



Número: 119/2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

Aluna: Carolina Verbicaro Perdomo

Influência das Propriedades Físico-Mecânicas e Hídricas do Solo na
Susceptibilidade a Escorregamentos em Vertente Declivosa na Serra do
Mar em Ubatuba, São Paulo.

Dissertação apresentada ao Instituto de
Geociências como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Geografia,
Análise Ambiental e Dinâmica Territorial.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Sérgio Bernardes Ladeira

Campinas
Fevereiro de 2010

Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca do Instituto de Geociências/UNICAMP

P412i Perdomo, Carolina Verbicaro.
Influência das propriedades físico-mecânicas e hídricas do solo na susceptibilidade a escorregamentos em vertente declivosa na Serra do Mar em Ubatuba, São Paulo / Carolina Verbicaro Perdomo--Campinas,SP.: [s.n.], 2010.

Orientador: Francisco Sérgio Bernardes Ladeira.
Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Mar, Serra do. 2. Escorregamentos (Geografia).
3. Taludes(Geografia física). 4. Taludes(Mecânica do solo). I. Ladeira, Francisco Sérgio Bernardes. II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. III. Título.

Título em ingles: Influence of physical and mechanical properties of soil and hydro in susceptibility to landslides on steep slopes in the Serra do Mar, Ubatuba.

Keywords: - Serra do Mar;
- Landslides (Geography);
- Slopes (Physical Geography);
- Slopes.

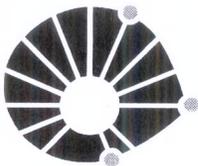
Área de concentração: Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

Titulação: Mestre em Geografia.

Banca examinadora: - Francisco Sérgio Bernardes Ladeira;
- Déborah de Oliveira;
- Miriam Gonçalves Miguel.

Data da defesa: 25/02/2010

Programa de Pós-graduação em Geografia.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

AUTORA: Carolina Verbicaro Perdomo

“Influência das Propriedades Físico-Mecânicas e Hídricas do Solo na Susceptibilidade e Escorregamentos em Vertentes Declivosas na Serra do Mar em Ubatuba, São Paulo”

ORIENTADOR: Prof. Dr. Francisco Sergio Bernardes Ladeira

Aprovada em: 25 / 02 / 2010

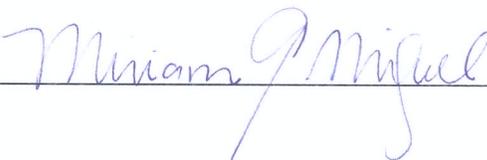
EXAMINADORES:

Prof. Dr. Francisco Sergio Bernardes Ladeira  - Presidente

Profa. Dra. Déborah de Oliveira



Profa. Dra. Miriam Gonçalves Miguel



Campinas, 25 de fevereiro de 2010

Dedico à,
Meus Pais
Cezar e Magdala

Agradecimentos

Embora eu esteja apenas começando na área acadêmica, com o trabalho de mestrado, gostaria de dizer que este foi de profundo amadurecimento para minha formação, e espero que também seja de alguma forma contribuinte para a ciência e para os interessados sobre o assunto.

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Sérgio Bernardes Ladeira pela oportunidade de expandir meus conhecimentos específicos e de pesquisa, além dos trabalhos de campo com direito a muita chuva e até uma passagem pelo pronto-socorro da cidade de Ubatuba.

A Profa. Dra. Miriam Gonçalves Miguel por toda ajuda de laboratório e didática, além do incentivo ao desenvolvimento do trabalho. Obrigada também por deixar assistir as aulas ministradas na Eng. Civil, que muito me esclareceram para desenvolver esta dissertação.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A Dra. Chou do INPE e a Profa. Dra. Luci Idalgo Nunes da UNICAMP pela oportunidade de participar do Projeto Temático financiado pela FAPESP, que me proporcionou ajuda financeira para os trabalhos de campo e realização das amostras, além de ter proporcionado importantes reuniões com a equipe do projeto que serviram muito para meu amadurecimento profissional.

Ao Prof. Lisandro e ao aluno Alan do laboratório de Raio X da Física, que proporcionaram a realização das amostras de mineralogia, um exemplo de incentivo a pesquisa e a ciência no país.

Ao jovem Estéfano que me ajudou em todos os trabalhos de campo, não só carregando o trado, como também usando-o, e muito. Muito obrigada pela "força" e pela companhia em todos os momentos deste trabalho.

Aos alunos, André (Mestrado) e Sara (Graduação) por também terem me ajudado em campo, e lamento pela perda dos dois no campo (capa de chuva e calça). E ao Marcelo que me ajudou na parte de geoprocessamento.

Ao jovem JÓ, morador local que nos ajudou em todos os trabalhos de campo, sempre com boa vontade e disposição, que era imprescindível para realização de todas as etapas necessárias.

A Val secretaria da pós-graduação do instituto de geociências da Unicamp, e uma segunda mãe para todos os alunos. Uma pessoa incrivelmente trabalhadora, responsável e dedicada. Muito Obrigada por tudo.

A UNICAMP e ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências pela oportunidade de desenvolver este trabalho como aluna de seu curso.

Aos técnicos do laboratório de Geotecnia da Eng. Civil, Cipriano e Reinaldo, muito obrigada pela atenção, as explicações e esclarecimento, além da paciência de terem rompido todas as amostras junto comigo.

Ao Junior, técnico do Laboratório de Solos as Faculdade de Eng. Agrícola da UNICAMP que ajudou na elaboração das curvas de retenção, e a Célia nas análises de granulometria.

Aos donos da pousada da Palmeira em Ubatuba que sempre nos hospedavam, mesmo quando era uma segunda feira chuvosa e não tinha ninguém mais hospedado.

A minha amiga, praticamente irmã Mariana (Japa) por me incentivar a terminar de escrever, a parte mais exaustiva. Suas palavras foram de grande ajuda.

A minha vó, Terezinha, minhas tias Patrícia, Milhinha, Celita e ao meu Tio Marco Aurélio por sempre estarem ao meu lado, me ajudando e incentivando a continuar.

Ao meu irmão, que mesmo de longe está o tempo todo falando para eu acabar logo com isso.

Aos meus pais, Magdala e Cezar esses que estão sempre ao meu lado, em todos os momentos, revisando partes do texto, me levando a UNICAMP em momentos que não podia dirigir, me dando apoio para participar de eventos, e sempre me incentivando a continuar. Um exemplo de família. Muito Obrigada por estarem sempre ao meu lado.

Gostaria de agradecer também ao Jose (Zezinho), Companheiro carinhoso e dedicado que me ajudou muito a desenvolver este trabalho, não só em partes do desenvolvimento da dissertação, mas agüentando ao meu lado todas as situações complicadas que surgiram durante o período que estamos juntos. Muito Obrigada.

Sumário

1 – Introdução	1
2 – Hipótese e Objetivos	5
2.1 – Hipótese.....	5
2.2 – Objetivos.....	5
2.3 – Objetivos Específicos	5
3 – Movimentos de Massa.....	7
3.1 – Classificação de Movimentos de Massa	7
3.2 - Suscetibilidade e Riscos.....	12
4 – Estabilidade das Encostas.....	15
4.1 – Resistência ao Cisalhamento	18
4.2 – Ensaios para Determinação da Resistência do Solo	19
4.2.1 – Ensaio de Cisalhamento Direto	19
4.2.2 – Ensaio de Cisalhamento Triaxial.....	20
5 – Condicionantes Pedológicos.....	21
5.1 – Caracterização dos Solos	23
5.2 – Comportamento Geomecânico e Propriedades Físicas do Solo.....	27
5.2.1– Limites de Atterberg.....	27
5.2.2 – Granulometria	29
5.3– Caracterização Química dos Solos.....	30
5.4 – Mineralogia.....	30
6 – Dinâmica da Água no Interior dos Solos da Encosta.....	31
6.1 - Percolação da Água nos Solos	32
7 – Caracterização da Área de Estudo.....	35
7.1 – Localização do Município de Ubatuba.....	35
7.2 – Aspectos Gerais da Ocupação	35
7.3 – Geologia da Serra do Mar.....	36
7.4 – Geomorfologia e Pedologia da Serra do Mar	38
7.5 – O Clima de Ubatuba.....	41
7.6 – Vegetação	43
7.7 – A Serra do Mar e os Movimentos Gravitacionais de Massa.....	44
7.8 – Bacia do Rio Grande de Ubatuba.....	45

8 – Materiais e Métodos.....	47
8.1 - Levantamentos de Campo.....	47
8.2 – Procedimentos de Análises em Laboratórios.....	49
8.2.1 – Análise Química de Rotina.....	49
8.2.2 – Granulometria das Amostras.....	49
8.2.3 – Densidade Real dos Grãos.....	51
8.2.4 – Argila dispersa em Água.....	51
8.2.5 – Curva de Retenção.....	52
8.2.6 – Porosidade Total.....	53
8.2.7 – Mineralogia das Argilas.....	53
8.2.8 – Umidade Gravimétrica Natural.....	54
8.2.9 – Limites de Plasticidade e Liquidez.....	54
8.2.10 - Resistência ao Cisalhamento dos Solos.....	56
8.2.11 - Digitalização das Curvas e Pontos de Campo.....	58
9 - Resultados e Discussões	59
9.1 – Carta Digitalizada da Bacia com a Localização dos Pontos.....	59
9.2 – Descrição do Campo.....	60
9.3 – Cálculo da Profundidade Real dos Pontos de Sondagem.....	62
9.4 – Descrição das Trincheiras Abertas na Vertente.....	66
9.4.1 – Trincheira 01.....	66
9.4.2 – Trincheira 02.....	68
9.4.3 – Trincheira 03.....	70
9.5 – Análise Granulométrica.....	71
9.5.1 - Gráficos de Granulometria da Areia.....	71
9.5.2 – Variação Vertical da Textura dos Perfis.....	74
9.6 – Valores das Análises Químicas e Físicas dos Horizontes.....	78
9.7 – Valores de Umidade do Solo.....	82
9.8 – Índices de Atterberg.....	82
9.8.1 - Atividade das Argilas.....	86
9.9 - Mineralogia das Argilas.....	87
9.10 - Curvas de Retenção da Água ou Curvas Características de Sucção.....	91
9.10.1 - Análise das Curvas de Retenção.....	93
9.10.1.1 - Análise da Trincheira 01.....	94
9.10.1.2 – Análise da Trincheira 02.....	97
9.10.1.3 – Análise da Trincheira 03.....	99
9.10.1.4 – Análise de Todas as Trincheiras Juntas.....	102

10 - Resistência ao Cisalhamento dos Solos	105
10.1 - Análise do Perfil 01.....	105
10.2 - Análise do Perfil 02.....	116
10.3 - Resistência com Valores de Umidade	124
11 - Síntese	127
12 – Considerações Finais	129
Referências Bibliográficas	131

Lista de Figuras

- Figura 1 – Esquema do Movimento Rotacional e Foto Ilustrativa.
- Figura 2 – Esquema do Movimento Translacional ou Planar e Foto Ilustrativa.
- Figura 3 – Esquema do Movimento em Cunha ou Estruturado e Foto Ilustrativa.
- Figura 4 – Mapa Geomorfológico da Porção Centro-Sul de Ubatuba-SP
- Figura 5 – Rede Hidrográfica da Bacia do Rio Grande de Ubatuba
- Figura 6 – Placa de Vidro Fosco
- Figura 7 – Aparelho de Casa Grande
- Figura 8 – Foto do Aparelho Usado no Cisalhamento Direto do Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Eng. Civil da UNICAMP
- Figura 9 – Foto dos Corpos de Prova Cisalhados nas Três Diferentes Umidades Citadas no Texto.
- Figura 10 – Imagem Parcial da Bacia do Rio Grande de Ubatuba Digitalizada
- Figura 11 – Imagem dos Pontos de Sondagem e das Trincheira com as Curvas de Nível Digitalizadas de 25m em 25m
- Figura 12 – Raízes de Árvores Formando Terracetes
- Figura 13 – Fotos da Área de Estudo Com a Mata Preservada
- Figura 14 – Situação de Profundidade em Campo e Obtenção da Profundidade Real
- Figura 15 – Perfil topográfico e Perfis de Alteração nos Pontos da Topossequência Sabesp
- Figura 16– Fotografia e Esquema do Perfil da Trincheira 01
- Figura 17 – Fotografia e Esquema do Perfil da Trincheira 02
- Figura 18 – Fotografia e Esquema do Perfil da Trincheira 03
- Figura 19 – Variação Vertical da Textura do Perfil 01
- Figura 20 – Variação Vertical da Textura do Perfil 02
- Figura 21 – Variação Vertical da Textura do Perfil 03
- Figura 22 – Gráficos da Mineralogia das Argilas do Perfil 01 nos Cinco Horizontes Diferenciados em Campo.
- Figura 23 – Gráficos da Mineralogia das Argilas do Perfil 02 nos Quatro Horizontes Diferenciados em Campo.

