



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Instituto de Geociências



**Estudo da Permeabilidade e Características Físicas do Solo na
Fazenda Argentina no Município de Campinas, SP**

Vinícius Thomazelli Mendes

Autor

Prof. Dr. Jefferson de Lima Picanço

Orientador

Campinas

Junho de 2017

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Estudo da Permeabilidade e Características Físicas do Solo na Fazenda Argentina no Município de Campinas, SP

Vinícius Thomazelli Mendes

Autor

Prof. Dr. Jefferson de Lima Picanço

Orientador

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de geociências da UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do grau de bacharel em Geologia.

Examinadores:

Prof. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira

Prof. Dr. Alfredo Borges de Campos

Campinas

Junho de 2017

“C’mon you apes! You wanna live forever?!”

*-Robert E. Heinlein, *Starship Troopers*.*

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a meus pais, Edson e Rosangela. Sem eles e todo o apoio nestes anos todos, nada disso seria possível. Em segundo lugar, meus grandes amigos, Alexandre Bliska, Guilherme “Bandido Mau” Tosadori, Gustavo “Guaçu” Paulo, Gabriel “Palmito” dos Santos, João “Jão” Ralha, Vitor “Foo Fighters” Carraro, Leonel Mendes, Lucas Amici, Lays Mengal, Mateus “Chicken” Basso, Tainá Souza e Tales “Talão” Almeida, Teocarlos “Téo” Alita, Vinicius “MV” Theodoro; o tanto de cervejas que tomamos não chega perto da importância do apoio e amizade de vocês. Também gostaria de agradecer a todos os meus camaradas do famigerado “Bonde da Física 3”: nosso esforço superou o IFGW e finalmente, estamos livres!

Outra parte dos meus agradecimentos eu gostaria de dedicar ao meu orientador, Prof. Jefferson Picanço, e por toda sua paciência e dedicação durante todo o projeto. A todos os professores do IG, aos funcionários, em particular à Jô, sempre guiando e informando dos pormenores da graduação. Aos técnicos do laboratório de geotecnia da engenharia civil pelo apoio e orientação e ao meu colega de trabalho, Joel Viltus, pois trabalhamos duro e sabemos das dificuldades encontradas. Também gostaria de agradecer ao pessoal do laboratório de geotecnia da Escola de Engenharia da USP de São Carlos, em particular ao Moisés Failache, pois sem seu trabalho, orientação e prestatividade, este trabalho não teria sido concretizado e também ao técnico do laboratório, Oscar dos Santos Neto, por fornecer em ótimas condições o permeâmetro de Guelph adaptado para o trabalho e ao professor Lázaro Zuchetti, por nos receber e dar importantes dicas para realização do trabalho; estendo meus agradecimentos também ao geógrafo Dr. Vanderlei Braga, da secretaria de planejamento da UNICAMP por disponibilizar os shapefiles e arquivos de modelo digital de elevação utilizados no estudo.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer à HeinekenTM do Brasil, AMBEV®, FEMSA® e todos os distribuidores e locais de venda de bebidas alcoólicas em Barão Geraldo. Se nenhum de vocês existisse meus fins de semana seriam imprestáveis e monótonos e eu teria tido um total de zero namoradas durante toda graduação.

Muito obrigado!

Resumo

Em estudos geotécnicos, a permeabilidade do solo é um fator sempre levado em consideração, pois irá determinar certos fatores em obras civis, como escoamento e percolação de água em barragens, rebaixamento de fundações e limites físicos do solo.

Neste trabalho, procura-se estabelecer uma metodologia para medição de dados de permeabilidade de solos através do permeâmetro de Guelph, um instrumento cujas vantagens como mobilidade, rapidez de medição e simplicidade de operação superam suas desvantagens em relação à métodos mais tradicionais, assim como a correlação destas medidas de permeabilidade com as características geotécnicas de manejo do solo. Tal conjunto de dados serve como importante auxílio para áreas que venham a ser ocupadas por construções civis. Para o estudo, foi escolhida a Fazenda Argentina, agora Área de Expansão da UNICAMP, uma propriedade rural localizada no Distrito de Barão Geraldo em Campinas – SP, a despeito da quantidade considerável de estudos de caracterização pedológica, a área carecia de estudos geotécnicos sistemáticos, o que motivou o andamento do estudo para que, futuramente, possam auxiliar em outras pesquisas que venham a ser desenvolvidas na área.

Palavras-Chave: *Permeabilidade; Permeâmetro de Guelph; Geotecnia; Mecânica-dos-Solos; Geologia de Engenharia.*

Abstract

When dealing with geotechnical analysis, soil permeability is a major factor to be evaluated, for it will determine certain factors used in civil construction, such as percolation and water flow in dams, foundation sinking and the soil's physical limits;

This work tries to establish a methodology for measuring soil permeability data using the Guelph's permeameter, an instrument which its limitations are far exceeded by its advantages in use, such as mobility, fast measurements and easy operation, when compared to more traditional and established methods; the study also intends to correlate such measurements with the soil's geotechnical handling properties. Such data may serve as a ground study for areas that may be subject to civil construction.

The study was conducted on the Fazenda Argentina, now denominated as UNICAMP's Expansion Area, a rural estate located in the Barão Geraldo District of Campinas – SP, because, despite the considerable amount of pedological studies conducted in the was still a lack of systematic geotechnical studies, which turned out to be the main reason for the study's development, for it may assist in the near future any other research conducted in the area.

Keywords: *Permeability; Guelph's Permeameter; Geotechnics; Soil Mechanics; Engineering Geology.*

Lista de Siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CPqD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
DGT – Laboratório de Geotecnia e Transportes
FEC – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo
IAC – Instituto Agronômico de Campinas
IG – Instituto Geológico [de São Paulo]
IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico
IP – Índice de Plasticidade
LP – Limite de Plasticidade
LL – Limite de Liquidez
MDT – Modelo Digital de Terreno
MDE – Modelo Digital de Elevação
SIG – Sistema de Informações Georreferenciadas
SP – São Paulo
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
UTM – Universal Transversa de Mercator
ZCC – Zona de Cisalhamento Campinas

Lista de Unidades e Grandezas

ϕ_m - Potencial mátrico
 α [cm^{-1}] –
 γ – Peso Específico Natural dos Solos
 $^{\circ}\text{C}$ – Graus Celsius
 cm^2 - Centímetros quadrados
 cm/s – Centímetros por segundo
 cm^2/s – Centímetros quadrados por segundo
 g - Gramas
 g/cm^3 - Gramas por centímetros cúbicos
 kg - Quilogramas
 km – Quilômetros
 km^2 - Quilômetros quadrados

k_s – Condutividade hidráulica saturada

k_{fs} – Condutividade hidráulica saturada de campo

ml - Mililitros

mm – Milímetros

l - Litros

Lista de Figuras

Figura 1: fluxograma descrevendo como o projeto foi desenvolvido.

Figura 2: mapa com as principais características físicas da área de estudo.

Figura 3: mapa de declividade da área de estudo.

Figura 4: Mapas de fluxo superficial sobreposto sobre modelo digital de elevação (MDE).

Figura 5: Pontos de coleta das amostras de solo na área de estudo.

Figura 6: Esquema representativo do ensaio de sedimentação (Pinto, 2002, p.10)

Figura 7: Limites de Atterberg (Pinto, 2002, p.13).

Figura 8: Aparelho de Casagrande (<http://www.labgeo.ufscar.br/images/pages/03565.jpg>).

Figura 9: Ensaio para determinação do índice LP (<http://www.labgeo.ufscar.br/images/pages/03562.jpg>).

Figura 11: permeâmetro de Guelph; retirada do manual de instruções e operação do aparelho, publicado por Eijkelkamp – Soil & Water.

Figura 12: operação do permeâmetro de Guelph adaptado.

Figura 13: exemplo da tabela usada para o cálculo dos dados de permeabilidade (FAILACHE, M.F., 2017).

Figura 14: localização da área de estudo e seus principais pontos de acesso (Google Earth).

Figura 15: mapa pedológico do Município de Campinas – SP; área de estudo destacada em preto (IAC, 2008).

Figura 16: mapa adaptado de FERNANDES, *et al.* In: INSTITUTO GEOLÓGICO, 1993 mostrando as principais litologias no substrato da área de estudo.

Figura 17: mapa hidrográfico do Município de Campinas - SP (IGC, 2003).

Figura 18: gráfico de distribuição granulométrica acumulada das amostras.

Lista de Equações

Equação 1: Lei de Stokes; V_s é a velocidade de sedimentação das partículas; g é a aceleração da gravidade; ρ_p é a densidade das partículas e ρ_f é a densidade do fluido.

Equação 2: equação do peso específico natural do solo (γ_n) onde P é o peso total do solo e V é o volume total dele.

Equação 3: equação utilizada para determinação da vazão. Q = vazão do regime permanente; R = razão da vazão constante obtida durante os ensaios; A = área do reservatório do permeâmetro utilizado.

Equação 4: H = altura da carga hidráulica; a = diâmetro do orifício no solo; α = índice estimado por avaliação visual *in situ* da macro-porosidade (fissuras, formigueiros, furos de raízes, etc.) e textura do solo, a partir da Tabela 1; C = fator de forma, dependente da razão de H sobre a e de α , dado pela Equação 3.

Equação 5: determinação do fator de forma C ; H , a e α são os mesmo parâmetros usados na Equação 2.

Lista de Tabelas

Tabela 1: Índices de Atterberg de alguns solos brasileiros (Pinto, 2005, p. 14).

Tabela 2: valores α sugeridos (Elrick *et al.*, 1989) em função da macroporosidade e textura do solo.

Tabela 3: frações granulométricas correspondentes para cada amostra.

Tabela 4: peso específico natural do solo das amostras.

Tabela 5: limites de Atterberg e índice de plasticidade para as amostras.

Tabela 6: dados de permeabilidade obtidos para seus respectivos pontos.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Materiais e Métodos	2
2.1. Desenvolvimento do Estudo	2
2.2. Pré-processamento de Dados	3
2.3. Etapa de Campo	5
2.4. Coleta e Análise de Solos	5
2.4.1. <i>Etapa Laboratorial</i>	5
2.4.2. <i>Ensaio de Sedimentação</i>	7
2.4.3. <i>Peso Específico Natural do Solo</i>	7
2.4.4. <i>Limites de Atterberg</i>	8
2.4.5. <i>Limite de Liquidez</i>	9
2.4.6. <i>Limite de Plasticidade</i>	10
2.5. Permeabilidade	11
2.5.1. <i>Análise de Permeabilidade</i>	11
2.5.2. <i>Permeâmetro de Guelph</i>	12
2.5.3. <i>Desenvolvimento do Aparelho</i>	12
2.5.4. <i>Características e Adaptações do Permeâmetro</i>	12
2.5.5. <i>Operação do Permeâmetro e Obtenção de Medidas</i>	13
2.5.6. <i>Processamento dos Dados de Permeabilidade</i>	15
3. Localização da Área de Estudo	16
4. Características Físicas da Área de Estudo	17
4.1. Geomorfologia	17
4.2. Geologia Regional	18
4.3. Geologia, Pedologia e Hidrografia Locais	21
5. Resultados e Discussão	23
5.1. Análise de Solos	23
5.2. Permeabilidade	25
5.3. Discussão	26
6. Conclusões e Considerações Finais	28
7. Referências	30
8. Anexos	33

1. Introdução

Chama-se permeabilidade a maior ou menor facilidade com que a percolação d'água ocorre através de um solo. Os solos são permeáveis em função da existência de vazios interconectados pelos quais a água pode fluir de pontos de alta energia para pontos de baixa energia (DAS, 2007, p.123). A água livre escoar entre os grãos, se esta estiver sujeita a um potencial hidráulico haverá o fenômeno do escoamento da água através do solo (VARGAS, 1977, p.109). O grau de permeabilidade é expresso numericamente pelo coeficiente de permeabilidade e irá mostrar o quanto o solo permite de escoamento de água através de si (CAPUTO,1996).

O conhecimento do valor da permeabilidade é muito importante em algumas obras de engenharia, essencialmente, na estimativa da vazão que percola pelo meio do maciço e da fundação em barragens de terra, em obras de drenagem, rebaixamento do nível d'água, adensamento. Conseqüentemente, os mais sérios problemas de construção estão conexos com a presença da água. Outras áreas de grande aplicação são a agricultura e a área de estudo de infiltração de aquíferos. A informação da permeabilidade e de sua variação é fundamental para a solução desses problemas. A determinação do coeficiente de permeabilidade é realizada tendo em vista a lei experimental de Darcy.

Possuindo uma área de mais de 14 km², bordejada à oeste pelo campus da UNICAMP e a leste pelo Ribeirão Anhumas, participando portanto de sua bacia, a Fazenda Argentina, localizada entre o campus da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e à rodovia SP-332, no distrito de Barão Geraldo do município de Campinas – SP, é a mais nova aquisição para futuras expansões da universidade.

A principal motivação do estudo é aprofundar os conhecimentos sobre os processos e parâmetros que regem a permeabilidade dos solos na região, dada sua grande importância em aplicações de obras de engenharia civil, além de não haver dados na área que procuram correlacionar as características geotécnicas do solo com a permeabilidade em si, justificando um estudo que possa estabelecer uma metodologia para que futuros projetos possam se basear.

2. Materiais e Métodos

2.1. Desenvolvimento do Estudo

Para o desenvolvimento deste projeto, foram seguidos os seguintes passos, demonstrados no fluxograma a seguir. Nele, estão representados as fases de desenvolvimento e suas intersecções, assim como as atividades desenvolvidas em cada etapa e suas relações entre si.

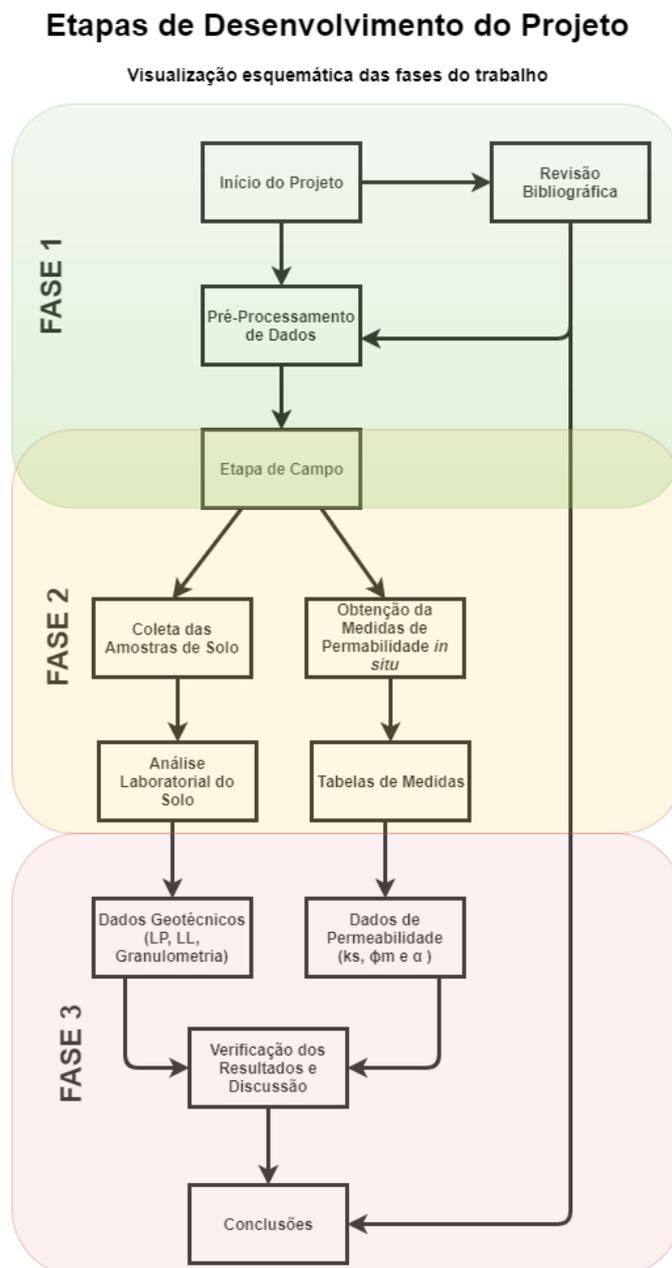


Figura 1: fluxograma do desenvolvimento do projeto

2.2 Pré Processamento de Dados

No pré-processamento de dados, foram obtidos *shapefiles* e imagens MDT (modelo digital de terreno) da Secretaria de Planejamento do Campus, este último com resolução de 30 cm por pixel. A partir destes materiais, foram elaborados 3 mapas preliminares: topográfico, com curvas de nível separadas de 5 em 5m; modelo de acumulação para delimitar as principais drenagens na área; mapa de declividade da área e, por fim, mapa de fluxo superficial no solo; Tais mapas foram utilizados para determinar as melhores áreas para coleta de amostras e obtenção dos dados de permeabilidade e também foram usados como guia para determinar as melhores localizações para amostragem de solo e de medidas de permeabilidade.

