



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Curso de Graduação em Geologia



**Análise geológica-geotécnica de solos saprolíticos e transportados
derivados de gnaisses**

Aluno: Bruno Fadel Barbosa Lima

Orientador: Prof. Dr. Jefferson de Lima Picanço

Corientador: Prof. Dr. Gelvam André Hartmann

Campinas

Novembro/2018



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO



Análise geológica-geotécnica de solos saprolíticos e transportados derivados de gnaisses

Bruno Fadel Barbosa Lima

Autor

Professor Dr. Jefferson de Lima Picanço

Orientador

Prof. Dr. Gelvam André Hartmann

Corientador

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

Examinadores:

Prof. Dr. Ricardo Perobelli

Mestre Diego L. Nascimento

Campinas

Novembro/2018

“Duas coisas são infinitas: o universo e a estupidez humana. Mas, em relação ao universo, ainda não tenho certeza absoluta.” **A. Einstein**

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais Gersony e Alexandre que sempre me apoiaram desde os meus primeiros passos no mundo; sem eles, nada teria sido possível. Ao meu irmão Matheus, por sempre estar junto nas horas difíceis.

Aos grandes amigos que a Unicamp me proporcionou: Pedro, Lucca, Vinícius, Raul e João, e toda a turma 014 e comunidade do IG, que foram muito acolhedores ao longo de 5 anos. Desejo-lhes toda a sorte do mundo e agradeço por fazerem destes 5 anos sensacionais.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Jefferson Picanço, pela orientação e companherismo durante todo o projeto.

Ao meu corientador Gelvam Hartmann, pela ajuda em geofísica. Ao Prof. Dr. Henrique Candido (FEC-UNICAMP), pela geração das imagens de drone, e por disponibilizar do seu tempo para ir a campo. Ao grande técnico Reinaldo Leite (Laboratório de Mecânica dos Solos e Estradas) sem o qual nada teria sido feito em laboratório.

Também gostaria de agradecer a todos os envolvidos neste trabalho: Luis Tito, Rodrigo, Marinês, Daniel Martins e ao grande companheiro de campo/trado/vida Pedro, sem o qual nem o início deste trabalho seria possível. Obrigado Pedrão !

Resumo

A caracterização geológica-geotécnica de solos saprolíticos é um estudo de extrema importância tanto para a geologia quanto para a engenharia civil. A determinação laboratorial a partir dos ensaios geotécnicos permite qualificar o solo a partir de sua granulometria e índices físicos, e assim, inferir sua origem e os processos erosivos e intempéricos que nele atuam.

No presente trabalho procura-se entender a dinâmica de uma vertente no município de São José do Rio Pardo, em que se encontram solos derivados de gnaisses com composição granítica e solos transportados. Para tal, utilizou-se da aerofotogrametria com um drone, para a geração de mapas com alta precisão de distâncias e coordenadas. Além disso, a partir dos métodos de susceptibilidade magnética e gamaespectrometria, definiu-se regiões com anomalias dos elementos U,K e Th, inferindo o transporte de material para estas regiões.

A partir dos ensaios laboratoriais realizados (Massa específica, Umidade, Granulometria e Consistência do solo) determinou-se a composição granulométrica, índices físicos e características geotécnicas dos solos, definindo um material areno-argiloso em sua maioria, com variações verticais e horizontais por todo o terreno da vertente. Assim, a partir de todos os resultados, interpretou-se a dinâmica da mesma, definindo os processos erosivos, transporte e deposição do solo.

Palavras-Chave: *Mecânica dos solos; Geotecnia; Geofísica; Dinâmica de vertente.*

Abstract

The geological-geotechnical characterization of saprolites is a very important study, both for geology and for civil Engineering. The laboratory determination from the geotechnical tests allows to classify the soil from its granulometry and physical characteristics and thus, define its origin and the erosives processes that act on it.

This work seeks to understand the dynamics in a slope in the São José do Rio Pardo city, where are gneiss with granite composition soils and transported soils. For such, aerophotogrammetry with a drone was used, to generate maps with high precision of distances and coordinates. Besides that, from the geophysical methods of magnetic susceptibility and gamaespectrometry, were defined regions with anomalous concentration of the elements U, K and Th, deducing soil transportation to those regions.

Thus, from the laboratory test it was determined the granulometry composition, physical and geotechnical characteristics. So, from all the results, it was interpreted the dynamics of the slope, defining all the processes that act on it.

Keywords: *Soil mechanics; Geotechnics; Geophysic; Slope dynamics.*

Índice de Figuras

Figura 1- Mapa de localização da área.....	3
Figura 2- Províncias estruturais do Brasil (Hasui, 2012).....	5
Figura 3- Mapa geológico da região (Adaptado CPRM,2018).....	7
Figura 4- Carta de unidades ecodinâmicas de paisagem do município de S. José do Rio Pardo (Folharini & Oliveira, 2012).....	8
Figura 5- Climograma de S. José do Rio Pardo. Disponível em < https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/sao-jose-do-rio-pardo-34830/ >.....	9
Figura 6- Mapa hidrográfico e dos municípios da região.....	11
Figura 7- Fluxograma do projeto.....	17
Figura 8- Imagem da vertente de estudo.....	18
Figura 9- Gnaisses aflorantes na região	19
Figura 10- Picnômetro utilizado	24
Figura 11- Provetas do ensaio de granulometria.....	26
Figura 12- Peneiras do ensaio de granulometria.....	27
Figura 13- Esquema do ensaio do limite de plasticidade (Molina Jr, 2017)	28
Figura 14- Aparelho de casagrande utilizado.....	29
Figura 15- Esquema dos limites de liquidez e plasticidade.....	31
Figura 16- Gamaespectômetro utilizado em campo.....	32
Figura 17- Susceptílimetro KT-13 utilizado em campo, Disponível em < http://www.geoelec.com.mx/kt-10.html >	33
Figura 18- Drone utilizado em campo.....	34
Figura 19- Ortomosaico e MDE da área de estudo.....	36
Figura 20- Mapa de pontos geofísicos.....	37
Figura 21 Mapa de susceptibilidade magnética da área).....	41
Figura 22- Mapa do sinal Urânio (U) da área.....	42
Figura 23- Mapa do sinal Potássio (K) da área.....	43
Figura 24- Mapa do sinal Tório (Th) da área.....	44
Figura 25 -Carta de plasticidade (Caputo, 1987).....	49

Figura 26- Carta de plasticidade com amostras plotadas (Adaptado Caputo,1987)..	50
Figura 27: Classificação unitária (Pinto,2006).....	51
Figura 28- Curvas granulométricas das amostras 1 a 5.....	53
Figura 29- Curvas granulométricas das amostras 6 a 10.....	53
Figura 30- Classificação textural do solos (EMBRAPA). Disponível em < https://www.embrapa.br/solos/sibcs/atributos-do-solo/outros-atributos >.....	54
Figura 31- Perfil NW-SE da vertente de estudo.....	56

Índice de Tabelas

Tabela 1 – frações das partículas do solo. Adaptado de Oliveira&Brito (1998)..	10
Tabela 2 – valores de pluviosidade correspondentes ao ano de 2018.....	12
Tabela 3 –Coordenadas e profundidades das sondagens realizadas.....	19
Tabela 4 – Valores de w(%) T1 a T6.....	45
Tabela 5 – Valores de massa específica das amostras.....	46
Tabela 6 – Índices físicos dos solos.....	47
Tabela 7 – Limites de plasticidade, Liquidez e IP.....	49
Tabela 8 – Classificação unitária dos solos.....	51
Tabela 9 – Classificação textural das amostras.....	54

Lista de equações

- Equação 1:** equação para o cálculo de umidade a partir do ensaio em laboratório.
- Equação 2:** equação para o cálculo de massa específica a partir do ensaio em laboratório.
- Equação 3:** equação para o cálculo do Limite de Liquidez.
- Equação 4:** equação para o cálculo do índice de plasticidade (IP)
- Equação 5:** equação para o cálculo de susceptibilidade magnética (Xi).

Sumário

1. Introdução.....	- 1 -
2. Objetivos.....	- 2 -
3. Localização da área de estudo.....	- 2 -
3.1. Geologia Regional	- 4 -
3.1.1. Província Mantiqueira.....	- 4 -
3.1.2 Cunha Varginha-Guaxupé	- 5 -
3.3 Geomorfologia.....	- 8 -
3.4. Clima.....	- 9 -
3.5. Solos	- 11 -
3.5.1. Solos- Classificação granulométrica	- 11 -
3.5.2. Solos – Classificação geológica/geotécnica	- 12 -
3.8.3. Solos Residuais.	- 12 -
4. Materiais e métodos	- 17 -
4.1 Etapa de campo.....	- 18 -
4.2 Coleta de Amostras.	22
4.3 Ensaios de Laboratório.....	22
4.3.1. Ensaio de Umidade	22
4.3.2. Ensaio de massa específica	23
4.3.3. Ensaio de sedimentação	25
4.3.4. Ensaio de granulometria	27
4.3.5. Ensaios de Consistência do solo.....	28
4.4. Perfis Geofísicos.....	31
4.4.1. Gamaespectrometria	31
4.4.2. Susceptibilidade magnética	32
4.4.3. Processamento dos dados geofísicos	33
4.5. Imagens de drone	34
5. Resultados.....	35
5.1 levantamento planialtimétrico da área de estudo.....	35
5.2 Geofísica.....	37
5.3 Ensaios de Laboratório.....	45
5.3.1 Ensaio de umidade	45
5.3.2 Ensaio de Massa específica	45
5.3.3. Ensaios de Consistência do solo	48

5.3.4. Ensaio de granulometria	52
6. Discussão	55
7. Conclusão.....	59
8. Ref. Bibliográficas.....	60
<i>ANEXO I – CURVAS DE GRANULOMETRIA DAS AMOSTRAS ANÁLISES DE CONSISTÊNCIA DO SOLOS</i>	<i>63</i>

1. Introdução

A vertente pode ser definida o declive de um dos lados de uma montanha ou colina, por onde escoar a água da chuva, também conhecida como encosta.

A dinâmica de uma vertente é algo complexo que necessita o entendimento de diversos fatores como clima, geomorfologia, geologia e geotecnia para ser compreendida. Esta dinâmica pode variar, sendo que em períodos que a energia para o transporte, erosão e deposição é baixa; outrora, a energia disponível é tão grande que permite a movimentação de grandes quantidades de materiais. (Rebelo, 2003).

Estes processos podem ser agravados com a ação antrópica sobre o relevo, alterando as condições naturais e aumentando a intensidade destes processos (Rebelo, 2003).

Neste trabalho, foi estudada em detalhe uma vertente do rio Verde no município de São José do Rio Pardo, que se encontra sob o domínio geológico da Cunha Varginha-Guaxupé, unidade ortognássica migmatítica (CPRM,2008). Para tal, foram realizadas 6 sondagens manuais a trado, a fim de perfurar todas as camadas de solo ali presentes. Assim, foram coletadas diversas amostras em diferentes profundidades, para a realização de ensaios geotécnicos.

Além disso, foram realizados 3 perfis geofísicos NW-SE dos métodos de gamaespectrometria e susceptibilidade magnética. Assim, com os mapas geofísicos de susceptibilidade magnética e concentração dos elementos U, K e Th, interpretou-se a região com anomalia positiva destes elementos.

Juntamente com os perfis geofísicos e as sondagens, utilizou-se da aerofotogrametria para a obtenção de imagens com alta precisão de coordenadas, distâncias e áreas, a partir do imageamento com um drone realizado pelo Prof. Dr. Henrique Cândido de Oliveira.

Com todos os resultados obtidos, interpretou-se a dinâmica da vertente de estudo, aplicando todos os conhecimentos geológicos/geotécnicos prévios, buscando definir os processos erosivos, de transporte e deposição que ali atuam.

2.Objetivos

Este trabalho tem como objetivo compreender os processos de erosão, transporte e deposição atuantes em uma vertente no município de São José do Rio Pardo.

Para este trabalho serão utilizados a compreensão dos processos atuantes, no que se diz a respeito da dinâmica do solo e das rochas presentes na área: análise de campo, realização de perfis geofísicos, geração e interpretação de imagens de drone e ensaios geotécnicos.

3.Localização da área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de São José do Rio Pardo, muito próxima ao limite com o município de Casa Branca, no estado de São Paulo (Figura 1). Ela é delimitada pelas coordenadas 293294 mE - 293621 mE e 7604670 mS – 7604186 mS. O município de São José do Rio Pardo apresenta uma área de 419,017km² e uma população estimada de 54.763 habitantes (IBGE,2010).

O acesso a área de estudo se dá pela Rodovia SP-340 (Figura 1b), que liga Campinas à Mococa, e no km 255 (logo após o pedágio da rodovia) é acessada uma estrada local, onde é percorrido um trecho de 8 quilômetros rumo leste (Figura 1c).

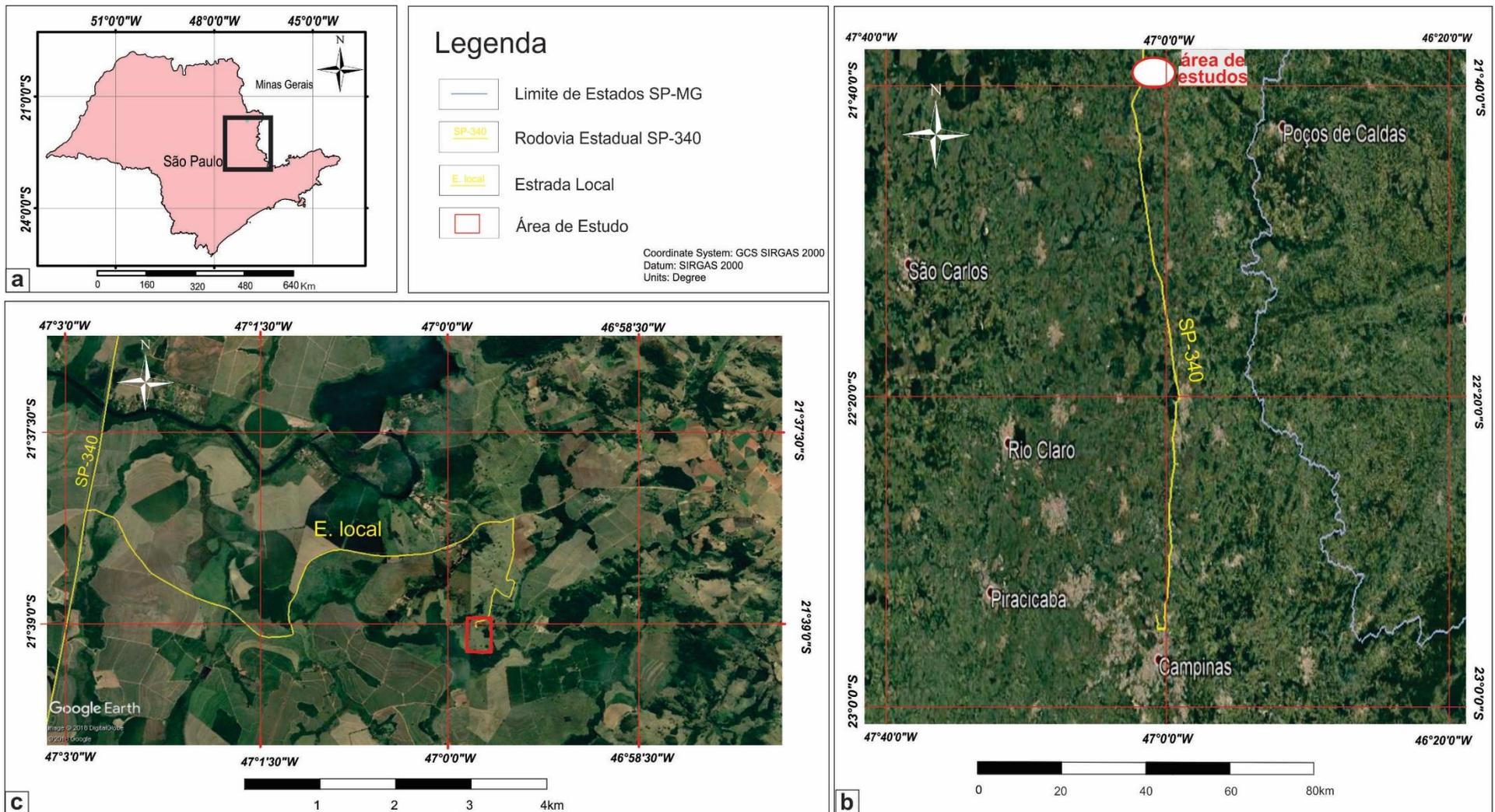


Figura 1: a- Mapa do Estado de São Paulo com destaque pra área da figura 1b;b- Mapa indicando a principal rodovia de acesso entre a cidade de Campinas e a área de estudo, indicando a divisa entre os estados de SP e MG; c- Mapa regional da área de estudo, com destaque para a estrada local (acesso km255 da SP-340) e o polígono que define a vertente

3.1. Geologia Regional

A área de pesquisa se localiza na porção nordeste do estado de São Paulo, próxima a divisa com Minas Gerais, pertencente ao município de São José do Rio Pardo, SP. No contexto geológico, a vertente encontra-se na divisa entre a parte sul da cunha do Complexo Varginha-Guaxupé e a borda ocidental da Bacia do Paraná , pertencendo a Província Mantiqueira.

3.1.1. Província Mantiqueira

A Província Mantiqueira abrange uma área de 450.000km². Apresenta-se como uma faixa ao longo da região costeira entre o sul da Bahia e o norte do Uruguai (Almeida et al., 1977). Faz limite, a oeste, com a Bacia Sedimentar do Paraná (Província Paraná), com a Faixa Brasília (Província Tocantins) e com o Cráton São Francisco (Província São Francisco). Já a leste, com a margem Continental Leste (Fig. 2).

De maneira geral, quase a totalidade da Província é formada por rochas pré-silurianas expostas, registrando os acontecimentos ocorridos desde o Arqueano até cerca de 450Ma de anos atrás, no Ciclo Brasileiro, incluindo a divergência provocada pela fragmentação do supercontinente Rodínia e as convergências resultantes da aglutinação de Gondwana e posterior exumação do orógeno resultante. Além dessas rochas há unidades mais discretas como (1) diques de diabásio e corpos alcalinos do Cretáceo e Paleógeno, (2) coberturas sedimentares do Cretáceo e Paleógeno e (3) coberturas sedimentares do Neógeno e Quaternário (Hasui, 2012).

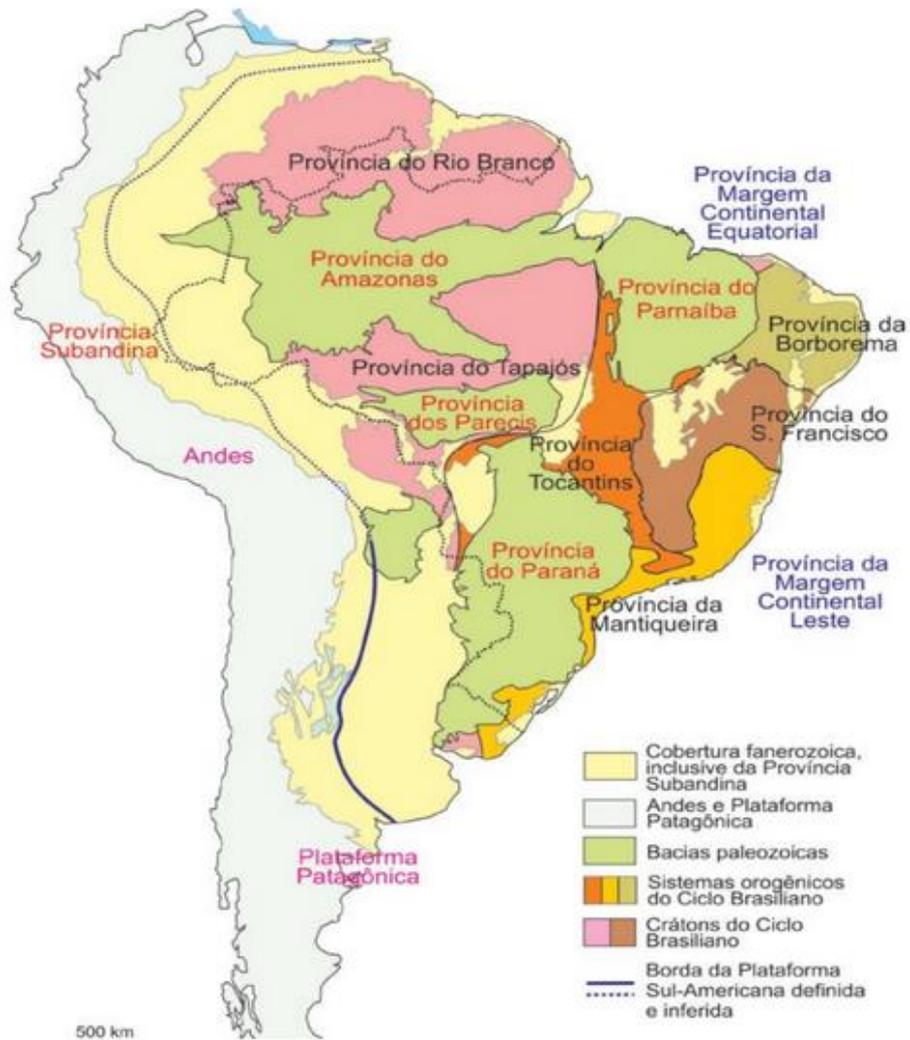


Figura 2: as províncias estruturais do Brasil. Fonte: Geologia do Brasil (Hasui, 2012).

3.1.2 Cunha Varginha-Guaxupé

O complexo Varginha-Guaxupé é constituído por gnaisses granulíticos homogêneos e bandados, de composição predominantemente charnockítica a anderbítica, esverdeados a cinza escuros. Também ocorrem rochas granulíticas ácidas sem piroxênios, sendo de cores rosadas e acinzentadas. Os gnaisses podem se apresentar levemente migmatizados. Intrusivas granitóides e charnockitóides de pequenas dimensões são frequentes no Complexo Guaxupé (Artur, 1988).

O Complexo Varginha-Guaxupé pode ser dividido em três porções, de acordo com o metamorfismo: uma mais a sul, de pressão média a baixa (onde está inserida a área de estudo), uma intermediária de pressão média a alta e outra mais ao norte de alta pressão. Este complexo é composto por granulitos, charnockitos e granitos neoproterozóicos (Campos Neto et al, 1998), superposto ao topo da Sequência Andrelândia (Trouw et al, 2000).