Figura 24 – Gráficos da Mineralogia das Argilas do Perfil 03 nos Três Horizontes Diferenciados em Campo

Figura 25 – Curva de Retenção com Umidade Real de Cada Horizonte da Trincheira 01

Figura 26 – Curva de Retenção Ajustada com o Modelo de Von Guentchen de Cada Horizonte da Trincheira 01

Figura 27 – Curva de Retenção com Umidade Inicial Igual para Comparação de Cada Horizonte da Trincheira 01

Figura 28 – Curva de Retenção com Umidade Real de Cada Horizonte da Trincheira 02

Figura 29 – Curva de Retenção Ajustada com o Modelo de Von Guentchen de Cada Horizonte da Trincheira 02

Figura 30 – Curva de Retenção com Umidade Inicial Igual para Comparação de Cada Horizonte da Trincheira 02

Figura 31 – Curva de Retenção com Umidade Real de Cada Horizonte da Trincheira 03

Figura 32 – Curva de Retenção Ajustada com o Modelo de Von Guentchen de Cada Horizonte da Trincheira 03

Figura 33 – Curva de Retenção com Umidade Inicial Igual para Comparação de Cada Horizonte da Trincheira 03

Figura 34 – Curva de Retenção com Umidade Inicial Igual para Comparação de Drenagem de Cada Horizonte das Três Trincheiras

Figura 35 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B1 da Trincheira 01 com 29% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

Figura 36 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B1 da Trincheira 01 com 36% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído

Figura 37 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B1 da Trincheira 01 com a Amostra Saturada e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído

Figura 38 – Gráfico das Envoltórias de Cisalhamento do Horizonte B1 da Trincheira 01 com as Três Diferentes Umidades, Conforme a Curva de Retenção

Figura 39 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B2 da Trincheira 01 com 23% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

Figura 40 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B2 da Trincheira 01 com 32% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

Figura 41 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B2 da Trincheira 01 com a Amostra Saturada e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído

Figura 42 – Gráfico das Envoltórias de Cisalhamento do Horizonte B2 da Trincheira 01 com as Três Diferentes Umidades, Conforme a Curva de Retenção.

Figura 43 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte C1 da Trincheira 01 com 22% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

Figura 44 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte C1 da Trincheira 01 com 30% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e outro com Valor de Campo Incluído

Figura 45 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte C1 da Trincheira 01 com a Amostra Saturada e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

Figura 46 – Gráfico das Envoltórias de Cisalhamento do Horizonte C da Trincheira 01 com as Três Diferentes Umidades Conforme a Curva de Retenção

Figura 47 – Gráfico da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B da Trincheira 02 com 32% de Umidade e Tabela com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

Figura 48 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B da Trincheira 02 com 38% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

Figura 49 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B da Trincheira 02 com a Amostra Saturada e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

Figura 50 – Gráfico das Envoltórias de Cisalhamento do Horizonte B da Trincheira 02 com as Três Diferentes Umidades Conforme a Curva de Retenção

Figura 51 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte C da Trincheira 02 com 36% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

Figura 52 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte C da Trincheira 02 com 40% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

Figura 53 – Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte C da Trincheira 02 com a Amostra Saturada e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

Figura 54 – Gráfico das Envoltórias de Cisalhamento do Horizonte C da Trincheira 02 com as Três Diferentes Umidades Conforme a Curva de Retenção.

Figura 55 – Gráficos com Valores da Resistência ao Cisalhamento com as Umidades (%) Retiradas das Curvas de Retenção e tabelas com os Respectivos valores da T1.

Figura 56 – Gráficos com Valores da Resistência ao Cisalhamento com as Umidades (%) Retiradas das Curvas de Retenção e tabelas com os Respectiveos valores da T2.

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Características dos Principais Grupos de Movimentos de Massa

Tabela 2 – Fatores que Contribuem para o Aumento ou Redução da Tensão Cisalhante

Tabela 3 – Definições de Solo Adaptado de Espíndola 2008.

Tabela 4 – Número de Habitantes no Município de Ubatuba no Período de 1980 a 2008

Tabela 5 – Cálculo de Transferência de Declividade de Porcentagem para Graus

Tabela 6 – Resultado dos Dados de Campo e dos Dados Calculados dos Pontos de Sondagem

Tabela 7 – Descrição Macromorfológica do Perfil 01

Tabela 8 – Descrição Macromorfológica do Perfil 02

Tabela 9 – Descrição Macromorfológica do Perfil 03

Tabela 10 – Valores das Análises Físicas e Químicas do Perfil 01

Tabela 11 – Valores das Análises Físicas e Químicas do Perfil 02

Tabela 12 – Valores das Análises Físicas e Químicas do Perfil 03

Tabela 13 – Teor de Umidade Gravimétrica do solo

Tabela 14 – Mostra o LP, LL e IP do perfil 01

Tabela 15 – Mostra o LP, LL e IP do perfil 02

Tabela 16 – Mostra o LP, LL e IP do perfil 03

Tabela 17 – Limites e Umidade Gravimétrica do perfil 01

Tabela 18 – Limites e Umidade Gravimétrica do perfil 02

Tabela 19 – Limites e Umidade Gravimétrica do perfil 03

Tabela 20 – Atividade da argila do perfil 01

Tabela 21 – Atividade da Argila do perfil 02

Tabela 22 – Atividade da Argila do perfil 03

Tabela 23 – Macro, Micro e Porosidade Total de Cada Horizonte das Trincheiras

Tabela 24 – Coesão e Ângulo de Atrito Interno dos Horizontes B1, B2 e C1 da Trincheira 01 em Umidades Determinadas pela Curva de Retenção

Tabela 25: Cálculo da Normal e da Resistência ao Cisalhamento das Condições de Campo para Cada uma das Umidades Estudadas da Trincheira 01.

Tabela 26: Coesão e Ângulo de Atrito Interno dos Horizontes B e C em Umidades Determinadas pela Curva de Retenção da Trincheira 02.

Tabela 27: Cálculo da Normal e da Resistência ao Cisalhamento das Condições de Campo para Cada uma das Umidades Estudadas da Trincheira 02.

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Granulometria de Areia da Trincheira 01

Gráfico 2 – Granulometria de Areia da Trincheira 02

Gráfico 3 – Granulometria de Areia da Trincheira 03

Lista de Equações

Equação 1 – Fator de Segurança

Equação 2 – Equação da Totalidade das Pressões

Equação 3 – Equação de Coulomb-Mohr (resistência ao cisalhamento)

Equação 4 – Índice de Plasticidade

Equação 5 – Atividade da Argila

Equação 6 – Modelo de Van Genutchten (1980)

Equação 7 – Umidade Gravimétrica Natural



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRAUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

Influência das Propriedades Físico-Mecânicas e Hídricas do Solo na
Susceptibilidade a Escorregamentos em Vertente Declivosa na Serra do
Mar em Ubatuba, São Paulo.

Resumo

Os movimentos de massa são fenômenos naturais de evolução das vertentes, mas eles causam grandes estragos sendo considerados como risco quando em uma área se têm a vulnerabilidade na escarpa associada a ocupação humana ou industrial que traga risco a população. A área de estudo fica localizada no litoral norte do Estado de São Paulo, Brasil. Na região da Serra do Mar, uma escarpa que chega aos 1.000m de altitude, funciona como uma barreira orográfica fazendo com que a área seja intensamente atingida por precipitações, sendo que o município atinge médias anuais muito altas. Para o estudo completo desses fenômenos é importante conhecer melhor a estrutura dos solos e seu comportamento em relação a dinâmica da água, por isso o objetivo deste trabalho foi de realizar esta caracterização e verificar o possível local de ruptura entre horizontes do solo. A área escolhida para o desenvolvimento do estudo têm altos índices pluviométricos e histórico desses tipos de movimentos de massa gravitacionais. Para a realização deste trabalho foram realizadas análises macromorfológicas de campo com descrição dos perfis levantados (três), de mineralogia, índices de Atterberg (limite de plasticidade e de liquidez), curva de retenção da água nos horizontes do solo e resistência ao cisalhamento. A granulometria analisada foi diversificada, encontrando solos argilosos e areno-argilosos, tendo predominância o Argissolo Vermelho Amarelo Álico. A maior profundidade encontrada foi de 227cm e a menor de 175cm; as curvas mostraram resultados de retenção diferentes para cada horizonte, mostrando os diferentes comportamentos em relação a retenção da água; os limites acompanharam a granulometria, tendo atingido valores maiores para solos mais argilosos, como os encontrados na trincheira 02; e a resistência ao cisalhamento também mostrou diferença nos valores dos parâmetros (coesão e ângulo de atrito interno) entre os horizontes, neste ensaio os solos da trincheira 03 não foram utilizados, pois ela estava localizada próxima a base da encosta. Os resultados nos levam a entender que o contato entre esses horizontes (B e C) é um ponto susceptível a ruptura.

Palavras-chaves: Serra do Mar, Escorregamentos, Estabilidade de Encostas



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRAUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL

Influence of Physical and Mechanical Properties of Soil and Hydro in
Susceptibility to Landslides on steep slopes in the Serra do Mar, Ubatuba,
São Paulo.

Abstract

The mass movements are natural phenomena of evolution of the slopes, but they cause great damage when being considered as a risk in one area if they have a vulnerability in the slope associated with human occupation or industry that brings risk population. The study area is located on the northern coast of São Paulo, Brazil. In the region of Serra do Mar, an escarpment that reaches 1,000 m above sea level, acts as an orographic barrier causing the area is heavily affected by rainfall, and the average annual county reaches very high. For the complete study of these phenomena is important to better understand the structure of soils and their behavior in relation to water dynamics, so the aim was to achieve this characterization and to determine the possible site of rupture between soil horizons. The area chosen for the development of study have high rainfall and history of these types of gravitational mass movements. For this work were analyzed macromorphological field describing the profiles surveyed (three), mineralogical, Atterberg limits (plastic limit and liquid), water retention curve in soil horizons and shear strength. The particle size analysis was diversified, finding clay soils and sandy-clay, with the predominance Alfissol Álico. The greatest depth found was less than 227cm and 175cm, the retention curves showed different results for each horizon, showing the different behaviors in relation to water retention; followed the grain boundaries, reaching higher values for more clayey soils, as those found in the trench 02, and shear strength also showed differences in the values of the parameters (cohesion and internal friction angle) between the horizons, to test the soil of the trench 03 were not used because it was located near the base of the slope. The results lead us to believe that contact between these horizons (B and C) is a point likely to break.

Key-Words: Serra do Mar, Landslides, Slope Stability

1 – Introdução

Incluídos na denominação de desastres naturais, os processos de movimentos gravitacionais de massa têm despertado muita preocupação na atualidade, devido aos danos que podem provocar, como a perda de vidas humanas e bens materiais. Nos aglomerados urbanos, o crescimento das ocupações habitacionais em áreas de risco, têm causado maior número de vítimas, não só pelo adensamento humano, mas também pelo aumento da suscetibilidade a esses danos, causado pela própria ação antrópica sobre o ambiente.

A ocupação do território de forma desordenada se reflete de maneira clara nas regiões urbanas de grande parte dos municípios brasileiros. A questão da habitação no Brasil ainda é um sério problema devido a má distribuição de renda que faz com que a população menos favorecida não tenha condições de ocupar espaços mais adequados nas cidades, uma vez que o custo desta localização extrapola a realidade econômica e financeira dessa grande parcela dos habitantes do país. Sem condições de adquirir espaços urbanizados dentro das normas geotécnicas de segurança, essa população vai se alojando em áreas de risco, ou seja, aquelas que não foram contempladas no processo regular de urbanização, onde o valor agregado do terreno é menor ou em muitos casos nulo; como as encostas mais íngremes dos morros (Freitas et al, 2001). Ainda que, áreas de baixadas também sejam consideradas de riscos, são as encostas que se encontram no foco do presente trabalho, por se tornarem frequentemente palco de verdadeiras tragédias, causadas pelos movimentos gravitacionais de massa.