A principal ideia a ser seguida na escolha das áreas de coleta de amostras de solo e dados de permeabilidade é a de evitar ao máximo áreas que pudessem se repetir, devido a área relativamente pequena que a FA ocupa. Assim, procurou-se distribuir os pontos de coleta que abrangem, ao mesmo tempo, topografias diferentes, declividades diferentes e, por consequência dos dois outros fatores anteriores, fluxos superficiais diferentes.

Para a elaboração dos mapas, foi usado o *software* de GIS empresa ESRI, ArcMAP; as feições de declividade foram feitas utilizando as ferramentas nativas do programa (*ArcToolbox*). Primeiramente, o arquivo MDT foi recortado com a ferramenta *Clip* para situar a área de estudo, para ser seguida ser aplicada a ferramenta *Slope*, criando, assim, o mapa de declividade apresentado na Figura 3.

As curvas de nível utilizadas no mapa da Figura 3 foram extraídas a partir do *shapefile* disponibilizado pela Secretaria de Planejamento do Campus, inicialmente dadas no intervalo detalhado de 1 em 1 m, mas reclassificadas para o intervalo de 5 em 5 m para melhor situar a escala de estudos (1:10000). Já as drenagens também apresentadas na Figura 2 foram feitas com as ferramentas *Flow Direction*, *Sink*, *Fill*, *Flow Accumulation* e *Stream to Feature*, nesta ordem necessariamente.

Com o arquivo *raster* gerado pela função *Flow Direction*, se obteve o mapa da Figura 4. Para isso, o arquivo *raster* foi transformado com a ferramenta *Raster to Feature* para um *shapefile* de pontos, estes pontos foram reclassificados de acordo com os valores de *Grid Code* para direção e sua representação mudada para as setas representativas de tais valores; para efeitos de comparação e melhor visualização dos dados, a camada de direções de fluxo

foi sobreposta ao MDE colorizado.

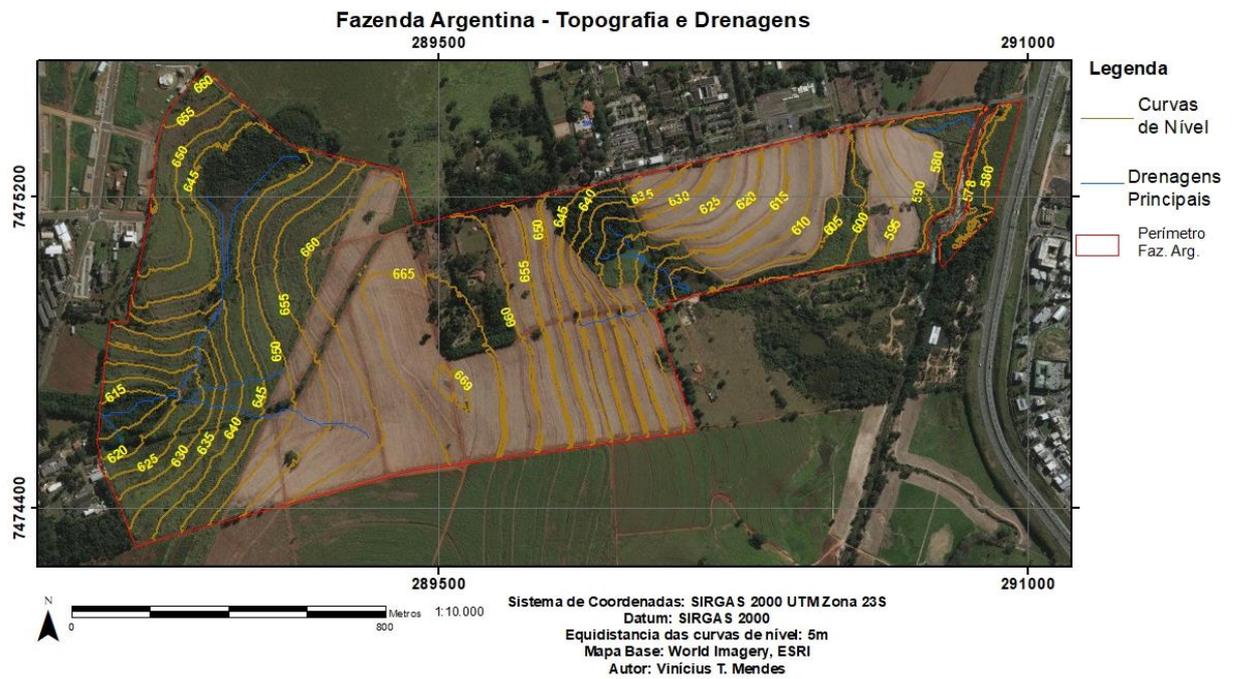


Figura 2: mapa com as principais características físicas da área de estudo

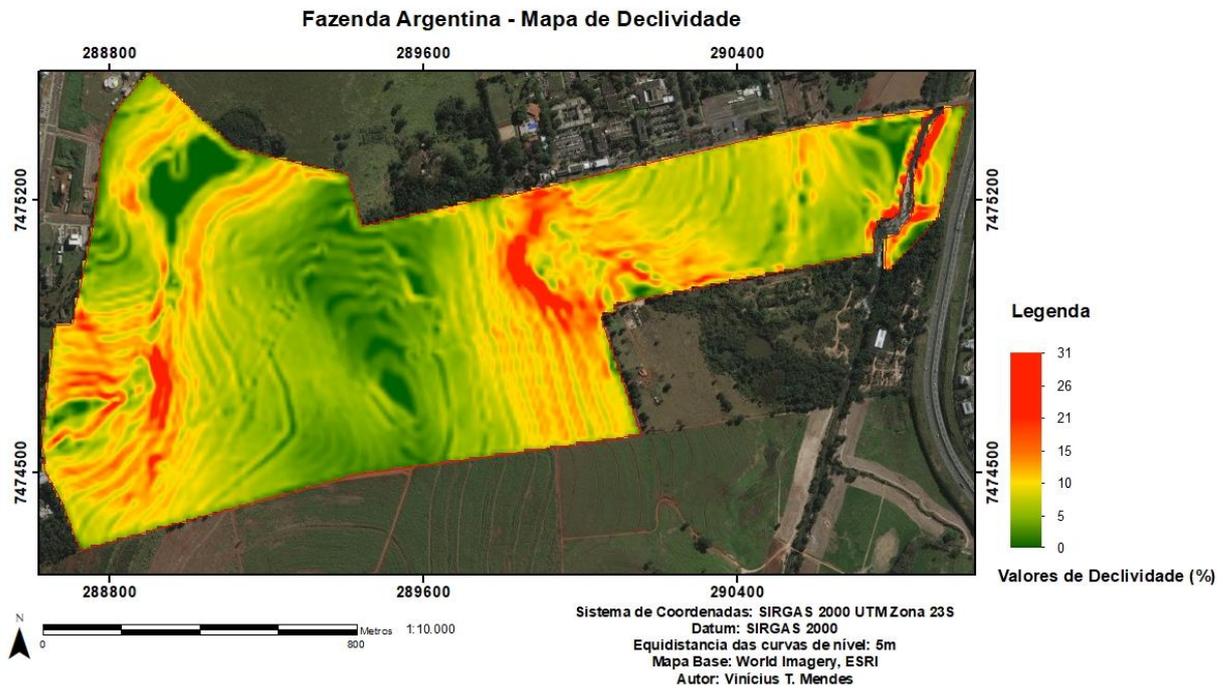


Figura 3: mapa de declividade da área de estudo (Autor)

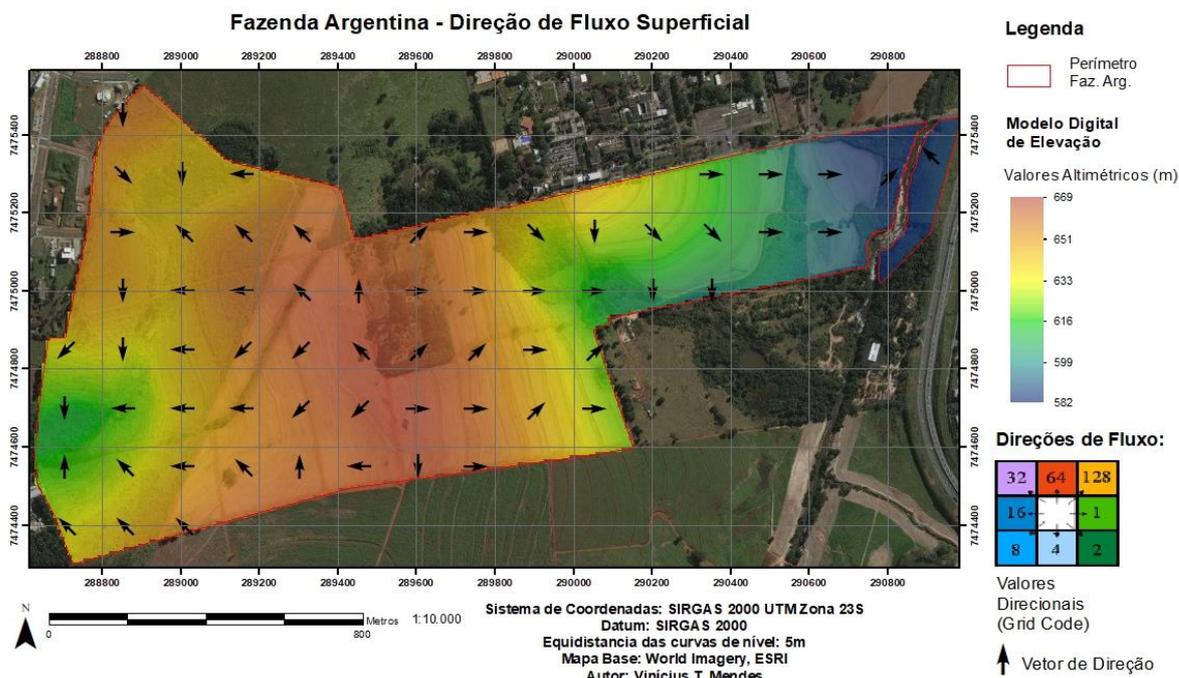


Figura 4: Mapas de fluxo superficial sobreposto sobre modelo digital de elevação (MDE)

2.3 Etapa de Campo

Nesta etapa de desenvolvimento do estudo, foram três excursões de campo para que as amostras de solo e os dados de permeabilidade de solo *in situ* fossem adquiridas, sendo uma excursão para a coleta das amostras e duas para a coleta dos dados de permeabilidade de solo.

2.4 Coleta e Análise de Solos

Para a análise das propriedades geotécnicas do solo, foram coletadas oito amostras de solo, distribuídas como na figura a seguir na área de estudo. As amostras foram coletadas do material de um furo de 50 cm no solo e medindo através de trena as diferenças qualitativas que possam indicar a mudança entre horizontes; as amostras em si consiste de aproximadamente 2,5 kg de solo, foram guardadas em sacos plásticos e classificadas para cada ponto. Na Figura 5 estão destacados os pontos onde as amostras foram coletadas. Os materiais usados para coleta de solo são os listados a seguir:

- Trado com broca de 40mm de diâmetro e 25 cm de comprimento
- Sacolas plásticas
- Fita adesiva

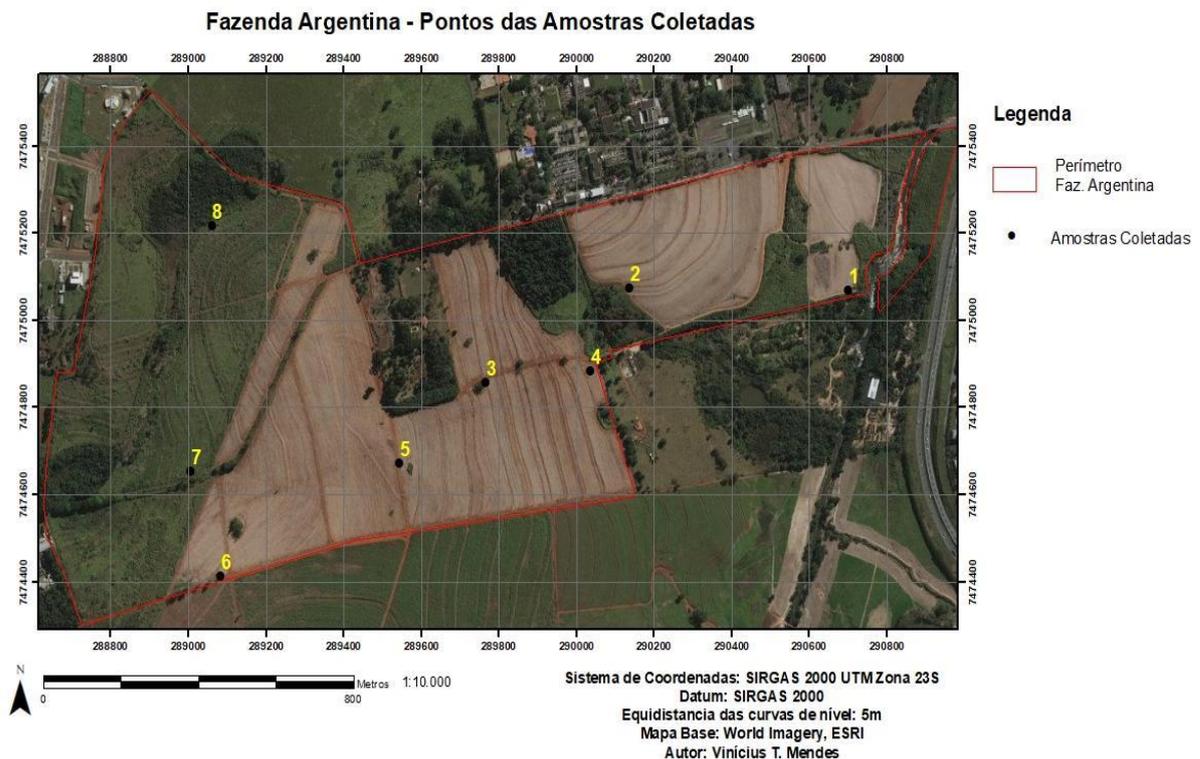


Figura 5: Pontos de coleta das amostras de solo na área de estudo (Autor).