Na porção sul, o Complexo faz divisa com os Complexos Itapira e Amparo, e também os Grupos Canastra e Bambuí; a norte, com o Grupo Araxá e o Complexo Borborema (Fonseca et al., 1979).

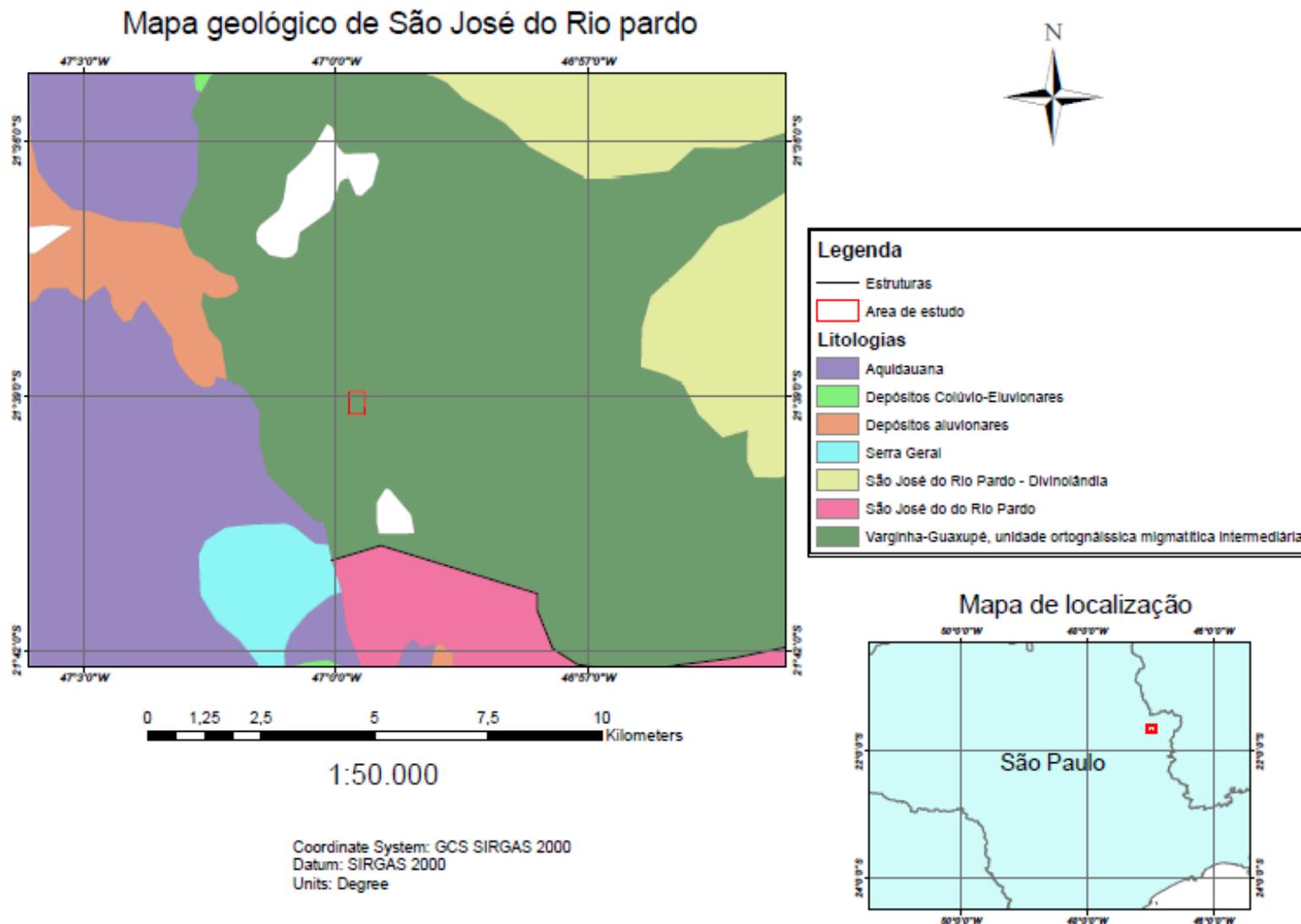


Figura 3: Mapa geológico da área de estudo, extraído de CPRM,2018. Nota-se que a área se encontra inteiramente na unidade Varginha-Guaxupé, unidade ortognáissica migmatítica intermediária; nota-se a proximidade com a Bacia do Paraná (unidades Aquidauana e Serra Geral).

3.3 Geomorfologia

O contexto geomorfológico está inserido na província “Planalto Atlântico, zona Serraria de Lindóia” (IPT, 1981a). O Planalto Atlântico é composto por morros paralelos com topos arredondados e vales fechados e abertos e planícies aluvionares interiores restritos.

Segundo Ross&Moroz (1996), o Planato Atlântico corresponde geralmente à morfologias relacionadas a rochas metamórficas relacionadas à intrusivas. A área de estudo se encontra no Planalto do Rio Grande, que compreende a porção nordeste do Estado.

O município de São José do Rio Pardo apresenta 4 diferentes tipos de paisagem: I-Colinas Amplas; II- Planícies Fluviais; III- Colinas dissecadas; IV- Morros com Serras Restritas (Folharini & Oliveira, 2012). No que se diz respeito à vertente, ela localiza-se no contexto de colinas amplas.

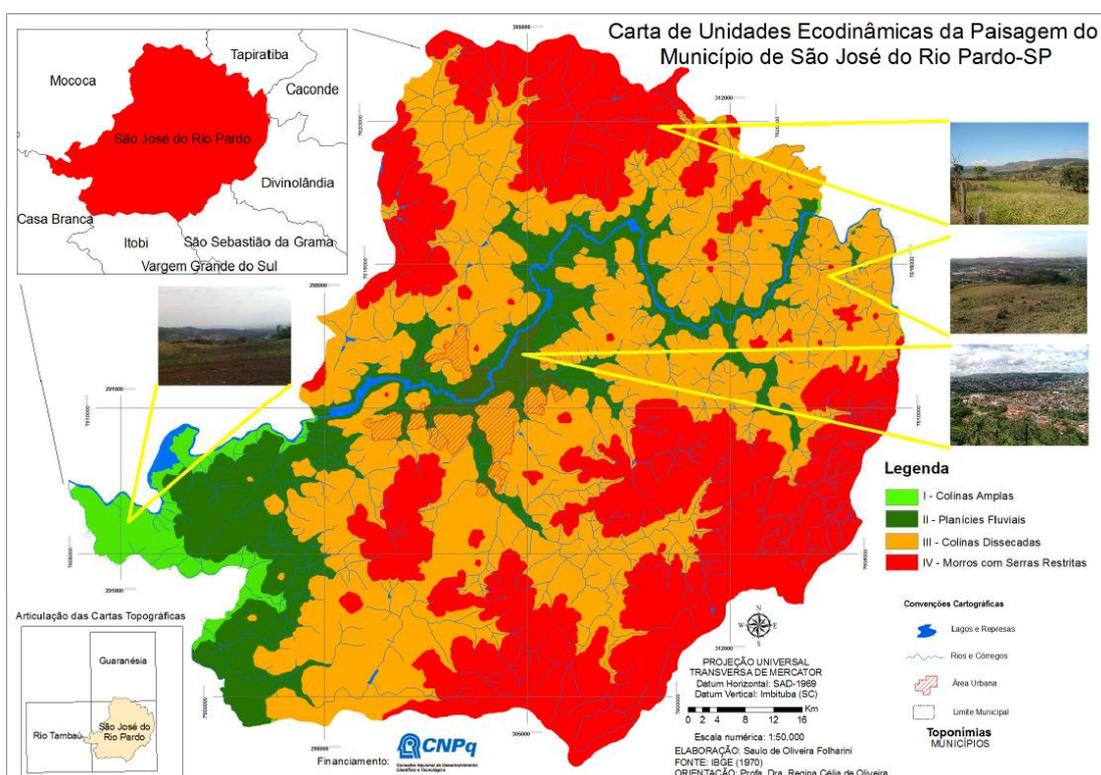


Figura 4: Carta de unidades Ecodinâmicas da Paisagem do Município de São José do Rio Pardo-SP, indicando 4 tipos de paisagem do município. A área de estudo encontra-se na porção oeste do município (Figura 1). (Extraído de Folharini & Oliveira, 2012)

As colinas amplas são componentes de um relevo colinoso, em que predominam interflúvios com áreas superiores à 4km², topos extensos e

aplainados e vertentes com perfis retilíneos a convexos. Geralmente, predominam drenagens de baixa densidade, de padrão subdentrítico.

3.4. Clima

O clima do município de São José do Rio Pardo é Cwa pela classificação climática de Köppen-Geiger, sendo um clima temperado (ou subtropical), com uma concentração de chuvas no período de verão (21 de dezembro 20 de março), com um inverno com baixa pluviosidade e temperaturas amenas.

O climograma da região apresenta um padrão de clima subtropical/temperado de altitude (Figura 5), com maiores temperaturas na parte do verão e as mais baixas no inverno. Todavia, a amplitude é baixa, sendo próxima à um clima subtropical.

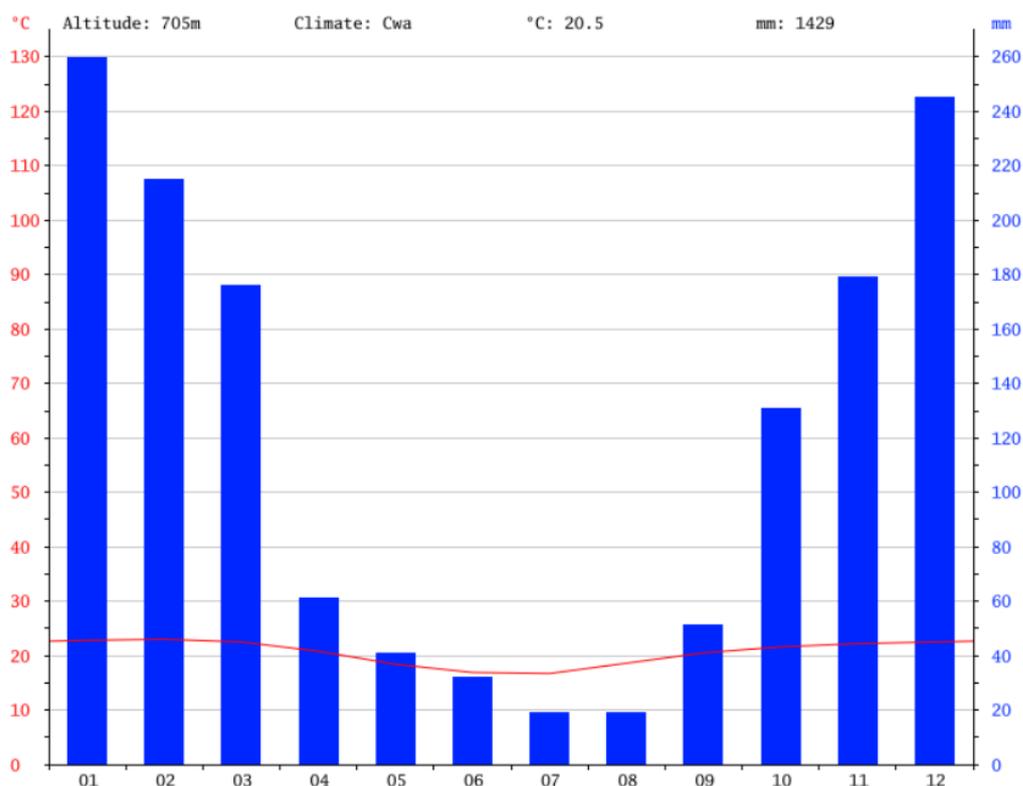


Figura 5: climograma do município de São José do Rio Pardo . Disponível em <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/sao-jose-do-rio-pardo-34830/>>, acessado em 01/11/2018.

Adicionalmente ao climograma, foi disponibilizado pelo morador local as chuvas entre os períodos de maio a outubro do ano de 2018 (Tabela 1).

Tabela 1 : valores de pluviosidade correspondentes ao ano de 2018, na região estudada.

Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
25mm	03mm	04mm	84m	124mm	211mm

Observa-se pelos valores de chuva dos meses de maio a outubro que eles estão próximos aos valores do climograma (Fig. 5), com apenas uma variação no mês de agosto, em que na média apresenta uma pluviosidade de 20mm e no ano de 2018 este valor atingiu 84mm.

A hidrografia da área de estudo está contida na Bacia do Rio Pardo, principal rio da região. O rio Pardo, afluente do rio Grande, têm sua nascente no município de Ipeúna, no sul de Minas Gerais, e adentra o estado de São Paulo pelo município de Caconde, e posteriormente por São José do Rio Pardo e Mococa , e segue rumo ao noroeste do estado de São Paulo, desaguando no Rio Grande. Próximo a área de estudo se encontra a usina Limoeiro, uma das usinas que estão situadas na bacia do rio Pardo.

O rio Verde, que se localiza na vertente de estudo, é um rio de menor volume e vazão que o rio Pardo, sendo um de seus afluentes.

Hidrografia da região de São José do Rio Pardo

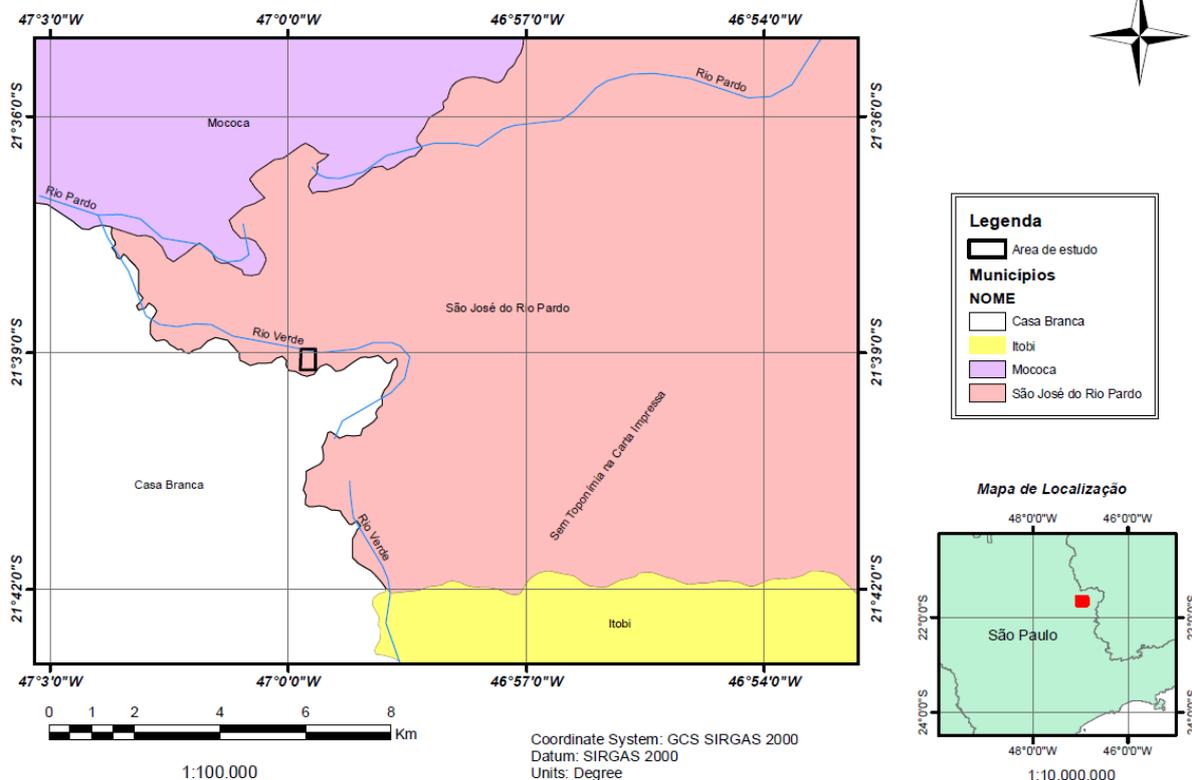


Figura 6: mapa dos principais rios da região de estudo.

3.5. Solos

Para a geologia, solo é o produto do intemperismo químico e físico das rochas, também conhecido como regolito. É definido como uma camada solta de material de heterogêneo e superficial que recobrem o embasamento.

O solo é composto por minerais e matéria orgânica inconsolidada, poroso, de granulação fina a média, com propriedades definidas a partir de fatores ligados à gênese do mesmo.

3.5.1. Solos- Classificação granulométrica

A classificação granulométrica permite agrupar os solos de acordo com o tamanho de suas partículas, por meio do ensaio granulométrico (5.3.4). Sua determinação é importante, apesar de apresentar limitações, pois leva em

consideração apenas um parâmetro na análise de comportamento do solo (Oliveira e Brito, 1998).

A classificação no presente trabalho corresponde a proposta pela ABNT (NBR 6502), na qual divide os solos nas seguintes frações:

Tabela 2: frações das partículas do solo (Adaptado de Oliveira e Brito,1998).

Frações	Diâmetro (mm)
Argila	<0,005
Silte	0,005-0,05
Areia Fina	0,05-0,42
Areia Média	0,42-2,0
Areia Grossa	2,0-4,8
Pedregulho	4,8-76

3.5.2. Solos – Classificação geológica/geotécnica

Os solos compreendem a porção mais superficial da crosta terrestre, compreendendo as partículas sólidas, aquosas e gasosas. Através das propriedades como plasticidade, consistência, textura, estrutura e outras características, pode-se classificar os solos.

Os solos são subdivididos em dois principais tipos: os solos residuais (gerados por intemperismo da rocha-mãe) e os solos transportados (que são gerados por processos de transporte como erosão, transporte e deposição).

3.8.3. Solos Residuais.

Segundo Vaz (1996), os solos residuais envolvem a ação dos agentes biológicos juntamente com o clima, relevo e o tempo com a rocha-mãe. A composição mineralógica do solo tem associação direta com a composição da

rocha-mãe, e os horizontes são atribuídos aos agentes intempéricos, e juntos, definem a composição e a estrutura final do solo.

Os solos residuais, por sua vez, podem ser subdivididos em duas classes:

- Classe S1: Solo eluvial (SE) – solo que apresenta homogeneidade na sua cor, granulometria e composição mineralógica. O solo eluvial é uma camada de solo oriunda da evolução pedogenética no solo de alteração, e caracteriza uma parte superior do solo residual cuja diferenciação foi feita através dos processos pedogenéticos (Vaz, 1996) .
- Classe S2: Solo de Alteração (AS) – solo que apresenta heterogeneidade na sua cor, textura e composição mineralógica, estando em uma fase moderada de processo pedogenético, podendo ser descrito como um saprólito residual jovem (Vaz, 1996).

Horizontes de rocha

Segundo Vaz (1996), são definidos três horizontes de rocha a partir da perfuração:

Classe R3- Rocha Alterada Mole (RAM)

Os minerais encontram-se fortemente alterados e descoloridos, sendo incipiente a transformação para minerais de solo (Vaz, 1996). Este horizonte pode estar ausente no perfil de intemperismo, todavia, quando o solo está evoluído, pode atingir grandes espessuras. É classificado como de 2ª categoria na tabela de escavabilidade (Vaz, 1996)

Classe R2- Rocha Alterada Dura (RAD)

É definido a partir do momento que é necessário o uso de explosivos para sua escavação (3ª categoria), uma vez que a classe R2 é possível sua escavação com martelos e/ou picaretas (Vaz, 1996). Os minerais apresentam-se levemente descoloridos, com maior alteração nas fraturas onde ocorre a percolação de água (Vaz, 1996).

Classe R1- Rocha Sã (RS)

Apresenta os minerais sãos ou praticamente sãos, com suas características originais pouco alteradas. São classificados como materiais de 3ª categoria (Vaz, 1996).

Zonas de Transição

As zonas de transição estão presentes em todas as interfaces dos horizontes do perfil de intemperismo, todavia, na maioria das vezes

Solos Transportados

Os solos transportados são constituídos pelos grãos minerais de solos residuais, podendo incluir blocos de rocha ou fragmentos de minerais mais resistentes. São os solos que sofrem a ação transportadora dos agentes geológicos, como vento, rio e gelo. Estes solos não estão consolidados, e podem conter materiais e restos orgânicos, uma vez que seus processos são superficiais. O material em transporte fica sujeito a abrasão e desagregação, podendo ou não ocorrer transformação mineralógicas durante o transporte (Vaz, 1996).

Os solos transportados têm como característica comum sua idade recente (VAZ, 1996), e não são consolidados.

Os solos transportados apresentam características relacionadas ao material de origem, mas principalmente pelo meio de transporte. No Brasil, os transportes eólicos e marinhos são restritos as regiões litorâneas, predominando no país os transportes fluviais (por meio de rios) e o transporte gravitacional, por meio dos escorregamentos (Vaz,1996).

Assim, os solos transportados são subdivididos de acordo com a tipologia de transporte do mesmo.

Aluviões

Os aluviões são os materiais que são retrabalhados e transportados pelos cursos d'água, e depositados nas margens e leitos dos mesmos. Os principais fatores que afetam a geração dos aluviões são o material a ser transportado e a capacidade de transporte do curso d'água, ou seja, quanto maior a capacidade de transporte do rio, mais material será transportado.

Como há uma alta quantidade de vegetação e matéria orgânica nas proximidades dos rios, os aluviões tendem a ter um teor de matéria orgânica elevado, uma vez que estes organismos serão transportados e soterrados junto aos sedimentos, e serão preservados através da decomposição anaeróbica (Vaz,1996). Em geral, nas partículas mais grossas como areias, a matéria orgânica tende a ser retirada por meio da percolação de água; contudo, nas partículas que apresentam uma menor permeabilidade (como materiais argilosos), a matéria orgânica tende a ser preservada, originando siltes e argilas orgânicas.

Portanto, em lugares como São José do Rio Pardo, com uma estação seca e chuvosa bem definida, há diferentes tipos de transportes ao longo do ano. Nos períodos de outubro a março, há uma maior pluviosidade e, conseqüentemente, uma maior energia do curso d'água. Assim, são transportados grãos mais de faixas granulométricas maiores, como areia grossa e seixo. Já no período seco (de abril à setembro), quando há baixa pluviosidade e os rios tendem a ter um menor volume d'água e, portanto, uma menor capacidade de transporte de materiais. Com isso, as partículas transportadas tendem a ser um material mais fino, como areia fina e argila, podendo ocorrer uma variação granulométrica dos depósitos aluvionares em regiões com estações chuvosas bem definidas ao longo do ano.