Os movimentos gravitacionais de massa são fenômenos geomorfológicos naturais originados pelos processos de intemperismo e erosão que, independentes da ação antrópica, vão contribuindo ao longo do tempo geológico para a formação e constante transformação do relevo na superfície terrestre; eles podem ser, e têm sido, cada vez mais intensificados pela ação antrópica,

tornando-se problema quando produzem danos de ordem ambiental, econômica e social, em especial, a perda de vidas humanas.

Deslizamentos, escorregamentos e arrastes dentre outros, são denominações para as diferentes maneiras em que podem ocorrer os movimentos gravitacionais de massa, devido ao fato deles estarem diretamente relacionados com as características do meio físico, tais como a declividade das vertentes, a orientação dos terrenos, a profundidade e o tipo de material. A quantidade de água contida neste material, a velocidade e a forma de ruptura são fatores que variam de um local para outro e que são levados em conta na classificação desses movimentos.

O território brasileiro está quase todo localizado na faixa tropical do hemisfério sul, apresentando um clima quente e úmido, que associado às características morfológicas diversificadas do território, favorece os processos geomorfológicos desses movimentos em diversas regiões; em especial, nas escarpas da Serra do Mar. Com altitudes médias de 1.000m, a Serra do Mar e suas vertentes acentuadas, localizadas entre o oceano e o continente, sofrem periodicamente a ação de ventos e chuvas frontais vindas do mar. Esse processo de chuvas orográficas é de fundamental importância para o clima da região, pois intensifica os processos de escorregamento e condiciona toda a rede hidrológica das bacias hidrográficas da região.

Com um longo histórico de eventos trágicos de movimentos gravitacionais de massa, a Serra do Mar, por ser uma das áreas mais propensas a esses acontecimentos, têm sido contemplada com muitos estudos de levantamento de dados no intuito de auxiliar no esclarecimento e na tentativa de evitar novos desastres. Para corroborar com essas pesquisas, a área proposta do presente estudo está situada num trecho da bacia do Rio Grande de Ubatuba, que faz parte desta Serra e que apresenta inúmeras cicatrizes que comprovam a existência desses movimentos.

Diferentes métodos de análise de áreas susceptíveis a escorregamentos têm sido aplicados, mas nem sempre esses trabalhos contemplam os dados

físico-mecânicos do solo. Parte significativa dos movimentos ocorre no contato solo/solo e, por isso, é importante a compreensão dos fatores que levam à ruptura deste material.

2 – Hipótese e Objetivos

2.1 – Hipótese

A hipótese levantada neste trabalho é a de que as rupturas dos processos de movimento gravitacional de massa, que ocorrem na bacia do Rio Grande de Ubatuba, se dão no contato de horizontes pedológicos com características distintas. Esses horizontes apresentam diferentes comportamentos em relação à dinâmica da água durante a infiltração, ocorrendo um aumento no teor de umidade e, conseqüentemente, uma perda da coesão aparente entre esses horizontes, o que leva ao cisalhamento do material nesta superfície de contato. Essa hipótese foi formulada após observações realizadas em trabalhos de campo na região, onde as cicatrizes desses movimentos nem sempre apresentavam o contato solo/rocha.

2.2 – Objetivos

A partir da hipótese levantada o objetivo da pesquisa foi o de entender o comportamento dos solos em relação à quantidade de água nesse sistema, através de análises físicas, químicas, mineralógicas e de resistência ao cisalhamento do solo, de cada horizonte dos perfis realizados ao longo da vertente.

2.3 – Objetivos Específicos

- Indicar o comportamento dos horizontes dos solos e sua profundidade em vertentes de alta declividade sujeitas a movimentos gravitacionais de massa;
- Caracterização química e mineralógica dos solos destas condições;

- Caracterização física e geomecânica dos solos.
- Compreensão da dinâmica da água contida nos horizontes de solo

3 - Movimentos de Massa

3.1 – Classificação de Movimentos de Massa

Os movimentos gravitacionais de massa são processos, que quando movidos pela ação da gravidade, consistem no deslocamento de sedimentos, solos, detritos e/ou blocos de rocha ao longo de um encosta.

Deslizamento é um termo genérico que engloba uma variedade de tipos de movimentos de massa gravitacionais; que também costumam ser referenciados como escorregamentos (IPT, 2007; Vedovello e Macedo, 2007).

Os processos de movimentos de massa são fenômenos que ocorrem naturalmente na superfície da terra como parte do processo de modelagem do relevo, resultantes da ação contínua do intemperismo e dos processos erosivos (Lopes et al, 2007). Mas podem ser induzidos pela ação humana.

Os condicionantes para os escorregamentos podem ser naturais: características dos solos e rochas, relevo (declividade/inclinação), vegetação, clima e nível d'água ou antrópicos (cortes e aterros, desmatamento, lançamento de água servida em superfície, lixo e entulho e cultivo inadequado) (Ministério das Cidades, 2008).

A variedade de fatores, materiais e processos envolvidos nos movimentos de massa gravitacionais gera diferentes linhas de pesquisa e conseqüentemente diversas tipologias e classificações para esses movimentos.

Para Fernandes e Amaral (1996) os critérios para a diferenciação são o tipo de material, a velocidade e o mecanismo dos movimentos, o modo de deformação, a geometria da massa movimentada e o conteúdo de água.

Critérios como: o tipo de material, a velocidade e o mecanismo do movimento, o modo de deformação, a geometria da massa movimentada e o conteúdo de água, devem ser considerados para diferenciar os diversos tipos de movimento de massa (Selby, 1993).

Augusto Filho (1992) fazem a classificação em quatro tipos principais: rastejos, escorregamentos (*(stricto sensu)* que podem ser subdivididos em planares; circulares e em cunha), quedas (rolamentos de matações e tombamentos), e corridas como mostra a tabela 1.

Tabela 1: Características dos Principais Grupos de Movimentos de Massa (Augusto Filho, 1992).

Processos	Características do Movimento/Material/Geometria
Rastejos	<ul style="list-style-type: none"> - Vários planos de deslocamento (Internos) - Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade - Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes - Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada - Geometria indefinida
Escorregamentos	<ul style="list-style-type: none"> - Poucos planos de deslocamento (externos) - Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) - Pequenos a grandes volumes de material - Geometria e materiais variáveis _ Planares: solo pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; _ Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; _ Cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	<ul style="list-style-type: none"> - Sem planos de deslocamento - Queda livre ou rolamento através de plano inclinado - Velocidades muito altas (m/s) - Material rochoso - Pequenos e médios volumes - Geometria variável: lascas, blocos, placas, etc. - Rolamento de matação e tombamento
Corridas	<ul style="list-style-type: none"> - Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas á massa em movimentação) - Movimento semelhante ao de um líquido viscoso - Desenvolvimento ao longo das drenagens - Velocidades médias a altas - Mobilização de solo, rochas, detritos e água - Grandes volumes de material - Extenso raio de alcance mesmo em áreas planas

Foram selecionados alguns dos mais recorrentes tipos de movimentos de massa citados nas diversas classificações (IPT, 2007; Ministério das Cidades, 2008), são eles: o rastejamento, as corridas, os escorregamentos e as quedas de blocos.

O rastejamento é o movimento gravitacional lento e contínuo da camada superficial do solo, perceptível somente em observações de longa duração. Esta camada superficial geralmente não chega a um metro de profundidade, mas pode atingir mais de 10 metros em alguns locais (Selby, 1993).

As corridas são movimentos rápidos, associadas à concentração dos fluxos de água superficiais em determinado ponto da encosta. Geralmente os materiais (solo, pequenos blocos e restos vegetais) são transportados ao longo de canais de drenagem e se comportam como um fluido altamente viscoso. Uma corrida pode ser gerada por pequenos escorregamentos que se deslocam em direção aos cursos de água, o que torna difícil a distinção entre estes dois tipos de movimento (Selby, 1993).

Para Fernandes e Amaral (1996), os escorregamentos são movimentos rápidos, de curta duração e com plano de ruptura bem definido, sendo possível a distinção entre o material deslizado e o que não foi movimentado. O material envolvido pode ser constituído por solos, depósitos de encosta (colúvio), rochas, detritos ou até lixo doméstico. Este último pode ser considerado um depósito Quaternário com comportamento geomecânico específico. Quanto ao plano de ruptura, os escorregamentos são subdivididos em rotacionais e translacionais. Existe também a classificação de escorregamento em cunha ou estruturado.

Os rotacionais possuem superfície de ruptura curva, côncava para cima, ao longo da qual se dá um movimento rotacional da massa de solo. A existência de mantos de alteração espessos e homogêneos, como aqueles originados de rochas argilosas, facilita sua ocorrência. Geralmente estão associados à percolação da água em profundidade, sendo deflagrados algum tempo depois de um evento chuvoso. O início do movimento muitas vezes está ligado a cortes no sopé da encosta, provocados por erosão fluvial ou pela construção de

moradias e estradas. Apresenta como feições típicas as escarpas de topo, fendas transversais na massa transportada e uma língua de material acumulado na base da encosta (Fernandes e Amaral, 1996), figura 1.

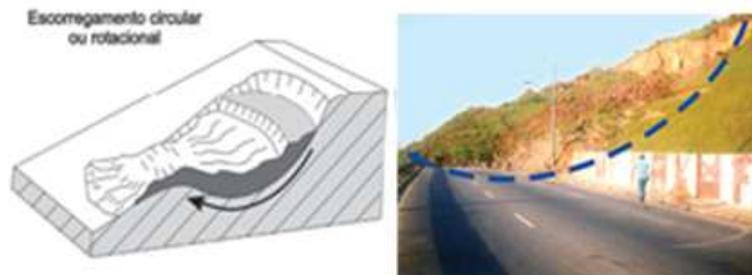


Figura 1 Esquema do Movimento Rotacional e Foto Ilustrativa.

Fonte: Ministério das Cidades

Os escorregamentos translacionais são os tipos de movimento de massa mais freqüentes nas encostas cobertas por solos. Apresentam superfície de ruptura com forma planar, a qual acompanha, de modo geral, descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas existentes no interior do material. Estas descontinuidades podem ser resultantes de processos geológicos (acamamentos, foliações, falhas, fraturas) geomorfológicos (depósitos de encosta) ou pedológicos (contatos entre horizontes, contato solum-saprolito). Os escorregamentos translacionais costumam ser compridos e rasos e estão associados a uma dinâmica hidrológica mais superficial. Geralmente são deflagrados durante eventos pluviométricos de alta intensidade, quando a taxa de infiltração torna-se superior à taxa de retirada de água do interior da encosta por fluxos subsuperficiais; com isso, há um aumento excessivo da poro-pressão, causando a ruptura, figura 2, (Fernandes e Amaral, 1996).

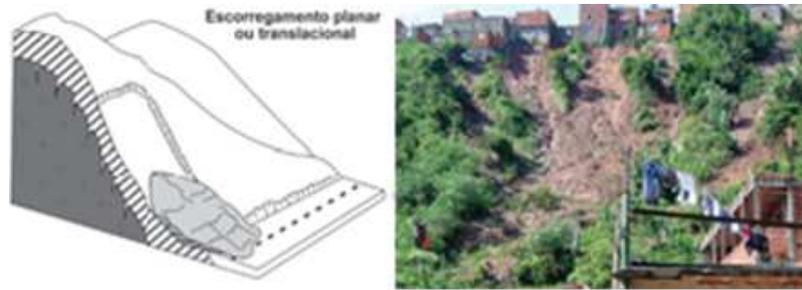


Figura 2. Esquema do Movimento Translacional ou Planar e Foto Ilustrativa.

Fonte: Ministério das Cidades

Os escorregamentos em cunha ou estruturado apresentam dois planos de fraqueza, e o deslocamento ocorre ao longo do eixo de intercessão desses planos, geralmente deslocam grande quantidade de material, figura 3.