2.4.1 Etapa Laboratorial

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas para o laboratório de Mecânica dos Solos e Estradas, do Departamento de Geotecnia e Transportes (DGT) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da UNICAMP, onde seriam determinados os seguintes parâmetros geotécnicos dos solos: granulometria, peso específico natural do solo, limite de plasticidade e limite de liquidez.

Os ensaios foram realizados com o auxílio de monitoramento dos técnicos responsáveis, visando estar de acordo com as normas ABNT NBR 7181, NBR 6508, NBR 7180 e NBR 6459, para os parâmetros citados anteriormente de maneira respectiva, com apenas uma ressalva: no ensaio para determinação de granulometria dos solos não foi usado o agente defloculante (hexametáfosfato de sódio) devido a restrições de tempo de uso do laboratório e prazos para obtenção de resultados. Na seção 5.3. deste documento, é discutido os efeitos da decisão da não utilização do agente defloculante. Todos os ensaios foram preparados de acordo com a norma ABNT NBR 6457; o ensaio de análise granulométrica teve seus resultados classificados de acordo com a norma ABNT NBR 6502.

2.4.2 Ensaio de Sedimentação

O ensaio de sedimentação tem como base o princípio da sedimentação dos grãos do solo em água. Quando uma amostra do solo é dispersa em água, as partículas decantam com velocidades diferentes, dependendo da sua forma, tamanho, peso e da viscosidade da água. Para simplificar, assume-se que todas as partículas do solo são esferas e que sua velocidade pode ser expressa pela lei de Stokes:

$$V_s = \frac{2}{9} \frac{r^2 g (\rho_p - \rho_f)}{n}$$

Equação 1: Lei de Stokes; V_s é a velocidade de sedimentação das partículas; g é a aceleração da gravidade; ρ_p é a densidade das partículas; ρ_f é a densidade do fluido e n é o diâmetro das partículas.

O densímetro colocado na suspensão de solo em um tempo t , determinado a partir do início do ensaio de sedimentação, mede o peso específico nas proximidades do seu bulbo a uma profundidade L (Figura 6)

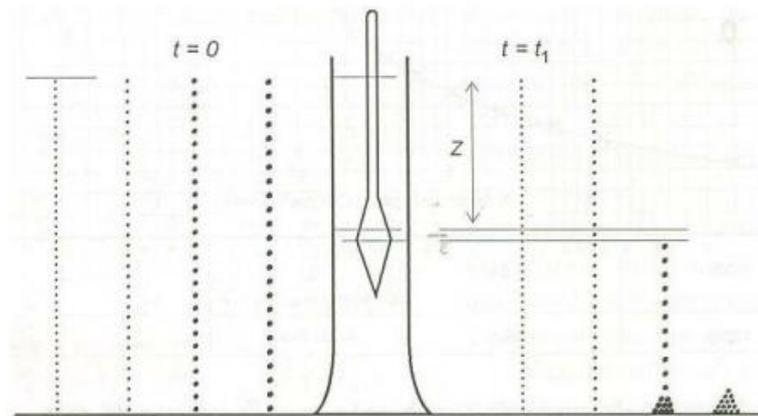


Figura 6: Esquema representativo do ensaio de sedimentação (Pinto, 2002, p.10)

2.4.3 Peso Específico Natural do Solo

Este ensaio determina o peso específico do solo, dividindo o valor do seu peso seco total pelo seu volume total. Tal valor é denominado gama-natural (γ); é utilizado em conjunto com o ensaio de sedimentação para auxiliar na determinação da granulometria no ensaio descrito no tópico anterior.

$$\gamma = P/V$$

Equação 2: equação do peso específico natural do solo (γ) onde P é o peso total do solo e V é o volume total dele.

Para realizar este ensaio é necessário adicionar 50 g do solo seco em um picnômetro,

com volume de 500 ml calibrado para 20°C, depois submetê-lo a vácuo, para que o ar entre os grãos seja completamente eliminado, depois, por fim, pesar o picnômetro. Durante todo o processo são retirados as medidas fixas, como a massa do próprio picnômetro, a massa que o volume de água ocupa no picnômetro e a massa do solo mais a massa da água no picnômetro para que seja possível realizar os cálculos.

Caso a temperatura da água esteja diferente de 20°C após ser submetida ao vácuo, é usado um fator de correção especificado na tabela da norma ABNT, NBR – 6508, o qual é multiplicado pelo resultado final para se obter o resultado do peso específico natural do solo.

2.4.4 Limites de Atterberg

Os limites de Atterberg, também conhecidos como índices de consistência, são os valores limites de umidade para qual o solo passa do estado semi-sólido para o estado plástico e do estado plástico para o estado líquido. Dependendo do teor de umidade, o comportamento do solo pode ser dividido em quatro estados: sólido, semi-sólido, plástico e líquido. De acordo com Pinto (2002), quando muito úmido, ele se comporta como um líquido, quando perde parte de sua água, fica plástico. Quando mais seco, torna-se quebradiço.

Os teores de umidade correspondentes às mudanças de estado são definidos como: Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) dos solos. A diferença entre estes dois limites, que indica a faixa de valores em que o solo se apresenta plástico, é definida como Índice de Plasticidade (IP) do solo. A Figura 7 a seguir apresenta os limites de Atterberg.

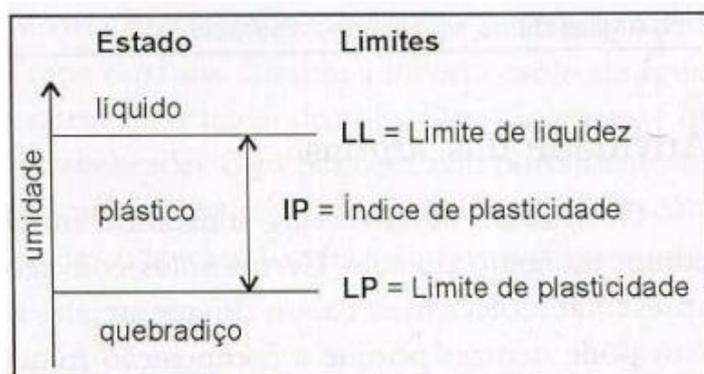


Figura 7: Limites de Atterberg (Pinto, 2002, p.13)

A tabela a seguir exemplifica os valores de limite de liquidez e índice de plasticidade mais comumente encontrados em solos do Brasil.

Tabela 1: Índices de Atterberg de alguns solos brasileiros (Pinto, 2005, p. 14)

Solos	LL%	IP%
Residuais de arenito (arenosos finos)	29-44	11-20
Residuais de gnaise	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 a 85	25 a 40
Argilas variegadas de São Paulo	40 a 80	15 a 45
Areias argilosas variegadas de São Paulo	20 a 40	5 a 15
Argilas duras, cinzas, de São Paulo	64	42

2.4.5 Limite de Liquidez (LL)

O Limite de Liquidez é definido como o teor de umidade do solo com o qual uma ranhura realizada na amostra requer 25 golpes para se fechar, sendo a amostra moldada em uma concha (PINTO, 2002).

Para fazer o ensaio de limite de liquidez, deve-se colocar uma pasta de solo na concha, conhecida como Aparelho de Casagrande (Figura 8). Um sulco é aberto no centro da amostra do solo com a ferramenta padrão. Como uso de um excêntrico operado por manivela, a concha é levantada e cai de uma altura de 10mm.

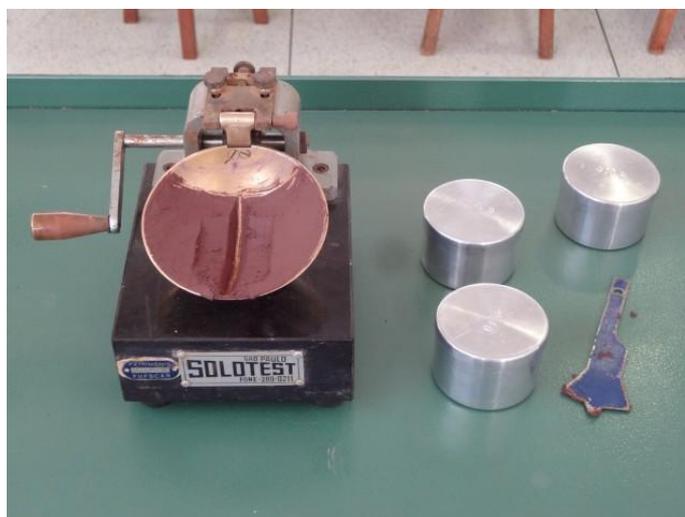


Figura 8: Aparelho de Casagrande (<http://www.labgeo.ufscar.br/images/pages/03565.jpg>)

O teor de umidade necessário para fechar uma distância de 12,7mm ao longo da parte inferior do sulco após 25 golpes é definido como limite de liquidez (DAS, 2007). Este teor é ajustado de maneira qualitativa, assim, o número de golpes para se obter o fechamento necessário de 12,7mm do sulco da amostra nem sempre é 25. Sendo assim, são realizados

pelo menos 5 ensaios para o mesmo solo (mínimo de 3 máximo de 6) com teores de umidade diferentes, e o número de golpes (N) necessário para obter o fechamento na ordem de 40 até a ordem de 15 ou 12 golpes. Com isso, é obtida uma curva semi-logarítmica mostrando a relação do teor de umidade e o log N, chamada de curva de fluidez, fornecendo o limite de liquidez do solo (ABNT, NBR-6459). Quanto maior o LL de um solo, mais compressível e, portanto, sujeitas a recalques (CAPUTO *et. al.*, 1996).

2.4.6 Limite de Plasticidade (LP)

O Limite de Plasticidade é definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro com 3 mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma da mão (PINTO,2002).



Figura 9: Ensaio para determinação do índice LP (Fonte: <http://www.labgeo.ufscar.br/images/pages/03562.jpg>)

O limite de plasticidade é o limite mais baixo do intervalo plástico do solo. O ensaio de limite de plasticidade é simples e realizado manualmente por rolamentos de uma massa de solo de forma elipsoidal sobre uma placa de vidro despolido. O limite de plasticidade é expresso pela umidade a qual o solo começa a fraturar-se.

A diferença numérica entre o LL e LP fornece o índice de plasticidade (IP) (ABNT, NBR-6459 e NBR-7180), utilizado como um dos parâmetros para a classificação dos solos. Quanto maior o valor do IP, mais plástico o solo se apresenta (PINTO, 2002)

2.5 Permeabilidade

2.5.1 Análise de Permeabilidade

As medidas de permeabilidade foram obtidas através do Permeâmetro de Guelph serão realizadas em equipe de no mínimo 2 e no máximo 5 pessoas e seus materiais auxiliares: trena, cronômetro, galão de água e trado de broca simples de 40 mm de diâmetro e 25cm de comprimento. O furo para utilização do permeâmetro deve possuir 45 cm de profundidade e a sua superfície tem de ser escovada com uma escova própria que vai acoplada ao trado para manter sua aspereza superficial e não alterar os resultados de permeabilidade da amostra (SOILMOISTURE EQUIPMENT CORP, *Model 2800K1 Guelph Permeameter Operating Instructions*, 2005).

Devido a restrições logísticas, como o transporte de grandes volumes de água em conjunto com o aparelho, indisponibilidade de veículos nos períodos pretendidos para realização do estudo e algumas restrições com o tempo local (em períodos de chuva as medidas não podem ser realizadas), apenas 5 medidas foram realizadas, porém distribuídas de forma a abranger o máximo possível da área de estudo (Figura 10)

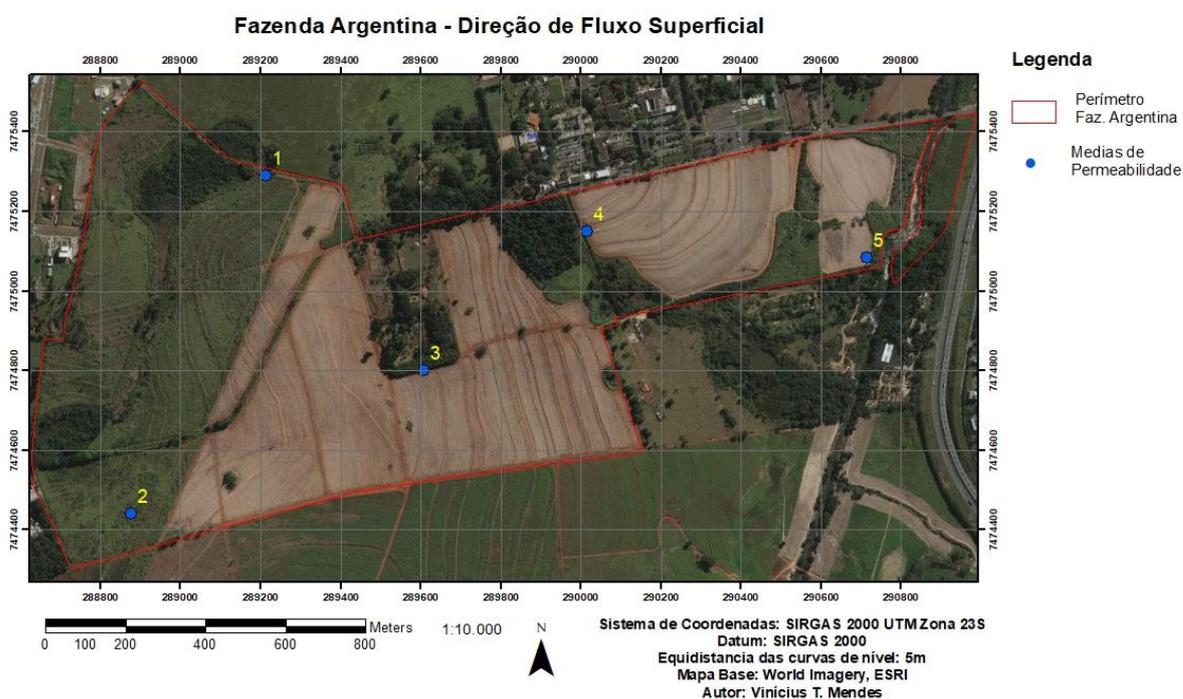


Figura 2: localização das medidas de permeabilidade

2.5.2 Permeâmetro de Guelph

2.5.3 Desenvolvimento do Aparelho

O Permeâmetro de Guelph foi desenvolvido em 1983, na Universidade de Guelph, Canadá pelos pesquisadores D.E. Elrick e W.D. Reynolds, posteriormente aperfeiçoado em 1985. O aparelho é usado para obtenção de medidas de condutividade hidráulica do sólido saturado, parâmetro essencial no modelo de determinação de permeabilidade apresentado por FAILACHE, M.F. (inf. Verbal), além do coeficiente de armazenamento (valor que representa a porcentagem de água, em peso, que existe num conjunto de água + solo).

Também nos permite medir a capacidade de absorção de água no solo por capilaridade (matriz potencial de fluxo). É um permeâmetro de furo e de carga hidráulica constante e, de acordo com Reynolds, *et al.*, 1983, é uma nova tentativa para o uso destes instrumentos, já que este método havia caído em desuso por subestimar entre 33 a 61% do valor de condutividade hidráulica saturada.

