 – Realização do ensaio de sedimentação



Fonte: Autora, 2018.

A proveta com o solo, água destilada e a solução de hexametáfosfato foi agitada por 1 minuto com movimentos de rotação e após isso foram feitas leituras da densidade da dispersão (água + solo + defloculante) e da temperatura, em vários períodos de tempos, conforme ditado por norma.

Quando se atingiu 24 horas de ensaio, realizou-se a última leitura e o material da proveta foi despejado na peneira de 0,075 mm e lavado com água à baixa pressão. O material retido na peneira de abertura 0,075 mm foi levado para a estufa e, após completa secagem, usado no peneiramento fino.

Para a realização do peneiramento fino, essa quantidade de amostra retida e seca foi passada nas peneiras de abertura 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075 mm, e foram anotadas as massas retidas.

Para o peneiramento grosso foi pego o material retido na peneira de 2,0 mm e foi anotado como Mg, esse material foi passado nas peneiras de abertura 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm e 4,8 mm, e foram anotadas as massas retidas.

3.4 DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ

A ABNT NBR 6459:2017 descreve o método de determinação do limite de liquidez dos solos. A amostra foi preparada de acordo com a ABNT NBR 6457:2016 e colocada num recipiente de porcelana e foi se acrescentando água destilada, até que se obteve uma pasta homogênea.

Essa mistura homogênea foi colocada na concha metálica do aparelho de Casagrande, com uma espessura de aproximadamente 10 mm. A Figura 26 mostra a disposição do solo sobre a concha de latão.

Figura 26 - Amostra moldada na concha de latão



Fonte: Autora, 2018.

Feito isso, realizou-se uma ranhura no solo da concha, com um cinzel apropriado para solos argilosos e, iniciou-se o movimento da manivela. Girou-se a manivela e a concha

foi golpeada contra a base de ebonite e a ranhura foi se fechando. A Figura 27 mostra a ranhura feita na amostra.

Figura 27 - Ranhura feita na amostra



Fonte: Autora, 2018.

Quando as bordas inferiores da ranhura se uniram ao longo de 13 mm de comprimento, anotou-se o número de golpes e determinou-se a umidade. Foi transferido o restante da amostra para a cápsula de porcelana e foi adicionada água destilada até a amostra se homogeneizar novamente. Esse procedimento foi repetido até se obter pelo menos três pontos do ensaio em um intervalo de 35 a 15 golpes.

3.5 DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

O método para a determinação do limite de plasticidade é determinado pela ABNT NBR 7180:2016. As amostras foram preparadas através da ABNT NBR 6457:2016, conforme descrito anteriormente e, colocadas num recipiente de porcelana no qual se acrescentou água destilada, até se obter uma massa homogênea.

Tomou-se cerca de 10g da amostra e formou-se uma esfera, conforme demonstra a Figura 28. Essa esfera foi conformada sobre uma placa de vidro até se obter um cilindro, com 100 mm de comprimento e 3 mm de espessura. A Figura 29 mostra o cilindro conformado sobre a placa de vidro.

Figura 28 - Esfera conformada sobre a placa de vidro



Fonte: Autora, 2018.

Figura 29 - Cilindro conformado sobre a placa de vidro



Fonte: Autora, 2018.

Quando se atingiu o tamanho especificado, coletaram-se amostras do cilindro para a determinação do teor de umidade. A Figura 30 demonstra algumas amostras de cilindros coletadas para a determinação do teor de umidade. Realizou-se pelo menos três vezes o ensaio para verificação da consistência dos resultados encontrados.

Figura 30 - Cilindros do ensaio de LP



Fonte: Autora, 2018.

3.6 DENSIDADE REAL DOS GRÃOS

A determinação da massa específica real dos grãos dos solos foi realizada de acordo com a ABNT NBR 6508:2017 e com a norma DNER-ME 093/94. As amostras foram preparadas com base na ABNT NBR 6457:2016 e norma DNER-ME 093/94, sendo que pela norma da ABNT o material ensaiado foi passado pela peneira de 4,8 mm e pela norma do DNER pela peneira de 2 mm. As quantidades tomadas de solo para cada um dos ensaios, conforme descrito anteriormente, foram de 50 a 60 g (ABNT) e 10 g (DNER).

A seguir serão descritos os procedimentos de ensaio seguindo-se a norma da ABNT. Salienta-se que, embora os picnômetros utilizados pela norma do DNER sejam menores e o método de retirada de ar seja por aquecimento, o procedimento de laboratório é o mesmo e a descrição apresentada torna-se válida para ambos.

Foram adicionados aos picnômetros, previamente tarados, parte da amostra preparada e, então, anotou-se esse valor de massa de solo seco, como sendo M_1 . Para as amostras de solo ensaiadas, também foi determinado o teor de umidade. A Figura 31 mostra os picnômetros com solo.

Figura 31 - Picnômetro mais solo seco



Fonte: Autora, 2018.

Na sequência foi acrescentada água ao picnômetro até cobrir a amostra e aplicou-se vácuo em cada picnômetro, por aproximadamente 15 minutos, para retirada do ar. A Figura 32 mostra o vácuo sendo aplicado aos picnômetros.

Figura 32 - Aplicação de vácuo aos picnômetros



Fonte: Autora, 2018.

Decorridos 15 minutos, os picnômetros foram retirados do vácuo e postos em água para atingir a temperatura ambiente.

Completou-se os picnômetros com água destilada até cerca de 1 cm abaixo da calibração dos mesmos e deixou-se em água para sua temperatura se estabilizar. A Figura 33 mostra os picnômetros cheios de água com solo.

Figura 33 - Picnômetros cheios de água com solo



Fonte: Autora, 2018.

Com um conta gotas se adicionou água até que a base do menisco coincidissem com a marca de referência. Anotou-se o peso de solo + água + picnômetro como M_2 e se determinou a temperatura do conteúdo do picnômetro para correção da densidade da água no momento do ensaio.

A massa do picnômetro apenas com água foi determinada e, anotada como M_3 . O procedimento foi repetido pelo menos três vezes por amostra e o resultado final se mostrou satisfatório quando os resultados não diferiram entre si em mais de 0,02 na NBR 6508:2017 e 0,009 na DNER – ME 093/94.

No presente trabalho, para as amostras P01 profundidade 1 e 2, P02, P03, P04 e P05 a determinação da densidade real dos grãos foi determinada, seguindo-se as diretrizes da norma de pavimentação, DNER – ME 093/94. Para fins de comparação de resultados, a determinação da densidade real dos grãos, as amostras P04, P05 e P06, também foram ensaiadas com base na norma de solos, ABNT NBR 6508:2017, conforme procedimentos descritos anteriormente.

3.7 PERMEÂMETRO DE CARGA VARIÁVEL

Para determinação do coeficiente de permeabilidade utilizou-se as diretrizes da norma ABNT NBR 14545:2000 – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável.

As amostras utilizadas no ensaio foram amostras indeformadas, com o auxílio de um cilindro metálico. O cilindro metálico, com 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura, foi cravado ao solo com auxílio da percussão de um peso sobre o cilindro. A Figura 34 mostra a extração da amostra indeformada no ponto P04.

Figura 34 - Extração de amostra indeformada no ponto P04



Fonte: Autora, 2018.

Já em laboratório, a amostra de solo foi condicionada no permeâmetro e saturada. O processo de saturação da amostra ocorreu através do fluxo ascendente de água durante o período de 1 dia.

Após a saturação, foram feitas leituras da variação da altura da coluna de água, durante determinados períodos de tempo, conforme mostra a Figura 35.

Como alguns solos apresentavam permeabilidade muito baixa, utilizou-se uma bomba de vácuo para aumentar a carga hidráulica aplicada na amostra.

Figura 35 - Realização de leituras no permeâmetro de carga variável



Fonte: Autora, 2018.

3.8 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

As sete amostras de solo em pó (material passante pela peneira de 0,075 mm), foram submetidas à difração de raios-x por um Difratorômetro de Raios X, da marca Phillips, modelo X'Pert MDP, do Laboratório de Materiais Cerâmicos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

As amostras foram submetidas ao ensaio com fonte de radiação $\text{Cu K}\alpha$ (energia de raios x), que é frequentemente utilizada em instrumentos de raios x, com energia de 8,04 keV, que corresponde a um comprimento de onda de 1,5406 Ångström. O intervalo angular utilizado foi de 5 a 75°, com velocidade angular de 5°/1s (LACER, 2018). A Figura 36 mostra o difratômetro de raios-X utilizado nas análises.

Figura 36 - Difratorômetro de Raios X - X'Pert MDP



Fonte: Lacer, 2018.

Os minerais são identificados de acordo com os picos nas diferentes fases da amostra, através do software X'Pert High Score Plus. Uma amostra desconhecida é analisada e seus picos são comparados com os de materiais conhecidos e tabelados segundo o código ICSD (Inorganic Crystal Structure Database), que é uma base de dados da estrutura cristalina que permite a correta identificação do mineral.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios de granulometria, limites de liquidez e plasticidade, densidade real dos grãos e posteriormente a classificação dos solos. São mostrados também os resultados dos ensaios de permeabilidade e difractometria de raios – X, que serão usados para análise dos materiais encontrados na área adjacente do futuro campus da UFSC Joinville.

4.1 CURVAS GRANULOMÉTRICAS

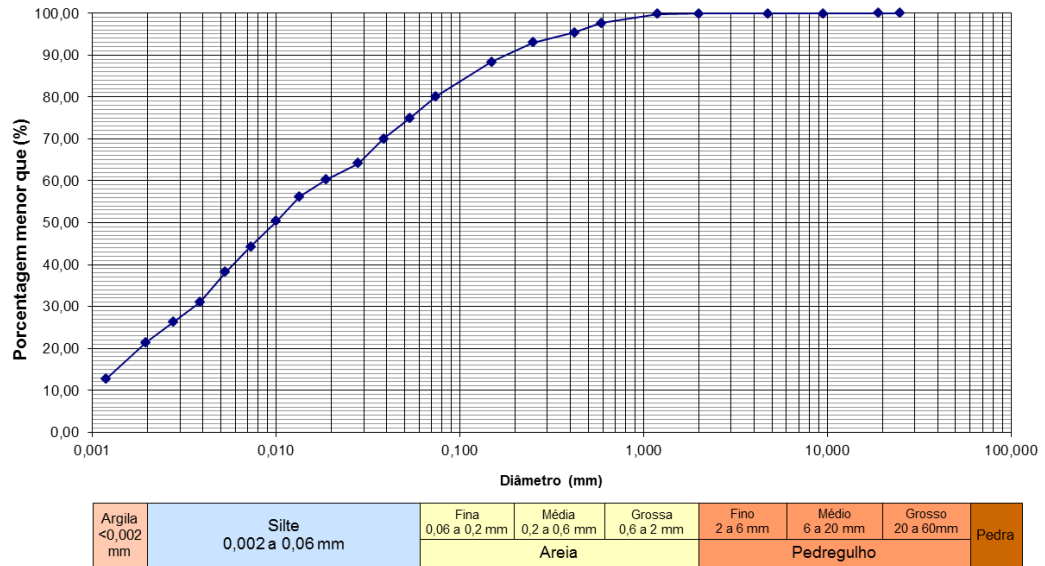
As Figuras apresentadas a seguir ilustram as curvas granulométricas obtidas para as sete amostras de solo.

As Figuras 37 e 38 representam as curvas granulométricas da amostra P01 nas suas duas profundidades. Na curva granulométrica P01 – profundidade 1 observa-se que cerca de 80% de material passa na peneira nº 200 (0,075 mm), esta peneira divide os solos em graduação grosseira e fina. Nota-se também que cerca de, 76 % do material apresentam partículas com diâmetro de 0,06 mm, e 21 % diâmetro de 0,002 mm. No intervalo de 0,002 a 0,06 mm estão representados os solos siltosos. O diâmetro de 0,002 mm divide os solos siltosos dos argilosos e o diâmetro das partículas de 0,06 mm divide os solos siltosos dos arenosos. Nesta amostra ocorreram cerca de, 23 % de solos granulares, neste grupo estão inseridos pedregulhos (grossos, médio e fino) e areias (grossa, média e fina). Houve também aproximadamente 55 % de silte e 22 % de argila, resultando a predominância de silte em sua composição.

Na curva granulométrica P01 – profundidade 2 têm-se cerca de 85 % de material passante na peneira nº 200 (0,075 mm), 83,5 % de partículas com diâmetro 0,06 mm e 15 % de 0,002 mm. Foram encontrados nesta amostra 16,5 % de solos granulares, 68,5 % de silte e, 15 % de argila. De forma geral, a amostra P01 nas duas profundidades apresentam solos siltosos com pequena presença de argila.