Colúviões

Os colúvios ou coluviões são os materiais depositados normalmente em sopés de encostas e foram transportados, principalmente, pela ação da gravidade, ou, simplesmente material decomposto, transportado por gravidade (Whitten e Brooks, 1976).

Os colúvios são materiais encontrados frequentemente em regiões tropicais, gerados a partir de movimentos de massas lentos, como o rastejo, ou rápidos, como o escorregamento (com a restrição de uma topografia mais acidentada). Os colúvios tendem a ser bem homogêneos e muito porosos, gerando solos bem drenados.

Terraços fluviais

Os terraços fluviais são aluviões antigos, quando o nível de base do rio estava em uma posição relativa mais alta da que está atualmente. Assim, os terraços fluviais diferem dos aluviões pelo fato que não estão saturados e são constituídos, normalmente, por areia grossa e cascalho. (VAZ,1996).

Talús

Os talús são formados pelo transporte gravitacional, em encostas, tendo como principal diferença dos colúvios a presença ou predominância de blocos de rocha (VAZ,1996), limitando sua formação apenas em locais com relevo muito íngreme.

Sedimentos marinhos

Os sedimentos marinhos são os materiais transportados pela água marinha, restringindo sua existência à ambientes marinhos e manguezais, com predominância de areias finas a médias.

Solos eólicos

Os solos eólicos apresentam transporte pelo vento, sendo composto por areias finas e bem arredondadas. São encontrados frequentemente no nordeste do Brasil.

Solos glaciais

Os solos que apresentam as geleiras como mecanismo de transporte, não presentes em regiões tropicais.

4. Materiais e métodos

O fluxograma abaixo (Fig.7) ilustra as etapas deste projeto, assim como as atividades desenvolvidas em cada uma.

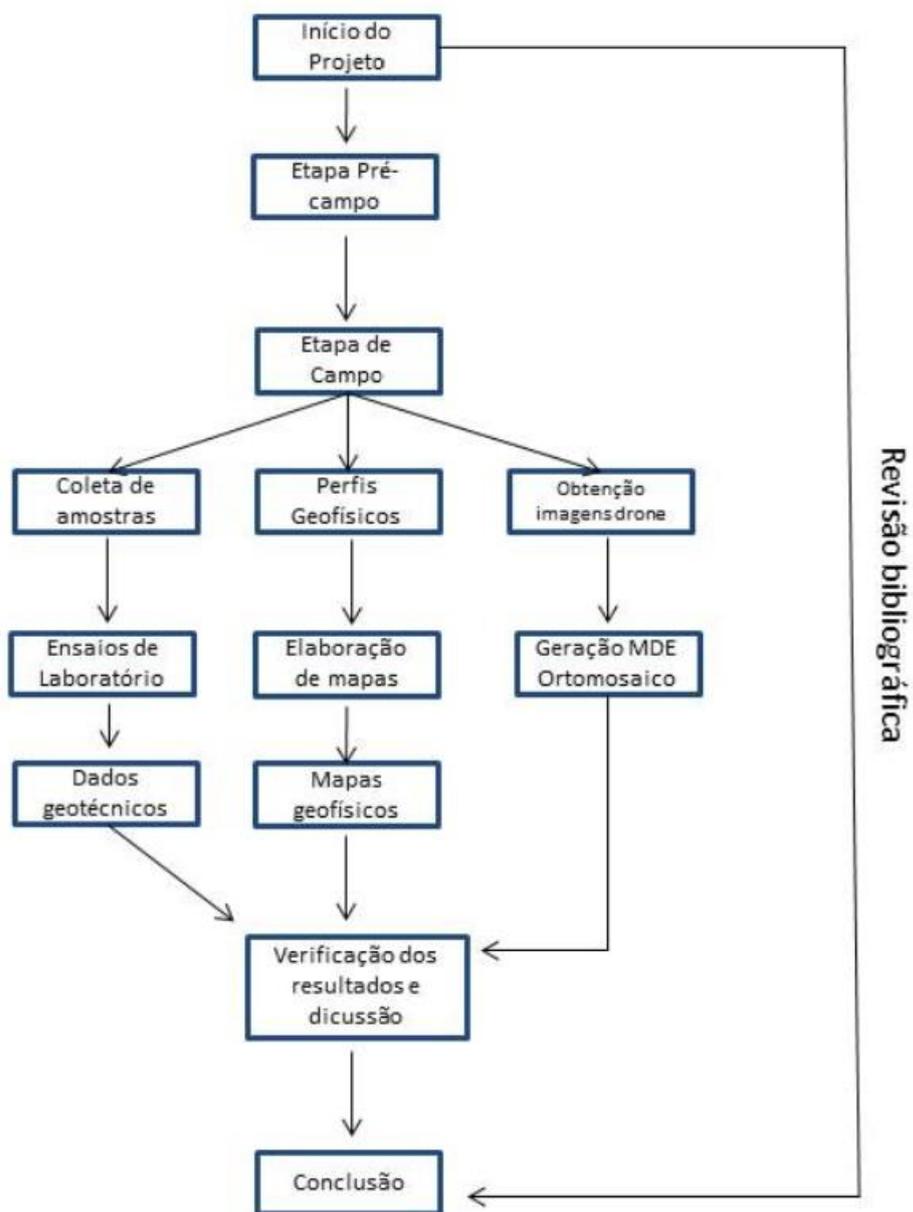


Figura 7: Fluxograma do desenvolvimento do projeto.

4.1 Etapa de campo.

A etapa de campo foi realizada em duas partes. A primeira, na qual foram coletadas as amostras para as análises em laboratório e descrições; e a segunda (de 1 dia), na qual foram realizados 3 perfis geofísicos, de gamaespectrometria e susceptibilidade magnética, além da retirada de fotos aéreas com um drone.



Figura 8: ponto T2 da vertente estudada. Na imagem, a câmera aponta para sul, com o rio Verde na mata no fundo da imagem.

O trabalho regional consistiu em um breve estudo na área ao redor, compreendendo 16 pontos descritos. Tais pontos foram descritos com a mesma unidade litológica, compreendendo um gnaiss bandado, com composição granítica. A rocha é composta por biotita, hornblenda, quartzo e feldspatos (K-Feldspato e plagioclásio), com um bandamento gnaissico dividido

pela porção mais clara (composta por plagioclásio e quartzo) e a mais escura (composta por minerais máficos).



Figura 9: a- imagem de um afloramento encontrado no topo da vertente; b- bandamento gnáissico encontrado na região, com grãos de K-feldspatos deformados.

No segundo dia de trabalho de campo, foram realizadas 6 sondagens a trado manual na vertente. O objetivo das sondagens é entender a disposição dos horizontes de solo presentes na área, assim como coletar amostras representativas deste material.

Tabela 3: Coordenadas e profundidades das sondagens a trado manual realizadas.

Trados	UTM (x)	UTM (y)	Profundidade (m)
Trado 1 (T1)	293382	7604651	0,6
Trado 2 (T2)	293421	7604547	5,50
Trado 3 (T3)	293452	7604466	3,90
Trado 4 (T4)	293482	7604381	8 (tamanho max.)
Trado 5 (T5)	293509	7604305	6,10
Trado 6 (T6)	293544	7604216	6

Foram classificados 8 diferentes de horizontes de solo: os horizontes A, B e C, solos de alteração do gnaisse bandado (rocha que predomina em toda a vertente de estudo), o coluvião, que foi observado nas sondagens T4, T5 e T6,

sendo estes oriundos do transporte dos solos superiores; o aluvião argiloso e o aluvião arenoso, observados em profundidades próximas ao leito do Rio Verde e por fim, o cascalho, que foi interpretado como um antigo o leito do rio.

As sondagens a trado manual foram realizadas na direção NW-SE, com início na porção mais elevada da vertente (595m de altitude).

O horizonte A apresentava uma cor vermelha escura, com composição areno-argilosa, e com uma fina camada de húmus (cerca de 2-5cm), com marcas de raízes e organismos. Ele foi observado nas sondagens 1, 2 e 3.

O horizonte B apresentava uma cor vermelha mais clara. Além disso, apresentava uma composição argilo-arenosa, com veios de quartzo. Ele foi observado nas sondagens 1, 2 e 3.

O horizonte C apresentava minerais em alteração, em especial da biotita para argilomineirais, e também vestígios de rocha gnáissica. Tal feição foi denotada com a indicativa do início do horizonte C, mais profundo, observado nas sondagens 1, 2 e 3.

Os materiais classificados como aluvião, colúvio e cascalho foram observados a partir da sondagem 4, 5 e 6 em um local mais próximo do rio Verde. Estes materiais estavam, geralmente, abaixo do nível d'água (bem úmidos). Os aluviões (tanto arenoso e argiloso) apresentavam uma coloração cinza escura, indicando um teor maior de matéria orgânica (que também foi observado nos valores de uTh , uU e uK no perfil geofísico, que será discutido posteriormente).

Os aluviões apresentavam sedimentos de argila, areia e cascalho, e assim foram separados de acordo com sua granulometria. Eles se apresentavam como sedimentos inconsolidados, de coloração escura, e próximos ao Rio Verde, em uma profundidade próxima.

Nota-se que a estratigrafia dos aluviões segue de maneira constante nos 3 perfis de sondagem a trado realizados em que foram observados (T4, T5 e T6). O aluvião argiloso sobrepunha o arenoso, que por sua vez, sobrepunha o a porção cascalhosa, definida como antigo leito do rio. Na camada cascalhosa

não foram coletadas amostras, uma vez que o equipamento não conseguia perfurar a mesma; contudo, foi observado nas sondagens T5 e T6 seixos em profundidade, após o aluvião arenoso.

4.2 Coleta de Amostras.

Foram coletadas amostras em todos os 6 furos realizados, sendo todas elas coletadas quando era observada alguma alteração no solo, seja na textura, mineralogia ou coloração. Assim, foram obtidas amostras de todos os horizontes observados, as quais foram realizadas os ensaios de *Sedimentação*, *Massa específica*, *Umidade e Limites de Atterberg (Limite de Plasticidade e Limite de Liquidez)*.

Todos os ensaios utilizaram das amostras 1 a 10 listadas abaixo. Além disso, os ensaios de Massa específica e Umidade também se utilizaram de uma amostra superficial de cada furo (T1 a T6).

- Amostra 1:T2 (20-50cm) – Horizonte A
- Amostra 2:T2 (70-80cm) – Horizonte B
- Amostra 3:T2 (250-270cm) – Horizonte B
- Amostra 4:T2 (270-410cm) – Horizonte C
- Amostra 5: T2(450-470cm) – Horizonte C
- Amostra 6:T6 (20-60cm) – Colúvio
- Amostra 7: T6 (120-140cm) – Colúvio
- Amostra 8: T6(220-240cm) – Aluvião argiloso
- Amostra 9: T6(300-315cm) – Aluvião argiloso
- Amostra 10: T6(500-515cm) – Aluvião arenoso

4.3 Ensaios de Laboratório

Os ensaios de laboratório foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos e Estradas, localizado na Faculdade de Engenharia Civil (FEC) na Unicamp, sob supervisão e orientação do técnico do laboratório.

4.3.1. Ensaio de Umidade

O ensaio de umidade foi realizado de acordo com a norma NBR 6457/86, para as 6 amostras superficiais coletadas entre 20 e 30cm de profundidade), das 6 sondagens, além dos perfis completos (T2 e T6). O

ensaio consiste em pesar a amostra, quando úmida, deixá-la na estufa durante 24 horas (a 100°C), e posteriormente, efetuar novamente a pesagem (nota-se que este ensaio foi realizado 4 dias após o campo), e as amostras foram mantidas lacradas para não se alterar o valor.

Para o cálculo de umidade, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$U = \frac{Pbu - Pbs}{Pbs - T} \times 100 \quad (1)$$

Em que,

Pbu = Tara + amostra úmida (g);

Pbs = Tara + amostra seca (g)

T = Tara

4.3.2. Ensaio de massa específica

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR- 6508 e a consiste em definir a massa específica do solo, ou seja, a relação entre a massa de certa substância e o volume ocupado pela mesma. Neste trabalho, foi realizado o Ensaio de Massa específica dos sólidos. Os materiais utilizados foram:

- Picnômetro;
- Água destilada;
- 50g de solo (+/- 0,002)
- Bomba de Vácuo

O procedimento realizado consiste em pesar 50g de solo (já seco, ou seja, que ficou mais de 24 horas na estufa) e inserir em um picnômetro (com valor de massa já definido). Em seguida, coloca-se uma quantidade de água destilada de maneira que todo o material no picnômetro é submerso. Assim, o picnômetro é acoplado na bomba de vácuo, onde é deixado por 5 minutos, a fim de eliminar o ar entre os grãos do material.

Em seguida, o picnômetro é preenchido cuidadosamente com água destilada, até que é atingido a marca do mesmo. Pesa-se o picnômetro, e o material é descartado.

O mesmo picnômetro é preenchido com água destilada (novamente até a marca), e pesado, e mede-se a temperatura em que o sistema se encontra.



Figura 10: picnômetro com água destilada (à esquerda), picnômetro + água destilada + 50g de solo (à direita) e bomba de vácuo utilizados no ensaio.

Por fim, com os valores obtidos, utilizou-se da expressão (3) para se definir a massa específica dos sólidos:

$$m = \frac{P_{bs} - P}{(P_{ba} + (P_{bs} - P) - P_{bu})} \times Fator \quad (2)$$

Em que:

P= massa picnômetro;

P_{bs}: massa picnômetro +solo;

Pba: massa picnômetro + água;

Pbu: Massa picnômetro+água + solo;

Fator: fator de correção.

Este ensaio foi realizado para as duas sondagens completas tanto quanto para um horizonte superficial (20-30cm) de cada sondagem (T1-T6), a fim de determinar os índices físicos dos solos.

4.3.3. Ensaio de sedimentação

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma 7181/84. Ele se iniciou com as amostras previamente secas, na estufa a 100°C. Primeiramente, as amostras foram peneiradas 50g de material na peneira 10 (4,800mm de abertura), aonde foi selecionada apenas a porção mais fina que areia.

Assim, foi utilizado para o ensaio:

- 125ml de defloculante (hexametáfosfato de sódio 45,7g/L)
- Copo dispersor;
- 2 provetas de 1L, gradadas;
- Densímetro;
- Água destilada.

O procedimento consiste em pegar os 50g de amostra seca e inserir 125ml de defloculante, e aguardar 24 horas. Assim, insere os 125ml + 50g de amostra no copo dispersor, aonde ficará durante aproximadamente 120 segundos.

Assim, o material é colocado na proveta, que é preenchida com água destilada até 1L. Então, a amostra é agitada durante 60 segundos, iniciando assim a sedimentação. Vale ressaltar que é feita uma terceira solução, com apenas água destilada e 125ml de defloculante, para correção posterior.

Por fim, é colocado o densímetro na proveta, a fim de medir o valor de densidade. As medidas são realizadas de acordo com a norma, prevendo uma

medida no densímetro nos tempos de 0,5, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 480 e 1440 minutos, juntamente com a medida dos valores de temperatura e a inserção do densímetro na proveta com apenas a solução e água destilada.

Assim, o material é decantado durante o período de 24 horas, onde são anotados todos os valores. Após a realização deste ensaio, o material é lavado e peneirado na peneira 200 (0,075mm), e secado durante 24 horas, a fim de utilizá-lo no ensaio de granulometria.



Figura 11: imagem do ensaio realizado. À esquerda, uma proveta com apenas água para deixar o densímetro enquanto não é realizada nenhuma medida; proveta com água destilada + 125ml de defloculante; proveta com soluções com 50g de solo, 125ml de defloculante e o restante preenchida com água destilada.

4.3.4. Ensaio de granulometria

Esse ensaio foi feito seguindo a norma NBR-6542, e consiste em utilizar o material do Ensaio de Sedimentação, juntamente com os grãos de tamanho diametral maior de 4,8cm (peneira 10), e passá-los por 8 graduadas, de numeração: 16, 30, 40, 60, 100 e 200, em ordem crescente de baixo para cima em função da abertura das peneiras. Essa coluna de peneiras é agitada manualmente por pelo menos 2 minutos, para que todo o material possa percorrer as malhas das peneiras. Assim, é possível obter o peso de cada fração granulométrica de acordo com o peso total, possibilitando definir a porcentagem de material cascalhoso, areia, silte e argila de cada amostra.



Figura 12: peneiras utilizadas no ensaio de granulometria, em ordem decrescente de abertura.

4.3.5. Ensaios de Consistência do solo

Limite de Plasticidade

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR-7180 e é iniciado com a amostra de solo já peneirada na peneira 30 (abertura 0,60mm), posteriormente colocada em um recipiente de porcelana. Assim, é adicionado água gradualmente a fim de homogeneizar a amostra.

Quando homogeneizada, faz-se uma moldagem do solo em uma estrutura elipsoidal de tamanho pré-definido (bastonete de 3mm de diâmetro e 10 cm de comprimento), a fim de notar se há ou não rachadura no bastonete formado. Se houver, o material é colocado na estufa, onde é deixado durante 24 horas, a fim de determinar sua umidade. Se não formar rachadura, o material é definido como não plástico. Este procedimento foi realizado 3 vezes para cada amostra, a fim de se realizar uma média, para se obter um resultado mais preciso.

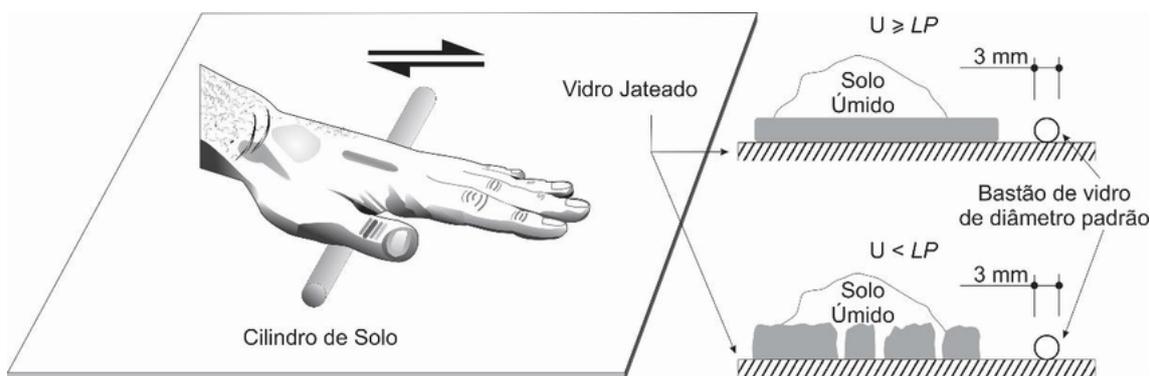


Figura 13: imagem ilustrativa do ensaio de Limite de Plasticidade, onde é realizado um cilindro com o solo em uma placa de vidro, de diâmetro de 3mm e 10cm de comprimento (que fica ao lado da placa, a fim de igualá-lo ao que está sendo feito), e notar se são ou não observadas ranhuras no mesmo. (Molina Jr, 2017)

Limite de Liquidez

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR-6459 e consiste em colocar a amostra de solo em um material de porcelana, e adicionar água gradativamente até atingir a homogeneização do material. Assim, uma parte do material é colocado na concha do aparelho de Casagrande, e deixando-o plano e liso, de tal forma que a parte central apresente 1 centímetro de altura.

Assim, efetua-se uma ranhura de maneira que apresente um diâmetro homogêneo em toda sua extensão. Por fim, são efetuados os golpes, com uma frequência de 2Hz (2 voltas por segundo), contando-os até que a ranhura é fechada na porção média da concha.

Este ensaio foi efetuado 5 vezes para cada amostra, adicionando uma quantidade de água a cada teste, de uma maneira que fosse obtido um número de golpes no intervalo entre 10 e 60 golpes.



Figura 14: Aparelho de Casagrande utilizado nos ensaios das amostras, preenchido com solo, recém aplainado pela espátula. Ao lado, a concha de porcelana com a amostra ainda a ser utilizada, e a direita, o “objeto” utilizado para realizar a ranhura.

Por fim, é retirado uma pequena parte do material na parte onde a ranhura foi fechada, a fim de determinar a umidade do mesmo, deixando-o na estufa a uma temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$ durante um período de 24h.

Após a realização do ensaio, utiliza-se da expressão abaixo para a determinação do limite de liquidez:

$$LL = Wn \left(\frac{N}{25} \right)^{0,12} \quad (3)$$

Onde,

LL=Limite de liquidez;

Wn= umidade da amostra;

N=número de golpes.

Assim, foi possível elaborar um gráfico relacionando o teor de umidade (no eixo y) com o número de golpes (no eixo x). Com este gráfico, é possível obter, por interpolação linear, o wL (umidade em 25 golpes), ou seja, o Limite de Liquidez.

O Índice de Plasticidade foi obtido a partir da equação:

$$IP = LL - Lp \quad (4)$$

Onde,

IP= Índice de Plasticidade;

LL= Limite de Liquidez;

Lp=Limite de Plasticidade.

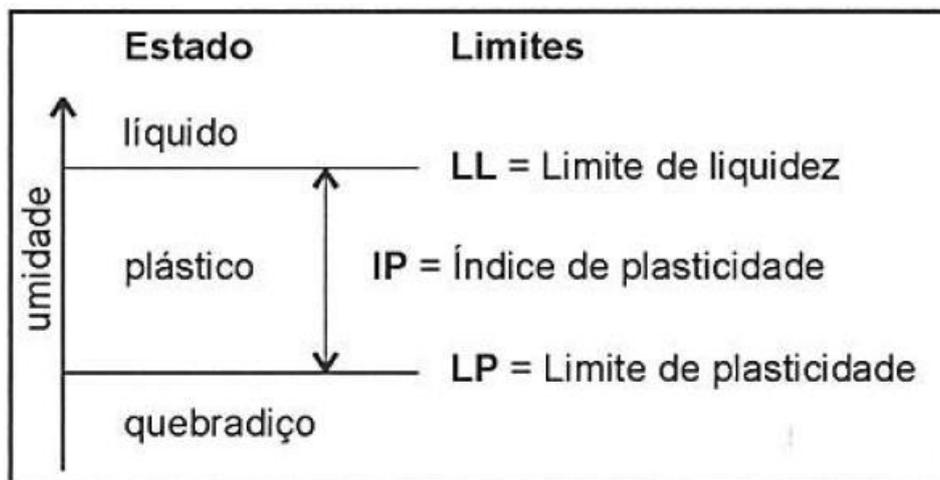


Figura 15: gráfico ilustrando os limites acima citados, e o estado do material de acordo com os limites. Fonte: Pinto,2006.