2.5.4 Características e Adaptações do Permeâmetro

O aparelho é composto por uma garrafa de Mariotte que controla a carga constante de água dentro do furo, um tubo de acrílico com uma régua graduada onde a água é introduzida e uma tripé que permite adaptar o aparelho a terrenos irregulares (AGUIAR, ADRIANA BRIGGS DE. 2001). Neste estudo, foi usado um aparelho adaptado, cortesia do laboratório de geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos, da USP. Apesar do aparelho ter uma precisão menor que o original, os métodos para realizar as medidas e obter os dados de permeabilidade são os mesmos.

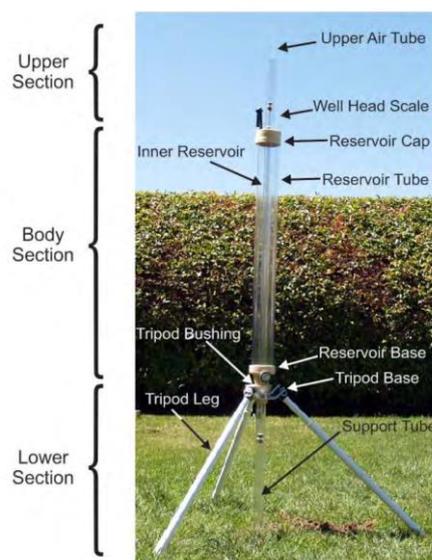


Figura 11: permeâmetro de Guelph; retirada do manual de instruções e operação do aparelho, publicado por Eijkelkamp – Soil & Water, 2005.



Figura 12: operação do permeâmetro de Guelph adaptado

2.5.5 Operação do Permeâmetro e Obtenção de Medidas

Podendo ser operado por uma única pessoa, o aparelho é leve e requer uma volume baixo de água para cada ensaio (entre 0,5 L e 2 L). O ensaio permite medições em qualquer posição no perfil; é realizado aplicando um volume constante de água num orifício aberto no solo de aproximadamente 50 cm de profundidade. Durante o ensaio não se obtém a a saturação total mas a chamada saturação de campo, pois durante a atividade prática não se pode expulsar completamente o ar dos vazios. A condutividade obtida é a condutividade

hidráulica da saturação de campo. O Permeômetro de Guelph é projetado para medir condutividade entre 10^{-2} e 10^{-6} cm/s, sendo esse seu intervalo de precisão mais seguro. O índice de saída constante de água, o diâmetro do furo e a altura da água no furo são usados para determinar a condutividade hidráulica da saturação de campo. Para a interpretação dos resultados, utiliza-se o método desenvolvido por Reynolds e Elrick (1985), os quais se basearam em Richards (1931) e sua equação, onde o raio de fluxo permanente num furo cilíndrico é aproximado por uma equação onde a vazão é determinada pela seguinte fórmula:

$$Q = R \times A$$

Equação 3: equação utilizada para determinação da vazão. Q = vazão do regime permanente; R = razão da vazão constante obtida durante os ensaios; A = área do reservatório do permeômetro utilizado.

Para a determinação dos parâmetros correspondentes a infiltração dos solos, é usado o método proposto por Elrick *et al.* (1989). Consiste na aplicação de uma altura de carga constante (H) até se atingir o regime permanente. Então, a vazão (Q) e a condutividade hidráulica saturada (k_s) são determinadas pela seguinte equação:

$$k_s = C \cdot Q \div \left(2\pi \cdot H^2 + \pi \cdot a^2 \cdot C + \frac{2\pi H}{\alpha} \right)$$

Equação 4: H = altura da carga hidráulica; a = diâmetro do orifício no solo; α = índice estimado por avaliação visual *in situ* da macro-porosidade (fissuras, formigueiros, furos de raízes, etc.) e textura do solo, a partir da Tabela 1; C = fator de forma, dependente da razão de H sobre a e de α , dado pela Equação 3.

$$C = 4 \left[\frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{H}{2a} \right) - \sqrt{\left(\frac{a}{H} \right)^2 + \frac{1}{4} \frac{a}{H}} \right]$$

Equação 5: determinação do fator de forma C; H, a e α são os mesmo parâmetros usados na Equação 2

Tabela 2: valores α sugeridos (Elrick *et al.*, 1989) em função da macroporosidade e textura do solo

α (cm ⁻¹)	TIPO DE SOLO
0,01	Argilas compactas (aterros, liners, sedimentos lacustres e marinhos)
0,04	Solos de textura fina, principalmente sem macroporos e fissuras.
0,12	Argilas até areias finas com alta a moderada quantidade de macroporos e fissuras.
0,36	Areia grossa; inclui solos com macroporos e fissuras.

As medidas com o Permeômetro de Guelph são rápidas e práticas, devido á facilidade de transporte, montagem e operação do aparelho. No entanto, há limitações para o

mesmo, como seu intervalo para medidas de vazão e a profundidade máxima de sua atuação (orifícios de no máximo 60 cm no solo). Porém, aliado a ensaios laboratoriais, o Permeâmetro de Guelph é uma ferramenta eficaz e extremamente útil para a pesquisa geotécnica.

2.5.6 Processamento dos Dados de Permeabilidade

Os dados de permeabilidade coletados em campo foram tratados posteriormente para se obter seus índices kfs (condutividade hidráulica saturada de campo), ϕm (potencial mátrico) e α (constante textural que varia com o tipo de solo; vide Tabela 2). O valor kfs é, de maneira simples, o valor mínimo que o solo consegue conduzir água em campo; portanto, quanto mais alto for o seu valor, maior será sua permeabilidade. Assim, os dados que determinam a permeabilidade estarão sempre associados a este valor.

O processamento dos dados é realizado de maneira relativamente simples, através de uma planilha que correlaciona os dados conforme o funcionamento teórico do permeâmetro de Guelph, porém com alguns ajustes devido ao aparelho não ser original. Um exemplo, cortesia de FIALACHE, M.F., pode ser visto a seguir na Figura 13.

EESC		SGS		USP							
PERMEABILIDADE GUELPH - ASTM D5126											
Solo : _____											
Local : _____				Profundidade (m) : _____							
Oper. : _____		Data : _____		Amostra : _____							
DADOS DE ENSAIO											
Reservatório: Interno / Duplo (cm ²) : _____				Área							
Profundidade do Furo (cm) : _____				Raio = a (cm) : _____							
Leituras p/ 1º estágio = H ₁ (cm) : _____			Leituras p/ 2º estágio = H ₂ (cm) : _____								
H ₁ /a : _____		C ₁ : _____		H ₂ /a : _____							
C ₂ : _____											
Leitura Nº	(A) Tempo (min)	(B) Intervalo de Tempo (min)	(C) Nível de Água no Reservatório (cm)	(D) Variação do Nível de Água (cm)	Taxa de infiltração (E = D / B) R _i (cm/min)	Leitura Nº	(A) Tempo (min)	(B) Intervalo de Tempo (min)	(C) Nível de Água no Reservatório (cm)	(D) Variação do Nível de Água (cm)	Taxa de infiltração (E = D / B) R _i (cm/min)
1						1					
2						2					
3						3					
4						4					
5						5					
6						6					
7						7					
8						8					
9						9					
10						10					
11						11					
12						12					
13						13					
14						14					
15						15					
CÁLCULO DOS PARÂMETROS											
1º estágio R ₁ = _____ / 60 = _____ cm/s											
2º estágio R ₂ = _____ / 60 = _____ cm/s											
K _s = $\frac{\text{área reservat. } R_2}{\text{área reservat. } R_1} \cdot 0,0250 = \frac{\text{área reservat. } R_2}{\text{área reservat. } R_1} = \text{_____ cm/s}$											
k _{fs} = $\frac{\text{área reservat. } R_1}{\text{área reservat. } R_2} \cdot 0,0250 = \frac{\text{área reservat. } R_1}{\text{área reservat. } R_2} = \text{_____ cm/s}$											
α = $\frac{K}{f} = \frac{\text{_____}}{\text{_____}} = \text{_____ cm}^{-1}$											

Figura 13: exemplo da tabela usada para o cálculo dos dados de permeabilidade (FIALACHE, M.F., 2017)

3 Localização da Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na porção leste do Distrito de Barão Geraldo do município de Campinas – SP (figura 14), descrevendo um polígono irregular que bordejia a parte leste da UNICAMP, estendendo-se 2,16 km até sua margem oeste, sendo cortada pelo Ribeirão Anhumas, continuando brevemente após este, com uma pequena extensão de 86 m até seu limite oeste, na rodovia SP-332.

A área pode ser acessada em quatro diferentes pontos de acesso, mostrados no mapa de localização abaixo, sendo dois deles localizados nos limites do campus da Unicamp: o Ponto de Acesso 1 no final da Avenida Alan Turing, próximo ao Museu Exploratório de Ciências da Unicamp e o Ponto de Acesso 2 em uma entrada não denominada, próximo ao prédio da Editora da Unicamp. Os outros dois principais (Pontos de Acesso 3 e 4) localizam-se na Rua Dr. Ricardo Benetton Martins, tendo como principal referência o prédio do CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações).



Figura 14: localização da área de estudo e seus principais pontos de acesso (Google Earth)

4 Características Físicas da Área de Estudo

4.1 Geomorfologia

O município de Campinas é dividido em dois compartimentos geomorfológicos principais: o Planalto Atlântico, a leste, a Depressão Periférica Paulista a oeste. A Área de transição entre estes dois compartimentos é gradual e não há distinção clara (CHRISTOFOLETTI, *et al.*, 1971). Tal disposição do relevo se deve a ocorrência de rochas gnáissicas do Complexo Itapira, graníticas das suítes Jaguariúna e Morungaba e miloníticas, a leste; a oeste, apresentam-se arenitos, ritmitos e lamitos do Subgrupo Itararé, junto com diabásios e suas intrusões associadas da Formação Serra Geral (INSTITUTO GEOLÓGICO, 1993). As principais estruturas geológicas ocorrentes na região são as zonas de cisalhamento Valinhos de Campinas (FERNANDES *et al.*, 1993), que muitas vezes servem de limites para as unidades geomorfológicas.

Dentro do domínio do primeiro compartimento (Planalto Central) situam-se dois tipos de terreno: os Amorreados de inclinação moderada a forte e os Amorreados ondulados a inclinados (CHRISTOFOLETTI, *et al.*, 1971). Nestes terrenos o solo é podzólico vermelho-amarelado, com textura grossa e de cascalhos nos horizontes superiores. Apresentam susceptibilidade a erosão agravada devido ao tipo de solo e à presença de declividades de 12 a 30% e 9 a 21%, nos Amorreados de inclinação moderada e os Amorreados ondulados, respectivamente. Na área da suíte granítica Morungaba, há a ocorrência de matacões, tanto em superfície, quanto enterrados (INSTITUTO GEOLÓGICO, 1993).

A transição entre Depressão Periférica e Planalto Atlântico tem como característica os Terrenos Colinosos ondulados a inclinados, onde ocorrem gnaisses do Complexo Itapira; o solo da área é podzólico vermelho-amarelado, com textura areno-argilosa e arenosa nas porções superficiais e argilosa siltosa nas inferiores. (INSTITUTO GEOLÓGICO, 1993). Tais solos também foram descritos, brevemente, por CHRISTOFOLETTI, *et al.*, “A Terra Campineira”, p.95, 1971. Os Terrenos Colinosos suavemente ondulados e os Colinosos ondulados fazem parte da Depressão periférica Paulista, como (Ab’Sáber, 1956), neles se encontram associações rochosas de diabásios, arenitos, ritmitos e lamitos e, de maneira subordinada, rochas graníticas e gnáissicas, pertencentes respectivamente aos Complexo Itapira e Suíte Jaguariúna. Sobre os diabásios ocorre o latossolo roxo de grande espessura, textura argilosa, de alta permeabilidade e fertilidade.

Associado ao Subgrupo Itararé, há também a ocorrência do latossolo vermelho-amarelado, de textura média, alta permeabilidade, porém baixa erodibilidade. Quanto aos Terrenos Colinosos ondulados, segundo Instituto Geológico (1993), estes ocorrem dentro do domínio Planalto Atlântico, na forma de alvéolos associados ao Rio Atibaia e ao Ribeirão das Cabras e são condicionados por soleiras estruturais, que consistem em falhas que direção noroeste, que favoreceram a sedimentação e ampliação das planícies fluviais nestes locais.

4.2 Geologia Regional

A área de estudo localiza-se dentro dos domínios geológicos compreendidos no município de Campinas –SP. Na seção Anexos, Anexo 1, encontra-se o mapa (FERNANDES, A.J. *et. al.*; Instituto Geológico, 1993) detalhando as características geológicas e as principais formações presentes da região. O município em si tem repartições distintas das suas unidades geológicas: a leste, o terreno se constitui de rochas pré-cambrianas de alto e médio grau metamórfico intrudidas por granitos e a oeste, por rochas sedimentares do subgrupo Itararé e diabásios da formação Serra Geral.

Também de acordo com Fernandes (1993), as principais unidades mapeadas foram: Complexo Itapira, Suítes graníticas Jaguariúna e Morungaba, rochas miloníticas associadas à ZCC (Zona de Cisalhamento Campinas), subgrupo Itararé da Bacia do Paraná e diabásios da Formação Serra Geral,

O Complexo Itapira é composto por rochas metamórficas de alto e médio grau, com idade do Proterozóico Médio, entre 1800 e 1400 Ma (VASCONCELLOS, 1988), tendo como principais ocorrências litológicas ortognaisses e migmatitos associados aos maciços das Suítes graníticas que sobrepõe seu domínio (Morungaba em particular); segundo Basei *et al.* (1986), ainda é possível subdividir o complexo entre Domínio e Grupo Itapira. As rochas do primeiro se constituem de migmatitos estromatolíticos, enquanto as do segundo correspondem a 5 unidades de litologias distintas: quartzitos; gnaisses quartzosos; gnaisses bandados alternando entre anfibolitos, dioritos, tonalitos e granodioritos; e gnaisses intercalados de anfibolitos e rochas cálciossilicáticas.

A Suíte granítica Jaguariúna tem suas rochas localizadas a norte e a oeste de Campinas, sendo esta última porção recoberta por diabásios da Formação Serra Geral, e em parte recoberta pelo subgrupo Itararé, tendo seu limite leste delimitado pela ZCC. Segundo

Basei *et al.* (1986), a suíte tem idade neoproterozóica e suas principais litologias são: granito-gnáissico porfirítico e granito gnáissico inequigranular. Outra principal Suíte granítica, presente na parte extrema leste do município é a Suíte Morungaba. Segundo Vlach (1985), o maciço é constituído principalmente por granitos equigranulares e inequigranulares, tendo idade estimada no Proterozóico Superior.

Na região, outra unidade importante é o Subgrupo Itararé situado majoritariamente a oeste e apresentando contato com a Formação Serra Geral a norte. Na parte basal da formação, no seu contato com o embasamento, as principais rochas são diamictitos argilosos e maciços, lamitos estratificados e conglomerados, além de arenitos grossos e médios.

O contato entre a formação e o embasamento é extremamente irregular, marcado por falhas que ultrapassam a formação em si e continuam ao embasamento (STEVAUX *et al.*; 1987); os arenitos localizam-se estratigraficamente acima dos diamictitos e ritmitos e em contato erosivo com estes. Também segundo Stevaux *et al.* (1987), tais litologias correspondem a uma sequência de depósitos de corrente de turbidez com ocasionais depósitos de *mudflows* em ambiente de plataforma continental e/ou delta, tendo, sobrepostos a estes, arenitos provenientes de um sistema deltaico e que apresentam estratificação sigmoidal. Fernandes *et al.* (1993) data a formação com idades entre Carbonífero e Permiano.