Figura 37 - Curva granulométrica P01 - profundidade 1

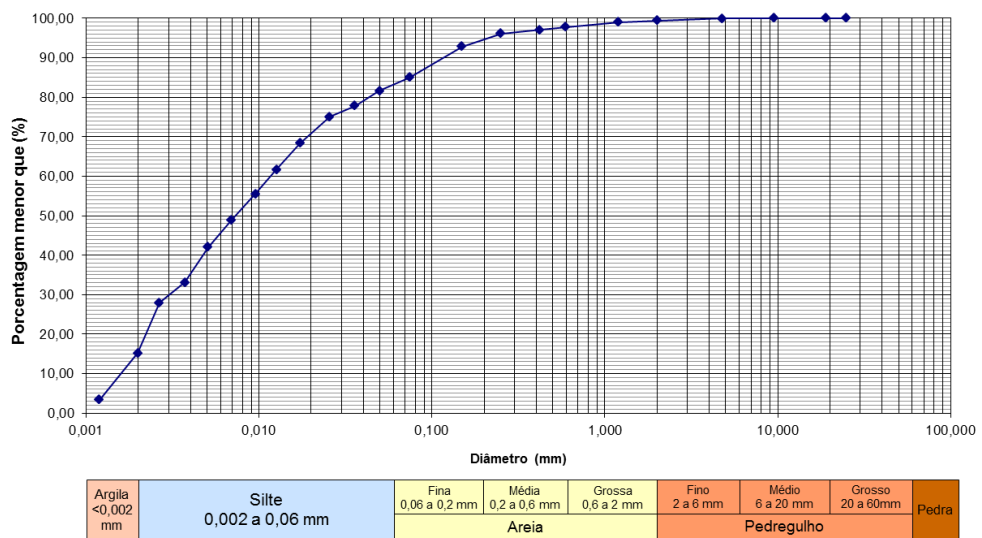
CURVA GRANULOMÉTRICA



Fonte: Autora, 2018.

Figura 38 - Curva granulométrica P01 - profundidade 2

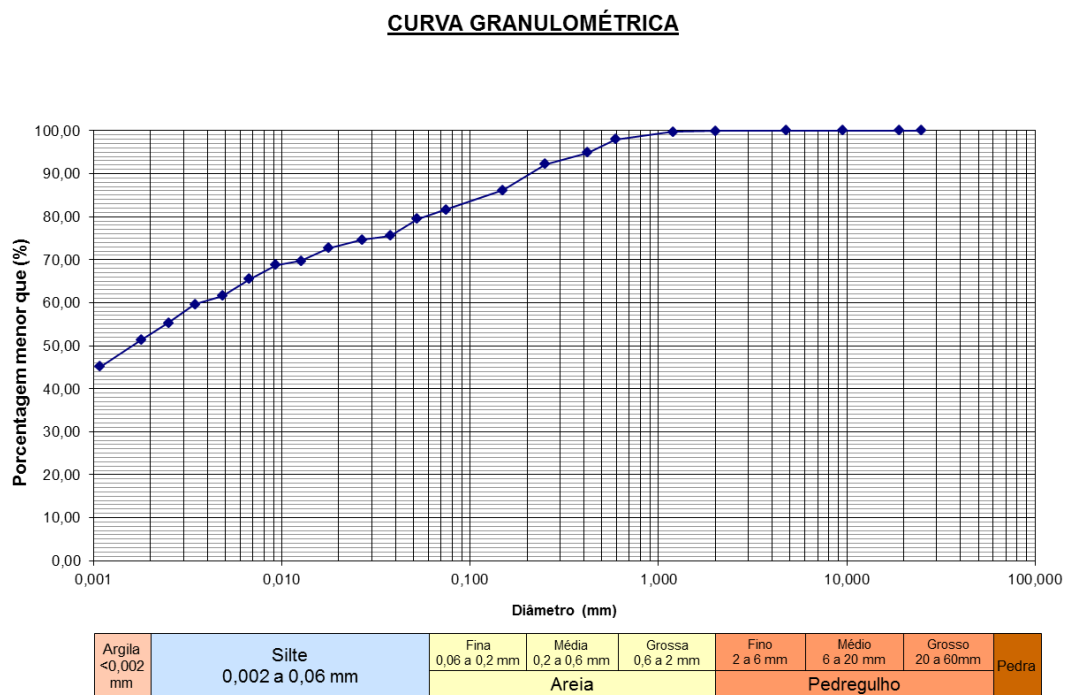
CURVA GRANULOMÉTRICA



Fonte: Autora, 2018.

Na amostra P02 (Figura 39) observa-se que cerca de 81 % de material passa na peneira n° 200 (0,075 mm), 80 % aproximadamente de partículas com diâmetro 0,06 mm e 51 % de 0,002 mm. Na amostra P02 ocorreram 22,5 % de solos granulares, 26 % de silte e 51,5 % de argila. Assim, tem-se que a amostra P02 apresenta grande concentração de argila em sua composição.

Figura 39 - Curva granulométrica P02



Fonte: Autora, 2018.

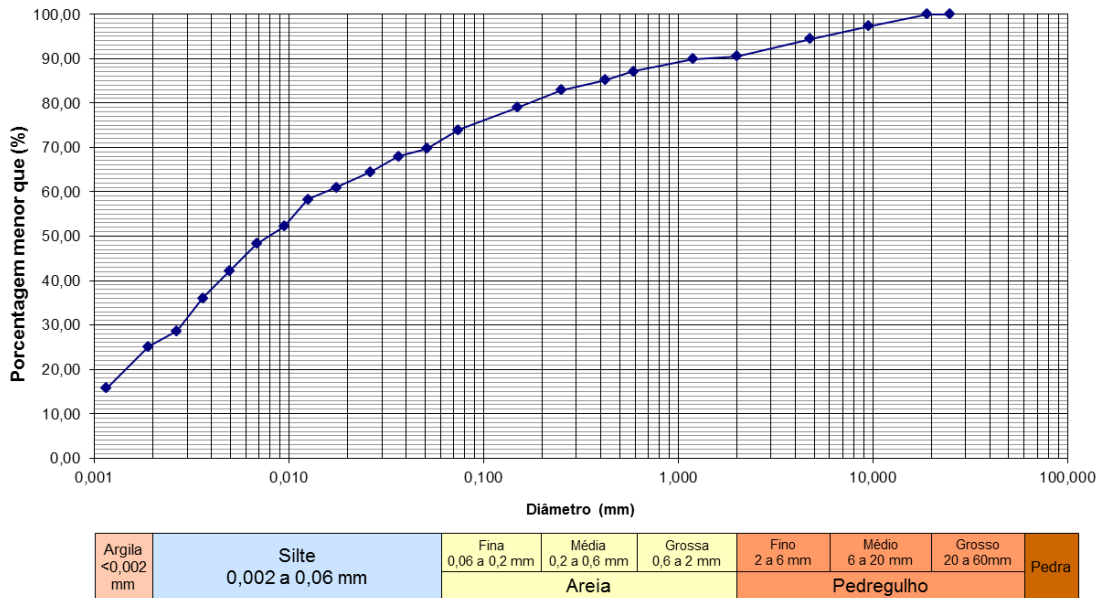
Nas Figuras 40, 41 e 42 estão apresentadas as curvas granulométricas das amostras P03, P04 e P05 respectivamente. Através da curva granulométrica da amostra P03 nota-se que cerca de 74 % do material passa na peneira n° 200, tem-se 72,5 % de partículas com diâmetro de 0,06 mm e 25 % de 0,002 mm. Na amostra P03 foram encontrados 27,5 % de solos granulares, 47,5 % de silte e 25 % de argila.

A amostra P04 tem aproximadamente 76 % de solo passante na peneira n° 200 (0,075 mm), 74 % de partículas de diâmetro de 0,06 mm e 12 % de diâmetro de 0,002 mm. Nesta amostra ocorreram 29,5 % de solos granulares, 58,5 % de silte e 12 % de argila.

A curva granulométrica da amostra P05 apresenta 71 % de material passante na peneira de 0,075 mm, 67 % de partículas com diâmetro de 0,06 mm e 11 % de 0,002 mm. Esta amostra possui 38,5 % de solos granulares, 50,5 % de silte e 11 % de argila. De acordo com as curvas granulométricas tem-se que as amostras P03, P04 e P05 tratam de materiais siltosos.

Figura 40 - Curva granulométrica P03

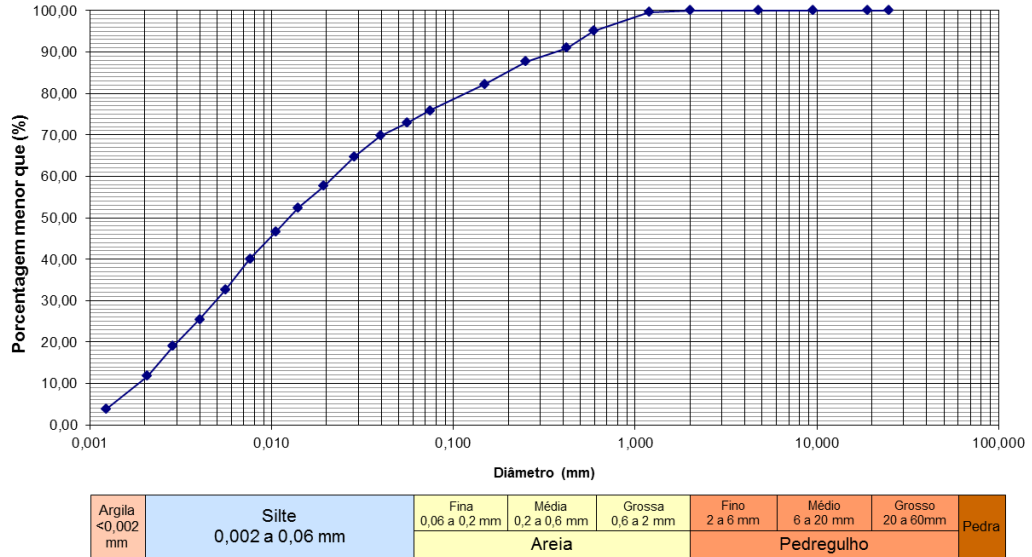
CURVA GRANULOMÉTRICA



Fonte: Autora, 2018.

Figura 41 - Curva granulométrica P04

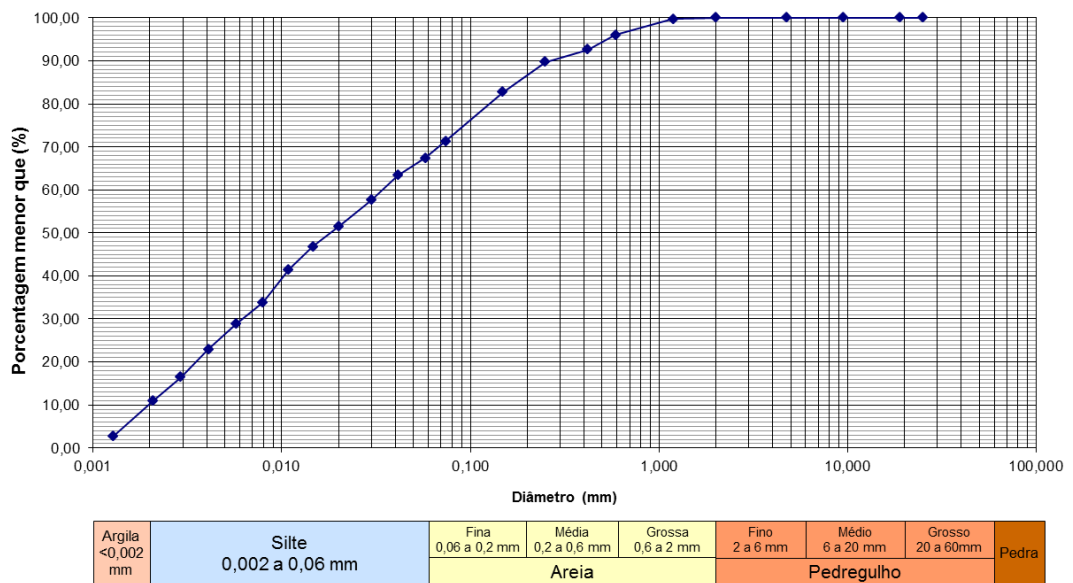
CURVA GRANULOMÉTRICA



Fonte: Autora, 2018.