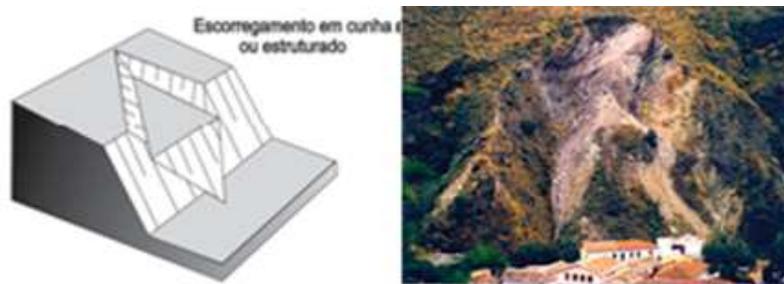


Figura 3: Esquema do Movimento em Cunha ou Estruturado e Foto Ilustrativa.

Fonte: Ministério das Cidades

As quedas de blocos representam movimentos em queda livre de blocos e lascas de rocha. São resultantes do avanço do intemperismo físico e químico através das discontinuidades das rochas, representadas por falhas, fraturas e bandamentos. Este processo é responsável pela decomposição esferoidal de rochas como o granito, dando origem a blocos e matacões envoltos por um manto de alteração. A posterior remoção por erosão do material proveniente da decomposição esferoidal tende a isolar estes blocos e matacões na superfície do terreno. Durante chuvas intensas e/ou prolongadas, os mesmos podem se soltar e rolar encosta abaixo sob efeito da gravidade. As quedas de blocos são

um dos principais processos responsáveis pela formação de depósitos de tálus (Selby, 1993).

No estudo de Wolle e Carvalho (1989), em Cubatão na Serra do Mar, os escorregamentos que predominam, nas porções altas e médias das encostas, são os translacionais (planares) que mobilizam apenas uma parte superficial do solo que desliza ao longo de uma superfície essencialmente paralela a encosta.

3.2 - Suscetibilidade e Riscos

Nos estudos dos movimentos de massa deve se levar em conta o objetivo e a área a qual ele está inserido, e para esta classificação existem diferentes conceitos como: evento, acidente, perigo, risco, suscetibilidade e vulnerabilidade entre outros.

Evento é quando a ocorrência de um deslizamento não traz conseqüências socioeconômicas, enquanto que, se esse evento ocorrer acarretando essas conseqüências tem-se um acidente. Perigo refere-se à probabilidade de ocorrência de um acidente (perda de vida, ferimento, danos socioeconômicos e/ou ambientais); e risco expressa o grau de perdas esperadas resultantes da possível ocorrência de deslizamentos (Vedovello e Macedo, 2007).

Vulnerabilidade é o conjunto de processos e condições resultantes de fatores físico, sociais, econômicos e ambientais, os quais determinam quanto uma comunidade ou elemento em risco estão susceptíveis ao impacto dos eventos perigosos (Vedovello e Macedo, 2007).

Os conceitos segundo o IPT (2007) são: evento é o de um fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo, sem causar danos econômicos e/ou sociais. Perigo é a condição ou fenômeno com potencial para causar uma conseqüência desagradável. Vulnerabilidade é o grau de perda para um dado elemento grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo.

Suscetibilidade indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência. Risco é a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno, e a magnitude de danos ou conseqüências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade. Quanto maior a vulnerabilidade maior o risco.

Outra informação importante a ser incorporada na avaliação de suscetibilidade a deslizamentos refere-se à indicação sobre quais tipos de deslizamentos são esperados. O conhecimento da tipologia dos processos esperados é importante para fins de planejamento, uma vez que permitira a adoção de técnicas e recursos tecnológicos adequados para subsidiar a implantação de uso e ocupação do território (IPT, 2007).

4 – Estabilidade das Encostas

As encostas ou vertentes são uma porção inclinada do terreno compreendida entre um talvegue (parte mais baixa do terreno) e o interflúvio (linha de crista, divisor de águas), coberta por um material friável de provem da alteração das rochas pelo intemperismo, o solo (Queiroz Neto, 2008).

Varias são as forças que atuam na estabilidade das encostas e a soma destas forças resulta numa razão que é chamada de Fator de Segurança (FS) como mostra a equação (1) abaixo. Essa razão é resultado das forças que levam à ruptura (T) do material e forças opostas a esse movimento (forças de resistência ao cisalhamento τ).

Equação 1:

$$FS = \frac{\sum R}{\sum T}$$

Quando as forças que levam à ruptura (T) são iguais as forças de resistência ao cisalhamento (τ), ou seja, $FS = 1$, a encosta está no limite da estabilidade, quando $FS < 1$, a encosta está próxima a instabilidade e quando $FS > 1$, a encosta está estável. Quanto maiores os valores de FS, menores serão as possibilidades de ruptura. (Selby, 1993).

A ruptura do material da encosta levando ao movimento gravitacional de massa é controlada por forças e eventos atuantes no processo como mostra a tabela 2 que apresenta, simplificadamente, a atuação de alguns desses fatores que agem na estabilidade das encostas.

Existem nos solos tensões que influenciam na sua estabilidade, a totalidade das tensões é resultante da soma da tensão efetiva e da pressão neutra (equação 2). Esses dois conceitos são muito importantes para o

entendimento de estabilidade nas encostas. A tensão efetiva é a que controla toda a deformação e resistência da estrutura sólida dos solos, ela se dá pelo contato entre as partículas sólidas do solo. A pressão neutra se dá pela água intersticial nos solos, ela pode provir de pelo menos quatro causas. A primeira é a submersão do solo pela água (provavelmente elevação do lençol na área). A segunda é a percolação da água. A terceira é o adensamento das camadas de argila quando há qualquer tipo de compressão do solo. A quarta é a de deformação dos poros do solo durante o processo de aplicações de tensões de cisalhamento (Selby, 1993).

Equação 2:

$$\sigma = \rho + \mu$$

σ = Totalidade das Pressões Tensões Aplicadas ao Solo

ρ = Tensão Efetiva

μ = Pressão Neutra

Tabela 2: Fatores que Contribuem para o Aumento ou Redução da Tensão Cisalhante
(Vieira, 2007)

A. Elementos que contribuem para o aumento da Tensão Cisalhante	
Tipos	Principais Mecanismos
Remoção do Suporte Lateral	Erosão Pluvial, Fluvial e Glacial Intemperismo, Umidade, Secamento e Ação do Gelo Declividade Aumentada pelo Movimento de Massa Corte do Sopé das Encostas
Sobrecarga Por:	Peso da Água, do Gelo ou do Tálus Estruturas
Tensão Transitória	Terremotos - movimentação ou Inclinação do terreno Vibrações por Atividade Humana (ex: Tráfego de carros)
Remoção do Transporte Subterrâneo	Corte pela Ação da Água Intemperismo Subaéreo, Umidade, Secamento e Ação do Gelo Erosão Subterrânea Criação de Lago e Reservatórios
Pressão Lateral	Água de interstício Congelamento da Água Expansão por Argilas Hidratadas Mobilização da Tensão Residual
Aumento do Ângulo da Encosta	Tectônica Regional Processos de Vulcanismo
B. Elementos que Contribuem para a Redução da Tensão Cisalhante	
Tipos	Principais Mecanismos
Composição de Textura	Material Fraco como Tufas Vulcânicas e Argilas Sedimentares Materiais Pouco Empacotados Forma Suave de Grãos Grãos de Tamanhos Uniforme
Reações Físico-Químicas	Mudanças Catiônicas Hidratação de Argilas Secamento de Argilas Solução de Cimentos
Efeitos da Pressão da Água	Efeitos de Bordas Redução da Tensão Capilar Arranque dos Grãos de Solo pela Água (Piping)
Mudanças da Estrutura	Liquefação Espontânea Rastejo Progressivo com Reorientação das Argilas Reativação de Planos de Ruptura
Vegetação	Remoção das Árvores (Redução da Tensão Normal; Remoção da Coesão aparente pelas raízes das Árvores; Aumento da Lençol Freático; Aumento de Fendas dos Solos)
Estruturas Relíquias	Juntas e Planos de Fraqueza Camadas de Solos Plásticos e Impermeáveis

4.1 – Resistência ao Cisalhamento

Os processos de movimentos gravitacionais de massa envolvem, por definição, uma superfície de ruptura. Esta pode ser definida como o local, onde em todos os seus pontos, a tensão de cisalhamento atinge o valor limite da resistência ao cisalhamento (Vargas, 1977).

A tensão ao cisalhamento é determinada pelas variáveis peso (massa + gravidade) e geometria da encosta. A tensão ao cisalhamento é independente da pressão neutra, pois a água não transmite esforço de cisalhamento e sim perda de coesão aparente (água intersticial).

A resistência ao cisalhamento é influenciada pelos parâmetros de fricção e coesão. A fricção é o atrito que influencia na capacidade dos grãos escorregarem entre si, sendo mais forte quanto mais irregularidades e asperezas o grão tiver (Selby, 1993; Pinto, 2006), pois quanto maior as irregularidades menor será a área de contato entre os grãos, sendo maior a tensão normal entre esses contatos. O atrito é diretamente proporcional a força normal, ou seja, é influenciado por uma carga sobrejacente (peso do material acima do ponto analisado). A partir das forças aplicadas ao corpo de solo pode-se obter o ângulo de atrito interno, que é o ângulo formado pela resultante das forças horizontais e verticais com a força normal (Pinto, 2006).

A coesão no solo pode ser real ou aparente. A coesão real é controlada pela cimentação química das partículas ativas do solo, ou seja, a fração fina (argila e silte). Essa cimentação pode ser feita por carbonato, sílica, alumínio e ferro (Selby, 1993; Pinto, 2006; Luiz, 2003). A coesão aparente é definida pela ação eletrostática da água, essa coesão se dá pela tensão capilar entre as moléculas de água e as partículas do solo, exercendo uma tensão entre elas que age de forma atrativa (sucção), mas quando o conteúdo de água aumenta esse efeito de sucção se perde podendo provocar rupturas em alguns solos.

Para os fenômenos de ruptura existe uma equação que representa a resistência ao cisalhamento e que leva em consideração a coesão, a força normal e o ângulo de atrito interno, que é a equação 3, de Coulomb-Mohr (Selby, 1993; Pinto; 2006; Vargas, 1977).

Equação 3:

$$s = c + \delta \cdot \tan \varphi$$

s – resistência ao cisalhamento

c – coesão (kN/m²)

δ – Tensão Normal (kN/m²)

φ – ângulo de atrito interno

se o material não tem coesão (muito arenoso) a equação 03 se modifica:

$$s = \delta \cdot \tan \varphi$$

4.2 – Ensaio para Determinação da Resistência do Solo

Existem dois ensaios que são os mais utilizados para a determinação da resistência ao cisalhamento no laboratório: o ensaio de cisalhamento direto e o ensaio de compressão triaxial.

4.2.1 – Ensaio de Cisalhamento Direto

Este ensaio se baseia em aplicar uma tensão normal num plano e verificar a tensão cisalhante que provoca a ruptura. É realizado com corpos de prova indeformados do solo. Numa superfície plana, aplica-se uma força na vertical e outra na horizontal, o que provoca um deslocamento. O ensaio pode ser feito em corpos de prova com diferentes umidades, alternando assim o valor

da tensão normal aplicada. Esse ensaio mostra o valor do ângulo de atrito interno e também o da coesão, quando presente (Pinto, 2006).

4.2.2 – Ensaio de Cisalhamento Triaxial

É mais completo do que o ensaio direto, ele consiste em aplicação de tensões chamadas de confinantes, esta tensão atua em todas as direções do corpo de prova. Este Ensaio também é realizado em amostra indeformada (Pinto, 2006).

5 – Condicionantes Pedológicos

Sendo o estado de amadurecimento dos solos superficiais um dos fatores que condiciona a ocorrência de escorregamentos, destaca-se a importância do entendimento do comportamento do solo em relação a quantidade de água e a resistência.

Na Serra do Mar, devido às características climáticas, o processo de alteração das rochas é intenso e predominantemente químico. Apesar das condições favoráveis à formação de espessos mantos de alteração, há uma constante remoção de detritos formados, devido à alta declividade das encostas (Augusto Filho e Wolle, 1996).