Por fim, a outra principal unidade geológica que ocorrendo município de Campinas é a Formação Serra Geral, na forma de sills de diabásio, predominantes na parte noroeste do município; diversos afloramentos, em particular em contato com a Formação Itararé, há indícios de metamorfismo de contato (FERNANDES *et al.*, 1993).

A formação tem idade jurássico-cretácea (FERNANDES *et al.*, 1993). e está sobreposta por uma unidade de idade Quaternária, composta por lamitos e arenitos pelíticos, siltitos/arenitos e areias com matriz argilosa; a maioria dos sedimentos da formação são pouco consolidadas em rochas e ocorrem, de maneira geral, em topos de relevos suaves, muitas vezes entrando em contato com as rochas do Subgrupo Itararé e, em outros casos, com sills de diabásio da Formação Serra Geral (INSTITUTO GEOLÓGICO, 1995).

Segue abaixo um excerto adaptado do mapa elaborado por Fernandes *et al.* (1993) para o Instituto Geológico de São Paulo que mostra a área de estudo e as litologias predominantes:

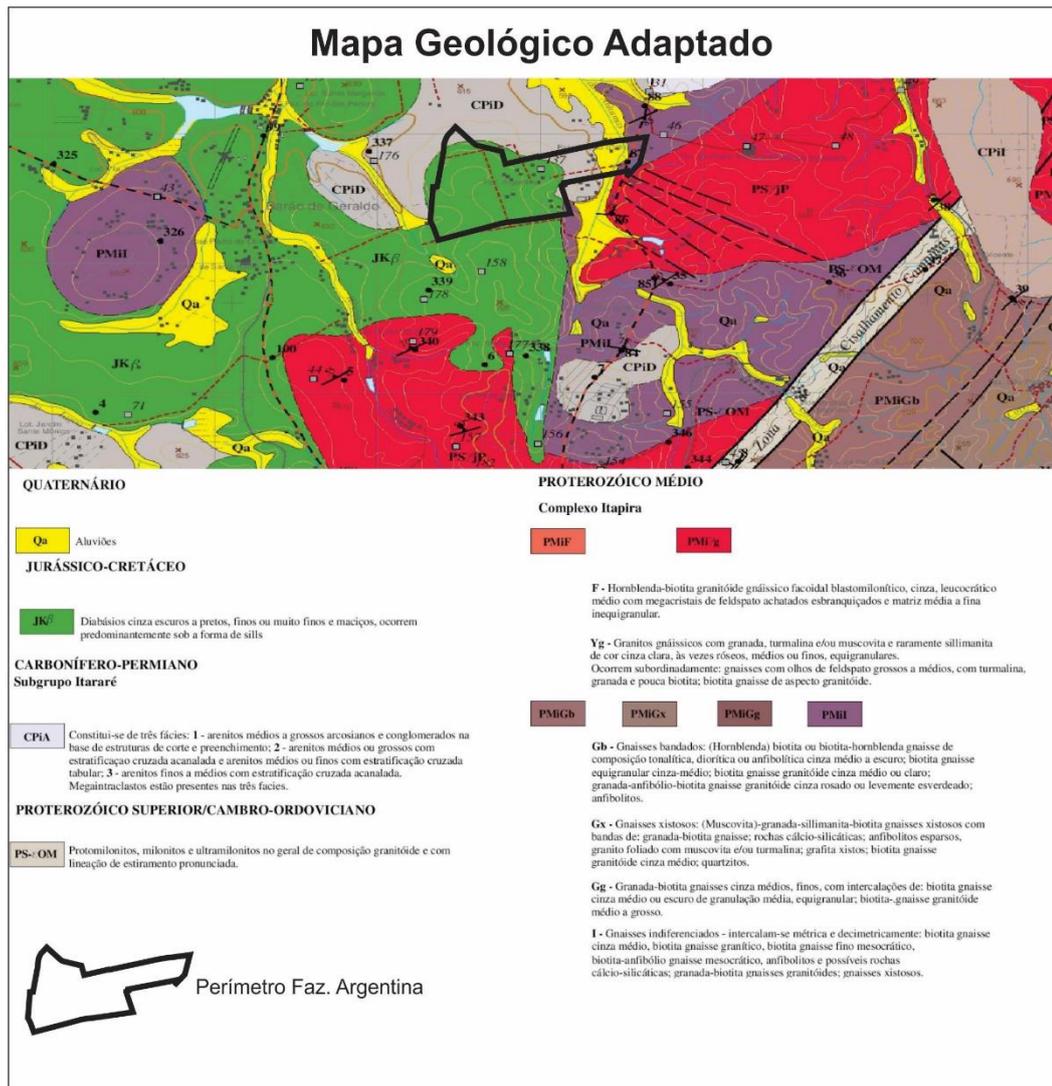


Figura 15: mapa adaptado de FERNANDES, *et al.* In: INSTITUTO GEOLÓGICO, 1993 mostrando as principais litologias no substrato da área de estudo

4.3 Geologia, Pedologia e Hidrografia Locais

O Distrito de Barão Geraldo, mais precisamente as áreas que compreendem o campus da Universidade Estadual de Campinas e a área imediatamente adjacente que consiste na totalidade da Fazenda Argentina, localizam-se sobre os diabásios da Formação Serra Geral (Instituto Geológico, 1993), descritos como “*diabásios cinza escuros a pretos, finos ou muito finos, e maciços, ocorrendo principalmente sobre a forma de sills*” (Instituto Geológico, 1993). Desta maneira, a pedologia da região acompanha o esperado para este tipo de rocha, consistindo principalmente de uma variedade de latossolos vermelhos, sobre quase toda área do campus e da F.A., mudando para outras variedades de argissolo vermelho nas regiões

proximais ao Anhumas (VALLADARES, G. S.; COELHO, R. M.; CHIBA, M. K., *In: Instituto Agrônomo de Campinas*, 2008). O mapa pedológico detalhado de todo município de Campinas encontra-se na seção “Anexos” sobre “Anexo 2”.

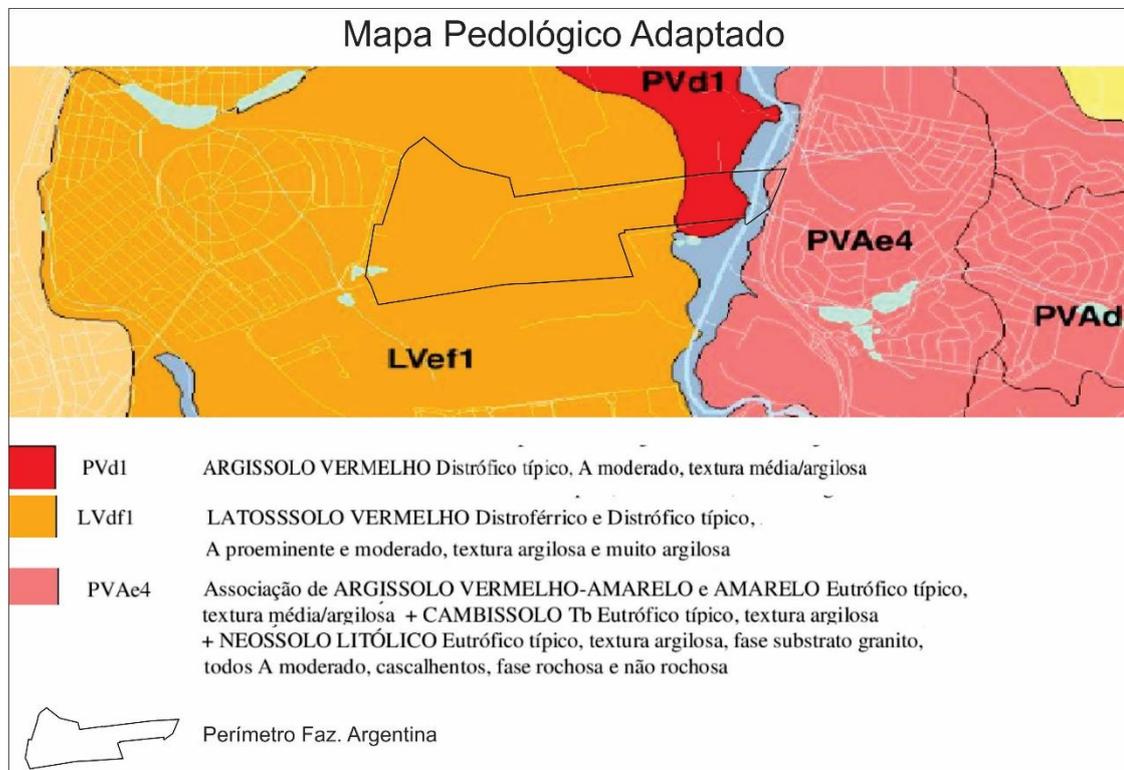
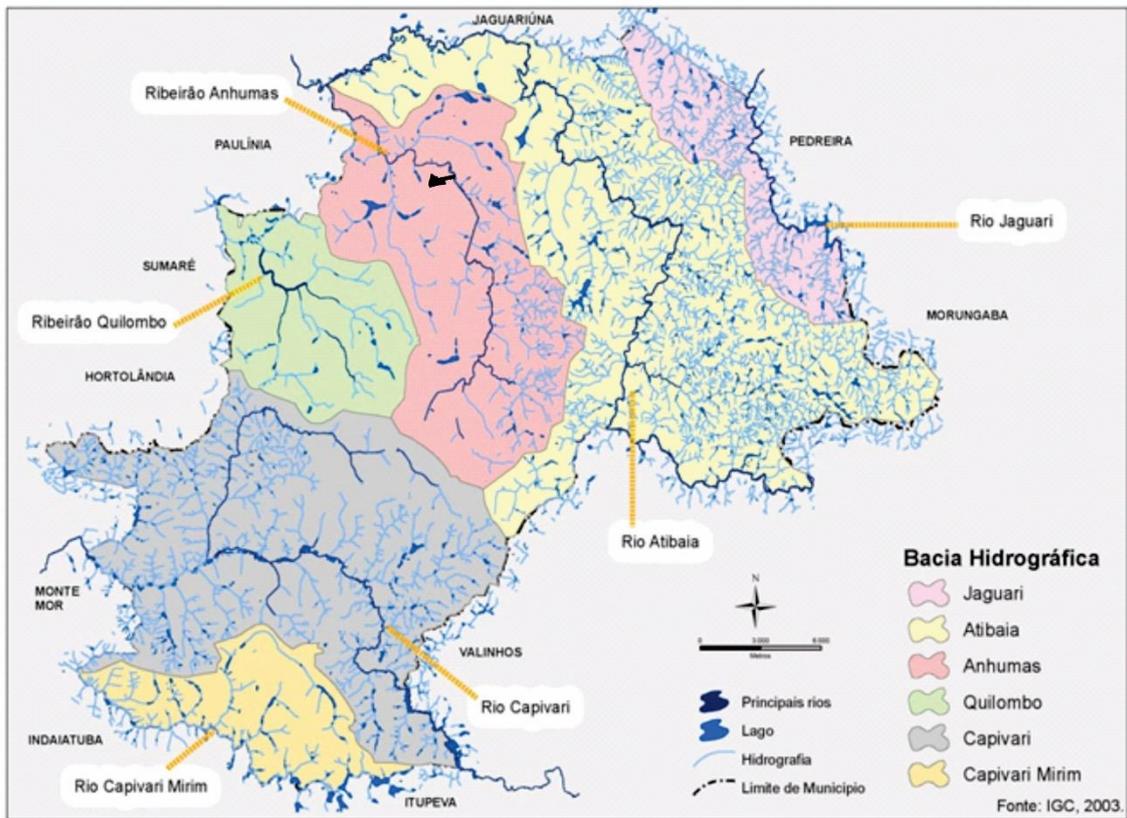


Figura 16: mapa pedológico do Município de Campinas – SP; área de estudo destacada em preto (IAC, 2008).

A área de estudo se localiza na bacia do Ribeirão Anhumas, bordejando-o à leste, onde este corta a propriedade numa porção menor de pouco mais de 88m em sua maior largura e na ordem de 460m em seu maior comprimento, consistindo apenas de uma área de várzea, imediatamente circundada por rodovias.



PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS
SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO

4. HIDROGRAFIA

Figura 17: mapa hidrográfico do Município de Campinas - SP (IGC, 2003), com a localização da área de estudo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise de Solos

Após a fase laboratorial, as amostras de solo foram processados no laboratório de geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo da Unicamp (FEC). Neles, para cada amostra, obteve-se a curva de granulometria e a porcentagem de cada fração granulométrica presente, o peso específico natural dos solos e os índices LL e LP, juntamente com o índice IP, estes três últimos em porcentagem. Os resultados estão aqui reproduzidos em um gráfico de acumulação granulométrica e uma tabela para os Limites de Atterberg de cada amostra, junto com o seu peso específico natural (γ). Todos os resultados detalhados de granulometria e índices físicos encontram-se no Anexo 2.

Tabela 3: frações granulométricas correspondentes para cada amostra

Amostra	Granulometrias Presentes nas Amostras (%)				
	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
1	6,5	24,5	31,2	37,7	0
2	7,5	11,5	24,8	43	13,2
3	14,2	29,4	25	31,3	0
4	5,9	25,5	34	34,6	0
5	12,2	33,7	35,5	18,6	0
6	7,2	37,9	34,4	20,4	0
7	9	38,4	34,3	18,3	0
8	5,2	20,1	36,4	38,3	0

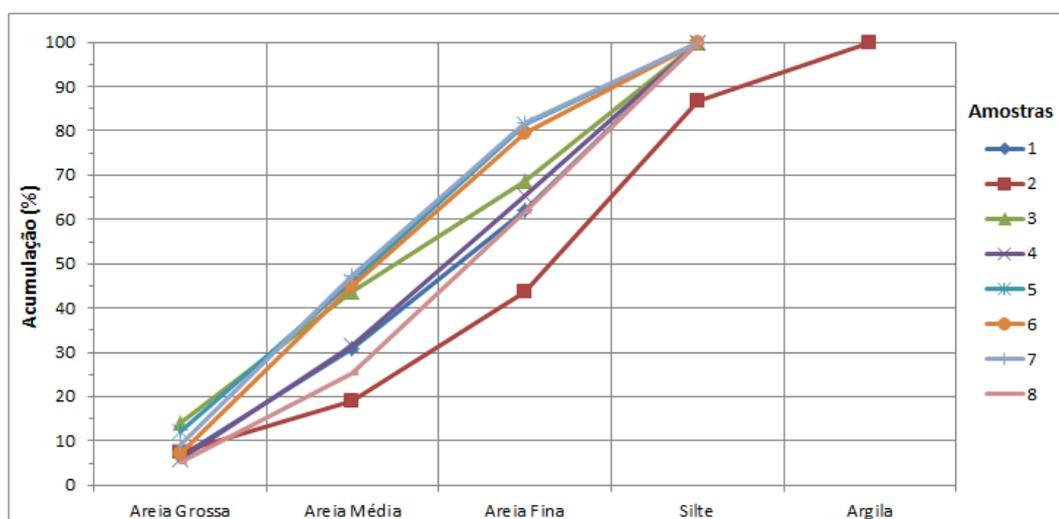


Figura 38: gráfico de distribuição granulométrica acumulada das amostras

Tabela 4: peso específico natural do solo das amostras

Amostra	Peso Específico Natural do Solo (g/cm ³)
1	2,734
2	2,814
3	3,201
4	2,892
5	3,097
6	3,23
7	2,929
8	2,803

Tabela 5: limites de Atterberg e índice de plasticidade para as amostras

Amostra	LP(%)	LL(%)	IP(%)
1	21,6	36,3	14,6
2	30,8	57,7	27
3	31,6	43,6	12
4	27,8	40,7	12,8
5	29,6	36,7	7
6	25,3	42,1	16,9
7	27,5	39,8	12,3
8	27,6	44	16,4

Ao analisar os dados laboratoriais para as amostras de solo, notamos a primeira discrepância na análise granulométrica: não há fração granulométrica de argila presente. Este resultado, no entanto, é esperado, visto que não foi usado o agente defloculante hexametáfosfato de sódio; com isso, é possível que a porção granulométrica que forma a argila tenha se agregado e adquirido proporções equivalentes à areia-fina ou silte. Este comportamento explicaria os dados dos gráficos, os quais apresentam (para as amostras 1, 3, 4 e 8) altos índices de silte (mais que 25% do total). As amostras 5, 6 e 7, por sua vez, são marcadamente mais arenosas que as demais. A amostra 2 apresenta um índice significativo de argila, porém, isso pode ser concluído como alguma anomalia, contaminação ou até mesmo excesso de argila na amostra, o que não afeta o *trending* geral de altos níveis de silte.