Figura 42 - Curva granulométrica P05

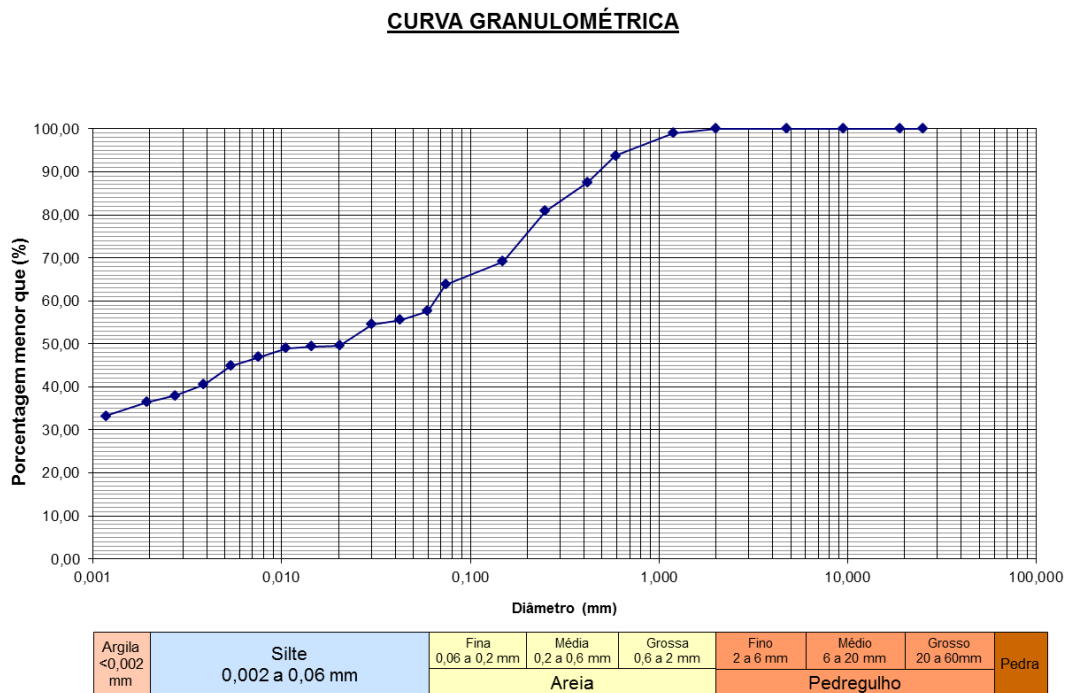
CURVA GRANULOMÉTRICA



Fonte: Autora, 2018.

A curva granulométrica da amostra P06 (Figura 43) indica que aproximadamente 64 % do material passa na peneira de 0,075 mm, têm-se aproximadamente 58 % de partículas com diâmetro de 0,06 mm e 36 % de partículas com diâmetro de 0,002 mm. A amostra P06 teve concentração de 49,5 % de solos granulares, 14 % de silte e 36,5 % de argila.

Figura 43 - Curva granulométrica P06



Fonte: Autora, 2018.

Para auxiliar na caracterização e classificação das amostras de solo foram realizados os ensaios de limites de Atterberg, densidade real dos grãos, cujos relatórios de ensaio são apresentados nos Apêndices A e B, respectivamente. A Tabela 13 resume os resultados destes ensaios, em conjunto com o resumo da análise granulométrica e as classificações obtidas para cada uma das amostras.

Tabela 13 - Tabela resumo dos ensaios

AMOSTRA		P 01 - Prof 1	P 01 - Prof 2	P 02	P 03	P 04	P 05	P 06
Profundidade (m)		Superficial	2,00	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
LL		55	49	55	48	49	44	78
LP		42	38	36	39	39	28	31
IP		13	11	19	9	10	16	47
Densidade real dos solos DNER ME 093/94 *		2,746	2,817	2,720	2,822	2,784	2,777	-
Massa específica real dos grãos ABNT NBR 6508:2017 *		-	-	-	-	2,712	2,650	2,651
GRANULOMETRIA	Pedregulho grosso (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pedregulho médio (%)	0,07	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00
	Pedregulho fino (%)	0,03	0,54	0,06	5,96	0,00	0,00	0,00
	Areia Grossa (%)	2,27	1,66	2,01	3,44	4,94	3,96	6,21
	Areia Média (%)	5,44	3,30	8,43	4,60	9,56	9,54	18,29
	Areia Fina (%)	15,40	11,00	12,00	10,00	15,00	25,00	25,00
	Silte (%)	55,41	68,35	26,10	47,34	58,65	50,61	14,10
	Argila (%) (< 0,002 mm)	21,39	15,15	51,40	25,16	11,85	10,89	36,40
Classificação Unificada		MH	ML	MH	ML	ML	ML	CH
Classificação Rodoviária (AASHTO)		A7-5	A7-5	A7-5	A-5	A-5	A7-5	A7-6

* Obs: Para fins de comparação o ensaio de massa específica real dos grãos foi realizado de acordo com a DNER ME 093/94 e na ABNT NBR 6508:2017.

Fonte: Autora, 2018.

Através dos resultados obtidos com os ensaios de limite de liquidez e de plasticidade, determinaram-se os índices de plasticidade (IP) das amostras. Observa-se que na amostra P01, superficial e a dois metros de profundidade os índices de plasticidade são 13 e 11, respectivamente. Estes valores correspondem a solos com plasticidade média, de acordo com a literatura.

Na amostra P02 o índice de plasticidade é de 19, valor esse de plasticidade média a alta. Nas amostras P03, P04 e P05 os índices de plasticidade são de 9, 10 e 16, respectivamente. Os solos da amostra P03 são considerados de plasticidade baixa e, os das amostras P04 e P05 de plasticidade média.

O índice de plasticidade da amostra P06 é de 47, valor associado a solos com plasticidade muito alta.

Os valores de densidade real dos grãos e classificações dos solos serão discutidos nos itens 4.2 e 4.3, respectivamente, na sequência deste trabalho.

4.2 CLASSIFICAÇÕES UNIFICADA E RODOVIÁRIA (AASHTO)

Com os resultados das curvas granulométricas, limites de liquidez e índice de plasticidade foram possíveis classificar as amostras por meio da Classificação Unificada (SUCS) e pela Classificação Rodoviária (AASHTO).

O sistema de Classificação Unificada identificou as amostras P01 – profundidade 1 e P02 como siltes ou solos orgânicos de alta compressibilidade (MH ou OH), entretanto através da análise tátil-visual observou-se que não existia presença de matéria orgânica na amostra, classificando, assim, os solos como siltes de alta compressibilidade (MH).

Já as amostras P01 – profundidade 2, P03, P04 e P05 foram classificadas como siltes ou solos orgânicos de baixa compressibilidade (ML ou OL) mas, da mesma forma que as amostras classificadas acima, não houve ocorrência de matéria orgânica, classificando-os, então, como siltes de baixa compressibilidade (ML).

A amostra P06 foi classificada como argila de alta compressibilidade (CH), de acordo com a classificação Unificada.

Já o sistema de Classificação Rodoviária (AASHTO) identificou os solos P01 – profundidade 1 e 2, P02 e P05 como solos argilosos (A7-5), assim como a amostra P06 que também foi classificada como um solo argiloso (A7-6). As amostras P03 e P04 foram classificadas como solos siltosos (A-5). Através da classificação AASHTO observa-se que os solos encontrados possuem comportamento geral como subleito de fraco a pobre.

A diferença entre os solos argilosos e siltosos são muitas. Os solos argilosos possuem grãos microscópicos, e elevado grau de impermeabilidade quando compactados corretamente. O tamanho dos seus grãos também dificulta a desagregação das partículas e, quando em contato com a água é moldado facilmente. Já os solos siltosos possuem partículas muito pequenas e leves, apresentam baixa plasticidade quando em contato com a água e, são muito erodíveis por serem resultados do processo de esmigalhamento de rochas (FÓRUM DA CONSTRUÇÃO, 2018).

4.3 COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

Através do coeficiente de permeabilidade (k_{20}), obtido com o permeâmetro de carga variável e seus valores apresentados na Tabela 13, é possível, também, identificar os tipos de

solos, comparando os valores encontrados, com valores típicos de permeabilidade dos solos, propostos pela literatura.

Na amostra P01, o ensaio de permeabilidade foi realizado apenas na amostra superficial (P01 – profundidade 1). Este ensaio forneceu um coeficiente de permeabilidade (k_{20}) de $1,97 * 10^{-9}$ m/s, valor esse que, conforme a literatura corresponde um solo argiloso. Analisando os resultados encontrados nos outros ensaios, verificou-se que a classificação deste solo no sistema Unificado e Rodoviário (AASHTO) correspondeu a um silte de alta compressibilidade (MH) e um solo de caráter argiloso (A-7-5), respectivamente. O índice de plasticidade (IP) deste solo foi de 13, que corresponde a um solo de plasticidade média. Desta forma, percebe-se que existe uma compatibilidade entre os resultados de diferentes ensaios.

O ensaio de permeabilidade da amostra P02 resultou um coeficiente de permeabilidade de $1,11 * 10^{-9}$ m/s, que corresponde, também, a um solo argiloso. Esta amostra foi classificada como um silte de alta compressibilidade (MH) e um solo argiloso (A-7-5), da mesma forma que a amostra P01 – profundidade 1. Já o IP de 19 corresponde a um solo de plasticidade média a alta. Sendo que as amostras P01 e P02 estão dentro da área onde serão construídos os prédios do futuro campus, verifica-se que, nesta região ocorrem os mesmos tipos de solos e por isso calculou-se um k médio destas duas amostras, resultando em um k médio de $1,54 * 10^{-9}$ m/s.

As amostras P03 e P04 obtiveram as mesmas classificações no sistema Unificado e Rodoviário (AASHTO), siltes de baixa compressibilidade (ML) e solos siltosos (A-5). Os seus índices de plasticidade foram de 9 e 10, correspondentes a solos de plasticidade baixa e média. O ensaio de permeabilidade resultou em um coeficiente de permeabilidade de $1,77 * 10^{-6}$ m/s para a amostra P03 e, de $2,21 * 10^{-9}$ m/s para a amostra P04. Estes valores de permeabilidade são típicos de solos siltosos e argilosos, respectivamente. A diferença entre os valores da permeabilidade destas amostras, com mesmo agrupamento nas classificações unificada e da AASHTO, pode estar relacionada a maior presença de partículas granulares na amostra P03, conforme pode ser observado na Tabela 12. Para elaboração do mapa orientativo, apresentado no item 4.6 deste trabalho, será adotado um valor médio de k igual a $8,86 * 10^{-7}$ m/s para caracterizar a região formada por solos classificados como ML/ A-5.

A amostra P05 obteve classificação de silte de baixa compressibilidade (ML) e solos argilosos (A-7-5) nas classificações Unificada e Rodoviária (AASHTO). O seu índice de plasticidade foi de 16, valor correspondente a solos de plasticidade média. O coeficiente de permeabilidade foi de $2,78 * 10^{-7}$ m/s que, também é um valor típico de em um solo siltoso.

Não foi possível se obter a permeabilidade da amostra P06 por se tratar de um terreno particular e, não houve liberação de acesso para coleta da amostra indeformada, para este ensaio. Mas, a classificação Unificada resultou uma argila de alta compressibilidade e a classificação Rodoviária (AASHTO) um solo argiloso. As classificações corresponderam ao resultado do índice de plasticidade de 47 que corresponde a uma plasticidade muito alta.

Os ensaios forneceram resultados entre 10^{-6} e 10^{-9} m/s (Tabela 14), valores estes típicos de solos siltosos e argilosos, e são compatíveis com as classificações realizadas por meio dos resultados de ensaios de granulometria e plasticidade.

Tabela 14 - Resultado da permeabilidade das amostras.

AMOSTRA	P 01 - Prof 1 *	P 01 - Prof 2	P 02	P 03	P 04	P 05	P 06 **
Profundidade (m)	Superficial	2,00	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
k ₂₀ (m/s)	1,97E-09	-	1,11E-09	1,77E-06	2,21E-09	2,78E-07	-

Obs: * Para o ensaio de permeabilidade na amostra P01 utilizou-se apenas a profundidade superficial.

** Não foi possível se obter a permeabilidade da amostra P06 por se tratar de um terreno particular e não houve liberação de acesso para coleta da amostra.

Fonte: Autora, 2018.

4.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Através do software X'Pert High Score Plus foi possível determinar os minerais presentes nos solos da região em estudo.

Observou-se que todas as amostras possuem predominância de Caulinita ($\text{Al}_2(\text{SiO}_5)(\text{OH}_4)$) em sua composição, isso ocorre pois a caulinita é o principal argilomineral presente em solos tropicais ou subtropicais. A caulinita é um mineral secundário do solo, resultado da intemperização de micas e feldspatos (MINERALOGIA E QUIMICA DO SOLO, 2014).

Outro mineral que ocorreu em quase todas as amostras (exceto a amostra P04) é o Quartzo (SiO_2). O quartzo é um mineral presente em rochas graníticas, metamórficas e sedimentares, sua presença influencia diretamente na textura do solo (quanto maior é a proporção de quartzo, mais arenoso será o solo). O quartzo tem resistência ao intemperismo e é incolor (MINERALOGIA E QUIMICA DO SOLO, 2014).

Observou-se, também, a presença de outros minerais em quantidades menores, como a muscovita ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$). A muscovita ocorre em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares e é muito resistente ao intemperismo. É um mineral pertencente ao grupo das

micas e aparece em granitos através de transformações pós-magmáticas (metamorfismos e hidrotermalismo). A presença de muscovita é justificada, então, pois os solos coletados estão dentro dos domínios DC e DCGMGL (ENTENDENDO A GEOLOGIA, 2012).

Percebe-se também a presença de Cloreto de potássio (KCl) e Fosfato de alumínio ($\text{Al}_{24}\text{P}_{24}\text{O}_{96}$), em algumas amostras.