Cruz (1974) indica que na Serra do Mar, os aplainamentos são produtos da evolução de vertentes escarpadas em blocos, sob controle erosivo, formando patamares que descem pelos esporões em direção ao oceano. Este controle se estabelece, sobretudo, em função do escoamento linear e areolar e em função do grau de meteorização da rocha e conseqüente pedogênese. No primeiro caso, cria-se uma componente paralela à superfície do solo e no segundo, perpendicular, de acordo com a noção de balanço morfogenético das encostas focalizado por Domingues (1964). Se as duas forças agem equitativamente, um equilíbrio se estabelece na vertente, mas em área de escarpas, os declives, quanto mais fortes, mais intensificam a componente paralela. Criam-se assim muitas situações de desequilíbrio, pois aumenta a ação das forças que deslocam os materiais superficiais, sob o efeito da gravidade, sobretudo o poder do escoamento superficial. Este multiplica seu poder, unindo à ação do escoamento subsuperficial, chamado por Tricart e Cailleux (1965) de hipodérmico. A umidade elevada a que estão sujeitas as escarpas litorâneas favorece a ocorrência da Mata Atlântica e o desenvolvimento de alteração das rochas pela componente vertical que os declives estão sempre procurando neutralizar. Cria-se um equilíbrio, que pode ser qualificado de precário, uma vez

que essa umidade favorece também a ação do escoamento superficial e hipodérmico nas vertentes, escoamento este que se acentua muito nos declives mais íngremes por ocasião das pancadas freqüentes de chuva de verão. Assim, no estudo geomorfológico da dinâmica das vertentes seria importante a consideração das formações superficiais nas encostas e o grau de declive em que elas se apresentam. Ao mesmo tempo em que suavizam esse grau de inclinação, elas poderão ajudar a estabelecer índices e limites a partir dos quais haja sua movimentação nas encostas.

Cruz (1974) adverte que somente quando essas escarpas forem mais conhecidas do ponto de vista geológico e pedológico, com datações e exames sedimentológicos precisos, é que se poderá aventar uma boa base geocronológica a respeito de que é normal nos depósitos de pé-de-serra (colúvio). Apesar de assim parecer a montante, essa antiguidade é relativa, raras ocorrências seriam atribuíveis a épocas mais recuadas do Pleistoceno, uma vez que esses depósitos não teriam grandes condições de permanência no sopé de vertentes escarpadas.

Considerados como um dos fatores condicionantes geomorfológicos de escorregamentos: as discontinuidades dos solos (estes podendo ser falhas, fraturas e horizontes com diferentes características) e os depósitos de encosta foram ressaltados por Fernandes e Amaral (1996). Várias discontinuidades podem estar presentes dentro do saprólito e do solo residual (em geologia de engenharia também chamado de solo eluvial). Estas incluem, principalmente, feições estruturais relíquias do embasamento rochoso (fraturas, falhas, bandamentos, etc.) e horizontes de solo formados pela atuação de processos pedogenéticos. Essas discontinuidades podem atuar de modo decisivo no condicionamento da distribuição das poro-pressões no interior da encosta e, conseqüentemente, na sua estabilidade. A presença de fraturas relíquias, por exemplo, pode gerar planos preferenciais ao longo dos quais o intemperismo avança mais rapidamente do que na massa saprolítica não fraturada. De acordo com Selby (1993), estas fraturas relíquias podem condicionar escorregamentos,

principalmente em encostas que apresentam: um ou mais desses sistemas mergulhando para fora da encosta; juntas relíquias preenchidas por material argiloso formando barreiras ao fluxo e níveis d'água suspensos; juntas relíquias que tiveram uma redução no ângulo de atrito devido às mudanças mineralógicas decorrentes do avanço do intemperismo ao longo da fratura.

Para Boulet (1988) as pesquisas pedológicas mostram que, em numerosos casos, a cobertura pedológica não é homogênea, mas apresentam variações ordenadas de características, variações essas que podem ser progressivas ou rápidas. Isso, muitas vezes, pode definir nos movimentos de massa o plano de ruptura que é condicionado por descontinuidades hidráulicas existentes no interior do manto de alteração. Em geral, como evidenciado por Wolle e Carvalho (1989), em encostas do sudeste brasileiro, há um aumento da condutividade hidráulica com a profundidade.

A profundidade do solo e a inclinação da vertente são elementos de grande importância para o estudo dos movimentos gravitacionais de massa como já demonstrado em estudos sobre o tema. Porter (2008) mostra que solos profundos e com inclinação de 45% a 60 % são mais sujeitos aos escorregamentos. Junto com a inclinação da vertente, as profundidades de solo são igualmente importantes em áreas de escorregamento, submetendo uma grande massa de solo às forças gravitacionais.

5.1 – Caracterização dos Solos

Os solos são estudados por diferentes especialidades. A agronomia se preocupa com a parte de fertilidade dos solos, sendo que o importante para eles é o estudo superficial do manto intempérico, já a engenharia civil vai se preocupar mais com os solos em profundidade que podem interferir nas fundações das construções e nas obras subterrâneas.

O Brasil, usamos o termo pedologia para os estudos do solo, mas em alguns casos podemos usar também o termo edafologia (do grego edaphos que

é terra ou terreno), sendo que este está quase sempre atribuído aos estudos agronômicos (Albuquerque et al, 1995; Bertolani, 1998; Soares, 2001). Muitas são as definições do que é solo como mostra a tabela 3.

Tabela 3: Definições de Solo Adaptado de Espíndola (2008)

Hilgard (1914)	Material mais ou menos friável, no qual as plantas (raízes) podem encontrar sustentação e nutrientes, assim como outras condições para crescimento
Romann (1928)	Camada superior de intemperização da crosta sólida da terra
Glinka (1931)	Camada mais extensa da crosta, geralmente não consolidada, variando em espessura, que difere do material subjacente em morfologia em cor, textura, estrutura, constituição física, composição química, características biológicas e, provavelmente, em processos químicos, reação e morfologia.
Joffe (1936)	Corpo natural diferenciado em horizontes, de constituintes minerais e orgânicos, diferindo do material de origem subjacente em morfologia, propriedades físicas e constituição, propriedades químicas, composição e características biológicas.
Terzaghi (1948)	Agregado natural de grânulos minerais que podem ser separados por agitação em água.
Soil Survey Staff (1951)	Coleção de corpos naturais que ocupam porções da superfície da Terra, sustentando plantas, com propriedades devidas ao efeito integrado do clima e organismos atuando sobre o material de origem, condicionado pelo relevo durante períodos de tempo.
Flyusnin (s.d.)	Camada superficial da litosfera (até diversos metros) o habitat das raízes, possuidor de fertilidade e local onde ocorrem complexos biológicos e minerais formadores de solo.
Wu (1996)	Agregados de partículas minerais, que cobrem extensas porções da superfície terrestre.
Aubert e Boulaine (1967)	Produto da alteração, do remanejamento e da organização das camadas superiores da crosta terrestre, da atmosfera e das trocas de energia que aí se manifestam.
Bunting (1971)	Resultado da modificação de uma parcela do manto mineral por parte dos agentes geográficos, de modo a ocorrerem diferentes horizontalizações de materiais.
Cruickshank (1972)	Substância ou material no qual as plantas podem crescer.
Vieira (1975)	Superfície inconsolidada que recobre as rochas e mantém a vida animal e vegetal da Terra. Constituída de camadas que diferem pela natureza física, química, mineralógica e biológica, que se desenvolvem com o tempo, sob influência do clima e da atividade biológica.
Lepsch (1975)	As rochas fornecem o regolito (pelo intemperismo), que é o material de origem dos solos. Este sofre a ação do clima e de organismos, em determinado relevo e durante certo espaço de tempo, transformando-se em solo.
Oliveira (1975)	Indivíduo tridimensional e independente na paisagem, resultante da ação ativa do clima e de organismos sobre o material de origem, durante determinado espaço de tempo em um relevo.
Soil Taxonomy (1976)	Coleção de corpos naturais sobre a superfície da Terra, em alguns locais modificado, ou até mesmo produzido, pelo homem, contendo matéria viva e sustentando, ou capaz de sustentar plantas.
Tsytoich (1976)	Todos os depósitos soltos da crosta intemperizada do manto rochoso da Terra.
Buckmann e Brady (1976)	Porção superficial e bioquimicamente desenvolvida do regolito, distinta do material abaixo por: conteúdo relativamente elevado de matéria orgânica; abundância de raízes e organismos; intemperismo mais intenso; camadas horizontais características.
Henin et al (1976)	Manto de materiais móveis que recobre a superfície do globo e sobre o qual se desenvolvem os vegetais, com diferenciação em profundidade, por efeito de localização ou evolução.
Ruellan e Dosso (1993)	Camada de "terra", em geral móvel e pouco espessa (de alguns centímetros a alguns metros), que recobre, quase continuamente, grande parte os continentes.
Toledo et al (2001)	Produtos friáveis e móveis formados na superfície da Terra como resultado da desagregação e decomposição das rochas pela ação do intemperismo.

Para a área de engenharia o solo possui outra importância. O que preocupa os estudos de engenharia é o comportamento hidro-mecânico dos solos. A definição de solo para engenharia é de um material da crosta terrestre que não oferece resistência intransponível a escavação mecânica e que perde totalmente toda resistência, quando em contato prolongado com a água (Vargas, 1977; Pinto, 2006; Caputo, 1983; Gomes, 2003). A engenharia tem uma classificação específica, não utilizando a classificação brasileira de solos. A classificação utilizada é o Sistema Unificado de Classificação de Solos de Casagrande, de 1948.

No entanto a pedologia como estudada neste trabalho trata-se do estudo dentro do seu conceito total, básico e essencial, levando em conta todo o perfil e sua gênese (pedogênese) (Prado, 2001; Lepsch, 2002). A classificação usada é a do sistema brasileiro de classificação de solos (Embrapa, 2006).

O solo no estudo da pedologia é dividido em horizontes que vão variar de acordo com a gênese. Na parte superficial têm-se um horizonte A, que geralmente apresenta maior conteúdo de matéria orgânica, com pouca semelhança com o material original, devido aos intensos processos químicos. Presença de sistema radicular e grande aeração por conta de caminhos de animais como a formiga (Prado, 2001).

Seguido deste horizonte, em solos mais desenvolvidos, têm-se a presença de um horizonte B, este pode ser subdividido em vários outros como B1, B2, B3 dependendo da espessura e do tipo de formação do perfil de solo. É o horizonte B o que geralmente dá o nome ao solo, o horizonte diagnóstico. Ele acumula o material que é removido do horizonte A. Este é considerado quando o seu desenvolvimento é *in situ*, ele se desenvolveu no local e por isso tem estrutura de solo (prismática, granular, colunar, laminar e em blocos angulares). (Prado, 2001)

O horizonte C também conhecido como saprólito é o de transição, são feições e estruturas reliquiares (tais como textura e planos de foliação metamórfica e fraturas) da rocha matriz podem ser ainda reconhecidos. Neste

horizonte os minerais da rocha matriz encontram-se fortemente alterados e descoloridos, entretanto a transformação mineralógica por processos pedogenéticos é ainda incipiente, com pouco ou nenhum deslocamento de partículas do solo, razão pela qual as feições da rocha original são preservadas (Prado, 2001).

5.2 – Comportamento Geomecânico e Propriedades Físicas do Solo

5.2.1– Limites de Atterberg

O solo é composto por sólidos e poros preenchido por gases ou água. A proporção destes três componentes afeta o comportamento do solo sobre a tensão. Como o comportamento dos solos está ligado aos materiais mais reativos, os limites são verificados em relação às frações finas. Quando muito úmido ele se comporta como um líquido, quando perde parte de sua água fica plástico, e quando mais seco torna-se quebradiço.

Existem ensaios para verificar o comportamento do solo, de um estágio insaturado até o de saturamento, estes ensaios são: o limite de liquidez e o limite de plasticidade (Vargas, 1977).

- Limite de Liquidez (LL)

É o teor de umidade em porcentagem contida no solo em que esse começa a se comportar como um líquido viscoso. Ele é determinado pelo aparelho de Casagrande como vai ser descrito mais adiante na metodologia. O princípio é de que o material fluido toma a forma do recipiente que o contém. Se for aberta uma ranhura do solo contido em um recipiente, essa ranhura se fechara num menor ou maior intervalo de tempo, por isso o ensaio é feito com o solo em diferentes umidades (Vargas, 1977).

- Limite de Plasticidade (LP)

É o teor de umidade em porcentagem contida no solo em que esse começa a se fraturar quando se tenta moldar com ele um cilindro. Este estágio é determinado quando uma amostra de solo úmida é moldada em uma placa de vidro fosca, e vai progressivamente perdendo umidade, até atingir um limite em que o bastão formado começa a se fissurar (Vargas, 1977).