Estas características granulométricas são consistentes com o IP esperado (Tabela 1) para solos com estas características. As amostras 1, 2, 3, 4 e 8 apresentam IP de 14,6%, 27%, 12%, 12,8% e 16,4% respectivamente; segundo Pinto (2005), IP's entre 14 e 18% são residuais de granito, enquanto solos entre 20 e 30% de IP são residuais de basalto; as amostras

6 e 7 são as mais peculiares, pois a despeito de serem mais arenosas que as anteriores, apresentam IP de 16,9% e 12,3% respectivamente. Já a amostra 5 é a que possui menor IP, no valor de 7%. Tais dados são possíveis na área de estudo para as amostras, visto que o terreno é composto tanto por basaltos da Formação Serra Geral quanto por arenitos do Subgrupo Itararé, porém, não necessariamente elas seguem suas ocorrências. Isso pode ser explicado devido a mudanças no solo geradas pelo uso e ocupação do local (predominantemente agricultura).

5.2 Permeabilidade

Em seguida, os dados de permeabilidade para as medidas nos pontos da Figura 10. Os dados são de condutividade hidráulica saturada de campo (k_{fs}), potencial mátrico (ϕ_m) e o índice α [cm^{-1}]. O potencial mátrico e condutividade hidráulica foram iguais tanto para 5cm de carga no permeâmetro quanto para 10cm de carga. As tabelas com as medidas detalhadas que deram origem às medidas apresentadas nesta tabela estão no Anexo 3.

Tabela 6: dados de permeabilidade obtidos para seus respectivos pontos

Pontos	K_{fs}	F_i	α
1	8,66E-04	6,70E-03	1,29E-01
2	-4,30E-05	2,26E-02	-1,90E-03
3	-4,30E-05	1,51E-02	-2,80E-03
4	-1,40E-05	3,01E-02	-4,70E-04
5	-8,60E-05	7,55E-03	-1,10E-02

. Os dados de permeabilidade apontam para duas situações: a primeira, é que, com exceção da medida de permeabilidade do ponto 1, todas as outras deram um k_{fs} negativo. Tais valores indicam que as medidas estão no limiar e/ou ultrapassaram a precisão nominal do permeâmetro de Guelph. Ao analisar os resultados apresentados na Tabela 1, fica claro que ainda estão na ordem de atuação do aparelho (precisões 10^{-2} a 10^{-6}), porém, para que os dados de k_{fs} possam dar mais características do solo, o ideal seria a realização métodos de mensuração da permeabilidade complementares, como o método de rebaixamento ou o ensaio de duplo anel; ambos mais complicados que o permeâmetro de Guelph, mas que ajudariam a complementar as medidas obtidas pelo aparelho. No modelo e na metodologia apresentados por Failache (2016), estes problemas metodológicos são citados; porém, optou-se por seguir o

estudo com o permeâmetro devido a simplicidade e com o intuito de averiguar se, para área de estudo, ele seria suficiente.

5.3 Discussão

A despeito das análises caírem dentro das possibilidades para o terreno, fica claro que é necessário uma quantidade maior de amostras para serem analisadas e uma particularização destas, para poder correlacionar as características geotécnicas esperadas com o substrato rochoso gerador do solo. Também é necessário frisar que a escolha da não utilização do agente defloculante nas análises, que pode ter tornado os dados de certa maneira imprecisos, foi devido a disponibilidade de tempo hábil para compleição do estudo, uma vez que as análises com o defloculante iriam demorar demais para ser medidas e muito provavelmente não teriam ficado prontas a tempo. Dito isso, os dados para as análises de solo estão razoavelmente correspondentes com a literatura, de acordo com a Tabela 1 (PINTO, 2005).

Quanto aos dados de permeabilidade, pelo o que a informação sugere, é necessário uma adequação do aparelho conforme o tipo de solo estudado e, principalmente, se o solo apresenta macroporosidades marcantes. Segundo Failache (2016) e evidenciado por Elrick *et al.* (1989), na Tabela 2, a macroporosidade é um fator determinante na medida de permeabilidade do solo. Se muito presente, o fluxo pode adquirir um caminho preferencial do fluxo da carga hidráulica aplicada apelo aparelho, levando a medida errôneas. Se comparado com o valor de silte para as amostras de solo (mesmo levando em consideração que as medidas da fração silte podem ter sido aumentadas pela fração argila), fica claro que a macroporosidade teve um efeito determinante nas medidas de permeabilidade. Também segundo Failache (2016), nestes casos, quando o permeâmetro sozinho não tem a resolução nem a precisão necessária para medir a permeabilidade, outros método de análise *in situ* tem de ser utilizados para suplementar as medidas, como o método de rebaixamento ou o de duplo anel de carga hidráulica.

Outro ponto importante a ser citado, é de que as medidas de permeabilidade, idealmente, deveriam ser medidas nos mesmos locais de amostragem de solo e de preferência na mesma época. A precisão temporal neste tipo de estudo é crucial, visto que em áreas de uso agrícola, a passagem constante de máquinas e outros veículos pesados pode compactar o solo seriamente, comprometendo assim as medidas. Mesmo não havendo sinais distintos de

compactação do solo nos dias de excursão nos quais foram realizadas as medidas, é bem provável que esta seja a explicação para os resultados negativos na maioria delas. Inclusive, a única medida cujo resultado não foi negativo, foi realizada numa área relativamente remota da propriedade, sem indícios de uso do solo para agricultura e com poucos carreadores que levam ao local, o que corrobora a hipótese de que a compactação do solo pode ter interferido para as medidas obtidas. Estes fatores, como compactação do solo, são citados por Failache (2016 apud SALES *et al.* 1999), em seu modelo de infiltração do solo, como um dos principais elementos que reduzem a porosidade do solo e, portanto, sua taxa de infiltração; como a permeabilidade está relacionada diretamente com a carga hidráulica saturada do solo, e por consequência, com a permeabilidade deste, é bem plausível que esta tenha sido a característica que levou aos resultados de permeabilidade obtidos.

Sendo assim, é difícil determinar uma correlação conclusiva dos dados de permeabilidade com o tipo de solo, mesmo que haja um indício de reciprocidade entre os dados. Um dos ajustes que poderiam corrigir estes problemas, na metodologia, é de se realizar mais análises de solo e com mais detalhes sobre a granulometria. Assim, pode-se escolher com segurança um método de medida para permeabilidade que dê resultados mais conclusivos e diretamente correlacionáveis, tanto por experimentos quanto pela literatura presente.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o estudo, o principal objetivo foi estabelecer uma metodologia que pudesse nos fornecer uma correlação entre as características mecânicas do solo e a permeabilidade obtida em campo com o uso do permeâmetro de Guelph. Em si, a metodologia pode ser estabelecida: estabelecer pontos de interesse para coleta das amostras e medidas de permeabilidade que sejam bem distribuídos na área, realizar as excursões de campo necessárias e tentar correlacionar tais medidas em um modelo que interpole as características obtidas.

Tais correlações não podem ser categoricamente afirmadas ao analisarmos os resultados obtidos, porém, os dados apontam para uma tendência de correlação, em particular com os dados geotécnicos obtidos em laboratório e os solos esperados no local. Além disso, ficou claro que os solos presentes na região fogem da precisão do aparelho escolhido para realizar as medidas; mesmo que isso não invalide o uso do aparelho em si e o método aplicado, é evidente a necessidade de uma medição complementar através de um método diferente que ou antagonize ou corrobore as medidas de permeabilidade, para que, assim, sejam mais conclusivas.

Muito provavelmente, este estudo teria se beneficiado de uma literatura prévia que caracteriza a área estudada com mais detalhes. Os resultados mostram que a metodologia aplicada funciona, porém carece de alguns complementos, em particular logísticos e organizacionais, uma vez que algumas decisões tomadas que acabaram por afetar alguns dos resultados foram escolhidas por limitações de tempo e transporte de materiais.

Durante uma das excursões de campo, foram detectados certos problemas para a utilização do permeâmetro. Destes, o mais agravante é a mobilidade do volume de água necessário para a realização das medidas, o que limitou o número de medidas para apenas cinco.. Para o operador interessado em realizar as medidas por meio deste aparelho, é necessário estar atento ao volume e à segurança dos recipientes de água utilizados, para que seja suficiente e não corra o risco de perda durante o transporte para o local de estudo. Idealmente, as medidas de permeabilidade seriam muito mais expressivas se fossem organizadas em uma malha que cobrisse todos os principais domínios de solo da FA; desta maneira, elas poderiam ser interpoladas e até mesmo manipuladas através de operações estatísticas de *rasters* no software Arc MAP.

Quanto às amostras de solo, seus resultados seriam mais expressivos se mais ensaios

pudessem ser realizado (dado tempo disponível para tanto), como ensaio de compressibilidade, ensaios que possam medir o índice de vazios do solo, e quaisquer outros pertinentes às características físicas do solo, pois quanto mais informação sobre estas características, mais fácil este solo pode ser correlacionado pelo seu substrato de origem, não apenas com relação a permeabilidade, mas com a literatura vigente; estas amostragens de solo também poderiam seguir uma malha definida, como a proposta para as medidas de permeabilidade para que as informações obtidas possam ser combinados em um modelo digital de interpolação de dados.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT):

____. **NBR-6457**: Amostras de Solos - Preparação Para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

____. **NBR-6459**: Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

____. **NBR-6508**: Grãos de Solo Que Passam na Peneira de 4,8mm-Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro, 1984.

____. **NBR-6502**: Classificação Granulométrica de Solos. Rio de Janeiro, 1985.

____. **NBR-7180**: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

____. **NBR-7181**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

AB'SÁBER, A. N., **A Terra Paulista**. Boletim Paulista de Geografia, São Paulo, n. 23, p. 5-38, 1956. [Republicado em AB'SÁBER, A. N. São Paulo: ensaios entreveros. São Paulo: Edusp/Imprensa Oficial, 2004.]

AGUIAR, Adriana Briggs de. **O emprego do Permeâmetro de Guelph na determinação da permeabilidade do solo, de camadas de lixo e sua cobertura**. Rio de Janeiro, 2001, 90 p. Tese de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 6ª edição, 1996. 234p

CHRISTOFOLETTI, A. & FEDERICI, A., **A Terra Campineira**. Campinas: Mousinho, 1971.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo: Thomson, 2007. 561 p. il.

ELRICK, D.E., REYNOLDS, W.D., GEERING, H.R., TAN, K.A., **Hydraulic Conductivity Measurements in the Saturated Zone Using Improved Well Analyses**. Ground Water

Monit. Rev. 9:184-193, 1989,

FAILACHE, M.F. Avaliação da taxa de infiltração e escoamento superficial para eventos de chuva baseada na integração de dados geológicos, geotécnicos e de usos. 2016. XXX p. Qualificação (Doutorado-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2016).

FERNANDES, A.J.; AZEVEDO SOBRINHO, J.M.; TEIXEIRA, A.L. Mapa Geológico do Município de Campinas. In: INSTITUTO GEOLÓGICO. Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Campinas (SP). São Paulo. Relatório Técnico IG, 3 v. 1993.

INSTITUTO GEOLÓGICO. Subsídios para o planejamento regional e urbano do meio físico na porção média da Bacia do Rio Piracicaba, SP. São Paulo. Relatório Técnico IG. 4 v. 1995.

MASSAD, Façal. OBRAS DE TERRA: Curso Básico de Geotecnia. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.170 p.il.

PINTO, Carlos de Sousa. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 2.ed São Paulo:Oficina de Textos, 2002. 353 p.il.

Reynolds, W. D., Elrick, D. E., Clothier, B. E., 1985, The Constant Head Well Permeameter: Effect of Unsaturated Flow.

RICHARDS, L.A., Capillary Conduction of Liquids through Porous Mediums, Cornell University, 1931

SOTO, M. A.; CHANG, K. H. VILAR, O. M. Análise do método do permeâmetro guelph na determinação da condutividade hidráulica saturada. Águas Subterrâneas, v.23, n.01, p.137-152, 2009.

STEVAUX, J.C.; SOUZA FILHO, E.E. DE; TEIXEIRA, J.A.; LANDIM, P.M.B. **Sistemas deposicionais do Subgrupo Itararé (P-C) na bacia hidrográfica do baixo Rio Capivari (SP):**

um modelo de prospecção de água subterrânea. *In:* Simpósio Regional de Geologia, 6, Rio Claro, 1987. Atas... Rio Claro, **SBG**, v.1, p. 335-374. 1987.

VALLADARES, G. S.; COELHO, R. M.; CHIBA, M. K., **Mapa Pedológico do Município de Campinas, SP: legenda expandida.**, 2008.