4.4. Perfis Geofísicos

Os perfis geofísicos foram realizados da direção NW-SE, ou seja, do topo à base da vertente. Foram coletados 3 dados de susceptibilidade magnética por ponto, pelo aparelho KT-10 (Figura 17), fornecido pela Unicamp (a fim de se obter uma média). O Gamaespectômetro (Figura 16) era colocado no mesmo ponto, após ser realizada uma pequena limpeza retirando a vegetação rasteira, e aguardava-se dois minutos para que a concentração de cada elemento fosse medida.

4.4.1. Gamaespectrometria

A gamaespectrometria é baseada na emissão natural de raios gama pelos elementos K, U e Th que se encontram nos solos e nas rochas. Os dados obtidos são uma excelente forma de estudo de solos, uma vez que 90% dos raios gamas detectados são emitidos nos primeiros 30 cm da superfície terrestre (Costa, 2013). Os dados medidos são referentes ao teor de K e equivalentes de U e Th, que ocorrem naturalmente em solos e rochas e são os únicos elementos que produzem e emitem raio gama na intensidade capaz de ser registrada e quantificada por gamaespectrômetros. Assim, os raios gama emitidos a partir da superfície do solo refletem primeiramente a composição mineralógica e geoquímica da rocha, e, posteriormente, os minerais secundários, produtos do intemperismo (Costa, 2013). Em síntese, a gamaespectrometria mede a abundância de K, U e Th em rochas e solos através da detecção dos raios gamas emitidos no decaimento destes elementos (Wilford, 2002).

Dessa forma, em campo foram efetuadas 73 medidas diretas em conjunto com todos os grupos, onde após limpar a vegetação acima do solo, era colocado o gamaespectômetro (Fig. 16), que permanecia fixo durante cerca de dois minutos e fornecia as medidas diretas de concentração destes três elementos supracitados. A amostragem tentou seguir um padrão de 20 m de distância entre os pontos medidos



Figura 16: susceptibilímetro utilizado em campo realizando uma medida das concentrações de K,U e Th.

4.4.2. Susceptibilidade magnética

A susceptibilidade magnética é uma grandeza adimensional, que mede anomalias magnéticas produzidas pelos minerais ferromagnéticas (como por exemplo a magnetita), através da fórmula:

$$X = \frac{J^i}{B} \quad (5)$$

onde, J_i é a intensidade da magnetização induzida e B o campo magnético. B e J_i são dados por:

Com os valores de susceptibilidade magnética obtidos pode-se estimar a rocha em subsuperfície.

Para a medida da susceptibilidade magnética, utilizou-se do equipamento susceptibilímetro magnético KT-10 (Fig 17), realizando primeiramente uma medida no ar (*background*) e logo após, uma medida no solo. Este procedimento é repetido 3 vezes, a fim de se obter uma média.

Foram feitas 3 medidas por pontos, nos mesmo locais que as análises de gamespectrometria, e obtidas as médias adimensionais da susceptibilidade magnética.



Fig 17: susceptibilímetro utilizado em campo. Disponível em <http://www.geoelec.com.mx/kt-10.html> , acessado em 08/09/2018

A partir dos perfis geofísicos, foi gerada uma tabela compreendendo todos os dados (coordenadas, valores das médias de cada equipamento) e assim, foram produzidos mapas com tais dados, no software ArcMap 10.6.

4.4.3. Processamento dos dados geofísicos

O processamento de dados geofísicos foi inteiramente no software ArcGIS, da ESRI. Primeiramente, após a coleta de todos os dados no campo, tabelou-se todos os dados coletados, incluindo 7 colunas:

Ponto	UTM(x)	UTM(y)	Suscept(x0,001)	[K](ppm)	[Th](ppm)	U(ppm)
-------	--------	--------	-----------------	----------	-----------	--------

Assim, foi possível importar esta tabela para o software ArcMap. Com os dados importados, inseriu-se o shapefile da área estudada. Os dados na tabela de atributo foram conferidos, caso ocorresse algum erro.

Assim, foi acessado o ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Interpolation → Kriging. Na janela de Kriging, foram selecionados os seguintes atributos: Kriging method→Ordinary; Semivariogram model → Spherical; Cell Size → 2. Foram gerados 4 mapas (1 para cada dado geofísico coletado).

Depois, foi aberto em Layer Properties de cada shapefile criado e acessado a aba Symbology; alterou-se o método em Classification, alterando-o de “Equal Interval” para “Standard Deviation”, com um “Interval Size” de “¼ St. Dev.” Por fim, foi selecionada a “color ramp” mais adequada aos mapas.

4.5. Imagens de drone

Na segunda etapa de campo foi realizado um mapeamento aéreo com um drone, modelo Phantom 4 Advanced (fabricante DJI) (Fig. 18), pelo professor Dr. Henrique Cândido de Oliveira, da FEC (Unicamp).

Este mapeamento tinha como intuito a geração de um ortomosaico (sobreposição das imagens capturadas pelo drone) e um MDE (Modelo digital de Elevação).

Para a captura das imagens, inicialmente foram coletados dados de GPS precisos em diversos pontos na vertente de estudo, e nestes, colocados marcadores no chão. Foram também colocados marcadores nas sondagens realizadas, para se definir com precisão suas coordenadas na imagem.

Assim, o equipamento sobrevoou a área por aproximadamente 20 minutos, tirando fotos para a geração dos produtos supracitados.

O processamento das imagens foi feito inteiramente pelo Dr. Henrique, utilizando do software Photoscan (especializado em processamento de imagens de drone).



Figura 18: Drone Phantom 4 Advanced utilizado no trabalho de campo. (Fonte: Henrique Cândido de Oliveira)

5. Resultados

5.1 levantamento planialtimétrico da área de estudo

A partir das imagens de drone gerou-se 3 produtos: um ortomosaico, (mosaico de fotos áreas de alta resolução (Fig. 19)) para a extração de valores de distâncias, áreas e coordenadas. Esta imagem foi muito útil para a elaboração do perfil da vertente (Fig. 31), uma vez que todos os valores de distâncias foram extraídas da mesma.

Também foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE) (Fig.19b) a partir dos dados obtidos pelo trabalho de campo. O MDE foi muito útil para a elaboração das curvas de nível a partir do software ArcMap 10.5.

A obtenção das curvas de nível foi realizado na ArcToolBox- Spatial Analyst tools – Surface – Contours. Todavia, foram geradas milhares de curvas de nível, devido às imperfeições e relevo do terreno que estavam na imagem. Portanto, foi criado um shapefile destacando as principais curvas de níveis da vertente (Figura 19c).

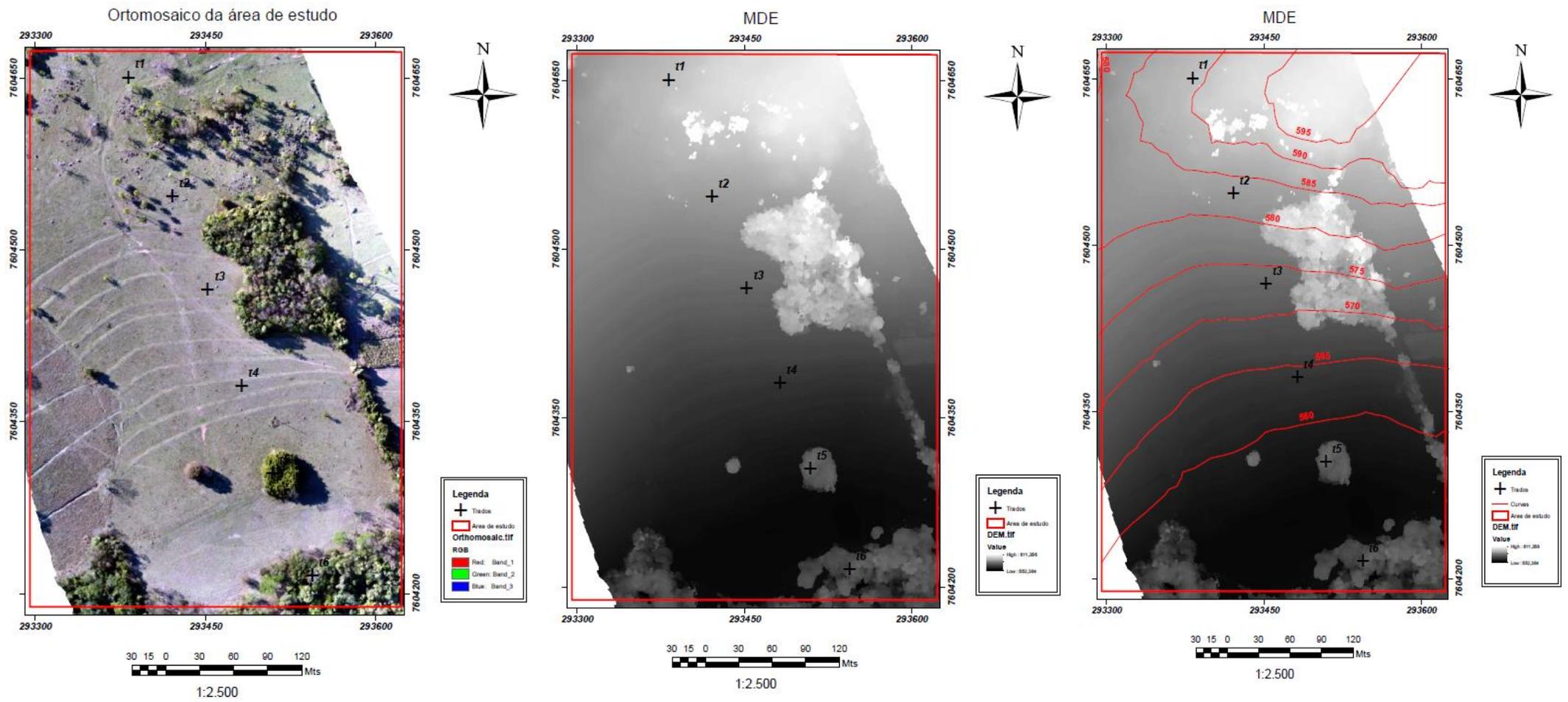


Figura 19: a- ortomoosaic de alta resolução gerado pelas imagens de drone; b- MDE gerado a partir das imagens; c- extração das curvas de nível a partir do MDE

5.2 Geofísica

Através dos três perfis realizados (pontos 1-25; 26-49 e 50-73) (Figura 20), foi possível realizar 4 mapas geofísicos de acordo com os

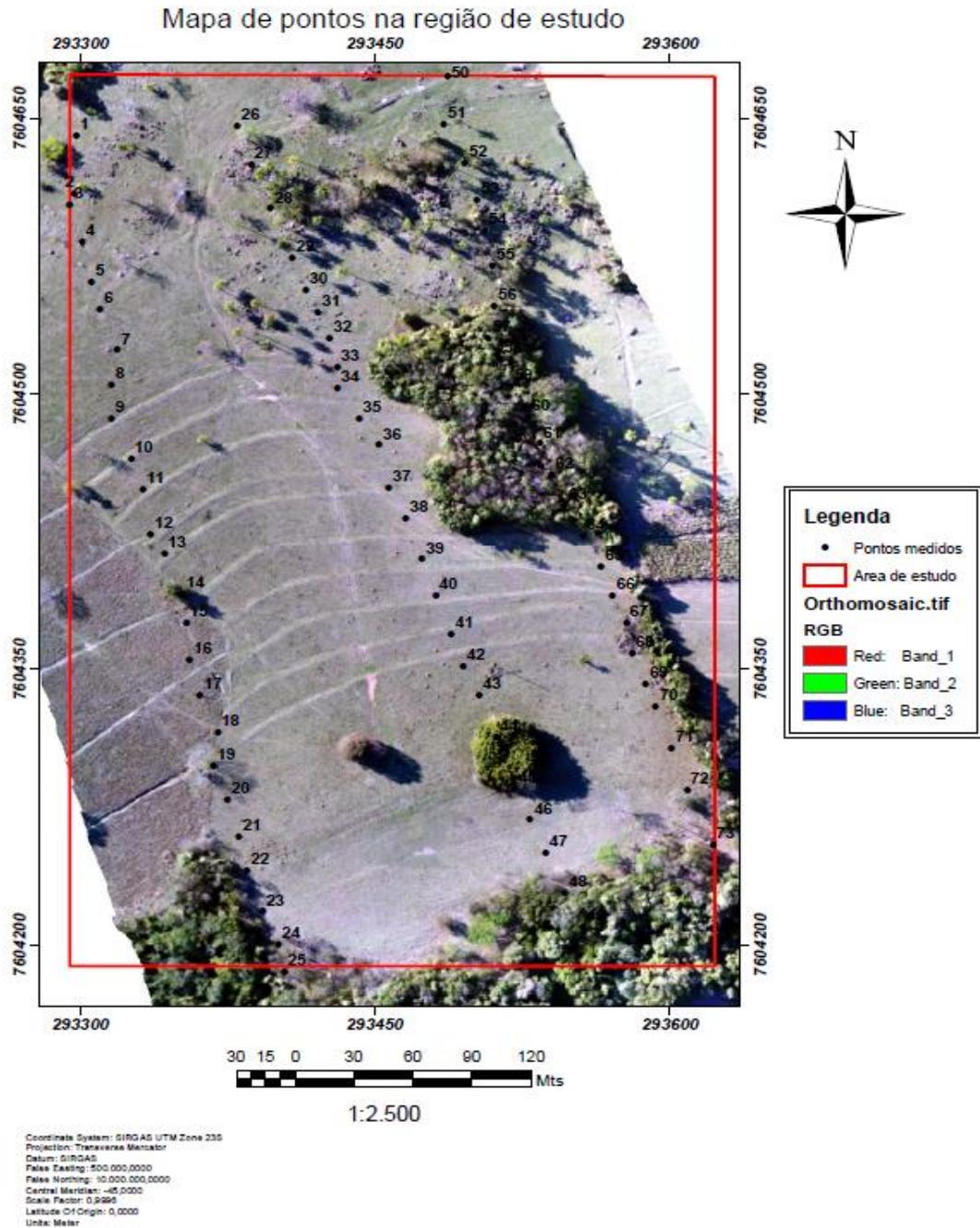


Figura 20: Mapa de pontos dos três perfis geofísicos realizados em campo. Ao fundo, utilizou-se do ortomosaico gerado para se ter uma noção da localização dos pontos na vertente.

equipamentos geofísicos levados (susceptilímetro magnético e gamaespectômetro). Os mapas gerados foram de Susceptibilidade Magnética, Mapa de concentração de Potássio, Mapa de concentração de Tório e Mapa de concentração de Urânio.

Os mapas gerados apresentam comportamentos distintos entre si, uma vez que o acúmulo dos três elementos (K, Th e U) e a susceptibilidade magnética variam de maneira distinta ao longo da vertente, dado que a concentração destes elementos radioativos depende de diferentes fatores, que serão relatados pontualmente.

Os valores médios de susceptibilidade magnética em saprolitos de rochas com composição granítica varia entre $1,25-250 \times 10^{-3}$ SI. Os valores de K, em rochas gnáissicas, variam entre 0,7-1,9%; os valores de U entre 1,6-3,8% e h 16-19% (Dickson & Scott, 1997).

Os mapas geofísicos gerados (Figs. 21, 22, 23 e 24) apresentaram diversos indícios da alteração intemperica e dos processos de evolução da vertente, dado que há uma mudança na concentração dos elementos U, Th e K e da susceptibilidade magnética ao longo da vertente.

O mapa de susceptibilidade magnética (Fig. 21) apresenta uma maior concentração na porção superior da vertente, com maior altitude, uma vez que o susceptilímetro foi inserido nesta porção mais diretamente relacionado rochas gnáissicas. As rochas gnáissicas com composição granítica apresentam uma susceptibilidade magnética variando entre 0,00125-0,250 S.I., e os colúvios e aluviões apresentam uma susceptibilidade relativamente inferior, uma vez que como são produtos transportados, tendem a se acumular materiais quartzosos leves e mais resistentes, não tanto minerais pesados que apresentam susceptibilidade magnética (como por exemplo, a magnetita). Assim, o mapa apresenta uma parte de alta susceptibilidade magnética próximas aos afloramentos de rocha, no topo da vertente, decaindo em direção ao rio Verde (porção sudeste).

O mapa gamaespectrométrico de Urânio (U) (Fig. 22) apresenta uma maior concentração do elemento na porção noroeste da vertente, devido a uma

maior concentração do mesmo nas rochas aflorantes, do que nos saprolitos (centro do mapa). Todavia, na porção sudeste, onde se encontram os colúvios, há um aumento da concentração de U.

O mapa de concentração de potássio (K) (Fig. 23) apresenta um comportamento semelhante ao Mapa de Susceptibilidade Magnética (Fig. 21), pois as concentrações de K são mais altas nas rochas sãs aflorantes no topo da vertente (contidos nos K-Feldspatos e micas) do que nas porções medianas e inferiores do perfil.

O potássio, que está contido nos feldspatos e nas micas, que apresentam uma menor resistência ao intemperismo, é facilmente movido das porções superiores e acumulado nos colúvios e aluviões próximos ao rio; todavia, eles são facilmente alterados para argilominerais, que apresentam K em sua estrutura cristalina.

Assim, o potássio volta a apresentar um sinal médio na porção inferior, devido a sua relativa concentração nas argilas ali presentes. O mapa gamaespectrométrico, portanto, apresenta elevados sinais na porção mais elevada da vertente devido às rochas gnáissicas expostas; baixa concentração nas porções intermediárias devido à alta declividade e concentrações médias na planície fluvial do rio Verde, uma vez que o mesmo fica contido nos argilominerais nos colúvios e aluviões ali encontrados.

O mapa gamaespectrométrico sinal do Tório apresenta um comportamento distinto de ambos os anteriores (Fig. 24). Os gnaisses de composição granítica apresentam uma concentração relativamente baixa de tório, em virtude de que o elemento Th apresenta uma baixa afinidade geoquímica com os elementos que compõem as rochas metamórficas da região.

Todavia, o tório, quando erodido e transportado para as porções inferiores (próximas ao rio Verde), ele tende a se acumular junto aos argilomierais ali formados, dado sua alta afinidade com os mesmos (Wilford, 1997). Assim, o mapa gamaespectrométrico do sinal Th foi muito útil neste trabalho, uma vez que ele consegue definir, neste trabalho, a planície de

inundação do rio Verde, uma vez que o Th apresenta baixa mobilidade geoquímica e alta afinidade com os argilominerais.

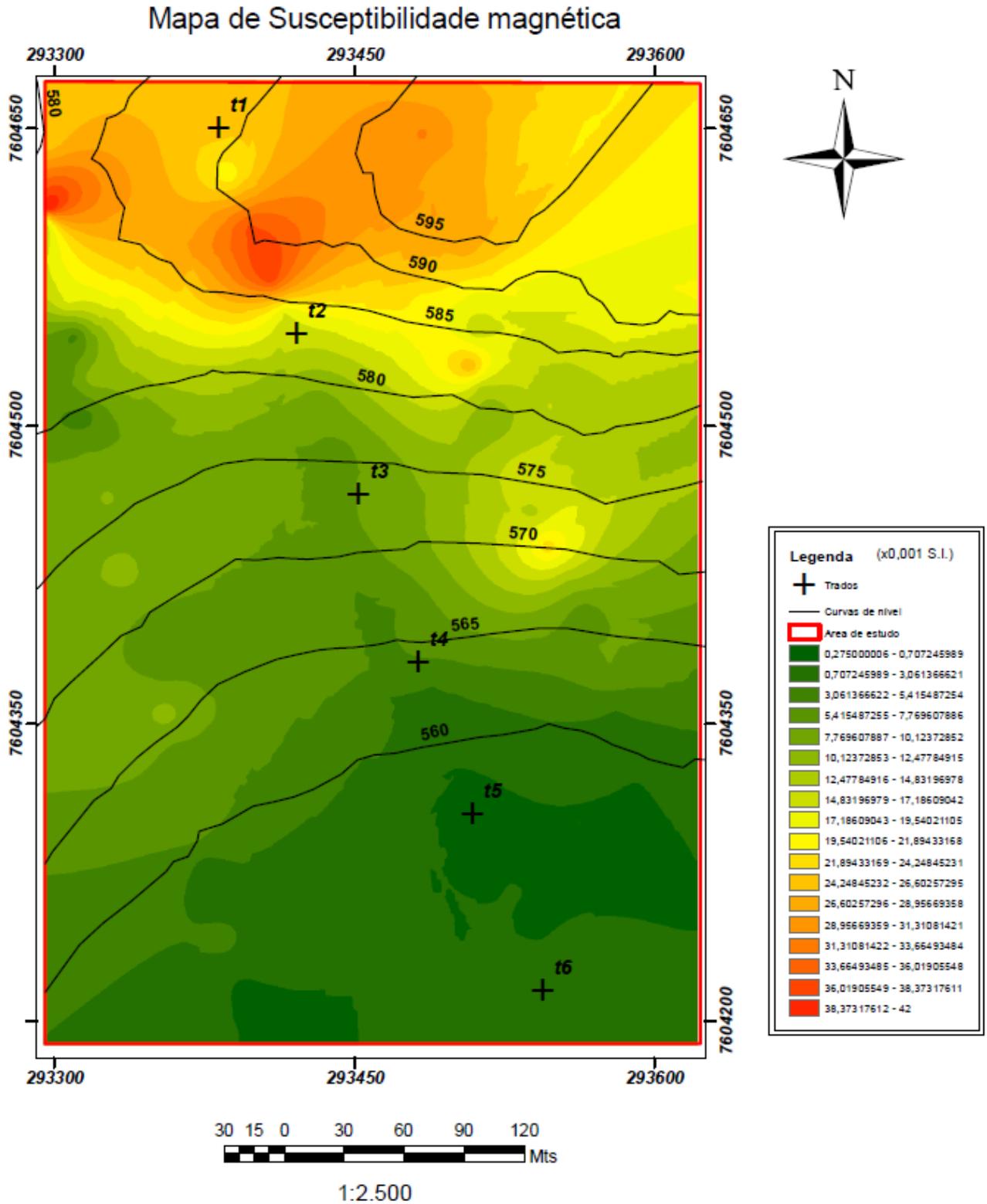


Figura 21: Mapa de susceptibilidade magnética da vertente. Nota-se uma porção de alta susceptibilidade próxima ao t1, local com rochas expostas, e uma diminuição gradual em direção ao rio Verde. As sondagens realizadas estão plotados no mapa.