- Índice de plasticidade (IP)

O índice de plasticidade que é definido pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. Este representa o conteúdo de umidade do solo quando este se encontra no estado plástico (Vargas, 1977).

Equação 4:

$$IP = LL - LP$$

- Atividade da Argila

Os índices de Atterberg indicam a influência da fração fina no comportamento dos solos. A atividade pode servir como indicação da maior ou menor influência das propriedades mineralógicas e químico-coloidal, da fração argila, nas propriedades geotécnicas de um solo. Pode-se ter um solo com elevado teor de argila com índices mais baixos do que aqueles com pequenos teores de argila, isso ocorre por causa da composição mineralógica dos argilo-minerais. O cálculo do índice de atividade é feito dividindo-se o índice de plasticidade pela porcentagem da fração argila (Pinto, 2006).

Equação 5:

$$I_a = IP / \% \text{ Argila}$$

5.2.2 – Granulometria

As diferentes proporções de argila, silte e areia são agrupadas em classes texturais e representadas no triângulo de classificação textural (Santos et al, 2005). A partir dos dados de granulometria podemos estabelecer outras relações como a relação argila/silte, porcentagem de argila e de areia, além de auxiliar na análise de outras relações.

- Relação Silte/Argila

Calculada dividindo-se os teores de silte pelos de argila, ela serve como base para avaliar o estágio de intemperismo presente nos solos. Quando apresenta baixos teores de silte, indica um alto grau de intemperismo, o horizonte B tem um valor inferior a 0,7 nos solos de textura média ou inferior a 0,6 nos solos de textura argilosa. Essa relação é utilizada para diferenciar horizonte B latossólico de B incipiente. Essa relação também é um indicativo de movimentação de argila no perfil (Embrapa, 2006).

- Densidade de Partículas

Calculada pela determinação do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo solo seco em estufa (Embrapa, 2008). A densidade de partículas, ou densidade dos sólidos refere-se a massa que o volume de um determinado corpo possui, isto é, a razão entre a massa total e o volume total dos sólidos da amostra (Libardi, 2005).

- Argila dispersa em água e Índice de Flocculação

A relação dos valores, tanto da argila dispersa em água quanto do índice de flocculação indicam uma maior ou menor susceptibilidade de perda do solo por erosão hídrica (Menezes, 2008).

5.3– Caracterização Química dos Solos

A importância de se conhecer a química dos solos se dá pelo fato de se entender os processos intempéricos atuantes naquele local. O grau de intemperismo vai influenciar na dinâmica da água no interior dos solos.

As características químicas do solo afetam na infiltração da água, uma vez que influenciam na dispersão química dos agregados, pois as concentrações de íons de potássio, sódio, magnésio ou cálcio tendem a aumentar a dispersão química das argilas que acabam por provocar entupimento dos poros e redução da taxa de infiltração (Brandão et al, 2006).

5.4 – Mineralogia

Nos solos, os componentes mais reativos são os minerais de argila. Em geral quanto maior a quantidade dos minerais de argila, maior é seu potencial de expansão e contração. Mas esse comportamento vai variar de acordo com o tipo de argila.

A mineralogia das argilas é de fundamental importância para estudos de comportamento dos solos. Para cada tipo de argila há uma interação diferente com a água. Por exemplo, em argilas do tipo caulinita não há tanta absorção de água quanto na montmorilonita devido a sua superfície de absorção. Devido a essa importância, a plasticidade e a coesão de uma amostra de solo dependem, além do seu teor de umidade, da espécie mineralógica presente (Vargas, 1977; Vieira, 2007).

6 – Dinâmica da Água no Interior dos Solos da Encosta

A água é um dos elementos físicos mais importantes da constituição da Terra, fazendo a ligação entre os diferentes estratos do planeta, e atuando diretamente nas formas de vida existentes. Aqui destacamos uma das funções da água, a de modeladora do relevo da superfície terrestre, influenciando tanto na sua morfologia atuando como agente externo, como no comportamento mecânico dos mantos de intemperismo (solos).

Como parte do ciclo hidrológico parte da água que chega a superfície da terra é infiltrada no solo e pode ser absorvida pelas plantas, retornar a atmosfera pela evapotranspiração e, a outra parte que infiltra recarrega o reservatório subsuperficial e pode alimentar canais abertos (ou rios) durante os períodos de estiagem (Coelho Neto, 1994). Essa água que fica nos solos constitui a zona saturada e a área acima deste nível é chamada de zona vadosa, onde os espaços porosos estão preenchidos com ar e água.

No Brasil, quase todos os movimentos de massa são condicionados pelos eventos climáticos de precipitação. A água tem papel fundamental no desencadeamento dos processos de ruptura. O aumento da poro-pressão positiva e a diminuição da sucção matricial e da coesão aparente são mecanismos de instabilização das encostas relacionados ao aumento da umidade dos solos devido a infiltração da água (Fernandes et al, 2001).

A água se encontra de formas diferenciadas nos solos, ela pode estar adsorvida, é a água que está ligada diretamente aos grãos, formando uma película envoltória de fortes ligações químicas. Existe uma segunda camada de água que é a água capilar, atraída por forças moleculares, é esta camada de água que dá a coesão aparente, a tensão na água forma meniscos que aumentam a força de atração entre os grãos. Além dessas duas formas da água interagir com os solos, existe também a água que é percolada, infiltra pelos poros não preenchidos do solo e se move pela ação da gravidade (Vargas, 1977).

6.1 - Percolação da Água nos Solos

A água que precipita em um solo pode infiltrar ou escoar superficialmente. A infiltração é o movimento da água dentro dos solos, e se dá pelo meio poroso, e somente uma parte dessa água percola, a água gravitacional ou livre.

O movimento da água no meio poroso do solo se dá pela diferença de potencial hidráulico (H) dos diferentes pontos do sistema. Esse movimento ocorre em função do decréscimo da potencial, ou seja, a água se move de pontos de maior potencial para pontos de menor potencial (Reichardt, 2004). A condutividade hidráulica (k) é um coeficiente que descreve a capacidade do meio poroso do solo de transmitir a água, sendo tanto maior quanto mais úmido for o solo, atingindo seu valor máximo quando o solo está saturado. Neste último caso ela pode ser denominada condutividade saturada do solo ou permeabilidade do solo saturado (Reichardt, 1978).

Existem fatores que interferem no deslocamento da água nos solos, como tamanho e intercomunicabilidade dos poros ou a temperatura da água, entre outros, enfim as propriedades do meio e do fluido (Luiz, 2003).

Um desses fatores é o índice de vazios do solo, pois a permeabilidade vai depender não só da quantidade de vazios dos solos, mas também da disposição relativa dos grãos. Tanto a micro quanto a macro porosidade auxiliam na compreensão da dinâmica da água, a proporção entre uma e outra determina a velocidade de infiltração, sendo que a macroporosidade é melhor para a infiltração, o processo ocorre mais rapidamente e indica um material mais grosseiro. A microporosidade indica maior quantidade de material fino como a argila, a taxa de infiltração nesses tipos de poros não são tão rápidas, mas eles mantêm a umidade por mais tempo. É importante observar também que alguns solos tem a classificação de argilosos, mas a disposição das partículas se comporta como grãos maiores, sendo uma estrutura floculada, neste caso a

passagem da água vai ser maior do que poderia ser esperado (Reichardt, 1978; Pinto, 2006).

As características químicas do solo também influenciam no movimento da água, pois afetam a dispersão química dos agregados. O aumento da concentração de íons de sódio, potássio, magnésio ou cálcio no solo pode aumentar a dispersão química das argilas que acabam obstruindo os poros e reduzindo a infiltração da água (Brandão, 2006).

7 – Caracterização da Área de Estudo

7.1 – Localização do Município de Ubatuba

Localizado nas coordenadas 23°26'14" de latitude sul e 45°05'09" (centro da cidade) longitude oeste, o município de Ubatuba abrange uma área territorial de 711km² (IBGE). Está a 245 km de distância da capital.

Com 80% de sua área no Parque Estadual da Serra do Mar, que guarda um dos remanescentes da Mata Atlântica, ou seja, a floresta ombrófila densa que já cobriu quase toda a faixa litorânea de norte a sul do Brasil, e muitas praias, o município de Ubatuba têm grande relevância no cenário sócio-econômico do Estado de São Paulo, principalmente em relação ao turismo.

A Serra do Mar é um conjunto de escarpas festonadas com aproximadamente 1.000 km de extensão, estendendo-se desde o Estado do Rio de Janeiro até o norte de Santa Catarina. No Estado de São Paulo, a Serra do Mar representa uma borda de planalto, cuja altitude pode alcançar até 1.200 m (Almeida e Carneiro, 1998).

7.2 – Aspectos Gerais da Ocupação

O município de Ubatuba tem hoje cerca de 82.257 habitantes conforme a tabela 4 (SEADE, 2008). A principal atividade econômica da cidade é o turismo. Nas épocas de férias a população do município aumenta consideravelmente.

Tabela 4: Número de Habitantes no Município de Ubatuba no Período de 1980 a 2008

Fonte: SEADE (2008)

Anos	Números de Habitantes
1980	27.139
1991	47.329
2000	66.448
2008	82.257

7.3 – Geologia da Serra do Mar

A Serra do Mar compreende rochas de duas grandes províncias geológicas. Ao sul do lineamento da falha de Cubatão predominam rochas metamórficas mais antigas do Arqueano pertencentes ao Complexo Costeiro. Ao norte do lineamento predominam rochas metamórficas mais recentes do Proterozóico Superior, pertencentes ao Grupo Açungui. Em ambas as províncias geológicas as rochas mais freqüentes, apresentando grandes variações petrográfica, são os migmatitos, os gnaisses e os xistos. Com expressão média também ocorrem corpos granitóides, quartzitos, filítos, rochas metacarbonáticas, intrusões graníticas e diques de diabásio (Santos, 2004).

A Serra do Mar foi considerada até a década de 40 apenas como uma formação arqueana de gnaisses e micaxistos, com intrusões de granito, fortemente dobrada e falhada, cuja escarpa resultara de um levantamento distrófico provavelmente Terciário (Vargas, 1999). Hoje, a Serra do Mar, no sudeste brasileiro, é tida como uma escarpa de falha recuada pela erosão remontante, cuja formação iniciada no final do Cretáceo, vêm se desenvolvendo durante todo o Cenozóico (Penha, 1998).

A evolução geológica da costa brasileira teve início e prosseguiu com o rompimento e afastamento dos continentes sul-americano e africano. Mas antes

que se desse a ruptura que originaria o Oceano Atlântico, a crosta foi soerguida naquela faixa; que teve início no Permiano, prolongando-se até o Jurássico. Ao longo dessa costa, desde o sul da Bahia até o Uruguai, ocorrem rochas pré-cambrianas e neo-paleozóicas, como os migmatitos (Popp, 1998).

As rochas encontradas ao longo da Serra são na maioria ígneas e de alto grau de metamorfismo regional com predominância dos gnaisses nas vertentes. Ab'Saber (1958 *in* Cruz, 1974) chama a atenção para o festonamento incipiente dessas escarpas na região de Ubatuba por torrentes obseqüentes e subseqüentes à direção geral dos gnaisses regionais (NE-SW). O pico do Corcovado com seu paredão assimétrico e saliente denunciaria a presença de rochas mais resistentes encravadas no meio dos gnaisses regionais.

Almeida (1964 *in* Cruz, 1974) considera o caráter essencial de escarpa erosiva, com sua configuração no litoral norte devido à estrutura geológica em granito-gnaisses e gnaisses graníticos (rochas mais resistentes), enquanto os vales subseqüentes abrem-se em rochas menos resistentes à erosão. Com isso, o autor explica a inexistência no litoral Norte de planícies litorâneas bem desenvolvidas como no litoral sul paulista. E atribui o aspecto maciço e avançado das escarpas da Serra do Mar, entre Caraguatatuba e a divisa do Estado do Rio de Janeiro, à ocorrência de granitos laminados e poderosos diques de diabásio, dispostos paralelamente ao frontão serrano. Fala ainda sobre a disposição dos metassedimentos, exibindo metamorfismo em geral decrescente da borda atlântica do planalto, para o interior. Faixas de biotita-gnaisses graníticos suportam as bordas da Serra do Mar diante do planalto Paulistano e nele penetram amplamente.