VASCONCELLOS, A.C.B.C. **O Grupo Andrelândia na região norte de Ouro Fino, MG.** São Paulo. 1988. 199 p. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

VLACH, S.R.F. **Geologia, Petrografia e Geocronologia das Regiões Meridional e Oriental do Complexo de Morungaba, SP.** São Paulo. 1985. 253 p. Tese de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Softwares Utilizados:

Corel DRAW®

ESRI ArcMAP®

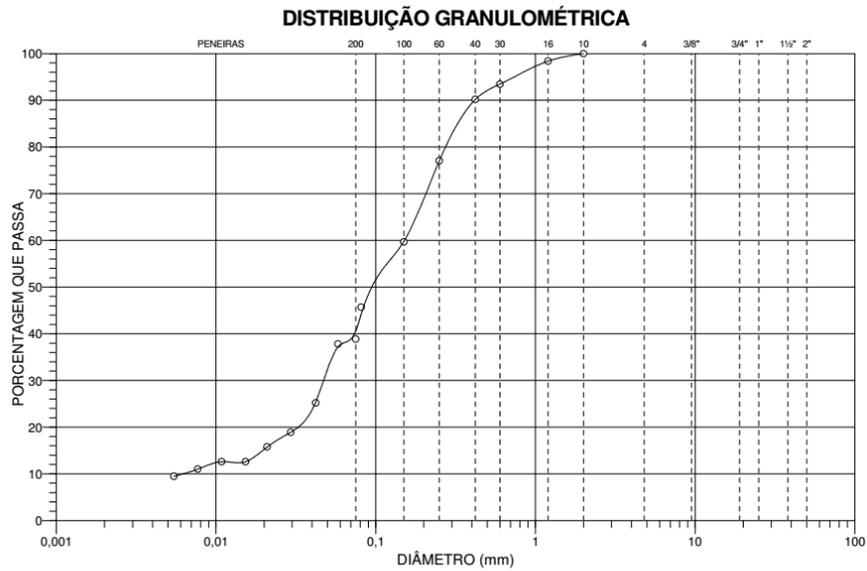
Google Earth™

Microsoft Office™ Excel®

Microsoft Office™ Word®

Anexo 3 – Gráficos de distribuição granulométrica detalhados e tabelas de limites físicos para cada amostra

Amostra 1



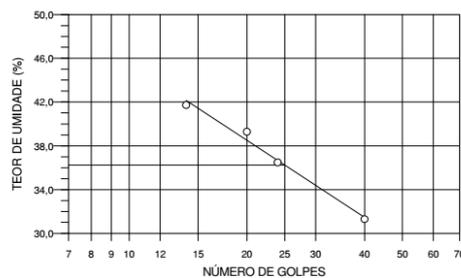
CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
0,0%	37,7%	31,2%	24,5%	6,5%	0,0%	0,0%	0,0%
		62,3%			0,0%		
		DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)					

LIMITE DE PLASTICIDADE							
DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		3	28	92			
TARA	g	12,40	11,91	10,98			
PESO ÚMIDO	g	14,65	13,85	13,10			
PESO SECO	g	14,25	13,49	12,74			
TEOR DE UMIDADE	%	21,62	22,78	20,45			

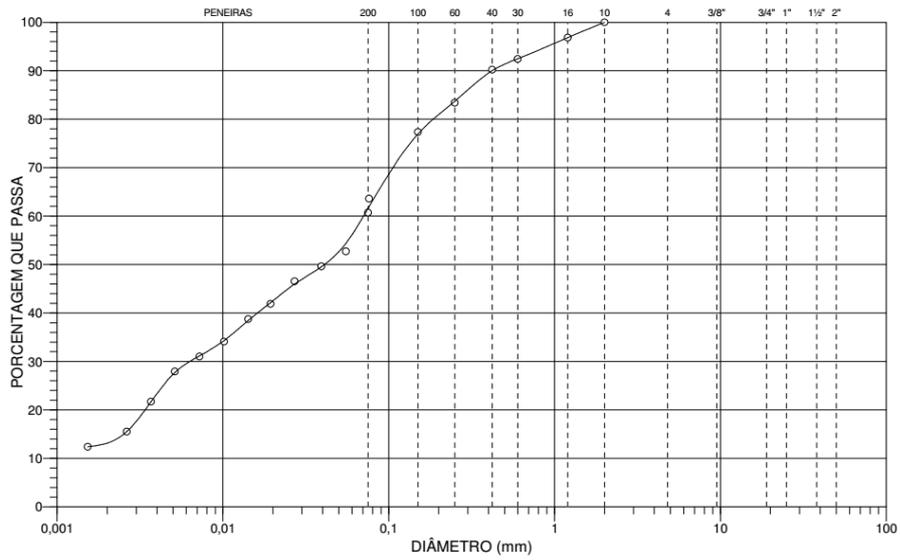
LIMITE DE LIQUIDEZ							
DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		101	110	111	112		
TARA	g	12,85	11,78	12,24	11,88		
PESO ÚMIDO	g	15,66	13,80	14,19	13,85		
PESO SECO	g	14,99	13,26	13,64	13,27		
TEOR DE UMIDADE	%	31,31	36,49	39,29	41,73		
NUM. DE GOLPES		40	24	20	14		

LIMITES	
LC	
LP	21,6%
LL	36,3%
IP	14,6%



Amostra 2

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

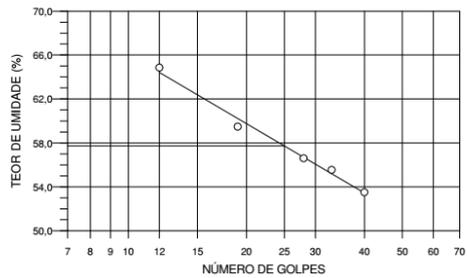
ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
13,2%	43,0%	24,8%	11,5%	7,5%	0,0%	0,0%	0,0%
0,002	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60

DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)

LIMITE DE PLASTICIDADE							
DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		115	122	103			
TARA	g	11,94	11,23	12,09			
PESO ÚMIDO	g	13,89	14,56	14,06			
PESO SECO	g	13,43	13,79	13,59			
TEOR DE UMIDADE	%	30,87	30,08	31,33			

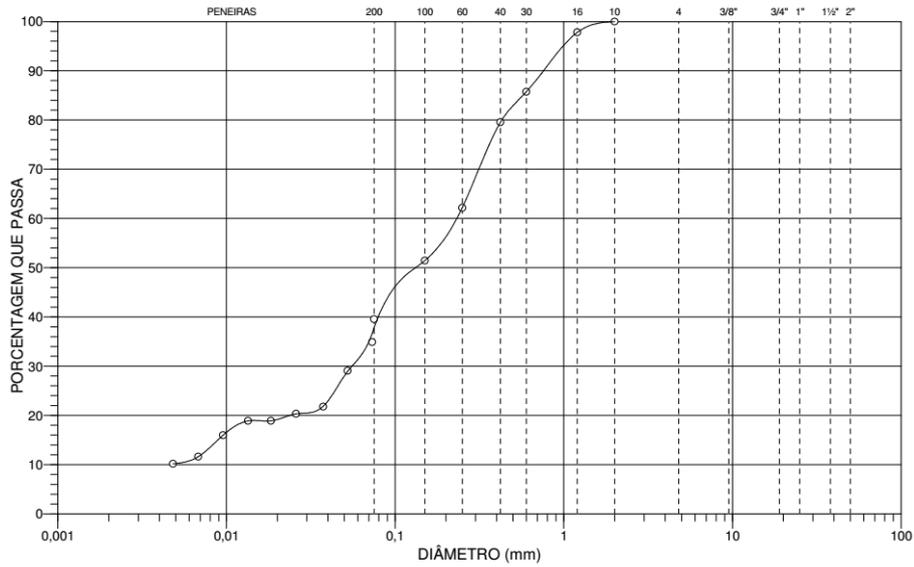
LIMITE DE LIQUIDEZ							
DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		96	02	108	106	39	
TARA	g	12,09	10,80	12,50	12,42	9,86	
PESO ÚMIDO	g	15,36	13,32	15,35	16,12	12,30	
PESO SECO	g	14,22	12,42	14,32	14,74	11,34	
TEOR DE UMIDADE	%	53,52	55,56	56,59	59,48	64,86	
NUM. DE GOLPES		40	33	28	19	12	

LIMITES	
LC	
LP	30,8%
LL	57,7%
IP	27,0%



Amostra 3

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
0,0%	31,3%	25,0%	29,4%	14,2%	0,0%	0,0%	0,0%
		DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)					

LIMITE DE PLASTICIDADE

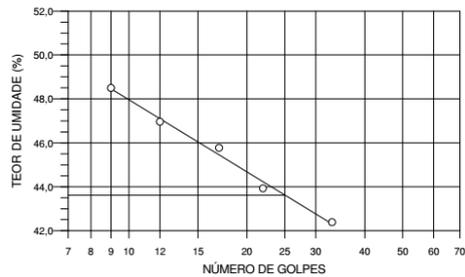
DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		63	108	115			
TARA	g	11,38	12,44	11,96			
PESO ÚMIDO	g	13,47	14,73	14,63			
PESO SECO	g	12,99	14,18	13,96			
TEOR DE UMIDADE	%	29,81	31,61	33,50			

LIMITE DE LIQUIDEZ

DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		13	24	44	84	114	
TARA	g	11,32	11,38	10,99	11,27	9,59	
PESO ÚMIDO	g	14,78	14,46	15,64	14,90	14,03	
PESO SECO	g	13,75	13,52	14,18	13,74	12,58	
TEOR DE UMIDADE	%	42,39	43,93	45,77	46,96	48,49	
NUM. DE GOLPES		33		22	17	12	9

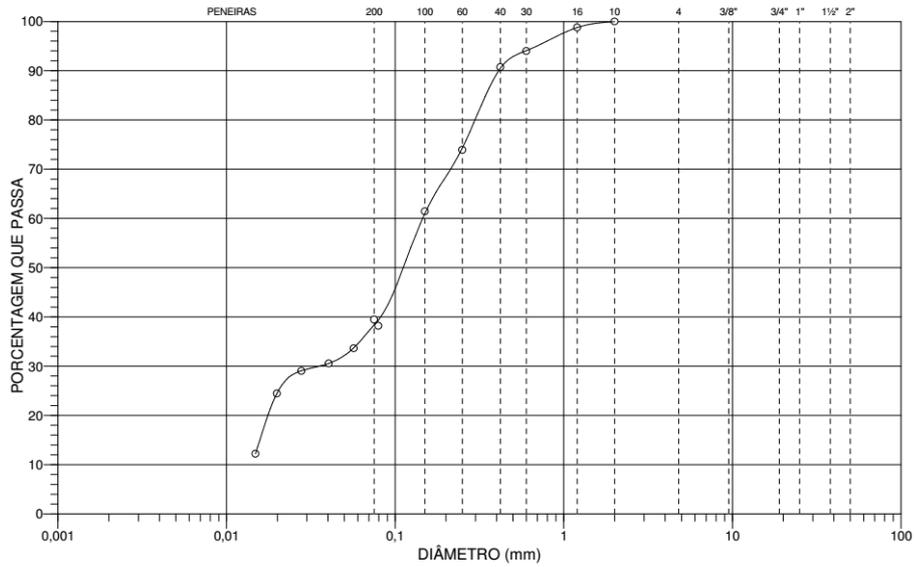
LIMITES

LC	
LP	31,6%
LL	43,6%
IP	12,0%



Amostra 4

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



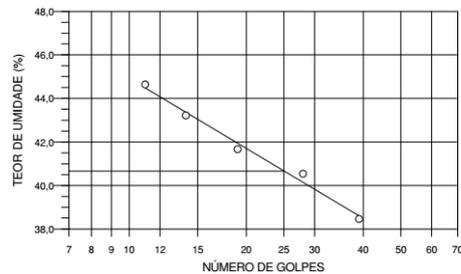
CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO			
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO	
0,0%	34,6%	34,0%	25,5%	5,9%	0,0%	0,0%	0,0%	
		65,4%			0,0%			
		DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)						

LIMITE DE PLASTICIDADE							
DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		28	111	122			
TARA	g	11,91	12,24	12,22			
PESO ÚMIDO	g	14,89	14,11	14,29			
PESO SECO	g	14,24	13,73	13,84			
TEOR DE UMIDADE	%	27,90	25,50	27,78			

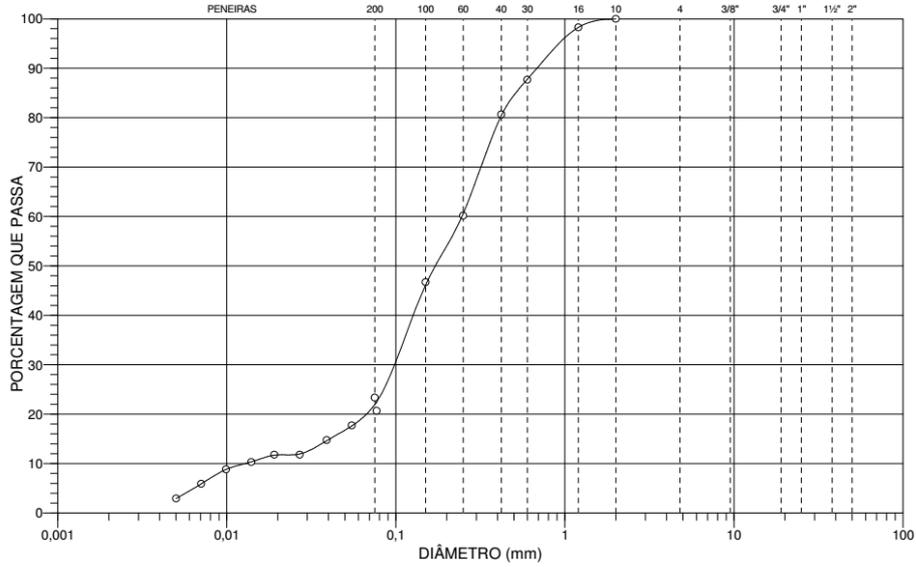
LIMITE DE LIQUIDEZ							
DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		58	92	11	102	103	
TARA	g	11,94	10,99	11,88	11,41	12,07	
PESO ÚMIDO	g	14,28	13,59	14,77	14,79	14,50	
PESO SECO	g	13,63	12,84	13,92	13,77	13,75	
TEOR DE UMIDADE	%	38,46	40,54	41,67	43,22	44,64	
NUM. DE GOLPES		39	28	19	14	11	

LIMITES	
LC	
LP	27,8%
LL	40,7%
IP	12,8%



Amostra 5

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

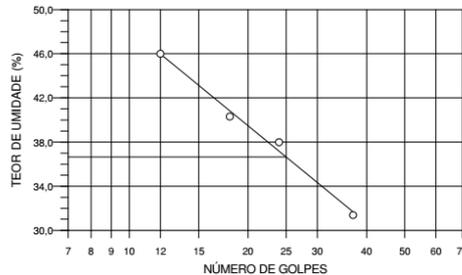
ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
0,0%	18,6%	35,5%	33,7%	12,2%	0,0%	0,0%	0,0%

DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)

LIMITE DE PLASTICIDADE							
DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		G - 12	33	8 - X			
TARA	g	7,23	11,92	7,30			
PESO ÚMIDO	g	8,82	14,02	8,86			
PESO SECO	g	8,45	13,58	8,51			
TEOR DE UMIDADE	%	30,33	26,51	28,93			

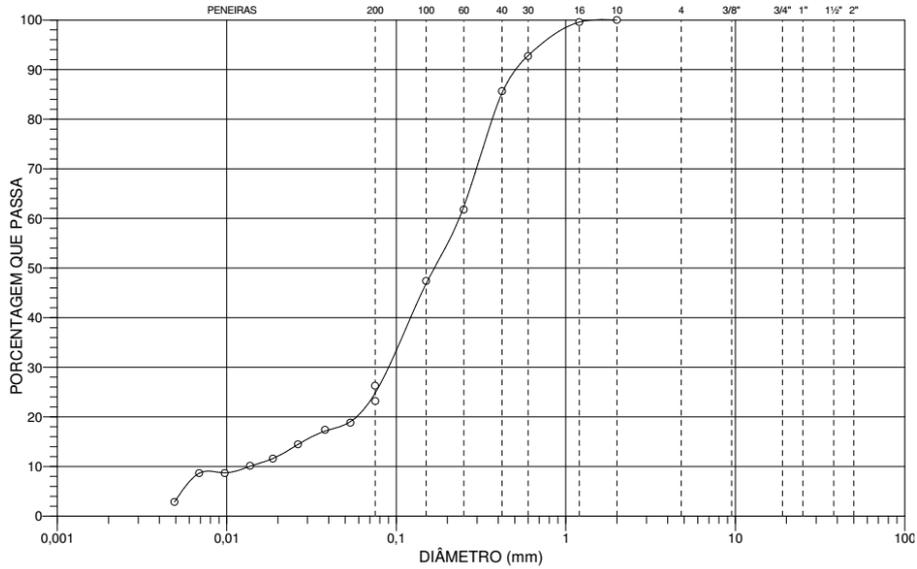
LIMITE DE LIQUIDEZ							
DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		122	106	101	111		
TARA	g	11,71	12,43	12,89	11,92		
PESO ÚMIDO	g	15,31	16,28	15,64	15,38		
PESO SECO	g	14,45	15,22	14,85	14,29		
TEOR DE UMIDADE	%	31,39	37,99	40,31	45,99		
NUM. DE GOLPES		37	24	18	12		