O potássio é um mineral encontrado nos elementos com estruturas cristalinas e, são advindos de rochas ígneas como feldspatos e micas, como a muscovita e biotita. Uma das principais fontes de potássio é o cloreto de potássio (KCl), que é muito utilizado pela indústria agrícola como fertilizante. Sua ocorrência nos solos em estudo pode se justificar por haver regiões de plantações próximas à área que podem fazer o uso de fertilizantes nos solos (MICROQUÍMICA, 2018).

Já a presença de fosfato de alumínio é bastante comum em solos tropicais e subtropicais, com característica de acidez. O fósforo sozinho é dificilmente encontrado nos solos, sendo sua versão estável aquele que se liga a minerais como o ferro e o alumínio, formando os fosfatos. As reservas de fosfatos podem ser provenientes de rochas graníticas (CATANÍ, 1968). Da mesma maneira que a muscovita, o fosfato de alumínio é um mineral presente no domínio DCGMGL, que são complexos gnáissico-migmatíticos e granulíticos. A Tabela 15 mostra as porcentagens estimadas de cada mineral presente na fração fina das amostras de solo.

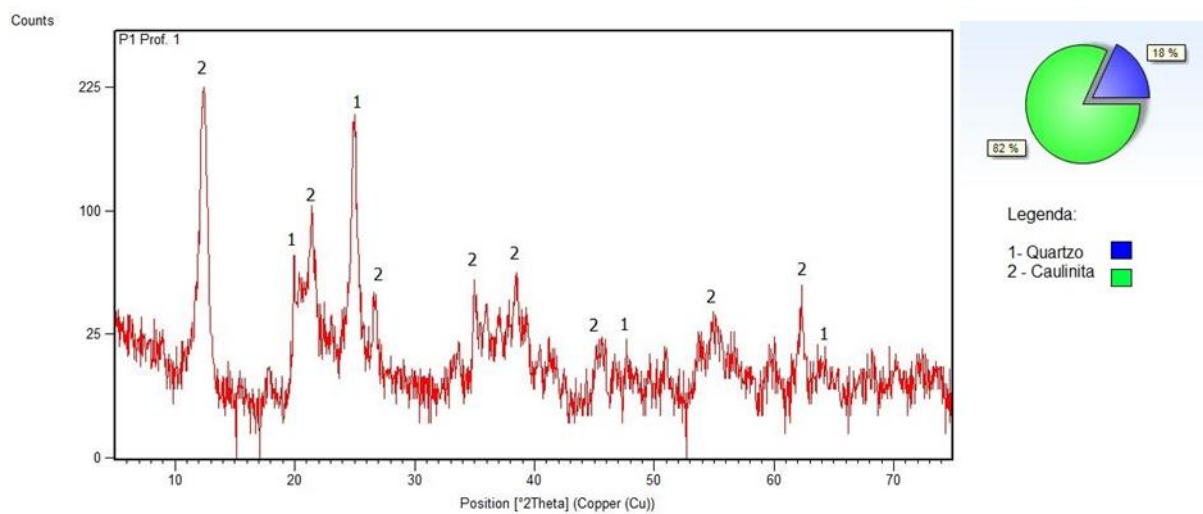
Tabela 15 - Porcentagem dos minerais presentes nos solos

Amostra	Quartzo (%)	Caulinita (%)	Fosfato de alumínio (%)	Cloreto de potássio (%)	Muscovita (%)
P01 - prof 1	18	82			
P01 - prof 2	7	87	6		
P02	15	85			
P03	8	72	18	2	
P04		52			48
P05	4	55			41
P06	49	51			

Fonte: Autora, 2018.

A Figura 44 mostra o resultado da análise de difração de raios – X da amostra P01 – profundidade 1. Observa-se que há predominância de caulinita na sua composição, cerca de, 82 %. A presença de caulinita afeta diretamente a plasticidade do solo, pois quanto maior o seu valor, mais plástico será o mesmo. De acordo com os ensaios realizados, tem-se que, a amostra P01- profundidade 1, apresenta IP de 13, valor este que corresponde a um solo de plasticidade média, o que justifica a presença de caulinita. Nota-se também que há aproximadamente 18 % de quartzo, como dito anteriormente, quanto maior é a proporção de quartzo em uma amostra de solo, mais arenoso será o mesmo. A presença de quartzo se explica, pois, através do ensaio de granulometria, obteve-se aproximadamente 23 % de solos granulares (pedregulhos e areias grosso, médio e fino).

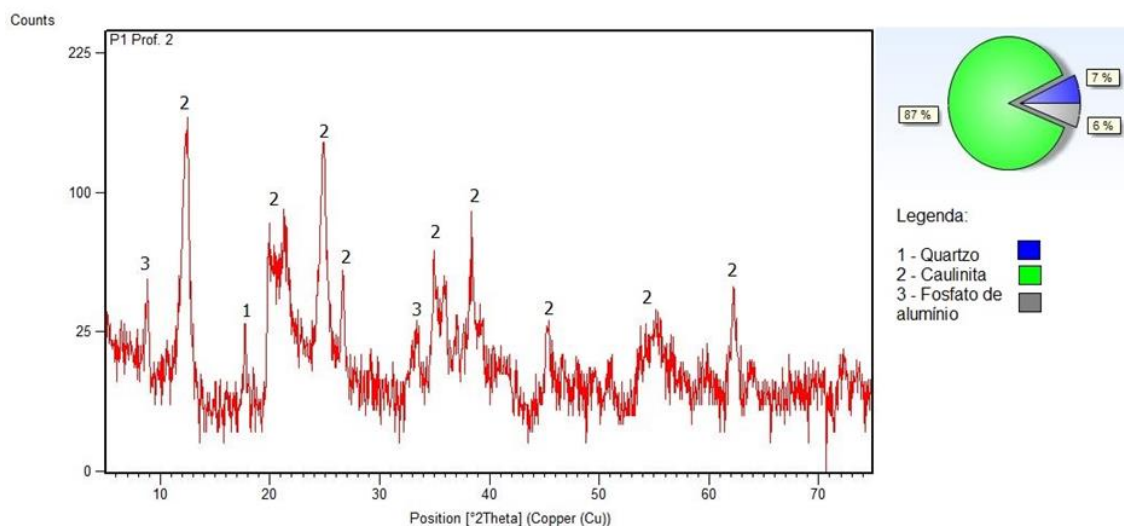
Figura 44 - Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P01 – prof 1



Fonte: Autora, 2018.

Da mesma maneira que na amostra P01- profundidade 1, a amostra P01- profundidade 2 (Figura 45), também apresentou predominância de caulinita em sua composição, aproximadamente 87 %, valor este justificado pelo índice de plasticidade de 11, que também corresponde a um solo de plasticidade média. Obteve-se também 7 % de quartzo, em que no ensaio de granulometria ocorreram 16,5 % de materiais granulares. Percebeu-se também a presença de fosfato de alumínio, cerca de 5 %. O fosfato de alumínio se dá pela geologia existente no local, pois as amostras estão inseridas no domínio DCGMGL.

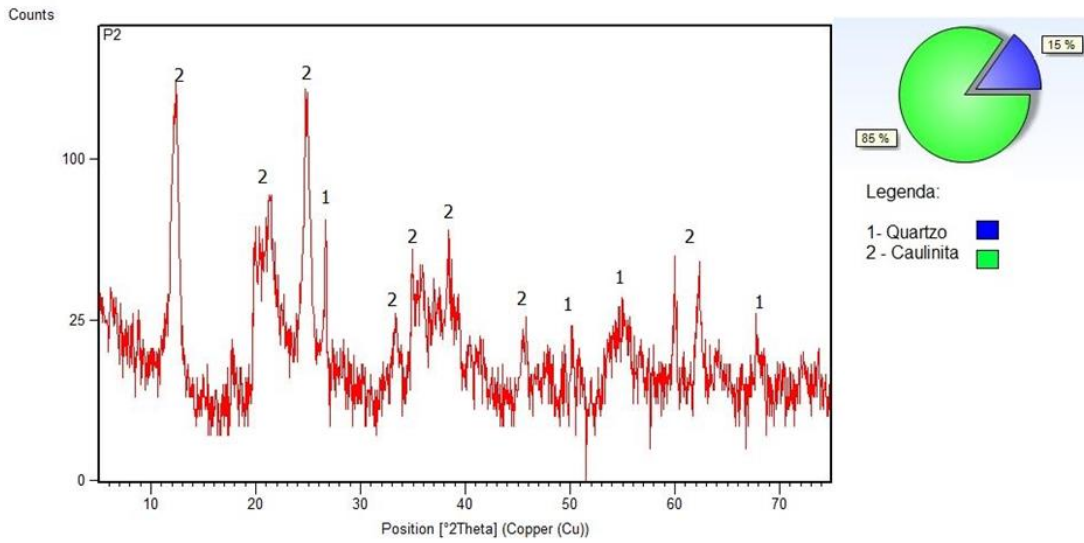
Figura 45- Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P01 – prof 2



Fonte: Autora, 2018.

A amostra P02 (Figura 46) que ocorre dentro da área do futuro campus da UFSC, como a amostra P01 nas duas profundidades, tem o mesmo comportamento da P01 – profundidade 1 (Figura 44), com predominância de caulinita, 85 % e o restante quartzo, 15%. Através dos ensaios de limite de liquidez e plasticidade, obteve-se um IP de 19, valor associado a uma plasticidade média a alta. Observou-se também que o ensaio de granulometria resultou em aproximadamente 22,5 % de materiais granulares.

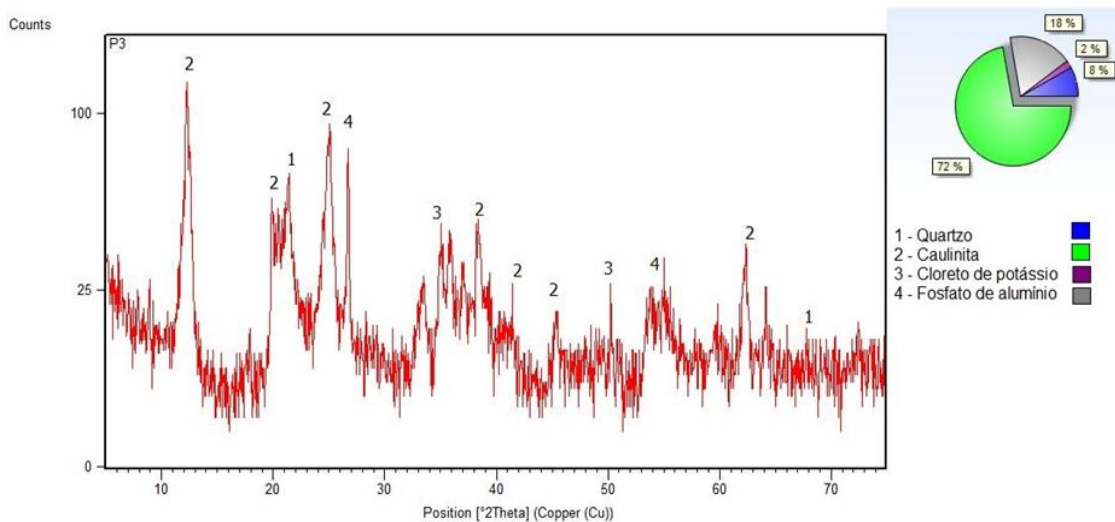
Figura 46 - Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P02



Fonte: Autora, 2018.

Na amostra P03 (Figura 47) obteve-se também predominância de caulinita, 72%, 18 % de fosfato de alumínio, 8 % de quartzo e 2 % de cloreto de potássio. O IP desta amostra foi de 9, valor considerado de baixa plasticidade. Ocorreu também cerca de 27,5 % de materiais granulares, justificando a presença de quartzo. A presença de cloreto de potássio e fosfato de alumínio, como explicado anteriormente, está relacionada à geologia do local e eventual uso de fertilizantes em áreas próximas à coleta.

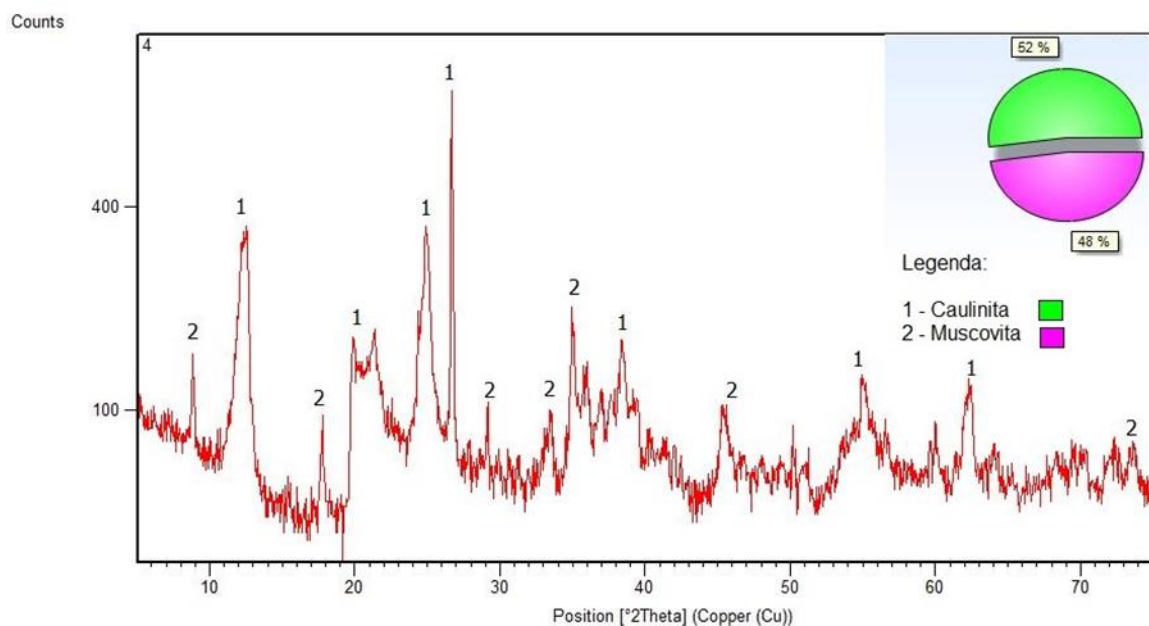
Figura 47 - Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P03



Fonte: Autora, 2018.