Para Cruz (1974) as variedades petrográficas da estrutura geral da Serra mostram que a mesma esteve sujeita a grandes perturbações tectônicas e que suas rochas da parte alta acham-se intensamente dobradas e falhadas. Na descida até a baixada, ocorre uma grande raiz sinclinal com ligeiras perturbações locais e uma raiz anticlinal na área do morro do Jaraguá. As grandes intrusões e falhamentos de um modo geral concordam em paralelismo

com a direção da xistosidade dos gnaisses. Essa característica é comum para o alto da Serra e para o contato facoidal-lepitito.

7.4 – Geomorfologia e Pedologia da Serra do Mar

As escarpas da Serra do Mar que mais se aproximam do litoral são as do litoral norte do Estado de São Paulo e continuando no Estado do Rio de Janeiro. Essas escarpas quando olhadas de frente de certa distância parecem grandes muralhas maciças, recortadas profundamente pelos canais de drenagem. A proximidade dessas escarpas com o mar é grande, deixando muitas vezes baixadas pequenas entre o mar e a Serra.

A Serra do Mar é uma escarpa montanhosa de transição, entre a borda do planalto Atlântico e as baixadas litorâneas. É uma escarpa que se apresenta hora abrupta e festonada, hora em espigões lineares digitados (Santos, 2004).

“A Serra do Mar compõe uma das últimas áreas naturais preservada no Estado de São Paulo, onde a topografia reflete os condicionantes geológicos. Caracteriza-se por apresentar distintos compartimentos: a planície, onde ocorrem sedimentos marinhos e flúvio marinhos sobre os quais se desenvolve uma vegetação pioneira herbácea e arbórea, com solos que apresentam via de regra hidromorfismo; o planalto, caracterizado por feições amorreadas e as serras e escarpas abruptas, revestidas por formações superficiais pouco espessas sobre granito-gnaisse, recobertas pelas florestas tropicais” (Rossi e Queiroz Neto, 1996).

As escarpas da serra do mar foram classificadas por Rossi e Queiroz Neto(1996), em:

- altas e médias vertentes
- vertentes com média densidade de drenagem
- médias e baixas vertentes.

As altas e médias vertentes, com alta densidade de drenagem e padrão subparalelo de aspecto pinado, alternando-se em função da declividade e posicionamento topográfico, encontra-se sob vegetação homogênea, os Neossolos Litólicos e Cambissolos associados.

Vertentes com média densidade de drenagem e padrão dendrítico de aspecto arborescente, com os Cambissolos nas rupturas de declive convexas, e no restante da vertente os Argissolos.

Médias e baixas vertentes com baixa densidade de drenagem e padrão subparalelo, em relevo de agradação, cones de dejeção, compostos basicamente por áreas de deposição de material coluvionar, normalmente ocorrendo nos fundos dos principais vales, onde ocorrem os solos e Cambissolos associados, sob vegetação heterogênea de textura fotográfica fina.

Neste trabalho, Rossi (1996) esclarece que: "no compartimento escarpa, predominam os processos morfogenéticos de movimentos de massa, condicionados pela declividade onde, nas partes altas, a intensidade é maior (solos mais rasos), e nas partes baixas, os processos de acumulação dominam (depósitos de tálus e colúvios com solos mais profundos)". E finaliza mostrando que "as relações de coincidência existentes entre os componentes (relevo-solo) parecem claras para os grandes compartimentos, e também quando da subdivisão destes, tornando as unidades ou associações de solos bastante semelhantes aos limites do relevo, quando não coincidentes".

Segundo Bertrand (1968, *in* Cruz 1974), os declives acentuados, a umidade e calor elevados e constantes, a permanência do escoamento superficial e subsuperficial, a rocha alterada, as formações superficiais espessas, a mamelonização das formas e a floresta compacta, a exuberância bacteriana e, conseqüentemente, a maior velocidade das reações químicas e evolução rápida da matéria orgânica constituem o sistema de evolução da paisagem, onde o equilíbrio climático (biostasia) traduz-se numa unidade de paisagem de estabilidade precária, num ecossistema exuberante complexo que é sempre dinâmico e que vai variar no espaço e no tempo.

Para Cruz (1974) a linha de costa de Ubatuba apresenta a direção N-S , com reentrâncias e formação de baixadas. E ali as bordas serranas se apresentam mais maciças, com altitudes de até 1100m, apresentando, porém morros residuais em frente à escarpa, como o do Caxambu (717m) e o pico do Frade (550m).

A Serra do Mar, como exemplo de escarpa tropical em plena evolução, apresenta um sistema de declives, de festonamento com escoamento torrencial pluvial, fluvial e lençol subsuperficial muito bem desenvolvido (talvez mais poderoso na sua ação da água superficial). Isto evidencia a necessidade de enfatizar os estudos de problemas geomorfológicos em escarpas costeiras de áreas intertropicais (Cruz, 1974).

O mapa de compartimentação geomorfológica da porção centro-sul do município de Ubatuba, figura 4, foi elaborado por Tominaga (2007) e teve como base a classificação taxonômica de relevo de Ross (1992, apud Tominaga, 2007).

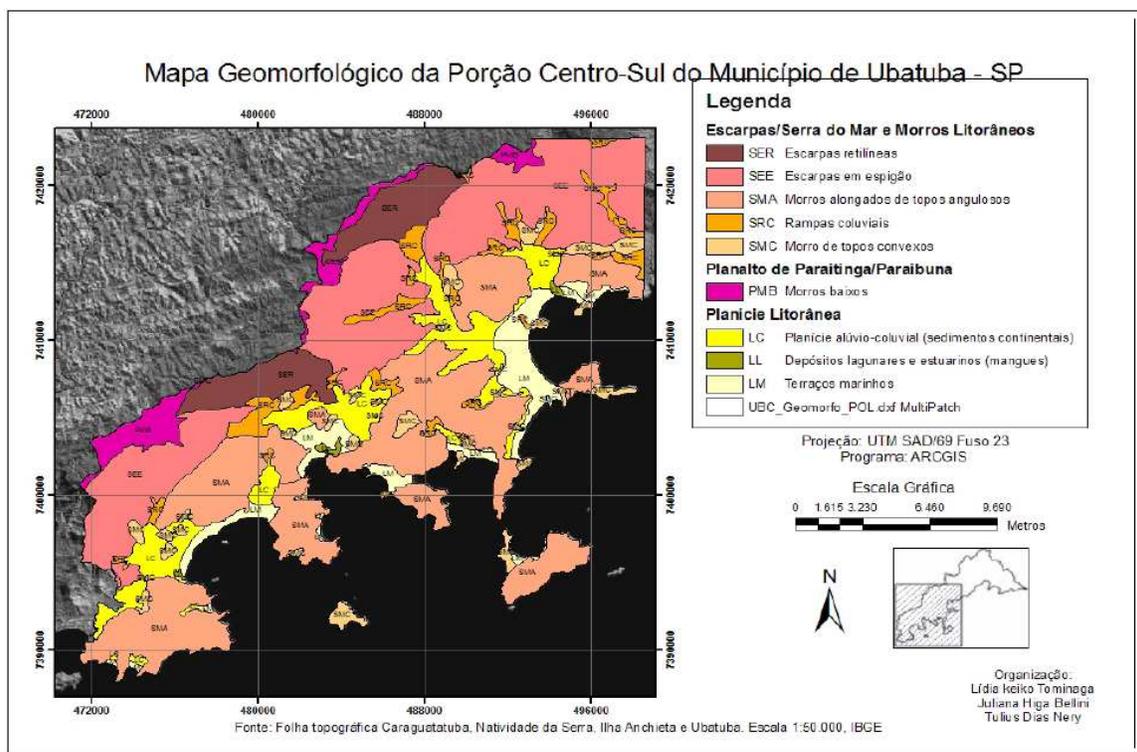


Figura 4: Mapa Geomorfológico da Porção Centro-Sul de Ubatuba – SP
(Tominaga, 2007)

7.5 – O Clima de Ubatuba

O município de Ubatuba têm um clima classificado, segundo Köppen, como Af (clima tropical chuvoso), sem estação seca, com a precipitação média do meses mais secos superior a 600mm, em grande medida resultado da proximidade da Serra do Mar e o oceano. Não é somente a dinâmica atmosférica com a proximidade da serra com o mar que influenciam na distribuição espacial das chuvas, mas tem que se levar em conta também outros componentes como a declividade e orientação das vertentes.

O município de Ubatuba, cortado pelo Trópico de Capricórnio, encontra-se no limite da zona tropical. Caracteriza-se como uma das regiões mais chuvosas do país, decorrente da circulação atmosférica, fruto da atuação desigual das massas polares e tropicais (Jorge, 2004).

Para Cruz (1974), os maiores volumes pluviométricos estão vinculados à presença da frente estacionária e ao dinamismo dos centros de ação. Além da complexa circulação regional, os fatores fisiográficos também atuam na dinâmica do clima local, pois o relevo também contribui para o estacionamento das frentes na região, ocasionando as chuvas orográficas (SMA, 1998).

Segundo Santos (2004) “A alta pluviosidade regional está nitidamente associada ao condicionamento orográfico: a grande umidade trazida por ventos que vêm do oceano condensa-se em forma de chuvas e neblina quando, ao encontrar a barreira da Serra, é alçada a altitudes onde o ar é mais frio. Situações excepcionais de pluviosidade ocorrem quando da combinação do fator orográfico com a passagem de frentes polares”.

Santanna Neto (1990) afirma que “no Litoral Norte de São Paulo, evidencia-se um maior domínio dos sistemas tropicais e maior atividade frontal, onde a latitude e a disposição do relevo são responsáveis pelo enfraquecimento das evoluções das frentes e as precipitações aumentam em função das frentes estacionárias que atuam na área. A existência de um bolsão menos chuvoso na enseada de Caraguatatuba, é explicado pela posição a sotavento das serras que a circundam. Assim, pudemos distinguir três sub-áreas distintas. O litoral de Maranduba até a Ponta da Trindade, área costeira com média pluviométrica anual entre 2.000 e 2.500 mm, bastante comprimida pelas vertentes da Serra do Mar e esporões que avançam e adentram ao mar. A enseada de Caraguatatuba, ao sul de Maranduba até São Sebastião e Ilhabela, com média anual bem mais reduzida, em torno de 1.700 mm, nítida área de “sombra de chuvas”, voltadas para o nordeste e leste. As vertentes da Serra do Mar, que pelo efeito orográfico, recebem nítido aumento de pluviosidade, superiores a 3.000 mm além de se posicionarem em direção conflitante com as correntes atmosféricas de sul e sudeste.”

7.6 – Vegetação

Na Serra do Mar, a Mata Atlântica que se desenvolve sobre relevo montanhoso no intervalo entre os limites de 50 e 1500 metros de altitude é denominada floresta Ombrófila densa.

Ao longo do tempo geológico e em decorrência das variações climáticas, esta floresta têm sofrido intensas alterações de expansão e retração, que por sua vez passam a influenciar na oscilação da intensidade nos processos naturais de escorregamentos. Pelas condições climáticas atuais e a fantástica cobertura florestal protetora, hoje as encostas da Serra apresentam um quadro de processos erosivos superficial relativamente contido (Santos, 2004).

Segundo estudo feito por Negreiros (2008) em uma cicatriz de escorregamento ocorre a destruição do sistema de relações biota-solo-água, propiciando a ação erosiva do escoamento superficial o que dificulta a fixação de nutrientes auxiliares na recomposição florestal e a reestruturação do topo do solo.

O papel da vegetação nos processos de escorregamentos podem ser vistos de formas diferenciadas. Para Santos (2004) a vegetação natural na Serra do Mar constitui o único e espetacular inibidor dos escorregamentos e de todas as formas de movimentação superficial dos terrenos, porque: impede a ação direta das gotas de chuva no solo através das copas e da serrapilheira; impede a ação erosiva das águas de chuva por meio de raízes superficiais e da serrapilheira; retém por molhamento de todo o edifício arbóreo parte da água da chuva que chegaria ao solo; dilui no tempo o acesso das chuvas ao solo; retira por absorção e devolve a atmosfera por evapotranspiração, parte da água infiltrada no solo e agrega, "coesiona" e retém os solos superficiais através de uma formidável malha superficial e subsuperficial. Mas existem outros autores que indicam a vegetação como um dos fatores que ajudam a desencadear os movimentos, uma vez que podem influenciar no peso do material auxiliando no rompimento.