LIMITES	
LC	
LP	29,6%
LL	36,7%
IP	7,0%



Amostra 6

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



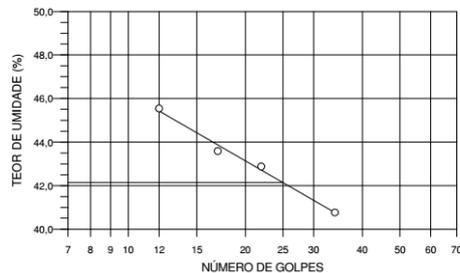
CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO			
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO	
0,0%	20,4%	34,4%	37,9%	7,2%	0,0%	0,0%	0,0%	
		79,6%			0,0%			
		DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)						

LIMITE DE PLASTICIDADE							
DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		109	1 - X	114			
TARA	g	12,88	7,31	12,64			
PESO ÚMIDO	g	15,41	9,34	13,84			
PESO SECO	g	14,90	8,93	13,58			
TEOR DE UMIDADE	%	25,25	25,31	27,66			

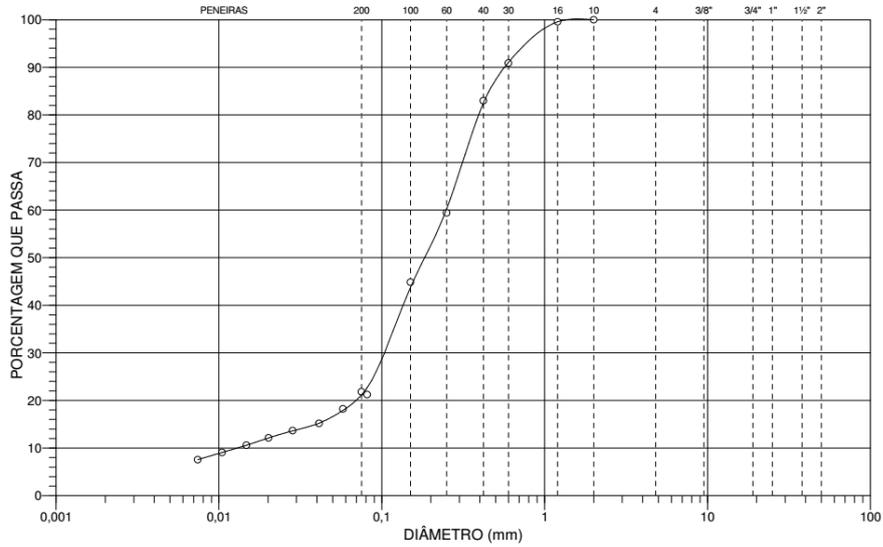
LIMITE DE LIQUIDEZ							
DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		28	58	4 - X	G - 1		
TARA	g	11,90	11,91	10,06	7,14		
PESO ÚMIDO	g	19,98	19,74	14,54	11,55		
PESO SECO	g	17,64	17,39	13,18	10,17		
TEOR DE UMIDADE	%	40,77	42,88	43,59	45,54		
NUM. DE GOLPES		34	22	17	12		

LIMITES	
LC	
LP	25,3%
LL	42,1%
IP	16,9%



Amostra 7

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO				
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO		
0,0%	18,3%	34,3%	38,4%	9,0%	0,0%	0,0%	0,0%		
		81,7%			0,0%				
		DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)							
		0,002	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60

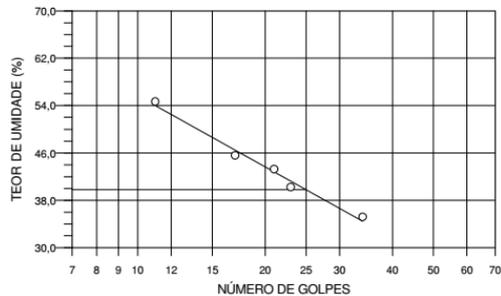
LIMITE DE PLASTICIDADE

DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		109	110	114			
TARA	g	12,86	11,36	12,75			
PESO ÚMIDO	g	14,47	12,97	13,94			
PESO SECO	g	14,12	12,63	13,68			
TEOR DE UMIDADE	%	27,78	26,77	27,96			

LIMITE DE LIQUIDEZ

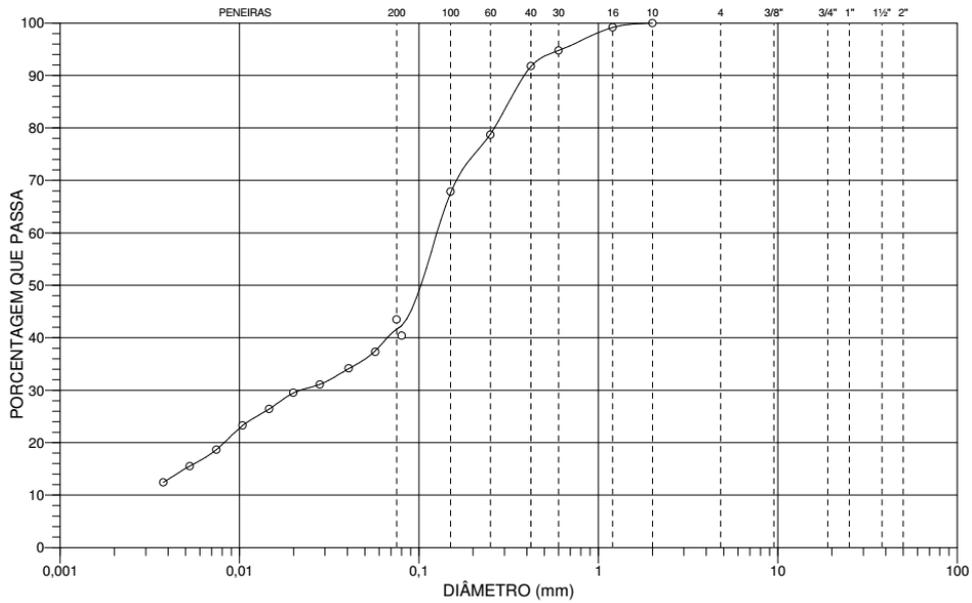
DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		201	203	4 - X	3 - B	2 - B	
TARA	g	7,26	7,23	10,86	7,50	7,43	
PESO ÚMIDO	g	11,52	11,62	14,80	11,46	12,55	
PESO SECO	g	10,41	10,36	13,61	10,22	10,74	
TEOR DE UMIDADE	%	35,24	40,26	43,27	45,59	54,68	
NUM. DE GOLPES		34	23	21	17	11	

LIMITES	
LC	
LP	27,5%
LL	39,8%
IP	12,3%



Amostra 8

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO				
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO		
0,0%	38,3%	36,4%	20,1%	5,2%	0,0%	0,0%	0,0%		
		DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)							
		0,002	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60

LIMITE DE PLASTICIDADE

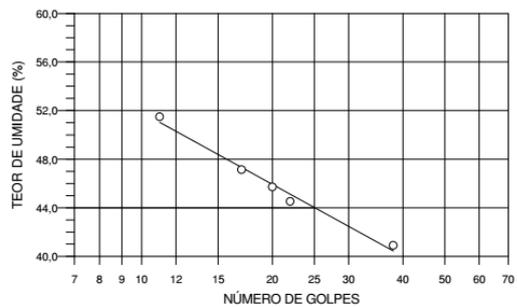
DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		43	44	53			
TARA	g	10,42	10,98	12,15			
PESO ÚMIDO	g	12,08	12,44	14,22			
PESO SECO	g	11,72	12,12	13,78			
TEOR DE UMIDADE	%	27,69	28,07	26,99			

LIMITE DE LIQUIDEZ

DETERMINAÇÃO		1	2	3	4	5	6
CÁPSULA		24	92	106	8 - B	7 - X	
TARA	g	11,39	10,98	12,43	10,43	7,41	
PESO ÚMIDO	g	15,42	14,81	16,35	13,52	12,97	
PESO SECO	g	14,25	13,63	15,12	12,53	11,08	
TEOR DE UMIDADE	%	40,91	44,53	45,72	47,14	51,50	
NUM. DE GOLPES		38	22	20	17	11	

LIMITES

LC	
LP	27,6%
LL	44,0%
IP	16,4%



Anexo 4 – Tabelas Usadas na Obtenção dos Índices de Permeabilidade do Solo

Medida 1

VISUAL E TÁCTIL					Dimensões (cm)				
DATA					diâmetro interno				
PROFUNDIDADE DO FURO (cm)					tubo acrílico				
RAIO DO FURO (cm)					tubo PVC				
AMBOS OS RESERVATÓRIOS (X)					espessura PVC				
RESERVATÓRIO INTERNO (Y)					Área (cm ²)				
LEITURA PARA O 1º ESTÁGIO H ₁ (cm)					LEITURA PARA O 2º ESTÁGIO H ₂ (cm)				
5					10				

(A) Tempo (min)	(B) Interv. Tempo (min)	(C) Nivel de água (cm)	(D) Var. do nível (cm)	(E) R ₁ = D/B (cm/min)
0	0	75	0	0
5	5	62	13	2,6
10	5	50	12	2,4
15	5	39,5	10,5	2,1
20	5	30,5	9	1,8
25	5	22,5	8	1,6
30	5	16,5	4	0,8
35	5	16,5	4	0,8
40	5	16,5	4	0,8

(A) Tempo (min)	(B) Interv. Tempo (min)	(C) Nivel de água (cm)	(D) Var. do nível (cm)	(E) R ₂ = D/B (cm/min)
0	0	70	0	0
5	5	62	8	1,6
10	5	57	5,5	1,1
15	5	51	5,5	1,1
20	5	46	5,5	1,1

CÁLCULOS				
1º estágio R ₁ = 0,0133 cm/s				
2º estágio R ₂ = 0,0183 cm/s				
Fator de forma				
C ₁ = 0,52				
C ₂ = 1,03				
α 1,292E-01				
K _{fs} =	G ₂	X	R ₂	G ₁ A
	0,003285	54,10	0,0183	0,003317
				54,10 0,0133 = 8,66E-04 cm/s
	G ₃	X	R ₁	G ₄ A
	0,036631	54,10	0,0133	0,019886
				54,10 0,0183 = 6,70E-03 cm ² /s
K _{fs} =	G ₂	Q ₂	-	G ₁ Q ₁
	0,003285	0,991866		0,003317 0,721357
				0,000866
φ _{Gm} =	0,036631	0,721357	-	0,019886 0,991866
				0,0067

Medida 3

VISUAL E TÁCTIL		Dimensões (cm)	
DATA		diâmetro interno	
PROFUNDIDADE DO FURO (cm)	45	tubo acrílico	8,47
RAIO DO FURO (cm)	4,5	tubo PVC	1,56
AMBOS OS RESERVATÓRIOS (X)		espessura PV(0,37
RESERVATÓRIO INTERNO (Y)		Área (cm ²)	54,10
LEITURA PARA O 1º ESTÁGIO H ₁ (cm)	5	LEITURA PARA O 2º ESTÁGIO H ₂ (cm)	10

(A) Tempo (min)	(B) Interv. Tempo (min)	(C) Nível de água (cm)	(D) Var. do nível (cm)	(E) R ₁ = D/B (cm/min)
0	0	72	0	0
0,5	0,5	71	1	2
1	0,5	70	1	2
1,5	0,5	69,5	0,5	1
2,5	1	67,5	2	2
3,5	1	66	1,5	1,5
4,5	1	64,5	1,5	1,5
5,5	1	63	1,5	1,5

(A) Tempo (min)	(B) Interv. Tempo (min)	(C) Nível de água (cm)	(D) Var. do nível (cm)	(E) R ₂ = D/B (cm/min)
0	0	62,5	0	0
0,5	0,5	61	1,5	3
1	0,5	60	1	2
1,5	0,5	59,5	0,5	1
2	0,5	58,5	1	2
3	1	57	1,5	1,5
4	1	55,5	1,5	1,5
5	1	54,5	1	1
6	1	53,5	1	1
7	1	52,5	1	1

CÁLCULOS

1º estágio R₁ = 0,0250 cm/s
 2º estágio R₂ = 0,0167 cm/s

Fator de forma α
 C₁ = 0,52 -2,86E-03
 C₂ = 1,03

$K_{fs} = \frac{G_2 \cdot X \cdot R_2}{G_1 \cdot A \cdot R_1} = \frac{0,003285 \cdot 54,10 \cdot 0,0250}{0,003317 \cdot 54,10 \cdot 0,0250} = -4,3E-05 \text{ cm/s}$

$\phi_{Gm} = \frac{G_3 \cdot X \cdot R_1}{G_4 \cdot A \cdot R_2} = \frac{0,036631 \cdot 54,10 \cdot 0,0167}{0,019886 \cdot 54,10 \cdot 0,0167} = 0,015099 \text{ cm}^2/\text{s}$

$K_{fs} = \frac{G_2 \cdot Q_2}{G_1 \cdot Q_1} = \frac{0,003285 \cdot 1,352544}{0,003317 \cdot 1,352544} = -4,3E-05$

$\phi_{Gm} = \frac{G_2 \cdot Q_2}{G_1 \cdot Q_1} = \frac{0,036631 \cdot 0,901696}{0,019886 \cdot 0,901696} = 0,015099$

Medida 4

VISUAL E TÁCTIL DATA		Dimensões (cm)	
		diâmetro interno	
PROFUNDIDADE DO FURO (cm)	45	tubo acrílico	8,47
RAIO DO FURO (cm)	4,5	tubo PVC	1,56
AMBOS OS RESERVATÓRIOS (X)		espessura	0,37
RESERVATÓRIO INTERNO (Y)		Área (cm ²)	54,10
LEITURA PARA O 1º ESTÁGIO H ₁ (cm)	5	LEITURA PARA O 2º ESTÁGIO H ₂ (cm)	10

(A) Tempo (min)	(B) Interv. Tempo (min)	(C) Nível de água (cm)	(D) Var. do nível (cm)	(E) R ₁ = D/B (cm/min)
0	0	62,5	0	0
2	2	61,5	1	0,5
4	2	60,5	1	0,5
6	2	59,5	1	0,5
8	2	58,5	1	0,5

(A) Tempo (min)	(B) Interv. Tempo (min)	(C) Nível de água (cm)	(D) Var. do nível (cm)	(E) R ₂ = D/B (cm/min)
0	0	58	0	0
0,5	0,5	57	1	2
1	0,5	55,5	1,5	3
1,5	0,5	54,5	1	2
2	0,5	53,5	1	2
2,5	0,5	52,5	1	2
3	0,5	51	1,5	3
3,5	0,5	50	1	2
4	0,5	49	1	2

CÁLCULOS	
1º estágio R ₁ =	0,0083 cm/s
2º estágio R ₂ =	0,0333 cm/s
Fator de forma	α -4,76E-04
C ₁ =	0,52
C ₂ =	1,03
K _{fs} =	G ₂ X R ₂ G ₁ A R ₁ 0,003285 54,10 0,0083 - 0,003317 54,10 0,0083 = -1,4E-05 cm/s
φ _{Gm} =	G ₃ X R ₁ G ₄ A R ₂ 0,036631 54,10 0,0333 - 0,019886 54,10 0,0333 = 0,030198 cm ² /s
K _{fs} =	G ₂ Q ₂ - G ₁ Q ₁ K _{fs} 0,003285 0,450848 0,003317 0,450848 -1,4E-05
φ _{Gm} =	0,036631 1,803392 - 0,019886 1,803392 0,030198