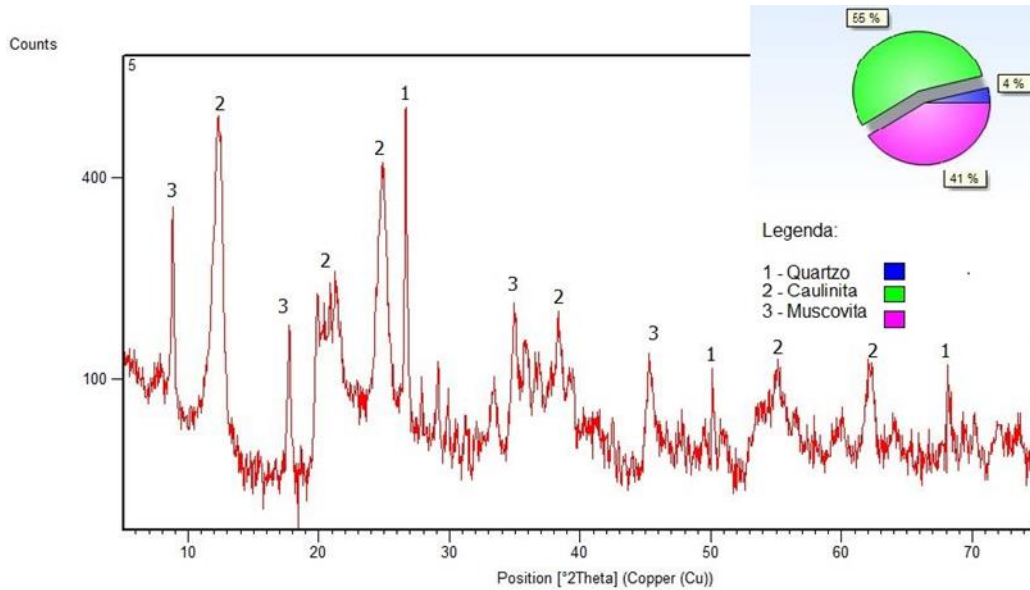
Nas Figuras 48 e 49 estão representadas as análises de DRX das amostras P04 e P05. Em ambas as amostras houve predominância de caulinita em sua composição, na amostra P04 cerca de, 52 % e na P05, 55 %. Os índices de plasticidade das respectivas amostras são de 10 e 16, correspondendo a valores de plasticidades médias. Nas duas amostras ocorreram muscovita. Na amostra P04, 52 % e na amostra P05, 41 %. A muscovita é um mineral do grupo de micas com cor transparente, que ocorre geralmente em granitos e é muito sensível. A muscovita geralmente é encontrada com o quartzo em sedimentos de fundos e margens de rios. Na amostra P04 não houve presença de quartzo na fração fina da amostra. Na amostra P05 observa-se também uma pequena presença de quartzo, aproximadamente 4 %, valor este justificado através do ensaio de granulometria, onde se obteve aproximadamente 38,5 % de solos granulares (MINERALOGIA E QUIMICA DO SOLO, 2014).

Figura 48 - Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P04



Fonte: Autora, 2018.

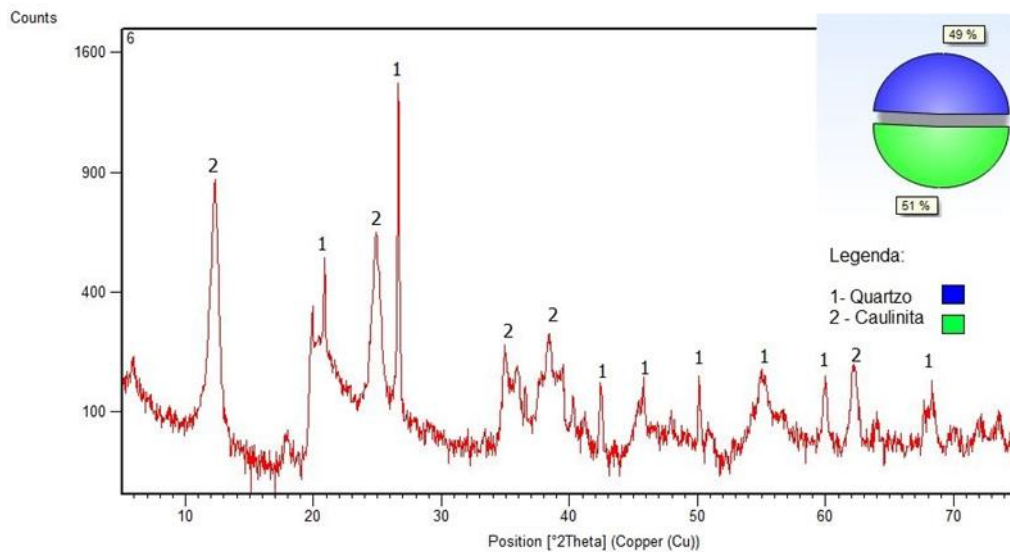
Figura 49 - Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P05



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 50 mostra o resultado da análise de DRX da amostra P06. Os minerais presentes nesta amostra são a caulinita e o quartzo, com 51 e 49 % respectivamente. A predominância da caulinita é justificada pelo índice de plasticidade de 47 %, que é considerado um valor de plasticidade muito alta e, a presença do quartzo pela quantidade de materiais granulares presentes no ensaio de granulometria, de aproximadamente 49,5 %.

Figura 50 - Resultado da análise de difração de raios-X da amostra P06



Fonte: Autora, 2018.

4.5 MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS (G)

Para fins de comparação, foram realizados alguns ensaios de massa específica real dos grãos (G), seguindo-se as diretrizes da norma de pavimentação, DNER ME 093/94 e da norma de solos, ABNT NBR 6508:2017. Quando se realizou o ensaio nas duas normas optou-se por usar o resultado obtido na ABNT NBR 6508:2017 para compilação dos resultados do ensaio de granulometria com sedimentação.

O peso específico dos solos geralmente varia entre 2,6 e 2,9 e os resultados dos ensaios ficaram entre 2,650 e 2,822.

Foi possível comparar os resultados dos pesos específicos dos solos ensaiados com a Tabela 5, proposta por Das (2007).

As amostras P01 – profundidade 1, P02 e P06 obtiveram apenas presença de caulinita e quartzo em sua composição. Os pesos específicos encontrados foram de 2,746 (DNER ME 093/94) para amostra P01 – profundidade 1, 2,720 (DNER ME 093/94) para amostra P02 e 2,651 (ABNT NBR 6508:2017) para a amostra P06. O valor do peso específico dos solos com presença de caulinita é da ordem de 2,60 e quartzo 2,65. Verificou-se que, no ensaio da amostra P06, o resultado do peso específico ficou muito coerente com o valor proposto por Das (2007), salienta-se também que, nesta amostra houve ocorrência de 49 % de quartzo em sua composição.

Nas amostras P01 – profundidade 2 e P03, também se obteve presença de caulinita e quartzo em sua composição, porém também ocorreu presença de fosfato de alumínio e cloreto de potássio. O peso específico encontrado nestas amostras foi de 2,817 e 2,822 (DNER ME 093/94), respectivamente. Como o potássio é um tipo de feldspato e, o peso específico do feldspato potássio é de aproximadamente 2,57, entretanto, possivelmente a presença do quartzo fez com que os valores obtidos fossem um pouco mais altos do que os valores típicos para solos com presença de feldspatos.

O peso específico encontrado na amostra P04 foi de 2,784 (DNER ME 093/94) e 2,712 (ABNT NBR 6508:2017). Nesta amostra ocorreu cerca de, 52 % de caulinita e 48 % de muscovita em sua composição, como dito anteriormente o peso específico de materiais com caulinita é da ordem de 2,60 e muscovita 2,76 a 3,1, o que torna ambos os resultados satisfatórios.

A amostra P05 tem presença de quartzo, caulinita e muscovita em sua composição. O ensaio de densidade real dos grãos forneceu resultados de 2,777 (DNER ME 093/94) e 2,650

(ABNT NBR 6508:2017) para os respectivos ensaios. Nota-se que ambos os resultados estão coerentes com os pesos específicos dos minerais encontrados na amostra.

4.6 MAPA ORIENTATIVO

Para realização do mapa orientativo dos tipos de solos presentes no local utilizaram-se as Classificações Unificada e Rodoviária (AASHTO).

Para elaboração do mapa na amostra P01 utilizou-se apenas a classificação obtida na profundidade superficial.

Observou-se que as amostras P01 – superficial e P02 que estão na área do campus (área circulada vermelha) apresentam o mesmo tipo de solo segundo as classificações realizadas, sendo elas, silte de alta compressibilidade (MH) e solo argiloso (A7-5) e por isso calculou-se um k médio de $1,54 * 10^{-9}$ m/s para esta região, obtendo-se um solo de caráter argiloso de acordo com o coeficiente de permeabilidade.

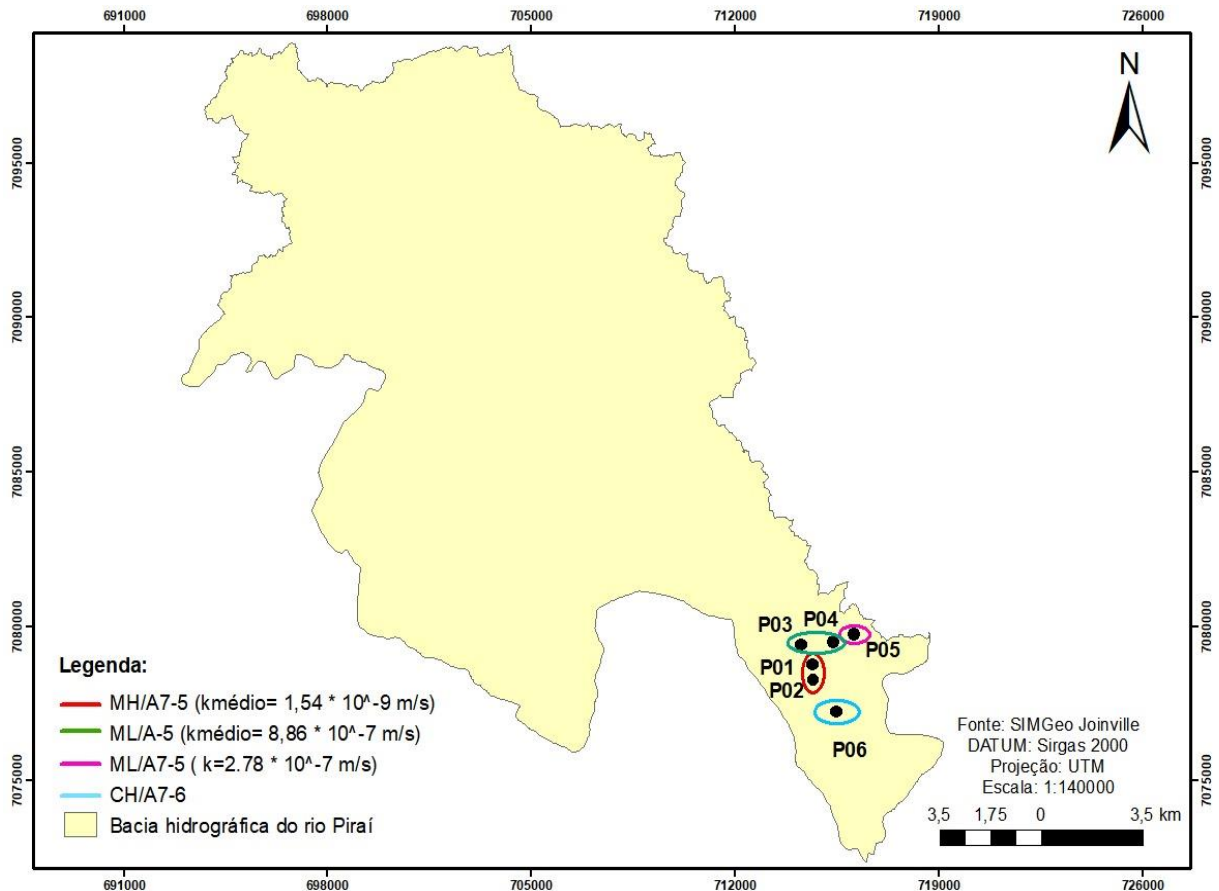
As amostras P03 e P04 também apresentam o mesmo tipo de solo, silte de baixa compressibilidade (ML) e solos siltosos (A-5) com k médio de $8,86 * 10^{-7}$ m/s, que corresponde a um valor típico de solo com caráter siltoso.