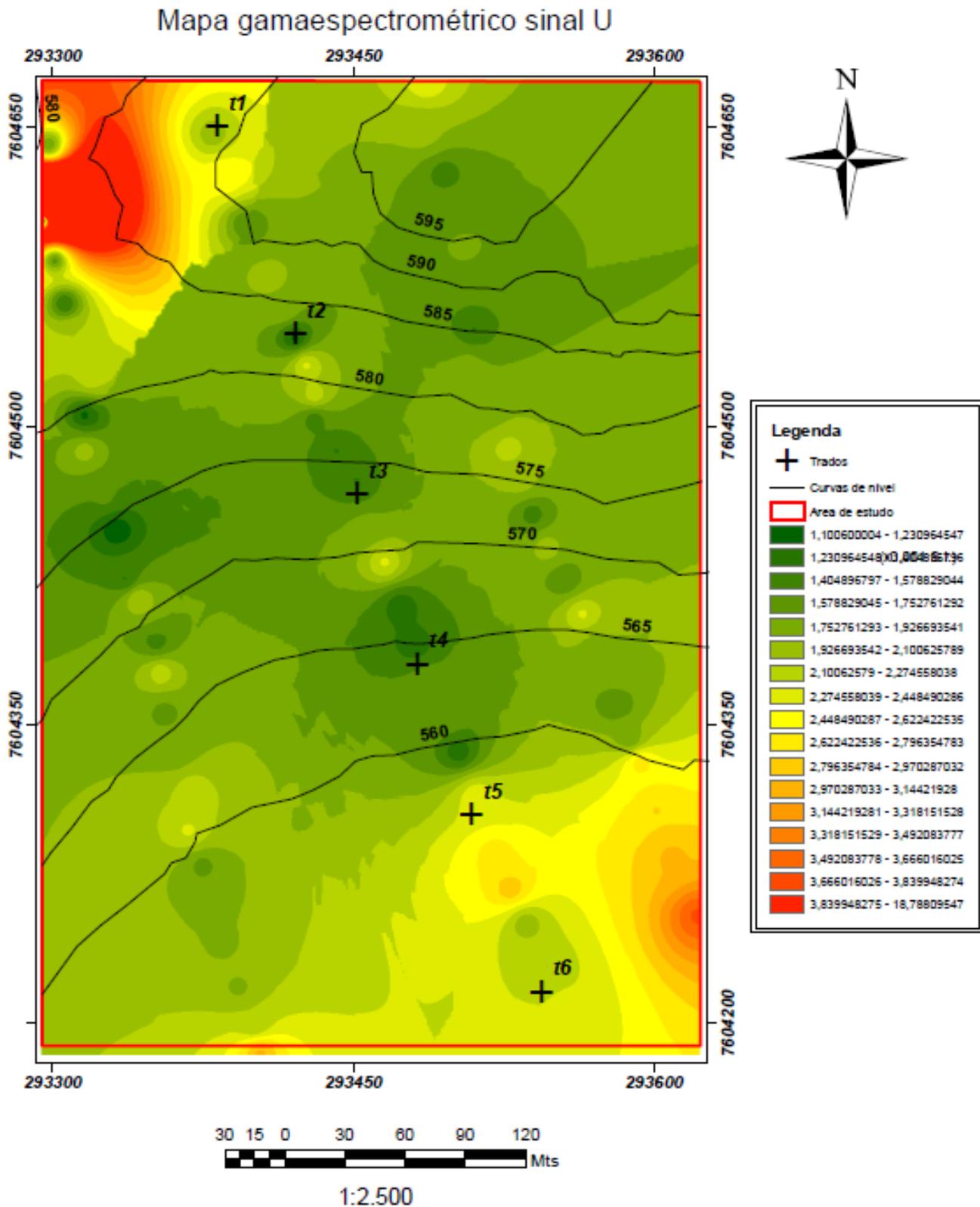


Figura 22: Mapa gamaespectrométrico do sinal U, com as sondagens (t1-t6) plotados na área de estudo. Há um pico na porção NW da vertente, devido à exposição de rochas gnáissicas, e uma leve concentração na porção SE, próxima ao rio Verde.

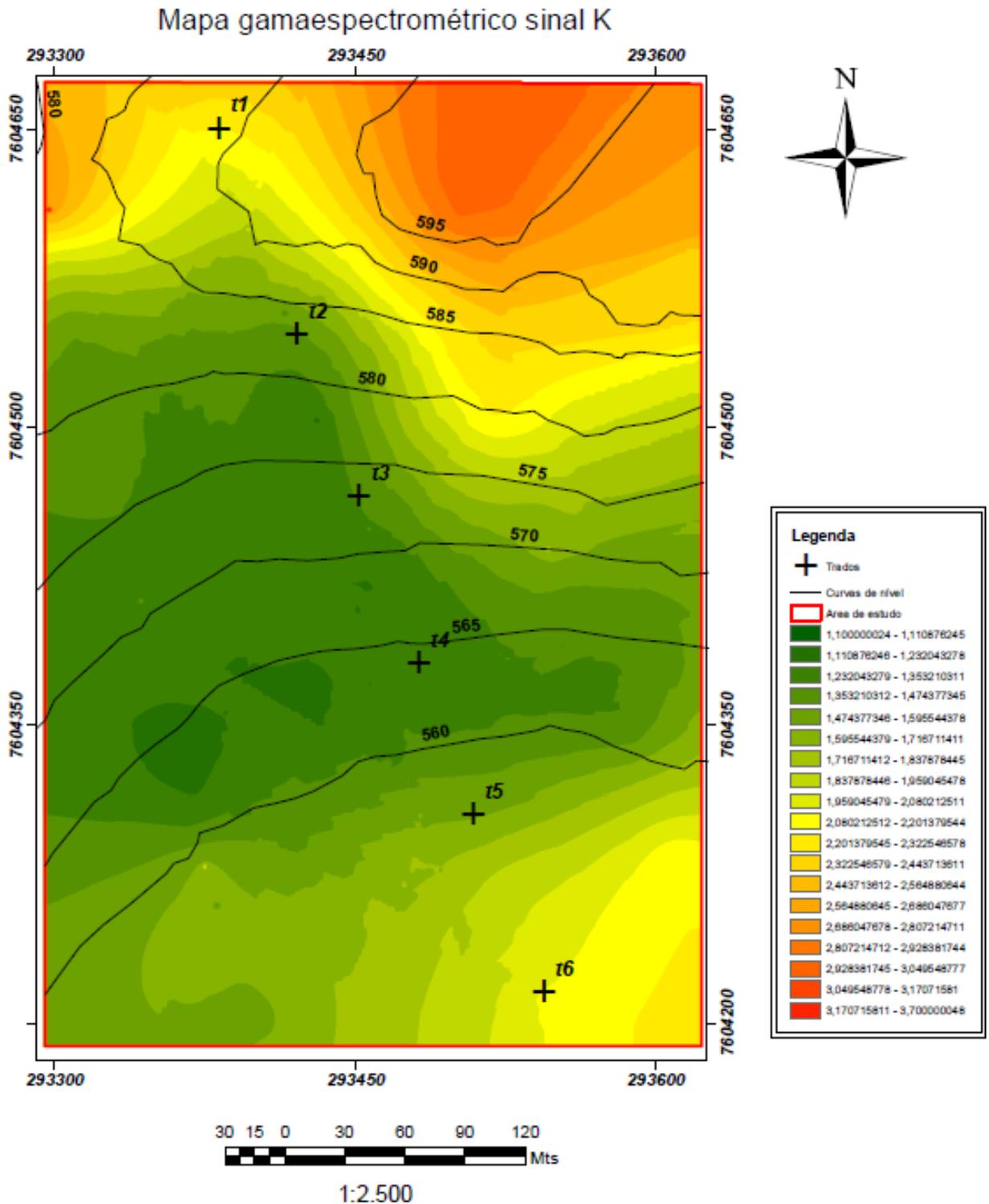


Figura 23: Mapa gamaespectrométrico sinal K, com as sondagens (t1-t6) plotados na área de estudo. Nota-se um maior sinal do elemento no topo da vertente (contido nos K-Feldspatos da rocha), e uma intensidade média na planície de inundação do rio (contido nos argilominerais).

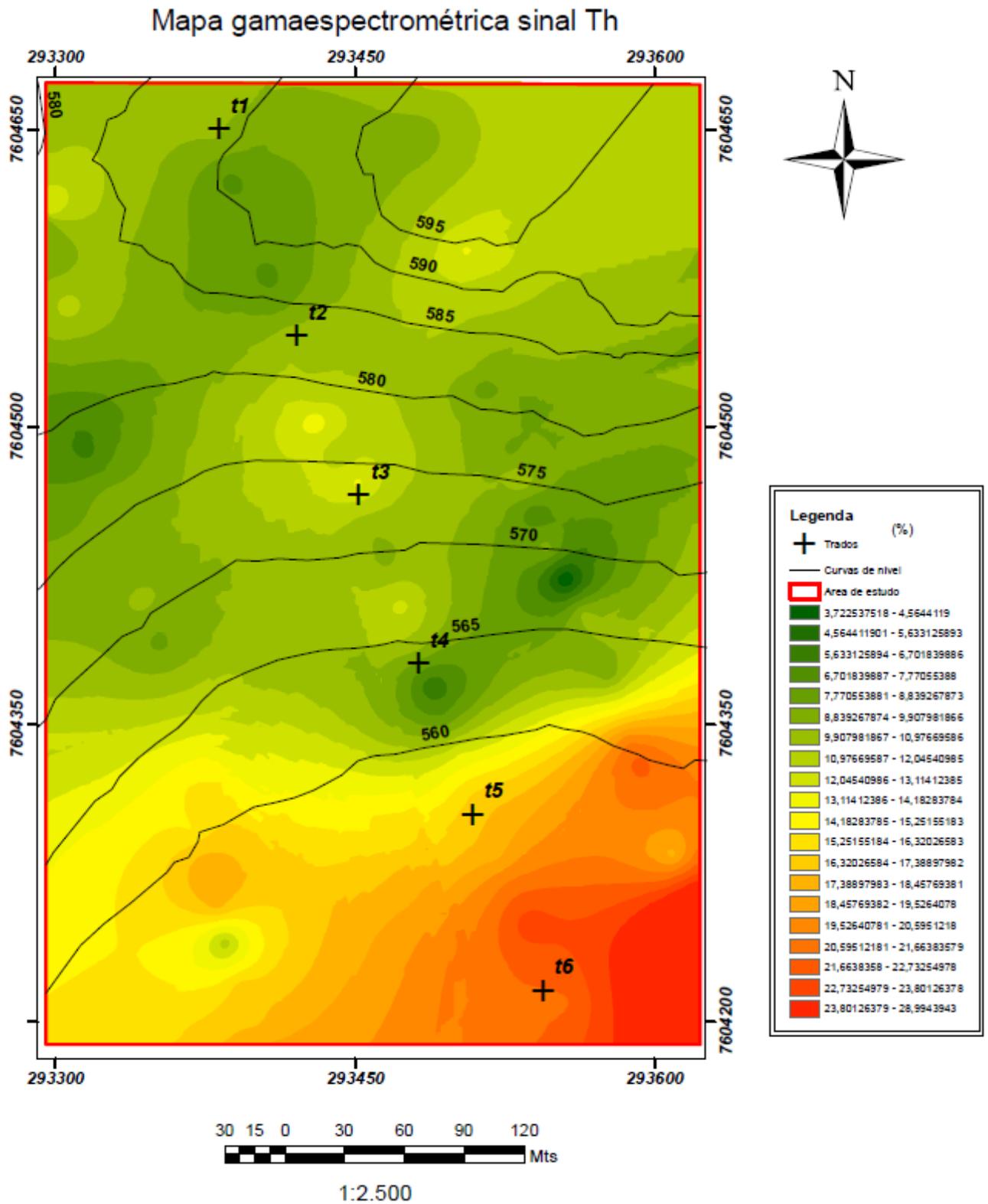


Figura 24: Mapa gamaespectrométrico do sinal Th, com as sondagens (t1-t6) plotados na área de estudo. O Mapa apresenta uma alta variação em direção à sudeste da área, e um aumento ainda maior quando se inicia a planície de inundação do rio Verde.

5.3 Ensaio de Laboratório

5.3.1 Ensaio de umidade

Este ensaio determinou a umidade de uma amostra de solo superficial de cada sondagem, como ilustra a tabela abaixo:

Tabela 4: Dados do ensaio de umidade das amostras superficiais.

Amostra	Tara(g)	Tara+ amostra úmida(g)	Tara + amostra seca (g)	Umidade (%)
T1	25,6	64,87	61,50	9,39
T2	28,53	59,67	57,83	6,28
T3	28,55	61,11	59,27	5,99
T4	27,45	61,54	59,58	6,10
T5	27,00	65,62	63,47	5,90
T6	24,25	82,40	78,90	6,40

Os valores T1,T2,T4,T5 e T6 apresentam um valor relativamente próximo, variando de 5,90 a 9,39%. Estes valores são relativamente baixos, uma vez que as amostras foram coletadas em um período de seca na região (no mês de Julho, figura 5).

5.3.2 Ensaio de Massa específica

O ensaio de Massa Específica determinou a massa específica dos sólidos de cada horizonte caracterizado em campo. A tabela 5 apresenta os valores de massa específica obtidos.

Tabela 5: Valores de massa específica dos sólidos para as amostras das sondagens T2 e T6 e dos horizontes superficiais das perfurações T1 a T6.

Amostras	Massa específica dos sólidos (S)(g/cm ³)
1	2,70
2	2,76
3	2,66
4	2,61
5	2,63
6	2,63
7	2,53
8	2,66
9	2,56
10	2,69
T1	2,72
T2	2,70
T3	2,68
T4	2,67
T5	2,68
T6	2,63

De acordo com os solos descritos, a sondagem manual T2 apresenta valores semelhantes em todas as profundidades, com um leve decréscimo dos horizontes superiores (a partir de 80cm) em relação aos horizontes inferiores. Este comportamento infere que os horizontes inferiores (horizonte C) apresentam minerais com menores valores de densidade, ou seja, maior quantidade de quartzo do que óxidos de e argilominerais. Isto condiz com o que foi visto em campo, um horizonte C com fragmentos da rocha-mãe (gnaisse com composição granítica), com alta quantidade de quartzo, e

horizontes superficiais avermelhados, com quantidade elevada de óxido de ferro e argilominerais..

A sondagem 6 apresenta um menor valor para os horizontes superficiais, já que ele foi descrito como um colúvio (Fig.31, perfil da vertente). O aumento da massa específica entre 2 e 3m indica um acúmulo de minerais primários e óxidos de ferro, diferentemente do colúvio, que apresenta uma maior quantidade de quartzo.

A partir dos valores de massa específica dos sólidos, umidade, juntamente com o γ_n (massa específica natural) obtido de outros trabalhos, foram calculados os seguintes índices físicos das porções superficiais de cada sondagem, sendo eles porosidade (n), índice de vazios (e), grau de saturação (Sr) e massa específica aparente saturada (Sat), de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 6: Índices físicos calculados dos horizontes superficiais e nas sondagens T2 e T6.

Amostra	$\gamma_n(\text{g/cm}^3)$	S(g/cm ³)	n(%)	w(%)	e(%)	Sr(%)	Sat(g/cm ³)
T1	1,56	2,72	42,65	9,39	0,74	34,35	1,99
T2	1,56	2,70	42,22	6,28	0,73	23,20	1,98
T3	1,56	2,68	41,79	5,99	0,72	22,36	1,98
T4	1,50	2,67	43,82	6,10	0,78	20,88	1,94
T5	1,50	2,68	44,03	5,90	0,79	20,10	1,94
T6	1,50	2,63	42,97	6,40	0,75	22,34	1,93
1	1,56	2,70	42,22	6,28	0,73	23,20	1,98
2	1,56	2,76	43,48	17,23	0,77	61,82	1,99
3	1,56	2,66	41,35	17,94	0,67	67,68	1,97
4	1,56	2,61	40,23	9,29	0,67	36,02	1,96

5	1,50	2,63	40,68	14,02	0,69	53,76	1,97
6	1,50	2,63	42,97	6,40	0,75	22,34	1,93
7	1,50	2,53	40,71	14,73	0,69	54,27	1,91
8	1,50	2,66	43,61	10,03	0,77	34,50	1,94
9	1,50	2,56	41,41	16,91	0,71	61,26	1,91
10	1,50	2,69	44,24	19,11	0,79	64,80	1,94

Os índices físicos calculados são característicos de saprolitos derivados de rochas com composição granítica, com porosidade maior que 40%; índices de vazio variando entre 0,6 e 0,8; e massa específica entre 2,56 e 2,76.

5.3.3. Ensaio de Consistência do solo

A partir dos ensaios de Plasticidade e Liquidez do solo, foram obtidos os valores de *Limite de Plasticidade* e *Limite de Liquidez* (Tabela 7). A partir destes, foram calculados os **índices de plasticidade** (eq. 4) para as 10 amostras em questão. As amostras que não houveram condições para efetuar o ensaio, devido as características do material, não foram obtidos os valores de LP e LL, e foram classificadas como **não plásticas**.

De acordo com os índice de plasticidade, os solos podem ser classificados de acordo seu grau de plasticidade, proposto por Jenkins e citado por Caputo (1987), que quando maior o valor de IP, mais plástico o solo. Assim, os solos podem ser classificados em:

1<IP<7.....Fracamente plástico

7<IP<15.....Medianamente plástico

IP>15.....Altamente plástico

Tabela 7: Limites de plasticidade, liquidez e IP(%).

Amostras	Limite Plasticidade(%)	Limite Liquidez(%)	IP (%)
1:T2 (20-50cm)	25,57	36,20	10,63
2:T2 (70-80cm)	27,53	60,5	32,97
3:T2 (250-270cm)	Não plástico	Não plástico	—
4:T2 (270-410cm)	Não plástico	Não plástico	—
5:T2 (450-470cm)	Não plástico	Não plástico	—
6:T6 (20-60cm)	22,06	36,2	14,14
7:T6 (120-140cm)	35,52	66,0	30,48
8:T6 (220-240cm)	16,25	25,75	9,5
9:T6 (300-310cm)	20,36	43,00	22,54
10:T6 (500-515cm)	Não plástico	Não plástico	—

Através da análise dos limites de consistência e do comportamento do solo, Caputo (1987) constatou que ao construir um gráfico de IP em função de LL (Fig. 25), acima da linha A se encontravam os solos de comportamento argiloso, e abaixo da mesma, os solos silteosos e orgânicos.

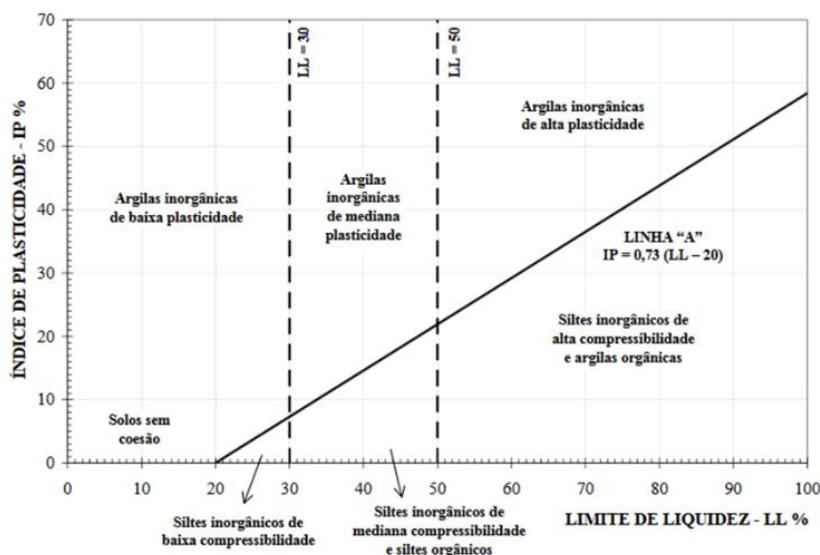


Figura 25: Carta de plasticidade (Caputo, 1987).

Os dados de LL e IP das 6 amostras analisadas foram plotados na carta de plasticidade (Fig. 26).

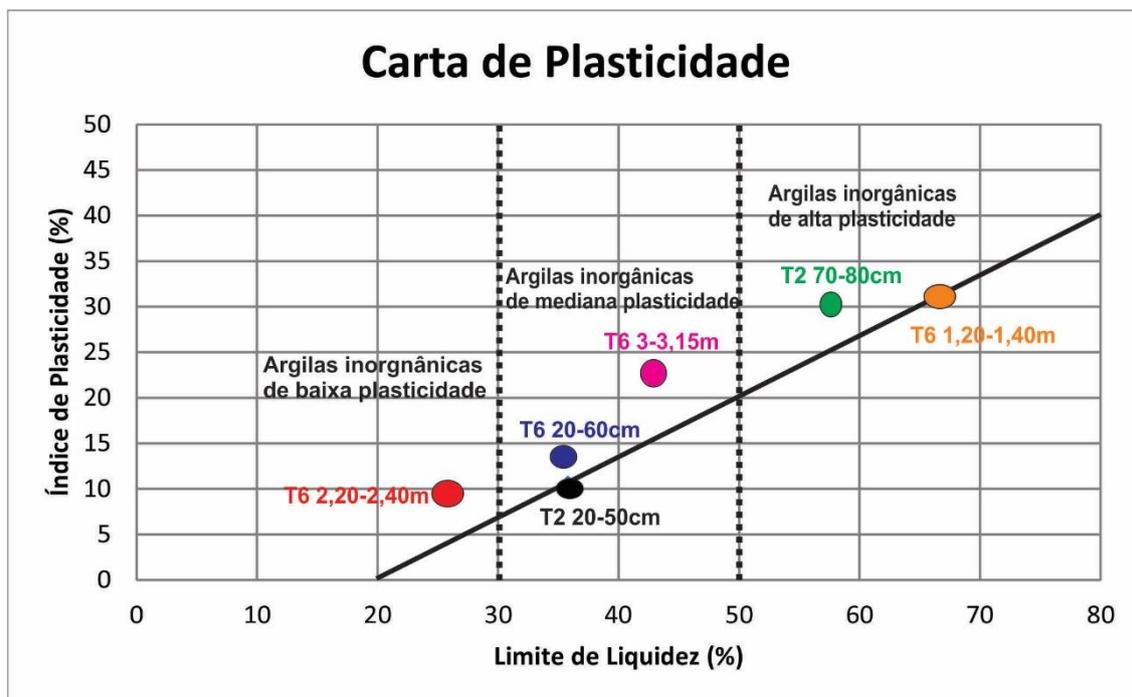


Figura 26: Carta de plasticidade com as 6 amostras analisadas (adaptado de Caputo, 1987).