A amostra P05 apresentou classificação de silte de baixa compressibilidade (ML) e solo argiloso (A7-5) com coeficiente de permeabilidade $2,78 * 10^{-7}$ m/s, valor este que corresponde a solos siltosos.

Na amostra P06 se obteve as classificações CH/A7-6, que são argilas de alta compressibilidade e solos argilosos, respectivamente. Lembrando que não foi possível se obter o coeficiente de permeabilidade da amostra P06.

A Figura 51 mostra um mapa orientativo com os tipos de solos presentes na área de estudo e seus respectivos coeficientes de permeabilidade.

Figura 51 - Mapa orientativo de solos



Fonte: Autora, 2018.

De acordo com o mapa orientativo dos tipos de solo existentes na área de estudo e os minerais obtidos com o software X'Pert High Score Plus pode-se fazer uma comparação com a geologia predominante na região.

Os solos da região apresentaram classificações de solos com caráter siltosos e argilosos. As rochas compostas por minerais como o feldspato, micas (muscovitas) e minerais ferromagnesianos (biotita, olivina e piroxênios) são os principais formadores dos solos argilosos. O principal formador da argila é a caulinita, que poucas vezes encontra-se pura (cor branca). Outros minerais como silício, alumínio, ferro e manganês também estão presentes, sendo que, os dois últimos são responsáveis pela coloração do solo (OLIVEIRA *et al*, 1998).

O principal mineral presente em solos arenosos é o quartzo, e quanto maior sua proporção em quantidade na rocha, maior será sua resistência (OLIVEIRA *et al*, 1998).

Os solos siltosos possuem partículas com diâmetros menores que a areia fina e maiores que a argila. O silte é chamado de poeira de pedra e é resultado do processo de esmigalhamento de rochas, e quando unido às partículas de argila formam o mesmo. A

maioria dos minerais encontrados nas argilas podem também ser encontrados nos siltes (OLIVEIRA *et al*, 1998).

Os minerais encontrados nos solos da região foram a caulinita, o quartzo, a muscovita, o fosfato de alumínio e o cloreto de potássio. Estes minerais encontrados estão de acordo com os minerais típicos do domínio geológico DCGMGL, e dos solos encontrados na região.

5 CONCLUSÃO

Através de ensaios como granulometria com sedimentação, limite de liquidez, limite de plasticidade e densidade real dos grãos foi possível classificar os solos existentes na região de implantação do futuro Campus da UFSC na bacia do Rio Pirai. Para realizar a classificação foram usados os sistemas de Classificação Unificada e Classificação Rodoviária (AASHTO).

Ensaio complementares como ensaios de permeabilidade e difractometria de raios – X foram realizados para se conhecer a capacidade de infiltração dos solos e sua composição mineralógica, respectivamente.

De acordo com os ensaios citados acima, os solos existentes na região onde serão construídos os prédios da futura universidade, que são as amostras P01 – profundidade 1 e P02, foram classificados como siltes de alta compressibilidade e solos argilosos, de acordo com as classificações Unificada e Rodoviária (AASHTO). Os ensaios de limites de Atterberg resultaram em solos com plasticidade média a alta. Os ensaios de permeabilidade mostraram que ambos os solos possuem caráter argiloso. Através do ensaio de difractometria de raios-X foi possível identificar os argilominerais presentes nestes solos. Estas amostras obtiveram predominância de caulinita em sua composição, e presença de quartzo em menor quantidade.

A amostra P01 – profundidade 2 que também está na região onde serão construídos os prédios da universidade, e a amostra P05 foram classificadas como siltes de baixa compressibilidade e solos argilosos, de acordo as classificações Unificada e Rodoviária (AASHTO). O índice de plasticidade forneceu solos de plasticidade média. O coeficiente de permeabilidade da amostra P05 é típico de solos de caráter siltosos. Os minerais presentes nessas amostras foram a caulinita em maior proporção e o quartzo em menor quantidade. Na amostra P01 – profundidade 2 ocorreu também pequena quantidade de fosfato de alumínio e na amostra P05 ocorreu quantidade significativa de muscovita.

As amostra P03 e P04 foram classificadas como siltes de baixa compressibilidade (Unificada) e solos siltosos (AASHTO), com plasticidades baixa e média, respectivamente. O ensaio de permeabilidade forneceu solos com caráter siltoso para amostra P03 e argiloso para a amostra P04. Ambas as amostras obtiveram predominância de caulinita em sua composição.

A amostra P03 apresentou também quartzo, fosfato de alumínio e cloreto de potássio em sua composição. Além da caulinita, na amostra P04 ocorreu a muscovita.

Os solos da amostra P06 foram classificados como argilas de alta compressibilidade (Unificada) e solos argilosos (AASHTO), com índice de plasticidade muito alto. Esta amostra apresentou também predominância de caulinita em sua composição, com presença secundária de quartzo.

De acordo com os resultados obtidos nas classificações, ensaios de coeficiente de permeabilidade e difractometria de raios – X foi possível realizar um mapa orientativo com os solos existentes na região e observou-se que todos os resultados estão coerentes e se aplicam as características dos domínios geológicos DC e DCGMGL, que predominam na região da coleta das amostras.

Este estudo inicial dos solos presentes na região de implantação no campus da futura UFSC fornece as diretrizes preliminares para futuras avaliações do comportamento do terreno local e para elaboração de projetos futuros.

Este trabalho já foi aceito no XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG 2018 com o título “Caracterização e classificação de solos da área de implantação do Campus da UFSC Joinville/SC”.

Como orientação para trabalhos futuros, sugere-se realizar novamente a coleta de solos nos pontos de estudo e, realizar a Classificação MCT (Miniatura Compacto Tropical). A Classificação MCT é amplamente utilizada para classificar solos tropicais, como os que existem na região, e os sistemas de Classificação Unificada e Rodoviária (AASHTO) empregados nestes tipos de solos podem não ser tão precisos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo-preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. São Paulo: ABNT, 1986.
- _____. **NBR 14545**: Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. São Paulo: ABNT, 2000.
- _____. **NBR 6459**: Determinação do limite de liquidez. São Paulo: ABNT, 2017.
- _____. **NBR 6502**: Rochas e solos. São Paulo: ABNT, 1995.
- _____. **NBR 6508**: Determinação da massa específica. São Paulo: ABNT, 2017.
- _____. **NBR 7180**: Determinação do limite de plasticidade. São Paulo: ABNT, 2016.
- _____. **NBR 7181**: Análise granulométrica. São Paulo: ABNT, 2017.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988.
- CASSARO, Raul. **Caracterização dos solos e avaliação de técnicas de recuperação na voçoroca do córrego do cravo (Nazareno - MG)**. 2015. 87 f. Monografia - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- CATANI, R.A. **Formas de ocorrência do fósforo no solo latossólico roxo**. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aesalq/v25/10.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2018.
- CHIOSSI, Nivaldo José. **Geologia aplicada à engenharia**. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1983.
- Conheça os três tipos principais de solo: areia, silte e argila**. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=59>>. Acesso em: 18 jun. 2018.
- COSTA, Jorge Alberto. **Caracterização dos argilominerais em matéria prima cerâmica da formação do Rio do Rasto, bacia do Paraná, nos municípios de Turvo e Meleiro, sudeste de Santa Catarina**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- CPRM**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/>>. Acesso em: 26 maio 2018.
- DALMOLIN, Jorge. **Geologia do município de Joinville**. Joinville, 2018.
- DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. São Paulo: Ligia Cosmo Cantarelli, 2007.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ME 093**: Determinação da densidade real. São Paulo: DNER, 1994.

ENTENDENDO A GEOLOGIA. 2012. Disponível em: <<http://entendendoageologiaufba.blogspot.com/2012/03/muscovita-resumo-amuscovita-recebeu.html>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

ESCOBAR, Francisco. **Estudos Geotécnicos para Caracterização de Solos nas Cicatrizes de um Escorregamento no Distrito de Conquista: Nova Friburgo/RJ.** Disponível em: <http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2012/relatorios_pdf/ctc/CIV/CIV-FranciscoEscobar.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2018.

FERNANDES, Manuel de Matos. **Mecânica dos solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

FOSSARI, T. D. (Coord). **Levantamento arqueológico interventivo na área de implantação do Campus Universitário DA UFSC no município de Joinville/SC.** 2010. 22 p. Projeto de Pesquisa. Laboratório de Arqueologia, Laboratório de Etnologia Indígena, Museu Universitário, Oswaldo Rodrigues Cabral, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, fev. 2010.

GEOTECNIA, Torres. **Limite de Contração.** Disponível em: <<http://www.torresgeotecnia.com.br/portfolio-view/limite-de-contracao/>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

GEOTÉCNICA, Lagetec - Laboratório de. **DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DO SOLO.** Disponível em: <<http://www.lagetec.ufc.br/wp-content/uploads/2016/03/Ensaio-para-determinação-da-permeabilidade-de-material-granular.pdf>>. Acesso em: 06 maio 2018.

HACHICH, Waldemar et al. **Fundações teoria e prática.** 2. ed. São Paulo: Pini Ltda., 1998.

ICSD - **Inorganic Crystal Structure Database.** Disponível em: <http://www2.fiz-karlsruhe.de/icsd_web.html>. Acesso em: 26 maio 2018.

JANEIRO, Puc - Rio de. **Caracterização dos solos residuais: Gênese, composição e comportamento observado.** Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11888/11888_3.PDF>. Acesso em: 09 abr. 2018.

MACHADO, André da Silveira. **Quantificação do teor de char e finos de coque no pó de balão do alto-forno por difração de raios-x.** 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MAIA, Bianca Goulart de Oliveira et al. **Bacias Hidrográficas da Região de Joinville.** 2017. Disponível em: <http://www.cubataojoinville.org.br/_publicacoes/bacias-hidrograficas-da-regiao-de-joinville.pdf>. Acesso em: 26 maio 2018.

MICROQUÍMICA, 2018. Disponível em: <<https://www.microquimica.com/site/inicio>>. Acesso em: 06 jul. 2018.

MINERALOGIA E QUÍMICA DO SOLO. 2014. Disponível em: <<http://mineralogiaequimicadosolo.blogspot.com/2014/04/composicao-da-fase-solida-mineral-do.html>>. Acesso em: 08 jun. 2018.

NUTRIÇÃO DE PLANTAS. Disponível em: <<https://www.microquimica.com/site/nutricaoplantas/8/potassio>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Nertan Alves de. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Oficina de Textos, 1998.

OLIVEIRA, Kamila Almeida de. **Caracterização e classificação do resíduo de Lã de Rocha para utilização na indústria cimenteira**. 2013. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Unesc, Criciúma, 2013.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, Eliana Fernandes dos. **Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas a solos tropicais**. 2016. 145 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.

SANTOS, Jaime. **ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO EM SOLOS**. Disponível em: <<http://www.civil.ist.utl.pt/~jaime/capitulo2.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2018.

SANTOS, P. de S. **Tecnologia de Argilas Aplicada às Argilas Brasileiras**. 802p. 1975.

SENCO, Wlastemiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação - Volume 1**. São Paulo: Pini Ltda., 2008.

SIMGEO Joinville. Disponível em: <<https://www.joinville.sc.gov.br/servicos/sistema-de-informacoes-municipais-georreferenciadas-simgéo/>>. Acesso em: 26 maio 2018. Arquivo

TERGOLINA, Heloisa Moura. **Síntese de zeólitas e extração de sílica amorfa a partir de cinzas volantes de carvão**. 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

UFRGS. **Difração de Raios X**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/lacer/wordpress/wp-content/uploads/2010/09/Formulário-para-análise-de-DRX.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2018.

APÊNDICE A – LIMITES DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180
SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

Amostra:

Amostra P01- prof 1

Data:

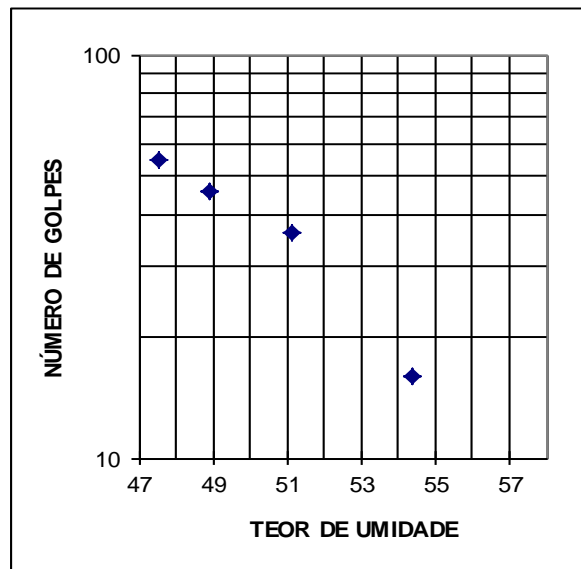
08/05/18

ENSAIOS FÍSICOS

Cápsula nº	LIMITE DE LIQUIDEZ				LIMITE DE PLASTICIDADE					
	02	86	87	99	2	4	5			
Cápsula + Solo Úmido (g)	21,44	22,20	24,18	23,49		9,83	9,79	10,22		
Cápsula + Solo Seco (g)	16,70	17,39	18,85	18,56		9,60	9,60	9,90		
Massa da Cápsula (g)	7,98	7,98	7,95	8,19		9,02	9,15	9,15		
Massa da Água (g)	4,74	4,81	5,33	4,93		0,23	0,19	0,32	-	-
Massa do Solo Seco (g)	8,72	9,41	10,90	10,37		0,58	0,45	0,75	-	-
Teor de Umidade (%)	54,36	51,12	48,90	47,54		39,66	42,22	42,67	-	-
Número de Golpes	16	36	46	55						

RESUMO DOS ENSAIOS

LL	LP	IP
55	42	13



SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180
SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

Amostra:

Amostra P01- prof 2

Data:

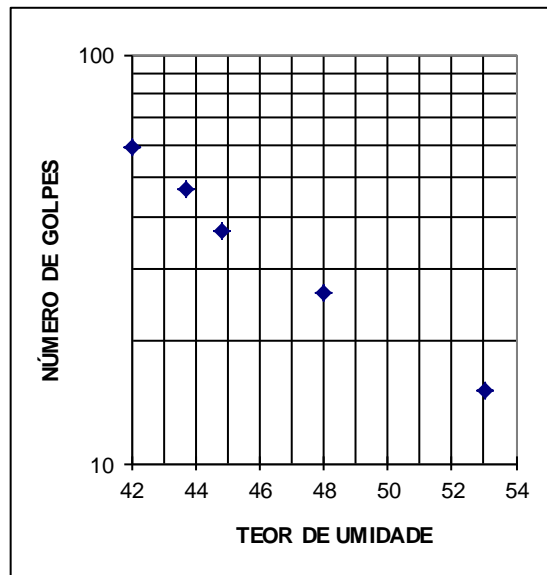
08/05/18

ENSAIOS FÍSICOS

Cápsula nº	LIMITE DE LIQUIDEZ					LIMITE DE PLASTICIDADE				
	16	42	52	57	73	2	4	6		
Cápsula + Solo Úmido (g)	19,98	21,31	20,15	21,24	20,51	13,55	12,09	11,59		
Cápsula + Solo Seco (g)	15,76	17,17	16,38	17,26	16,90	12,55	11,51	11,13		
Massa da Cápsula (g)	7,80	8,54	7,97	8,16	8,31	9,85	9,99	9,97		
Massa da Água (g)	4,22	4,14	3,77	3,98	3,61	1,00	0,58	0,46		
Massa do Solo Seco (g)	7,96	8,63	8,41	9,10	8,59	2,70	1,52	1,16		
Teor de Umidade (%)	53,02	47,97	44,83	43,74	42,03	37,04	38,16	39,66		
Número de Golpes	15	26	37	47	59					

RESUMO DOS ENSAIOS

LL	LP	IP
49	38	11



SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180
SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

Amostra:

Amostra 2

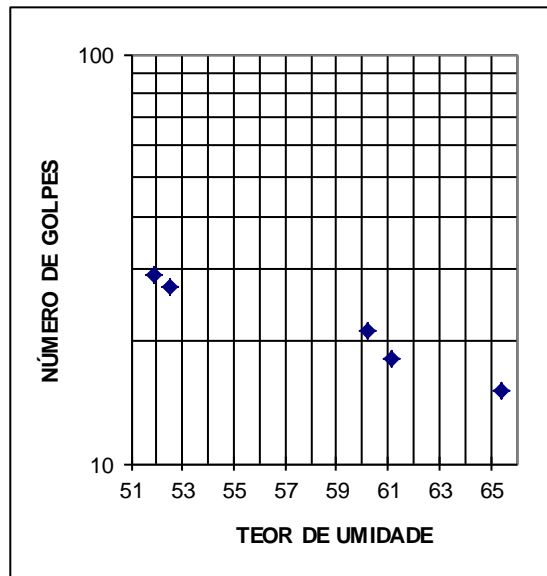
Data:

24/01/17**ENSAIOS FÍSICOS**

Cápsula nº	LIMITE DE LIQUIDEZ					LIMITE DE PLASTICIDADE				
	2	3	4	5	6	1*	2*	3*	4	5
Cápsula + Solo Úmido (g)	27,58	29,90	28,84	29,24	27,94	9,46	9,75	10,50	10,65	9,94
Cápsula + Solo Seco (g)	25,52	28,75	27,04	26,14	25,80	9,22	9,55	10,16	10,48	9,79
Massa da Cápsula (g)	21,55	26,56	24,05	21,07	22,53	8,54	9,00	9,23	9,99	9,34
Massa da Água (g)	2,06	1,15	1,80	3,10	2,14	0,24	0,20	0,34	0,17	0,15
Massa do Solo Seco (g)	3,97	2,19	2,99	5,07	3,27	0,68	0,55	0,93	0,49	0,45
Teor de Umidade (%)	51,89	52,51	60,20	61,14	65,44	35,96	35,71	36,48	34,56	34,51
Número de Golpes	29	27	21	18	15					

RESUMO DOS ENSAIOS

LL	LP	IP
55	36	19



SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180
SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

Amostra:

Amostra 3

Data:

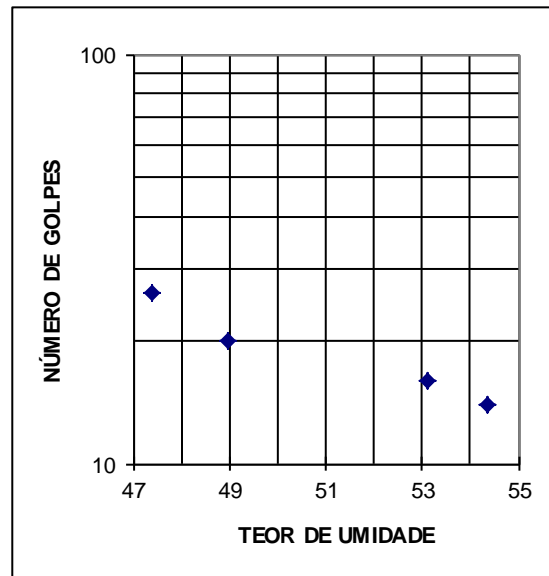
23/01/17

ENSAIOS FÍSICOS

Cápsula nº	LIMITE DE LIQUIDEZ				LIMITE DE PLASTICIDADE			
	1	3	4	5	2	3	4	5
Cápsula + Solo Úmido (g)	30,80	33,04	32,12	29,00	11,49	11,74	11,42	11,48
Cápsula + Solo Seco (g)	28,07	30,90	29,32	26,20	11,05	11,35	11,01	11,05
Massa da Cápsula (g)	22,31	26,53	24,05	21,05	9,86	10,36	9,97	9,94
Massa da Água (g)	2,73	2,14	2,80	2,80	0,44	0,39	0,41	0,43
Massa do Solo Seco (g)	5,76	4,37	5,27	5,15	1,19	0,99	1,04	1,11
Teor de Umidade (%)	47,40	48,97	53,13	54,37	36,97	39,39	39,42	38,74
Número de Golpes	26	20	16	14				

RESUMO DOS ENSAIOS

LL	LP	IP
48	39	9



**SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180
SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459**

Amostra:

Amostra 04

Data:

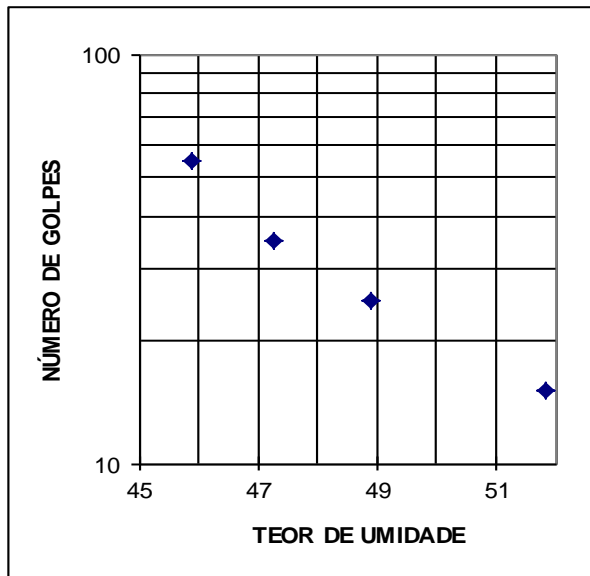
24/01/18

ENSAIOS FÍSICOS

Cápsula nº	LIMITE DE LIQUIDEZ				LIMITE DE PLASTICIDADE				
	19	40	52	97	11	39	51	74	88
Cápsula + Solo Úmido (g)	14,94	15,85	15,94	16,37	14,40	15,01	14,70	14,32	14,28
Cápsula + Solo Seco (g)	12,76	13,44	13,31	13,70	13,62	14,23	13,97	13,56	13,58
Massa da Cápsula (g)	8,01	8,34	7,93	8,55	11,53	12,20	12,12	11,61	11,79
Massa da Água (g)	2,18	2,41	2,63	2,67	0,78	0,78	0,73	0,76	0,70
Massa do Solo Seco (g)	4,75	5,10	5,38	5,15	2,09	2,03	1,85	1,95	1,79
Teor de Umidade (%)	45,89	47,25	48,88	51,84	37,32	38,42	39,46	38,97	39,11
Número de Golpes	55	35	25	15					

RESUMO DOS ENSAIOS

LL	LP	IP
52	39	13



SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180
SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

Amostra:

Amostra 05

Data:

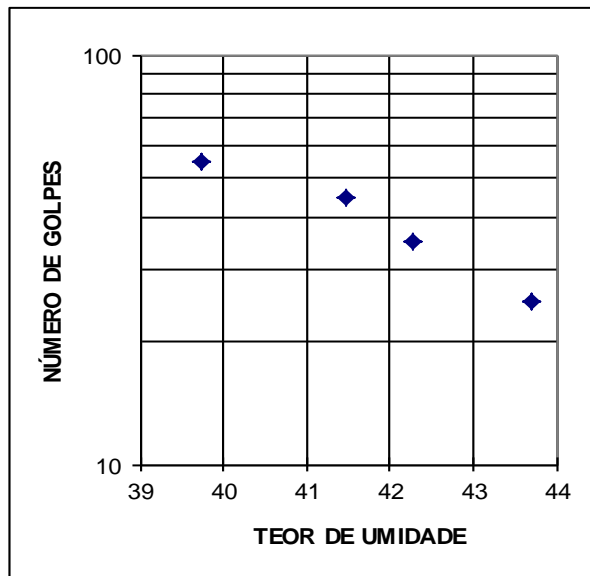
24/01/18

ENSAIOS FÍSICOS

Cápsula nº	LIMITE DE LIQUIDEZ					LIMITE DE PLASTICIDADE				
	08	16	36	60		01	12	20	41	78
Cápsula + Solo Úmido (g)	15,95	15,48	14,80	15,69		15,00	15,12	14,45	14,37	14,80
Cápsula + Solo Seco (g)	13,63	13,22	12,75	13,33		14,30	14,49	13,87	13,77	14,19
Massa da Cápsula (g)	7,79	7,77	7,90	7,93		11,73	12,24	11,76	11,62	11,98
Massa da Água (g)	2,32	2,26	2,05	2,36		0,70	0,63	0,58	0,60	0,61
Massa do Solo Seco (g)	5,84	5,45	4,85	5,40		2,57	2,25	2,11	2,15	2,21
Teor de Umidade (%)	39,73	41,47	42,27	43,70		27,24	28,00	27,49	27,91	27,60
Número de Golpes	55	45	35	25						

RESUMO DOS ENSAIOS

LL	LP	IP
44	28	16



**SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180
SOLO - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459**

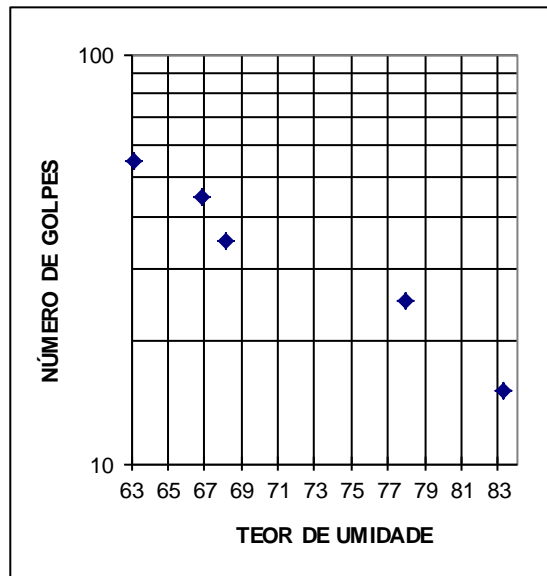
Amostra: **Amostra 06**
Data: **24/01/18**