As amostras do sondagem 2 (T2) variam entre argilas inorgânicas de mediana plasticidade (amostra 1:T2 20-50cm) a argilas inorgânicas de alta plasticidade (amostra 2:T2 70-80cm), com um IP variando entre 10,23 a 30,07% e um LL oscilando entre 35,80 e 57,60%. Nota-se um aumento da plasticidade na transição do horizonte superficial A para o horizonte B, indicando um acúmulo de argila. As amostras de maiores profundidades de T2 foram classificadas como não-plásticas (Tabela 7).

A sondagem T2 apresenta um perfil típico de um saprolito de granito, onde os horizontes superiores têm mais argila (IP=32,97), devido ao intemperismo, concentrando-se no horizonte B.

As amostras da sondagem 6 (T6) variam de argilas inorgânicas de baixa plasticidade à argilas inorgânicas de alta plasticidade. Os valores de IP variam entre 9,5 a 31,18% e LL entre 25,75 a 66,70%. As porções superficiais de T6 indicam um comportamento semelhante ao observado em T2, uma vez que o

horizonte superficial (20-60cm) é classificado como mediana plasticidade, e o porção inferior (1,20-1,40m) como argila inorgânica de alta plasticidade. Logo abaixo, o aluvião argiloso (2,20-2,40m) apresenta uma baixa plasticidade em relação a porção basal da camada de colúvio. Contudo, a porção mais profunda da camada argilosa tem uma maior plasticidade (3-3,15m), classificada como argila orgânica de mediana plasticidade.

Com os dados de IP e LL, classificou-se também os solos a partir da classificação unitária dos solos (Pinto, 2006).

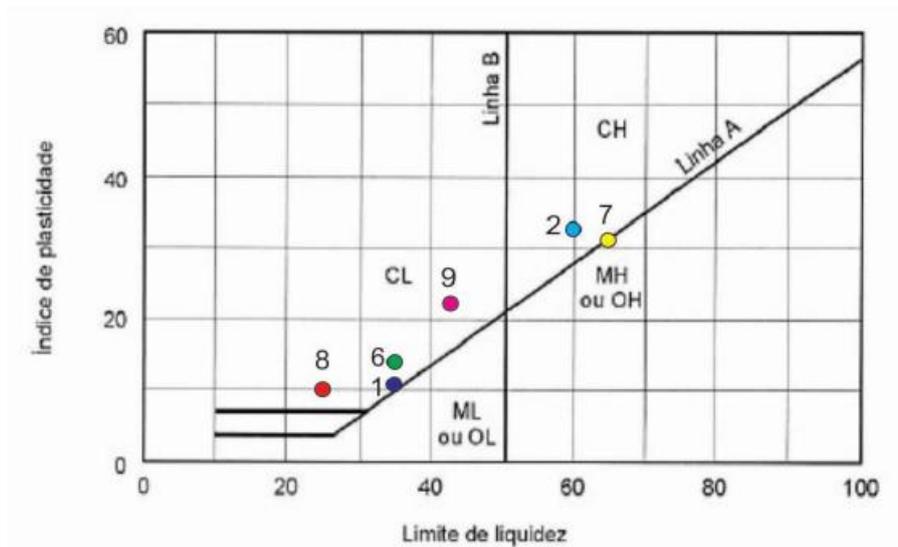


Figura 27: Gráfico da classificação proposta por Pinto, 2006.

A partir deste gráfico, classifica-se as amostras como silte (M), argila (C), ou solo orgânico (O); alta compressibilidade (H) ou baixa compressibilidade (L) (Pinto,2006).

Tabela 8: Classificação unitária dos solos.

Amostra	Classificação (Pinto,2006)
1	CL
2	CH

6	CL
7	CH
8	CL
9	CL

5.3.4. Ensaio de granulometria

A partir do ensaio de granulometria foi possível determinar a curva granulométrica das 10 amostras em questão (Anexo I). Assim, a partir da norma NBR 6502, classificou-se os solos de acordo com sua granulometria predominante.

A sondagem T2 (amostras 1 a 5) apresentou um comportamento semelhante nas amostras 1 e 2, com um teor de argila variando entre 33,5 e 41,4%, e um teor de areia variando de 42,9 a 35,2%. Estas amostras correspondem aos primeiros 80 centímetros de solo (horizonte A).

As amostras 3 a 5, que correspondem à profundidade 250-470cm da sondagem T2, se diferenciam das curvas das amostras 1 e 2. Elas apresentam menores teores de argila (variando entre 21 e 5,8%) e altos teores de areia e silte, correspondendo aos horizontes B e C do solo.

A sondagem T6 apresenta um comportamento semelhante nas amostras 6 e 7, com teores de argila variando entre 29,4 e 38,7% e de areia 42,5 a 27,3%, correspondendo ao horizonte descrito como coluvião (Fig.31)

A amostra 8 se difere do padrão das 6 e 7, atingindo 68% da fração areia. Este aumento considerável se deve ao início do aluvião arenoso (Fig.31).

Já na amostra 9, se observa um maior conteúdo de argila, chegando a 41,7%, uma vez que se atingiu o horizonte definido como aluvião argiloso (Fig. 31).

A amostra 10 corresponde a transição do horizonte aluvião-arenoso para aluvião cascalhoso, apresentando um teor de areia maior que 80%.

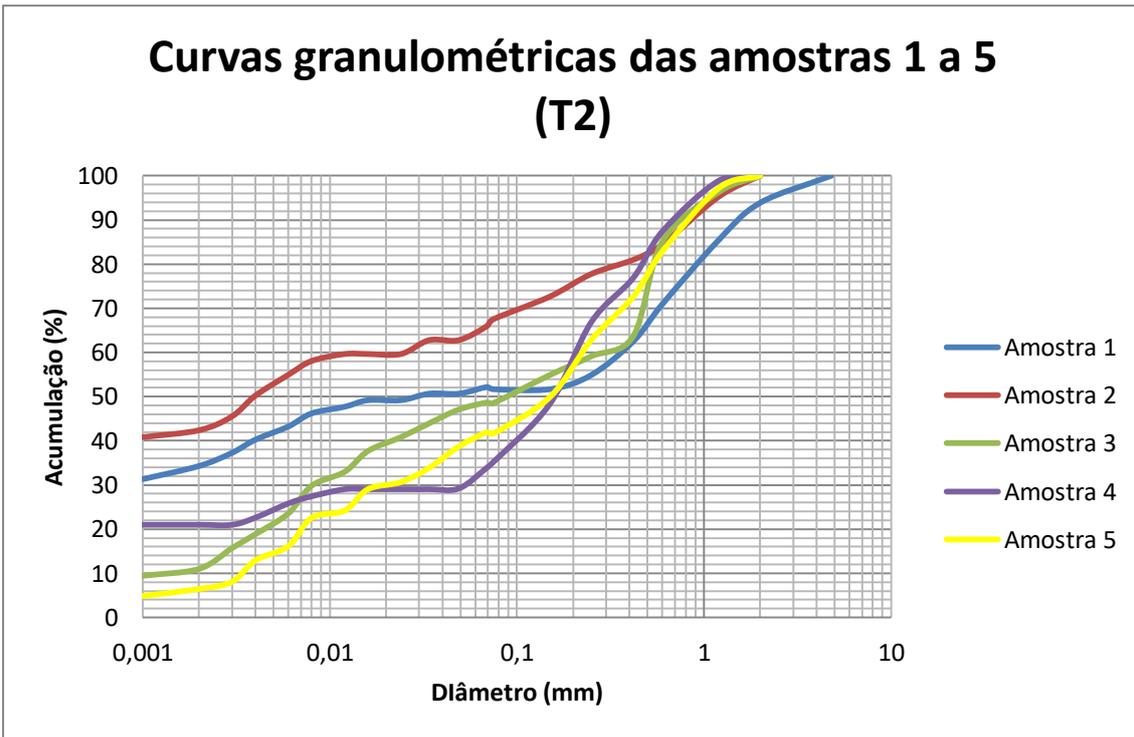


Figura 28: gráfico de distribuição granulométrica acumulada das amostras 1 a 5 (T6).

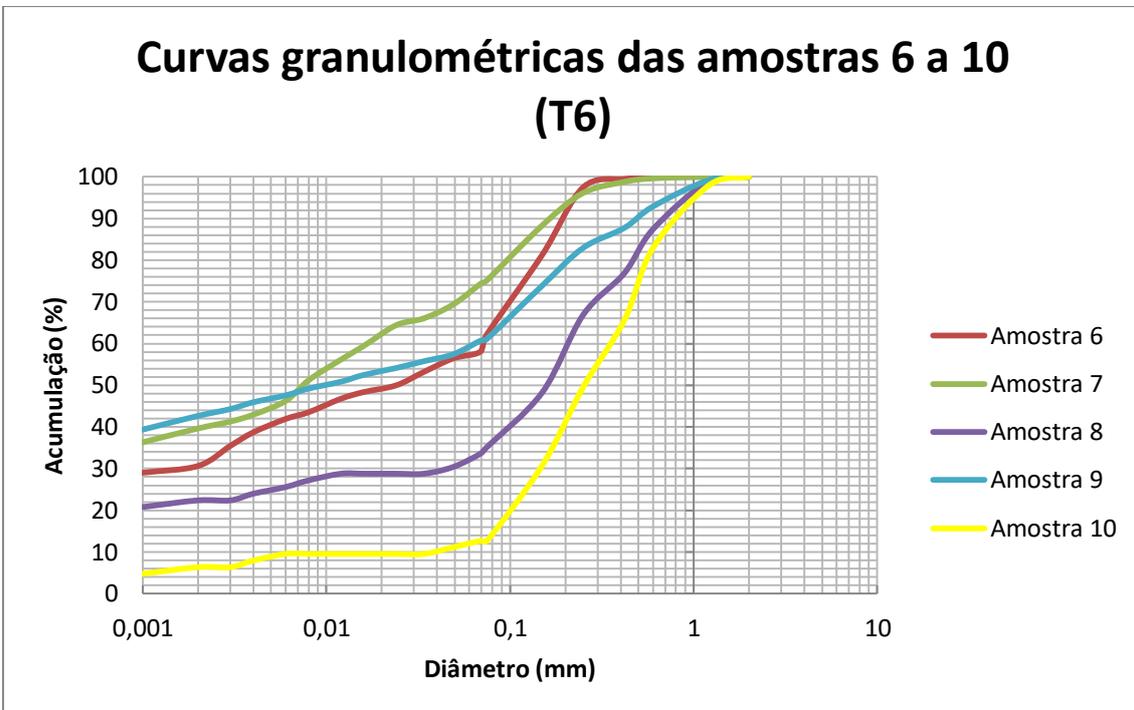


Figura 29: gráfico de distribuição granulométrica acumulada das amostras 6 a 10 (T6).

A partir dos gráficos de granulometria, empregou-se a classificação textural da EMBRAPA (Fig. 30), para classificar as amostras 1 a 10.

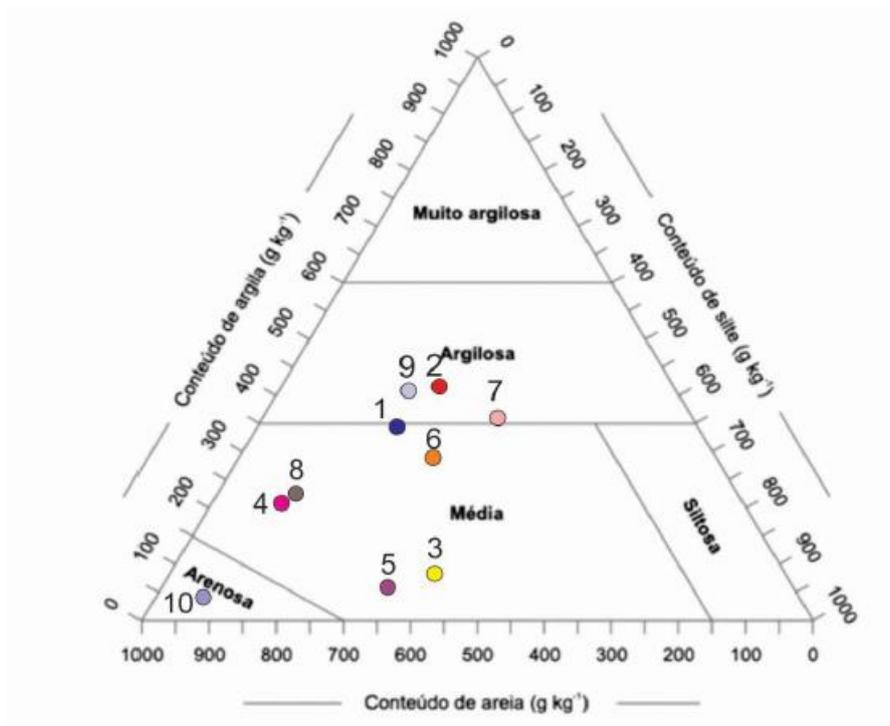


Figura 30: Classificação textural. Fonte: EMBRAPA. Disponível em <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/atributos-do-solo/outros-atributos>, acessado em 02/11/2018.

Tabela 9: Classificação dos textural dos solos.

Amostras	Classificação
1	Média
2	Argilosa
3	Média
4	Média-arenosa
5	Média
6	Média
7	Argilosa
8	Média-arenosa
9	Argilosa
10	Arenosa

6. Discussão

As imagens geradas pelo drone são de alta resolução e permitem a extração de dados muito precisos. Neste trabalho, os dados extraídos permitiram a realização de um perfil com alta precisão (nas distâncias) e também a extração das curvas de nível a partir do MDE gerado. Essas informações auxiliam muito em trabalhos geológicos, permitindo a criação de modelos com maior precisão de distâncias, áreas e coordenadas, além de um MDE da área de estudo.

Os ensaios laboratoriais tiveram resultados como o esperado. Os valores de IP da sondagem T2 variam de 10 a 32% nos horizontes superficiais; este acréscimo se deve ao acúmulo de material argiloso pela eluviação das argilas. Os solos com composição granítica apresentam IP na média entre 14 e 18% (Pinto, 2006).

A porção superior da vertente (sondagens T1, T2 e T3) apresenta um solo plástico, argilo-arenoso nos horizontes A e B (cerca de 0-2m, amostras 1 e 2). Ao chegar em profundidades maiores, a umidade tende a diminuir (tabela 6) e os gráficos de granulometria indicam uma variação para a composição areno-argilosa. Ao atingir o horizonte C do saprolito, ocorre uma drástica mudança no comportamento do solo, classificado como não plástico e com um alto aumento no teor de areia, representadas pelas amostras 3, 4 e 5. Esta mudança de textura média-argilosa para média-arenosa indica uma diminuição nos óxidos de Fe e argilominerais, uma vez que o valor de massa específica também diminui (variando de 2,76 na amostra 2 para 2,61 na amostra 4). Isso se deve pela lixiviação destes óxidos não para horizontes mais profundos; devido a declividade, ocorre o transporte de material para o sopé da vertente, depositando o material descrito como colúvio.

Em regiões tropicais é comum os horizontes mais profundos apresentarem um acúmulo de argilominerais e óxidos de ferro (Pinto, 2006), uma vez que ocorre a lixiviação com as águas meteóricas. Todavia, a coleta de amostras foi realizada no mês de Julho, que apresentou baixíssima pluviosidade no ano de 2018, assim como em Junho. Além disso, por ser um terreno com uma declividade média (6%), ao invés de ocorrer a infiltração da

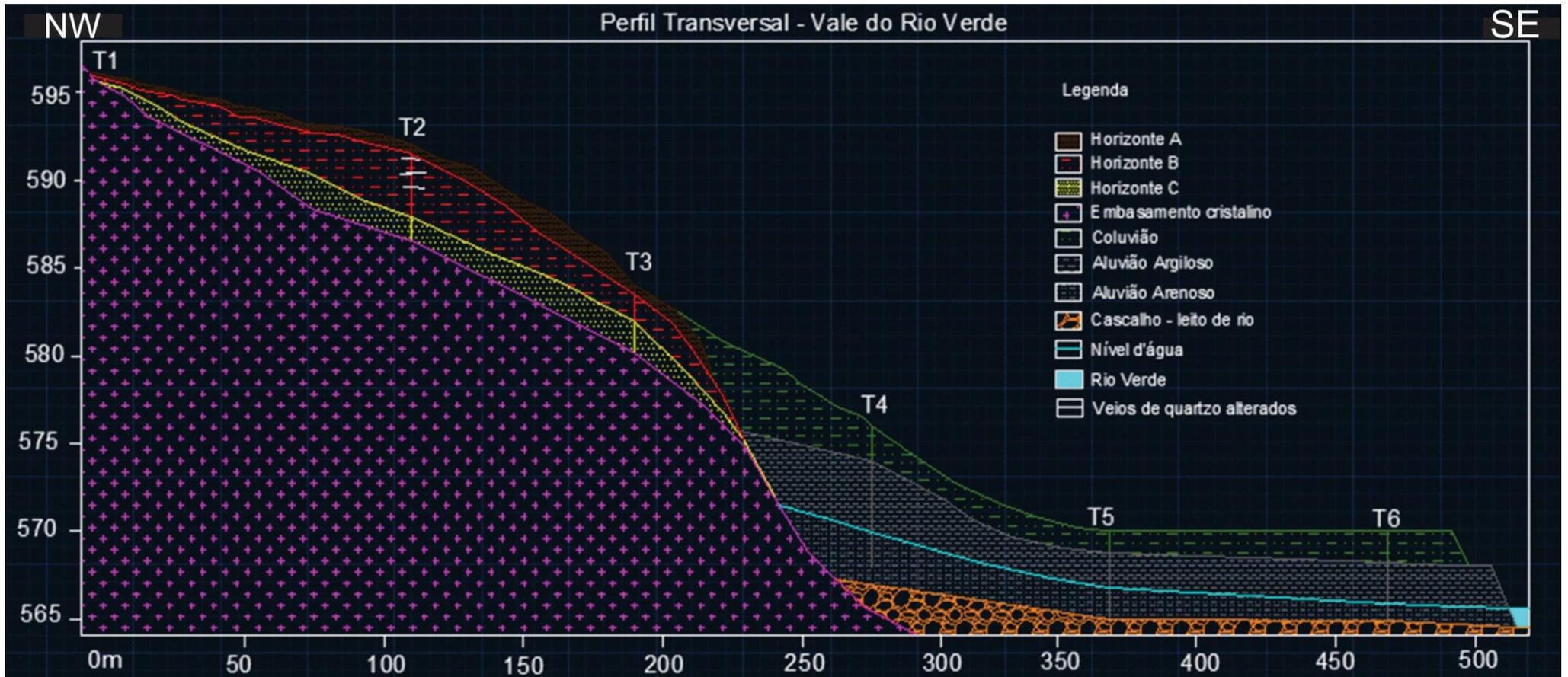


Figura 31: perfil NW-SE da vertente de estudo. Destaca-se os horizontes A,B e C nas sondagens T1,T2 e T3; colúvium, aluvião argiloso e aluvião arenoso nas perfurações T4,T5 e T6. O leito do rio foi definido com o início de aparecimento de seixos, contudo nenhuma amostra foi coletad

água, ela erode as porções superficiais do solo (horizontes A e B, Fig.6) e deposita estes materiais na região plana do sistema, a planície de inundação do rio Verde.

Estes materiais são depositados e formam a camada classificada como Coluvião, presente nas sondagens T4, T5 e T6. Esta camada foi representada pelas amostras 6 e 7 nos ensaios laboratoriais, que apresentou um IP de 14% (média a altamente plástico) e 30% (altamente plástico), respectivamente. Os teores de argila aumentam da amostra 6 para a 7, indicando um acúmulo de argilominerais e na porção basal da camada de colúvio.

Abaixo do coluvião, foi descrito dois horizontes: o aluvião argiloso (amostra 9) e o aluvião arenoso (amostra 10). Estes horizontes apresentavam características muito distintas, com o IP variando de 22% a não-plástico. Eles foram definidos como solos transportados e depositados pelo rio Verde em seu antigo talvegue. A variação destes dois horizontes pode ser explicada pela dinâmica do rio. A maior velocidade da corrente se dá no talvegue (porção central do curso d'água), sendo ela capaz de transportar materiais mais grossos (fração areia). Nas margens do rio, como há menor velocidade da corrente e conseqüentemente menor energia para transporte, ocorre a deposição de materiais mais finos. Além disso, em épocas chuvosas (meses de outubro a março), pode ocorrer depósitos com a inundação do rio, sendo depositados os materiais siltosos e argilosos. Portanto, o aluvião arenoso representa os depósitos do talvegue e das margens do rio e a camada argilosa os depósitos da planície de inundação do rio.

A partir de todas as informações, definiu a região na qual mais se ocorre a erosão de material (topo da vertente), a parte onde ocorre o transporte (região com maior declividade) e a porção onde ocorre a deposição de material, a mesma região da planície de inundação do rio Verde (porção mais baixa da vertente).

Os solos derivados de rochas com composição graníticas são solos porosos ($n > 40\%$), resistentes ao intemperismo, gerando vertentes como a

estudada. A evolução da vertente se dá por escoamento em lençol (nos horizontes superficiais), sem lixiviar para os horizontes mais profundos (horizonte C), em conjunto com coluvionamento no sopé.