ENSAIOS FÍSICOS

Cápsula nº	LIMITE DE LIQUIDEZ					LIMITE DE PLASTICIDADE				
	35	23	82	41	56	03	47	69	93	21
Cápsula + Solo Úmido (g)	16,03	15,55	15,94	14,59	16,06	14,18	13,89	13,88	14,54	14,45
Cápsula + Solo Seco (g)	12,96	12,57	12,70	11,62	12,51	13,68	13,39	13,41	14,06	13,95
Massa da Cápsula (g)	8,10	8,11	7,95	7,81	8,25	12,03	11,84	11,85	12,44	12,36
Massa da Água (g)	3,07	2,98	3,24	2,97	3,55	0,50	0,50	0,47	0,48	0,50
Massa do Solo Seco (g)	4,86	4,46	4,75	3,81	4,26	1,65	1,55	1,56	1,62	1,59
Teor de Umidade (%)	63,17	66,82	68,21	77,95	83,33	30,30	32,26	30,13	29,63	31,45
Número de Golpes	55	45	35	25	15					

RESUMO DOS ENSAIOS

LL	LP	IP
78	31	47



APÊNDICE B – DENSIDADE REAL DOS GRÃOS

MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS - "G"

Amostra:		DNER – ME 093/64
Data:		Amostra 01 - Prof 01
Método de remoção de Ar:		6/1/17
		Aquecimento

G					
Picnômetro N°	1	2	3		
Massa Solo + Água (g)	9,19	8,35	6,63		
Massa do Solo Seco (g) (Ws)	9,10	8,27	6,57		
Massa Picnômetro+Solo+Água (g) (W2)	51,23	48,36	46,73		
Massa Picnômetro+Água (g) (W3)	45,45	43,10	42,55		
Temperatura (°C)	22	22	22		
Massa espec. da água na temp. do ensaio	0,9978	0,9978	0,9978		
Massa espec. dos grãos - δ_s (g/cm ³)	2,733	2,748	2,741		
Massa espec. dos grãos médio - δ_s (g/cm ³)	2,741				
Densidade dos grãos - G	2,746				

UMIDADE HIGROSCÓPICA			
Cápsula n°	2		
Tara (g)	23,50		
Tara + Solo + Água (g)	49,55		
Tara + Solo (g)	49,30		
Massa Água (g)	0,250		
Massa Solo (g)	25,800		
Umidade (%)	0,969		
Umidade Média (%)	0,97		

MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS - "G"

Amostra:		DNER – ME 093/64
Data:		Amostra 01 - Prof 02
Método de remoção de Ar:		6/1/17
		Aquecimento

G					
Picnômetro N°	1	2	3		
Massa Solo + Água (g)	8,47	10,52	9,82		
Massa do Solo Seco (g) (Ws)	8,40	10,43	9,74		
Massa Picnômetro+Solo+Água (g) (W2)	50,91	49,82	49,29		
Massa Picnômetro+Água (g) (W3)	45,46	43,09	43,01		
Temperatura (°C)	23	23	23		
Massa espec. da água na temp. do ensaio	0,9976	0,9976	0,9976		
Massa espec. dos grãos - δ_s (g/cm ³)	2,835	2,813	2,810		
Massa espec. dos grãos médio - δ_s (g/cm ³)				2,811	
Densidade dos grãos - G				2,817	

UMIDADE HIGROSCÓPICA			
Cápsula n°	1		
Tara (g)	23,05		
Tara + Solo + Água (g)	61,66		
Tara + Solo (g)	61,34		
Massa Água (g)	0,315		
Massa Solo (g)	38,294		
Umidade (%)	0,823		
Umidade Média (%)	0,82		

MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS - "G"

		DNER – ME 093/64
Amostra:		Amostra 02
Data:		6/1/17
Método de remoção de Ar:		Aquecimento

G					
Picnômetro N°	6	7	9		
Massa Solo + Água (g)	9,09	10,16	7,82		
Massa do Solo Seco (g) (Ws)	8,86	9,91	7,63		
Massa Picnômetro+Solo+Água (g) (W2)	51,07	51,72	49,38		
Massa Picnômetro+Água (g) (W3)	45,47	45,46	44,54		
Temperatura (°C)	22,5	22,5	22,5		
Massa espec. da água na temp. do ensaio	0,9977	0,9977	0,9977		
Massa espec. dos grãos - δ_s (g/cm ³)	2,716	2,710	2,719		
Massa espec. dos grãos médio - δ_s (g/cm ³)				2,715	
Densidade dos grãos - G				2,720	

UMIDADE HIGROSCÓPICA			
Cápsula n°	1		
Tara (g)	22,33		
Tara + Solo + Água (g)	42,01		
Tara + Solo (g)	41,52		
Massa Água (g)	0,490		
Massa Solo (g)	19,190		
Umidade (%)	2,553		
Umidade Média (%)	2,55		

MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS - "G"

Amostra:		DNER – ME 093/64
Data:		Amostra 03
Método de remoção de Ar:		6/1/17
		Aquecimento

G					
Picnômetro Nº	1	4	5		
Massa Solo + Água (g)	7,67	7,80	7,49		
Massa do Solo Seco (g) (Ws)	7,58	7,71	7,40		
Massa Picnômetro+Solo+Água (g) (W2)	50,34	50,44	49,29		
Massa Picnômetro+Água (g) (W3)	45,44	45,46	44,51		
Temperatura (°C)	22,5	22,5	22,5		
Massa espec. da água na temp. do ensaio	0,9977	0,9977	0,9977		
Massa espec. dos grãos - δ_s (g/cm ³)	2,827	2,814	2,811		
Massa espec. dos grãos médio - δ_s (g/cm ³)	2,817				
Densidade dos grãos - G	2,822				

UMIDADE HIGROSCÓPICA			
Cápsula nº	4		
Tara (g)	24,01		
Tara + Solo + Água (g)	71,64		
Tara + Solo (g)	71,08		
Massa Água (g)	0,560		
Massa Solo (g)	47,072		
Umidade (%)	1,190		
Umidade Média (%)	1,19		

MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS - "G"

DNER – ME 093/64

Amostra: **Amostra 04**

Data: **5/10/17**

Método de remoção de Ar: **Aquecimento**

G					
Picnômetro N°	4	5	6		
Massa Solo + Água (g)	3,69	2,85	3,83		
Massa do Solo Seco (g) (Ws)	3,62	2,80	3,77		
Massa Picnômetro+Solo+Água (g) (W2)	47,78	46,28	44,60		
Massa Picnômetro+Água (g) (W3)	45,45	44,49	42,24		
Temperatura (°C)	24	24	24		
Massa espec. da água na temp. do ensaio	0,9973	0,9973	0,9973		
Massa espec. dos grãos - δ_s (g/cm ³)	2,788	2,770	2,663		
Massa espec. dos grãos médio - δ_s (g/cm ³)	2,779				
Densidade dos grãos - G	2,784				

UMIDADE HIGROSCÓPICA			
Cápsula n°	2		
Tara (g)	9,02		
Tara + Solo + Água (g)	15,60		
Tara + Solo (g)	15,48		
Massa Água (g)	0,114		
Massa Solo (g)	6,468		
Umidade (%)	1,763		
Umidade Média (%)	1,76		

MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS - "G" - NBR 6508

ABNT NBR 6508:2017

Amostra:

Amostra 04

Data:

24/1/18

Método de remoção de Ar:

Bomba de Vácuo

G					
Picnômetro N°	10	11	12	13	14
Massa Solo + Água (g)	49,98	49,99	50,00	50,01	50,03
Massa do Solo Seco (g) (Ws)	49,37	49,38	49,39	49,40	49,42
Massa Picnômetro+Solo+Água (g) (W2)	735,16	765,00	748,77	751,24	760,58
Massa Picnômetro+Água (g) (W3)	703,97	733,73	717,62	720,02	729,36
Temperatura (°C)	27	27	27	27	27
Massa espec. da água na temp. do ensaio	0,9965	0,9965	0,9965	0,9965	0,9965
Massa espec. dos grãos - δ_s (g/cm ³)	2,706	2,718	2,699	2,708	2,706
Massa espec. dos grãos médio - δ_s (g/cm ³)	2,707				
Densidade dos grãos - G	2,712				

UMIDADE HIGROSCÓPICA			
Cápsula n°	12	81	57
Tara (g)	8,00	8,06	8,13
Tara + Solo + Água (g)	19,72	17,63	20,81
Tara + Solo (g)	19,58	17,52	20,64
Massa Água (g)	0,140	0,110	0,170
Massa Solo (g)	11,580	9,460	12,510
Umidade (%)	1,209	1,163	1,359
Umidade Média (%)	1,24		

MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS - "G"

Amostra:		DNER – ME 093/64
Data:		Amostra 05
Método de remoção de Ar:		5/10/17
		Aquecimento

G					
Picnômetro N°	7	8	9		
Massa Solo + Água (g)	3,38	3,41	3,09		
Massa do Solo Seco (g) (Ws)	3,32	3,35	3,03		
Massa Picnômetro+Solo+Água (g) (W2)	46,13	46,78	36,46		
Massa Picnômetro+Água (g) (W3)	44,00	44,64	34,48		
Temperatura (°C)	24	24	24		
Massa espec. da água na temp. do ensaio	0,9973	0,9973	0,9973		
Massa espec. dos grãos - δ_s (g/cm ³)	2,776	2,767	2,868		
Massa espec. dos grãos médio - δ_s (g/cm ³)	2,772				
Densidade dos grãos - G	2,777				

UMIDADE HIGROSCÓPICA			
Cápsula n°	4		
Tara (g)	9,15		
Tara + Solo + Água (g)	15,28		
Tara + Solo (g)	15,17		
Massa Água (g)	0,107		
Massa Solo (g)	6,021		
Umidade (%)	1,782		
Umidade Média (%)	1,78		

MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS - "G" - NBR 6508

ABNT NBR 6508:2017

Amostra:

Amostra 05

Data:

24/1/18

Método de remoção de Ar:

Bomba de Vácuo

G					
Picnômetro N°	1	2	3	4	9
Massa Solo + Água (g)	49,99	49,99	50,11	50,02	49,98
Massa do Solo Seco (g) (Ws)	49,38	49,38	49,50	49,41	49,37
Massa Picnômetro+Solo+Água (g) (W2)	800,40	808,75	798,32	806,25	752,38
Massa Picnômetro+Água (g) (W3)	769,61	777,93	767,39	775,47	721,37
Temperatura (°C)	32	32	32	32	32
Massa espec. da água na temp. do ensaio	0,9951	0,9951	0,9951	0,9951	0,9951
Massa espec. dos grãos - δ_s (g/cm ³)	2,643	2,647	2,653	2,639	2,676
Massa espec. dos grãos médio - δ_s (g/cm ³)	2,646				
Densidade dos grãos - G	2,650				

UMIDADE HIGROSCÓPICA			
Cápsula n°	21	84	98
Tara (g)	8,20	7,61	8,34
Tara + Solo + Água (g)	21,74	19,91	20,24
Tara + Solo (g)	21,58	19,75	20,10
Massa Água (g)	0,160	0,160	0,140
Massa Solo (g)	13,380	12,140	11,760
Umidade (%)	1,196	1,318	1,190
Umidade Média (%)	1,23		

MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS - "G" - NBR 6508

ABNT NBR 6508:2017

Amostra:

Amostra 06

Data:

24/1/18

Método de remoção de Ar:

Bomba de Vácuo

G					
Picnômetro N°	1	2	3	4	9
Massa Solo + Água (g)	49,99	50,01	50,02	50,00	50,06
Massa do Solo Seco (g) (Ws)	49,21	49,23	49,24	49,22	49,28
Massa Picnômetro+Solo+Água (g) (W2)	800,16	808,64	798,02	806,01	752,01
Massa Picnômetro+Água (g) (W3)	769,56	777,92	767,28	775,33	721,25
Temperatura (°C)	28	28	28	28	28
Massa espec. da água na temp. do ensaio	0,9963	0,9963	0,9963	0,9963	0,9963
Massa espec. dos grãos - δ_s (g/cm ³)	2,635	2,650	2,652	2,645	2,651
Massa espec. dos grãos médio - δ_s (g/cm ³)	2,647				
Densidade dos grãos - G	2,651				

UMIDADE HIGROSCÓPICA			
Cápsula n°	7	64	83
Tara (g)	8,20	8,08	8,10
Tara + Solo + Água (g)	23,76	24,38	22,49
Tara + Solo (g)	23,48	24,09	22,33
Massa Água (g)	0,280	0,290	0,160
Massa Solo (g)	15,280	16,010	14,230
Umidade (%)	1,832	1,811	1,124
Umidade Média (%)	1,59		