Os processos erosivos atuantes na área são essencialmente por meio das águas pluviais e fluviais. Atualmente, as águas pluviais fazem um papel importante de erosão e transporte dos materiais das porções superiores para a planície fluvial. Este material transportado sobrepõe os aluviões arenosos e argilosos depositados pelas águas fluviais quando, a um certo tempo, ali corria o rio Verde.

7. Conclusão

A dinâmica da vertente de estudo apresenta transporte, erosão e deposição associada a dinâmica superficial do relevo. O “motor” desta dinâmica superficial está ligada à ocorrência de precipitação. Os saprolitos da porção superior são derivados do intemperismo das rochas locais, apresentando características de solos graníticos. Todavia, os depósitos da planície de inundação (representados pelas sondagens T4, T5 e T6) evidenciam uma deposição fluvial, pelo rio Verde, além de uma deposição coluvial, pelo transporte de material das porções superiores da vertente. A deposição dos aluviões se dá nos momentos de cheias sazonais e pela variação geográfica do talvegue ao longo do tempo geológico.

O entendimento da evolução da vertente no ponto de vista geotécnico dão indícios de como são os materiais inconsolidados da região. Passamos de uma mineralogia estreitamente relacionada com a rocha fonte nos pontos mais altos da vertente para uma mineralogia mais diversa em seu sopé.

Os métodos geofísicos utilizados neste trabalho apresentam ótimos resultados na definição de regiões onde ocorre o acúmulo de material, sendo possivelmente solos transportados. Juntamente com a aerofotogrametria e o estudo geológico, definiu-se a evolução da vertente como a ação conjunta entre o escoamento em lençol (nos horizontes superficiais) e com o coluvionamento, transportando o material do topo da vertente para o sopé da mesma.

Este trabalho fornece subsídios para futuros estudos deste tipo na área ou em regiões com as mesmas características físicas. Para se compreender completamente a dinâmica da área, seria necessário um acompanhamento das propriedades dos solos durante um maior período de tempo, para entender a variação das propriedades do solo com o regime de precipitação do local, além de uma análise laboratorial da vertente completa, não apenas duas sondagens.

8. Ref. Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT):

____-**NBR-6457**: Amostras de Solos – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio 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.

Almeida, F.F.M. de, Hasui, Y.; Neves, B.B.B., Fuck, R.A. (1977). **Províncias estruturais brasileiras**. Atlas do VII simpósio de Geologia do Nordeste. p363-391.

Artur, A.C; Kawashita, K. (1988). **Geocronologia de unidades litoestratigráficas do embasamento cristalino da região do sul de Minas Geras e áreas adjacentes do Estado de São Paulo**. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia 35, Belém. Anais, 6:2840-2869.

Campos Neto, M. da C.; Figueiredo M.C.H.; Janasi, V.A.; Basei, M.A.S.; Fryer, B.J. (1998). **The São José do Rio Pardo mageritic-granitic suite, southeastern Brazil**. Geochimica Brasiliensis, 2:185-199.

Caputo, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1987. 219p

Costa, M.das G. A. et al. (2013). **Gamaespectrometria e magnetometria em mapeamento de solos no domínio de rochas pelíticas do Grupo Bambuí, MG**.

CPRM (2008). **Nota explicativa das folhas Varginha (SF.23-V-D-VI) e Itajubá (SF.23-Y-B-III)**. Programa Geologia do Brasil.

Dickson, B.L.; Scott, K.M. (1997). **Interpretation of aerial gamma-ray surveys –adding the geochemical factors**. AGSO J. Australia Geology & Geophysics. 17(2): 187-200.

Folharini, S & Oliveira, R.C (2012). **Estudo do Município de São José do Rio Pardo, estado de São Paulo, Brasil, a partir da análise ecodinâmica da paisagem**. Revista Geonorte. 1. 946-958.

Hasui, Y.; Carneiro, C.D.R.; Almeida, F.F.M. de; Bartorelli, A (2012). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. 1981a. **Mapa geológico do Estado de São Paulo.2v.** (IPT, Monografias, 6).

Molina Jr, W.F (2017). **Comportamento Mecânico do solo em operações agrícolas**. Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”. ESALQ/USP.

Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.A. (1998). **Geologia de Engenharia**. ABGE. São Paulo, SP.

Pedro,A.S (2012). **A dinâmica geomorfológica das vertentes e suas implicações nas infraestruturas rodoviárias: alguns exemplos do norte de Portugal**. Geografia Ensino&Pesquisa, v.16,n.1, p.55-70. Jan/Jun 2012.

Pinto, S. C (2006). **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3ª edição,Oficina de Textos, São Paulo,

Ponçano,W.L.; Carneiro, C.D.R.; Bistrichi, C.A.; Almeida, F.F.M.;Prandini, F.L (1981). **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo (2v)**. SãoPaulo. IPT, 94p.

Portal climate-data. Disponível em <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/sao-jose-do-rio-pardo-34830/>> , acessado em 6/09/2018.

Portal da EMBRAPA.

Portal do IBGE. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-jose-do-rio-pardo/panorama>>, acessado em 7/11/2018.

Rebello,V. (2003). **Riscos Naturais e accção antrópica**. Estudos e reflexões. Coimbra, imprensa de Universidade, 286p. 2ª edição.Ross, L.S., Jurandyr & Moroz, Isabel Cristina (1996). **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. Geography Department, University of Sao Paulo. 41-58. 10.7154/RDG.1996.0010.0004.

Trouw, R.A.J.; Heilbron,M.; Ribeiro, A.; Paciullo,F.; Valeriano, C.M.; Almeida, J.C.H.; Tupinambá,M.; Andreis, R.R. (2000). **The central segment of the Ribeira Belt**. In:Cordani, U.G.; Milani, E.J.; Thomas Filho, A.; Campos, D.A. (eds). Tectonic evolution of South America. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, p.287-310.

Vaz, L.F (1996). **Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais**. Solos e rochas, São Paulo, 19(2), p.117-136. Agosto de 1996.

Whitten, D.G.A.; Brooks,J.R.V (1976). **A dictionary of Geology**. Penguin books.

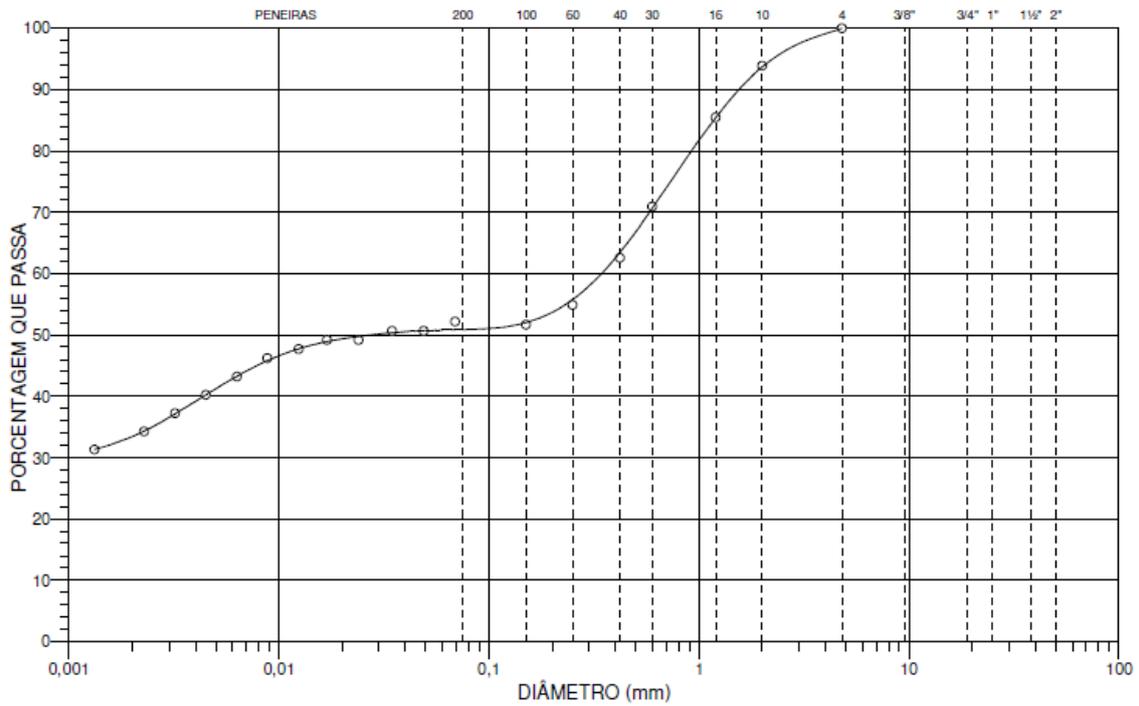
Wilford et al (1997). **Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology**. ASGO, 17(2):201-216.

Wilford, J. (2002). **Airborne gamma-ray spectrometry**. Cooperative Research Centre for Landscape Environments and Mineral Exploration, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Bertley, WA, Australia. Open File Rep, v. 144, p. 46-52.

ANEXO I – CURVAS DE GRANULOMETRIA DAS AMOSTRAS ANÁLISES DE CONSISTÊNCIA DO SOLOS

Amostra 1 (T2 20-50cm)

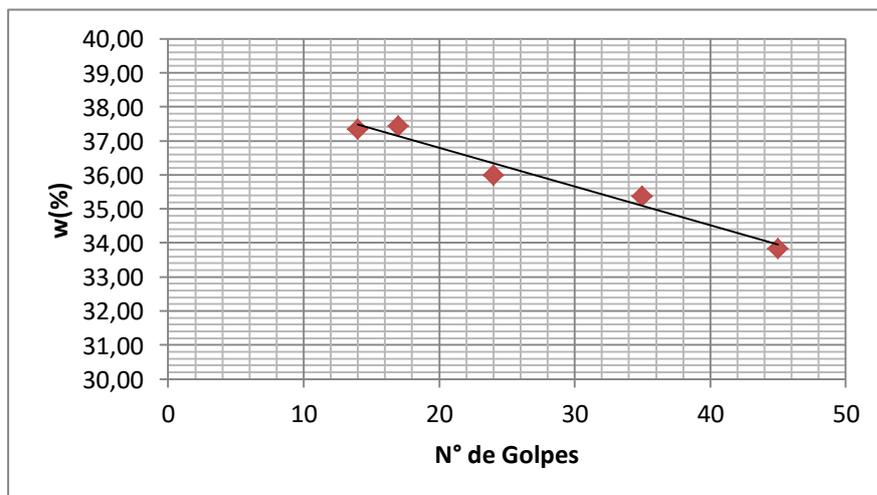
DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
33,5%	17,3%	2,9%	17,0%	23,0%	6,3%	0,0%	0,0%
		42,9%			6,3%		

DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)



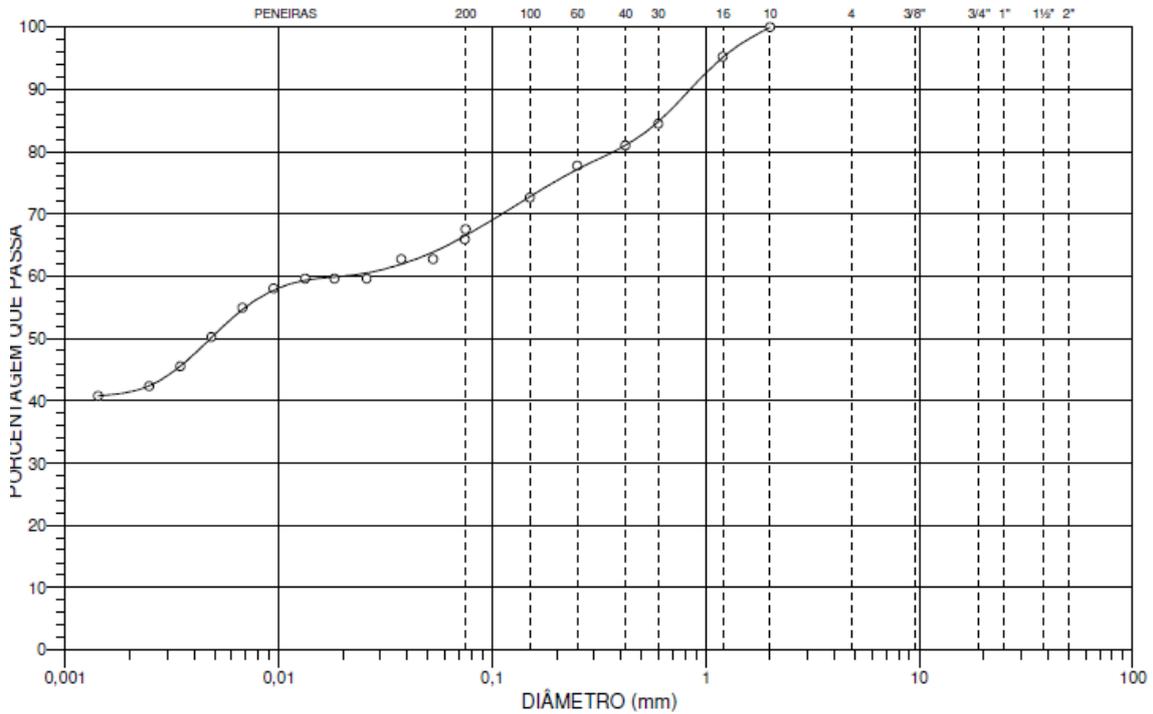
LL=36,2

LP=25,57

IP=10,63

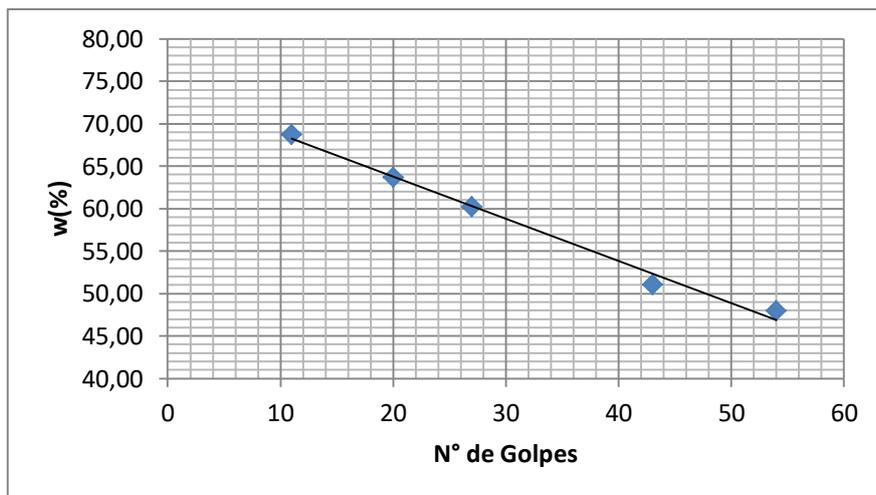
Amostra 2 (T2 70-80cm)

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
41,4%	23,4%	10,5%	9,5%	15,2%	0,0%	0,0%	0,0%
		35,2%			0,0%		
		DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)			DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)		



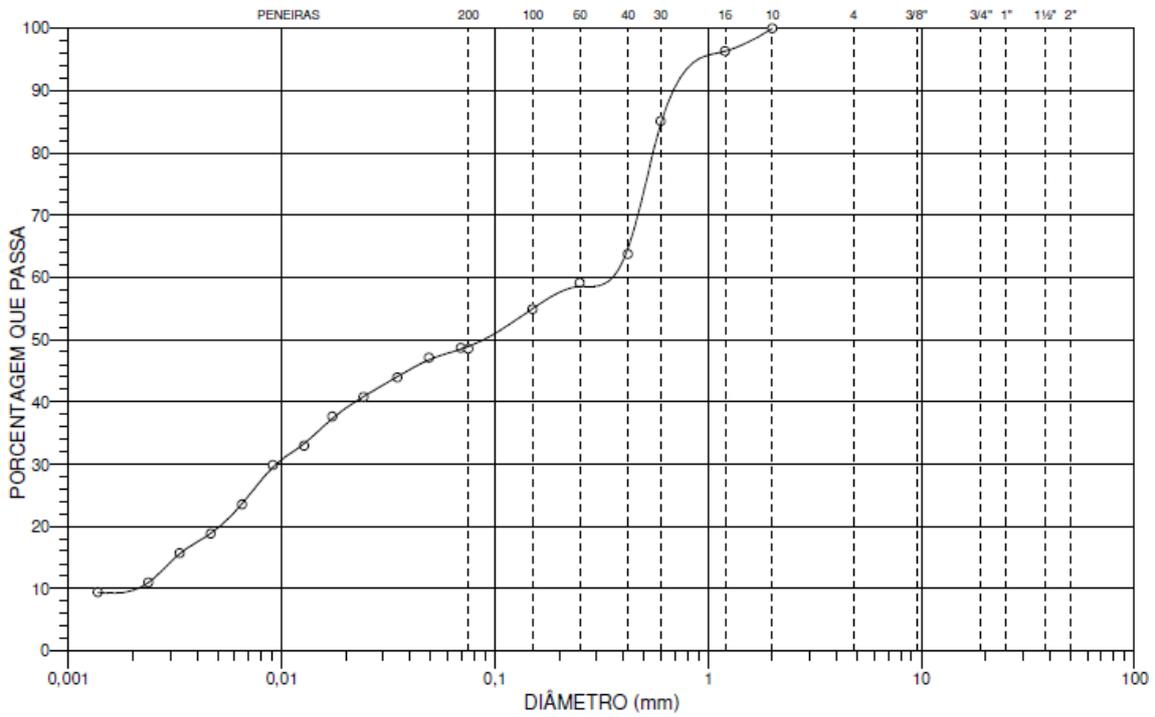
LL= 60,5

LP=27,53

IP=32,97

Amostra 3 (T2 250-270cm)

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

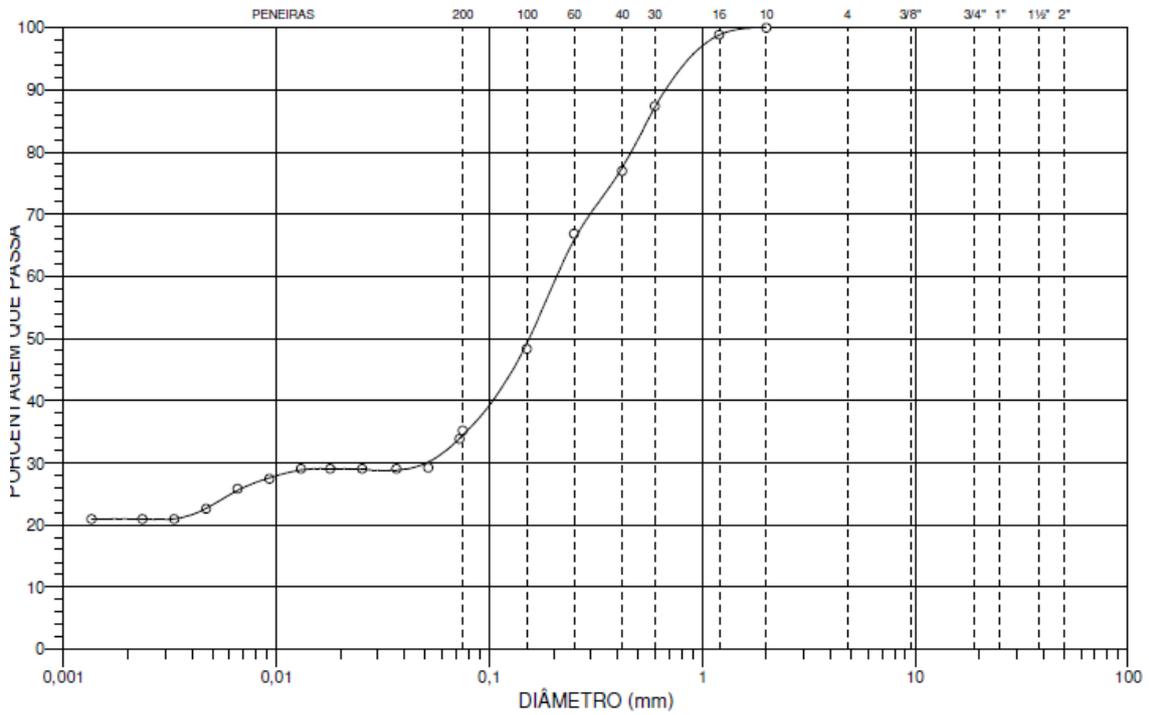
ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
9,8%	38,1%	52,2%			0,0%		
		9,7%	27,1%	15,4%	0,0%	0,0%	0,0%

DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)

Material classificado como **não-plástico**.

Amostra 4 (T2 270-410cm)

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

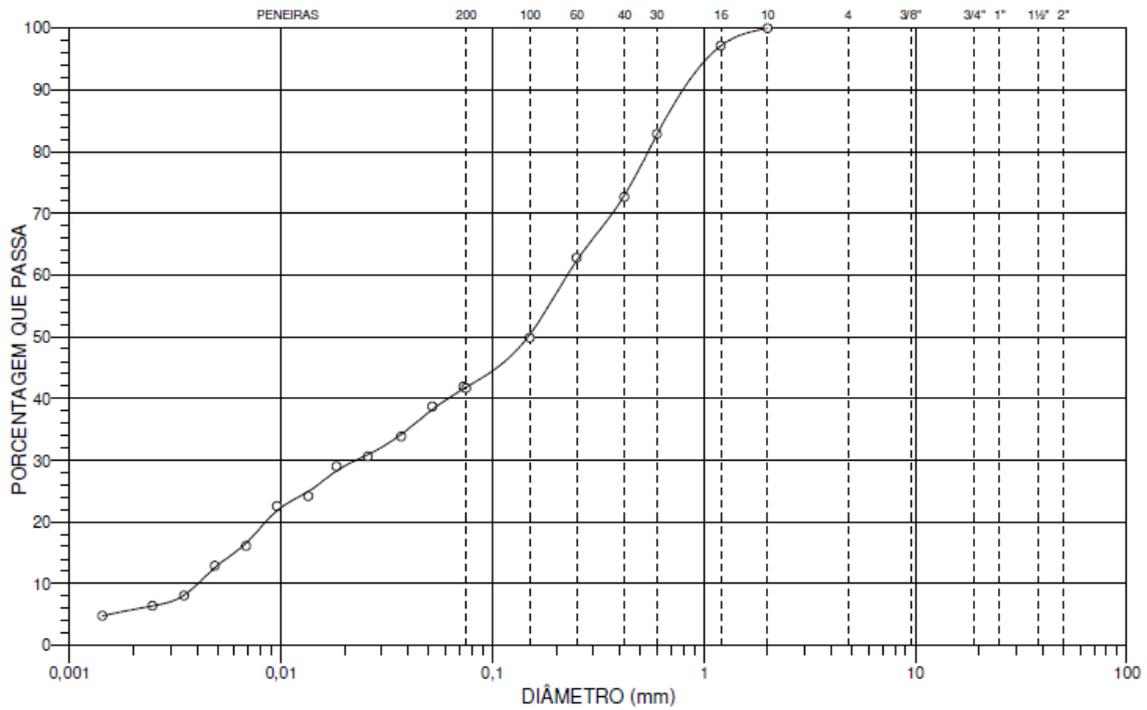
ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
21,0%	10,5%	68,5%			0,0%		
		27,3%	28,4%	12,8%	0,0%	0,0%	0,0%

DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)

Material classificado como **não-plástico**.

Amostra 5 (T2 450-470cm)

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

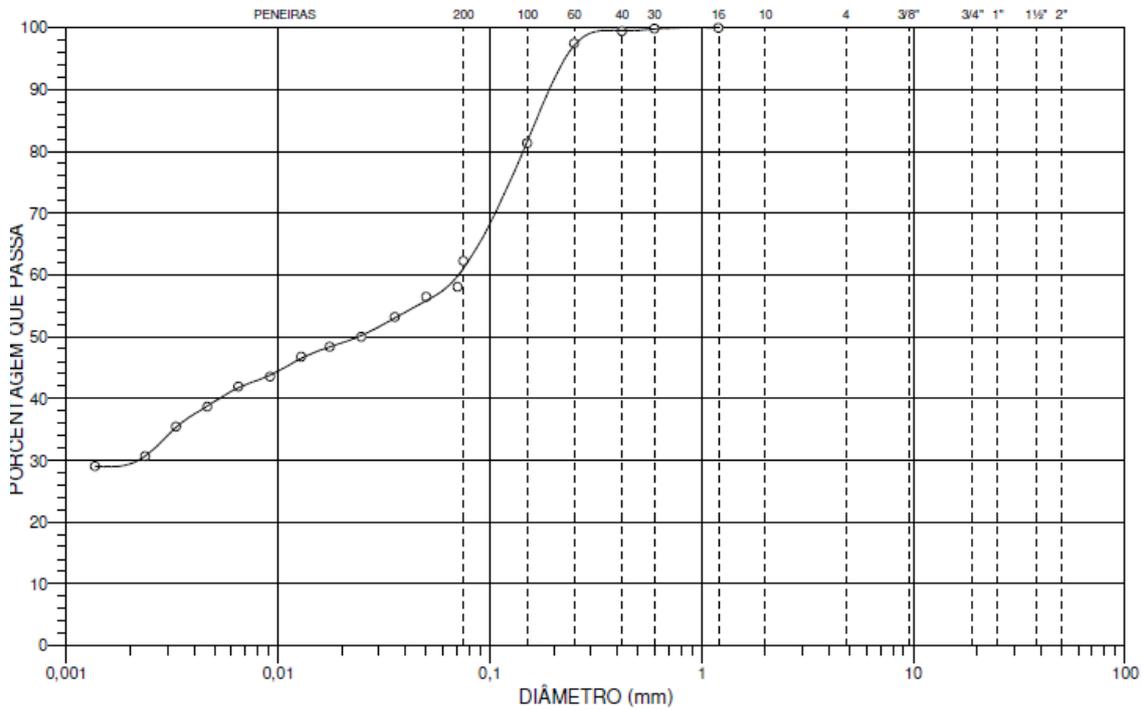
ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
5,8%	33,9%	17,3%	25,8%	17,2%	0,0%	0,0%	0,0%

DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)

Material classificado como **não-plástico**.

Amostra 6 (T6 20-60cm)

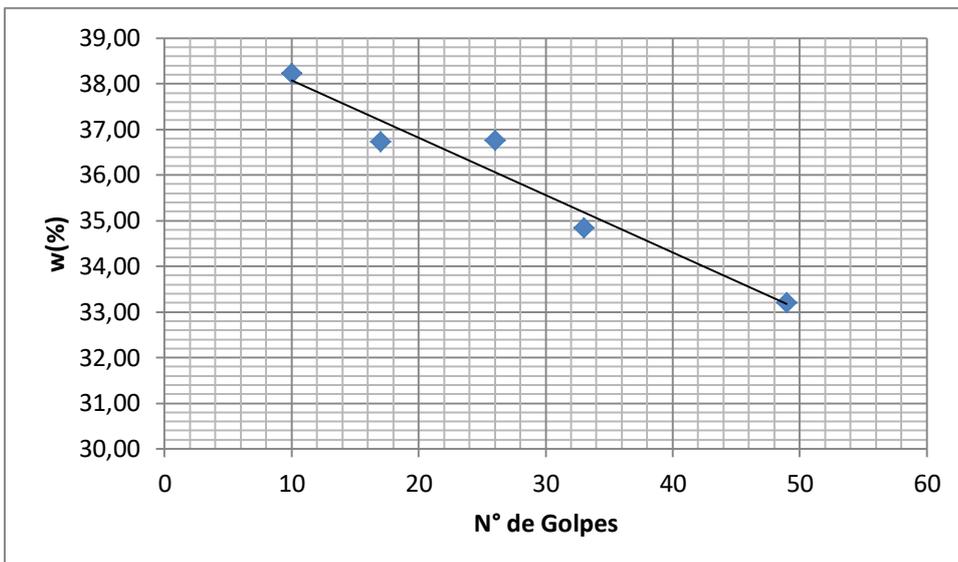
DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
29,4%	28,1%	34,0%	8,3%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%

DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)



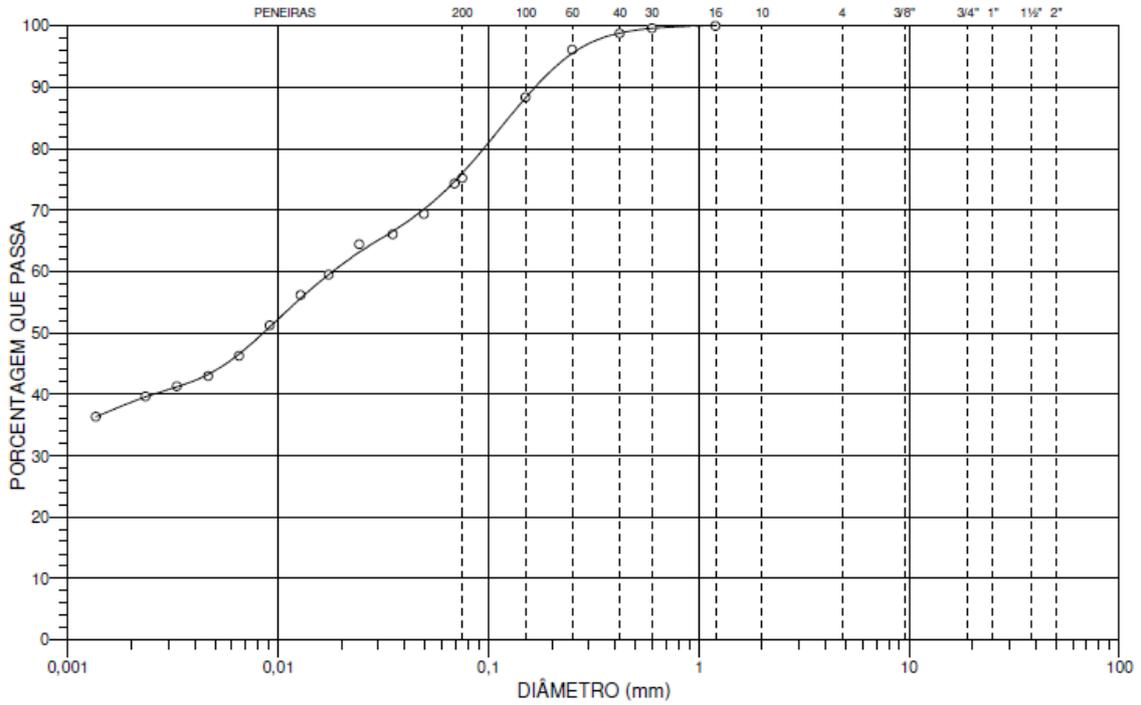
LL=36,2

LP=22,06

IP=14,14

Amostra 7 (T6 120-140cm)

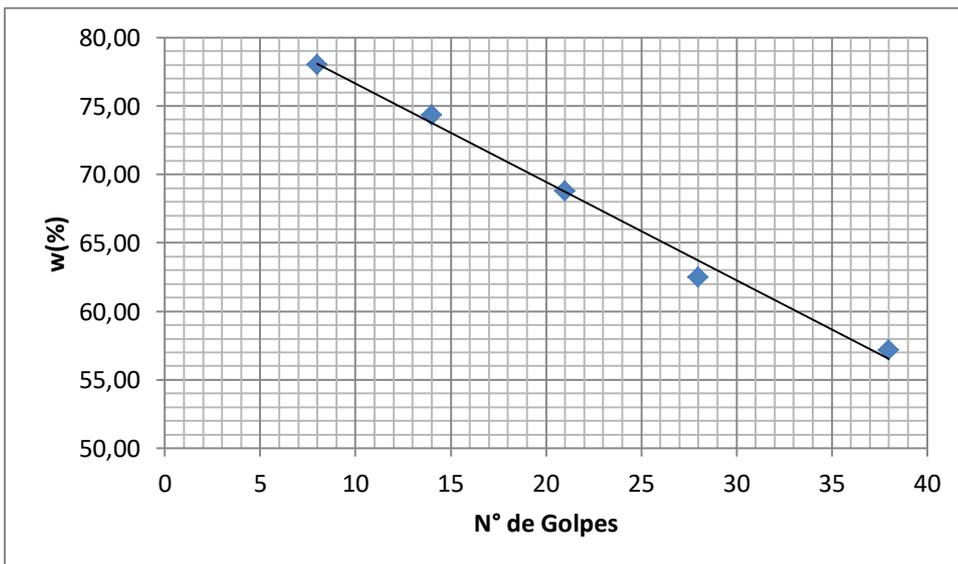
DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
38,7%	34,0%	20,1%	6,8%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%

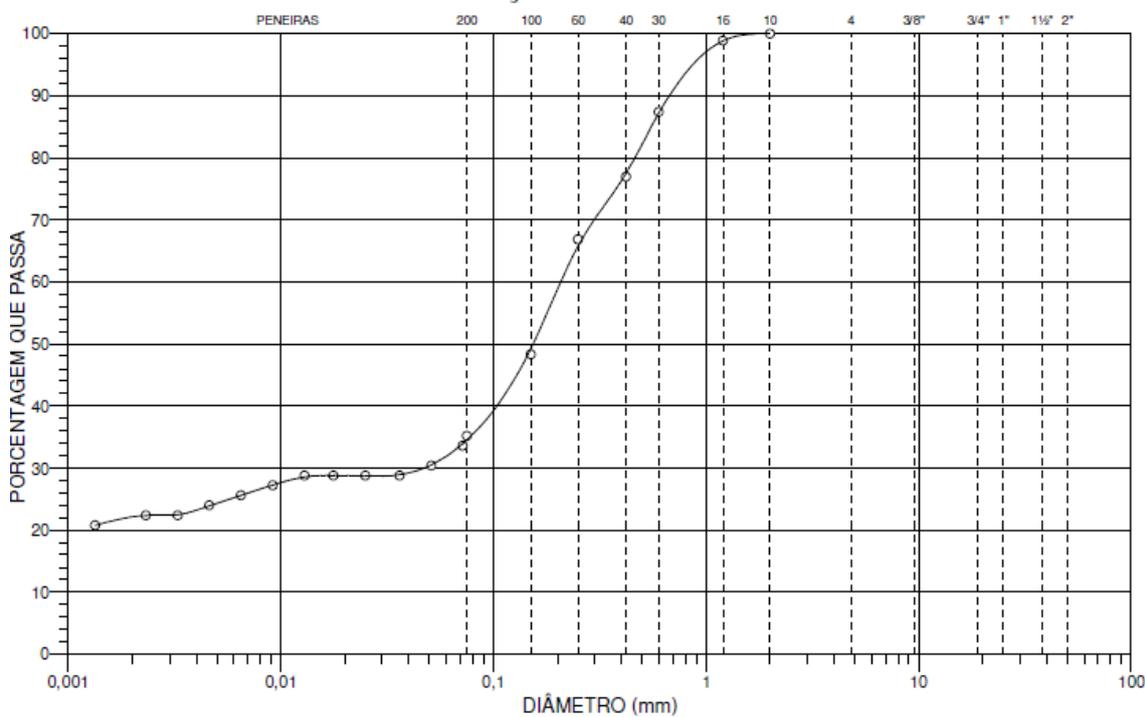
DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)



LL=66,0
LP=35,52
IP=30,48

Amostra 8 (T6 220-240cm)

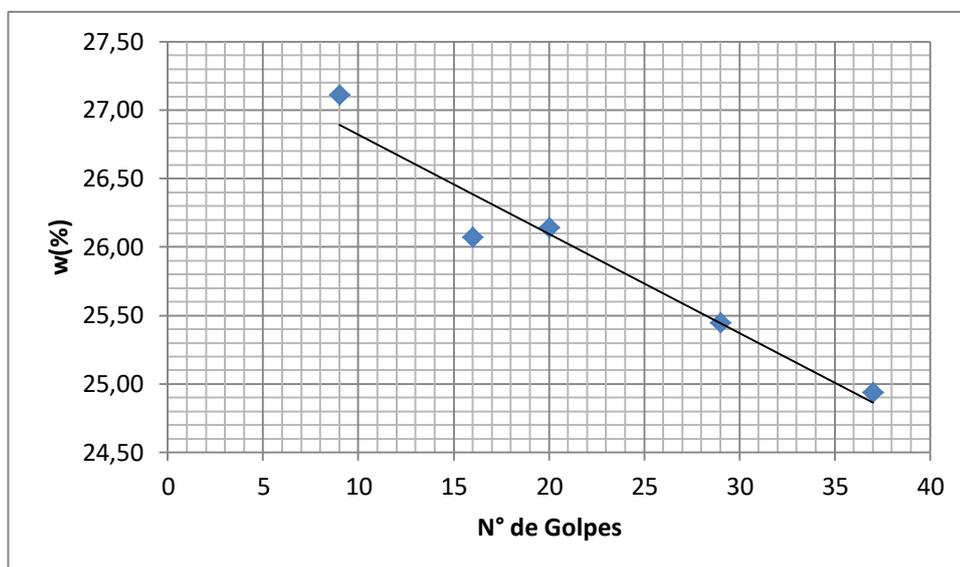
DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
22,2%	9,8%	26,9%	28,4%	12,8%	0,0%	0,0%	0,0%
0,002	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60

DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)



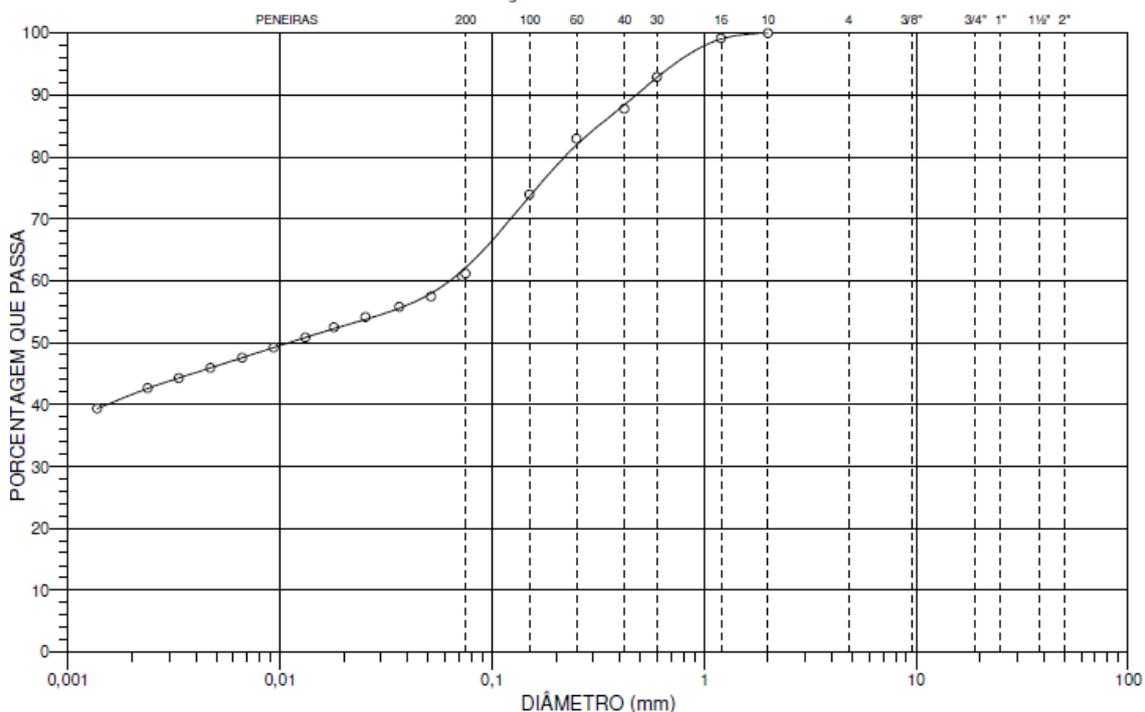
LL= 25,75

LP=16,25

IP=9,5

Amostra 9 (T6 300-310cm)

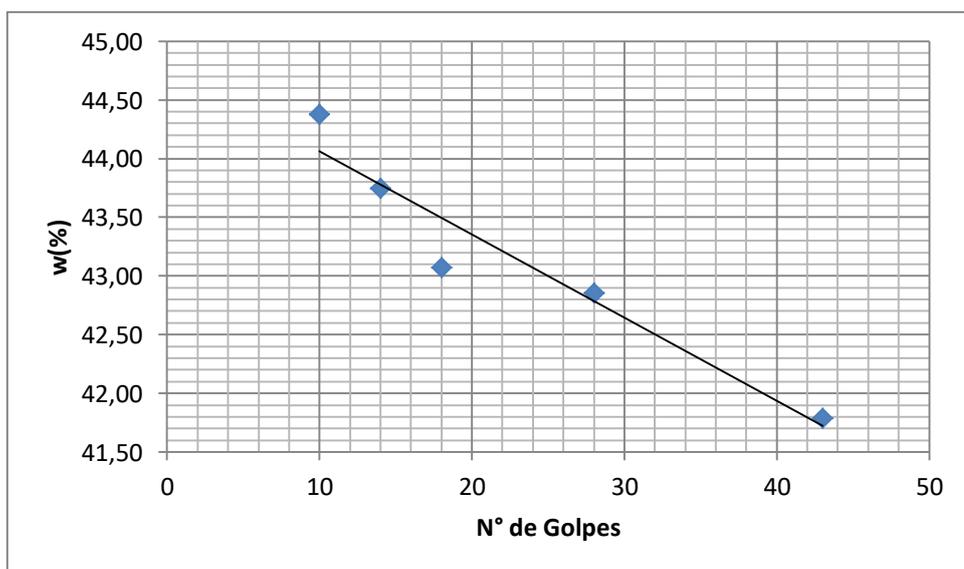
DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
41,7%	17,8%	19,1%	14,3%	7,2%	0,0%	0,0%	0,0%

DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)



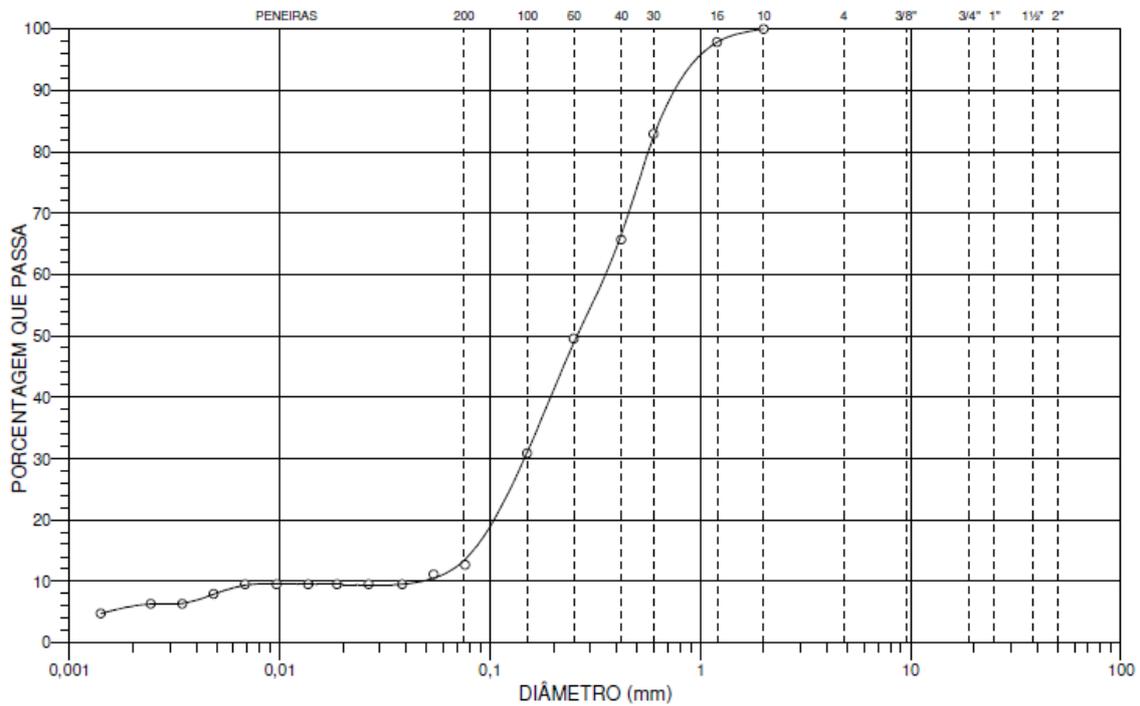
LL=43,0

LP=20,36

IP=22,5

Amostra 10 (T6 500-515cm)

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
6,0%	5,2%	30,0%	41,3%	17,5%	0,0%	0,0%	0,0%
		DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)					

A amostra foi classificada como **não-plástica**.