7.7 – A Serra do Mar e os Movimentos Gravitacionais de Massa

A combinação de fatores naturais como o relevo, pluviosidade e características geológicas de suas encostas, associadas à ação antrópica, têm levado a Serra do Mar a apresentar um longo histórico de trágicos escorregamentos. A aceleração da urbanização local, que impulsionada pelo turismo, vêm ocupando essas frágeis encostas, aumentando esse tipo de risco geológico.

A relação da Serra do Mar com os movimentos de massa é tamanha no cenário nacional, que diferentes órgãos governamentais têm estudado o assunto. O IG (Instituto Geológico-SP) se iniciou nessa temática, com o "Relatório de Instabilidades da Serra do Mar: situações de risco", de 1988. O INPE está desenvolvendo um "Estudo da previsibilidade de eventos meteorológicos extremos na Serra do Mar", além desses o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) também tem vários trabalhos de treinamento em casos de risco, além de vários estudos que resultaram em dissertações, teses, monografias e projetos de pesquisa de instituições de ensino que estudam esta temática.

Dependendo do local de ocorrência dos movimentos de massa, são afetadas rodovias e ferrovias que cruzam ou margeiam as encostas, as populações que nela habitam, as usinas hidrelétricas e suas linhas de transmissão, oleoduto e gasodutos, em alguns casos, os complexos industriais e as próprias cidades quando situados nas adjacências de encostas mais susceptíveis a fenômenos de instabilização (Wolle e Carvalho, 1989).

Cruz (1974) conclui que nas escarpas em geral o material de alteração é o grande fornecedor dos detritos arrastados pelas enxurradas, enquanto nas baixas encostas e patamares é o material de colúviação. O escoamento fluvial por sua vez não é suficiente por ser, por si só, responsável pelo transporte e deposição nas planícies fluviais e baixadas litorâneas.

Cruz (1974) afirma ainda que o lençol freático é essencial para a movimentação das massas. Em vertentes de declives fortes, as zonas de afloramento do lençol são locais ideais para início de escorregamentos. Ao encontrarem outros materiais em desequilíbrio iminente, juntam-se a eles e com a potência do deflúvio superficial, precipitam-se em avalanche. E continua: as altas escarpas são áreas preferenciais de início de escorregamentos, onde os declives acima de 40% ligam-se muitas vezes a falhamentos ou a núcleos mais resistentes que propiciam desnudação dos paredões rochosos. A falta de “altos níveis” à frente desses paredões favorecem maior suscetibilidade à dinâmica dos materiais superficiais. O predomínio de declives superiores a 40% impulsiona os movimentos gravitacionais de massa, indiferentes à cobertura florestal ou à ocupação humana. A rocha parcialmente decomposta, apesar de conservar sua estrutura é extremamente vulnerável aos movimentos gravitacionais de massa. Esta camada, onde em geral se situa o lençol freático, é o eixo em torno do qual se realizam os escorregamentos em áreas escarpadas.

7.8 – Bacia do Rio Grande de Ubatuba

A bacia do Rio Grande de Ubatuba ocupa parte significativa da área do município. A água que abastece a cidade vêm da captação da Sabesp feita na confluência do rio Grande de Ubatuba com o rio do Silva. O rio nasce perto da cota 1.000m.

O manancial do Rio Grande de Ubatuba têm todas as suas nascentes e a foz dentro do limite territorial do município de Ubatuba, e, é a bacia de maior concentração de habitantes e o segundo maior manancial de volume de água existente no município (Buchianeri, 2004). (Figura 5).

Conforme observa Cruz (1974) é interessante notar que o vale do rio Ubatuba, ao penetrar na Serra, não apresenta alvéolos, mas um corredor que se

alarga levemente a montante, entulhado de taludes de detritos. O rio Grande de Ubatuba faz recuar profundamente a escarpa, interiorizando a baixada.

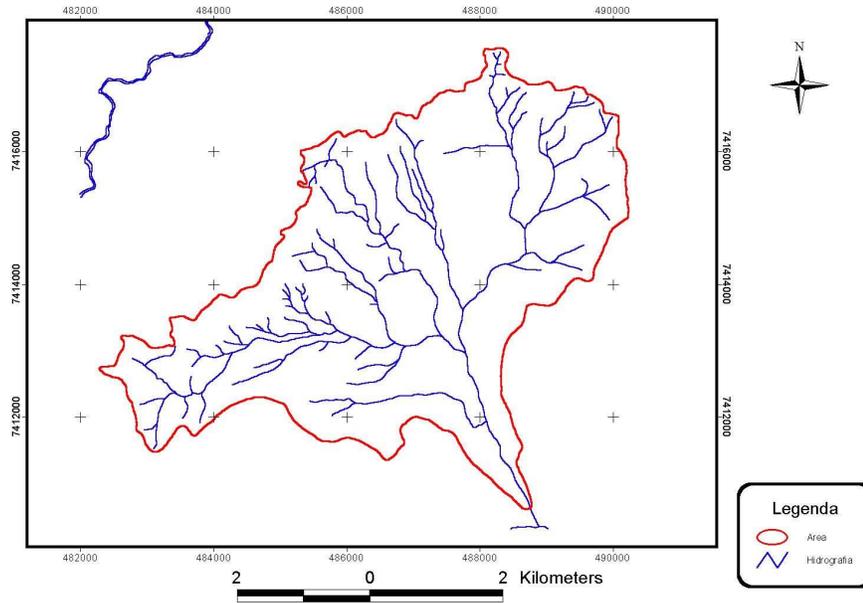


Figura 5: Rede Hidrográfica da Bacia do Rio Grande de Ubatuba

Fonte: CBH-LN (sigrh)

8 – Materiais e Métodos

8.1 - Levantamentos de Campo

Para a realização deste trabalho foi feita uma primeira visita a campo com auxílio da carta topográfica de 1:50.000. Depois de selecionada a área, foram utilizadas as cartas 1:10.000 do IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico) para localização dos pontos e projeção das declividades da bacia do rio Grande de Ubatuba.

A escolha da vertente a ser estudada foi feita de forma a representar uma vertente de elevada declividade, que estivesse com a vegetação natural recobrando o solo e que fosse representativa da área da bacia (uma vertente que tivesse a mata preservada e fosse de alta declividade como a maioria das escarpas da Serra do Mar nesta região). A área é de difícil acesso e por este motivo, o procedimento de campo para a realização da topossequência não pode ser seguido conforme o procedimento padrão descrito por Boulet (1988), Ruellan (1993) e Queiroz Neto (1988).

Na área selecionada, foram feitas sondagens utilizando um trado manual. Nesta primeira etapa do trabalho as sondagens visaram a determinação do tipo de material e as descontinuidades, como descritas adiante.

Ao longo da vertente foram realizados 8 pontos de perfuração começando da base até o topo. Os furos foram feitos mantendo certa distância entre eles, e todos esses furos foram até a profundidade em que não se conseguia mais descer o trado, com fragmentos de rocha alterada. O primeiro ponto, feito na base da encosta, foi provavelmente um bloco de rocha no meio do material coluvial pois só se chegou até 50cm de profundidade e nessa profundidade não houve presença de fragmentos de rocha em alteração. Somente 7 pontos tiveram amostragem, o ponto 5 foi feito dentro de uma cicatriz de escorregamento ao lado do ponto 4 para verificar o desnível do material que

deslizou em relação ao que restou, além de se observar a diferença do material que rompeu e desceu e do material que permaneceu inalterado.

O material utilizado nesta primeira parte do campo foi o trado holandês, com retirada de material de 10cm em 10cm, um pedocomparador, caixas ordenadoras onde amostras da seqüência do perfil são acomodadas para melhor comparação das cores dos diferentes horizontes (Ruellan, 1993, Lepsch, 2002), uma Bússola Brunton e uma trena para verificar a declividade, que é feita em porcentagem e que posteriormente foi calculada para graus, e uma caderneta de campo para as anotações.

Essas primeiras amostras foram analisadas posteriormente e diferenciadas pela cor, utilizando-se a Munsell Soil Color Charts e por textura ao tato com as amostras úmidas. As declividades variaram entre 0% e 85%, sendo que 0% foi o ponto do topo da vertente.

As sondagens realizadas auxiliaram para determinar a localização das trincheiras. Foram realizadas três trincheiras estrategicamente posicionadas ao longo da vertente de acordo com o material encontrado nas sondagens.

A primeira trincheira foi feita na parte alta da encosta com grande declividade e apresentando um material bem mais avermelhado do que o outro. Nesta chegou-se a profundidade de 227cm encontrando então a rocha e o material em alteração que lhe sucede.

A segunda trincheira foi feita na meia encosta próxima ao ponto de sondagem 5, que teve um material mais amarelado e atingiu os 180cm de profundidade, alcançando a rocha com presença em alteração, fragmentos da rocha.

A terceira trincheira foi feita perto do primeiro furo, um pouco mais abaixo tentando evitar o bloco de rocha que foi encontrado na sondagem, esta trincheira feita na parte baixa da encosta mostra que a sua constituição é de material coluvial com presença de fragmentos de rocha ao longo do perfil.

Em todas as trincheiras foram coletadas amostras deformadas de cada horizonte para realização das análises físicas e químicas de rotina, além da

coleta de anéis volumétricos em duplicada para construção da curva de retenção e de densidade do solo, permeabilidade, porosidade e coleta de amostras indeformadas para a realização dos ensaios de resistência ao cisalhamento, que foram coletadas no meio do horizonte, para definir a resistência de cada um e poder comparar posteriormente.

Para o estudo ao longo da vertente ficou definido que seria chamada de toposseqüência Sabesp devido a sua proximidade com a área de captação de água pela Sabesp para o município de Ubatuba, onde também foi instalada uma estação hidro-meteorológica do INPE.

8.2 – Procedimentos de Análises em Laboratórios

8.2.1 – Análise Química de Rotina

As análises foram realizadas em laboratório particular fora da UNICAMP; UNITHAL, um laboratório que presta serviços de análises químicas de solos e outros materiais.

As análises químicas indicam o grau de intemperismo do solo.

As análises realizadas foram de pH, tanto em água como em KCL, das bases mais Alumínio e Hidrogênio e Carbono Orgânico. A partir desses resultados foram calculados a CTC (capacidade de troca de cátions), saturação por bases e saturação por alumínio.

8.2.2 – Granulometria das Amostras

As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP e puderam detalhar a textura atribuída nas amostras das sondagens, que foram feitas pelo tato. O método utilizado para realização da granulometria foi o da pipetagem que tem como princípio a velocidade de queda das partículas que compõe o solo.

Primeiro as amostras foram deixadas para secar ao ar (TFSA) por três dias, depois foram destorroadas e peneiradas para tirar os cascalhos em peneira de 2mm.

Para a análise granulométrica foram usados 10g de solo em 50ml de NaOH e colocadas num agitador junto com as amostras para verificar a argila dispersa em água, que foi de 10g de solo em 100ml de água, essas amostras ficaram agitando durante cerca de 12h. O NaOH foi o dispersante utilizado nas análises granulométricas a fim de se evitar que partículas de argila agregadas tenham o comportamento de grãos e que essas partículas também não fiquem retidas nas superfícies dos grãos fazendo com que seu diâmetro pareça maior do que realmente é, alterando a granulometria.

No dia seguinte a solução com NaOH foi usada para os ensaios de granulometria, e a solução com água foi utilizada para o ensaio de argila dispersa em água. Para granulometria as amostras com NaOH foram colocadas em uma peneira de 0,053mm (n° 270) lavadas com água sobre pressão e inseridas em pipetas com 500ml de água. As partículas grosseiras foram levadas a estufa e secas, posteriormente foram colocadas em uma escala de peneiras em um agitador por 6 minutos, depois foram pesadas separadamente para obtenção dos respectivos percentuais, sendo amostradas as frações de areia muito grossa (\square 1mm), areia grossa (0,50 a 1,0mm), areia media (0,25 a 0,5mm), areia fina (0,125 a 0,25mm) e areia muito fina (\square 0,053mm).

O material peneirado foi de argila e silte. Para se obter esses resultados agitou-se a solução da pipeta por 30 seg. e deixou descansar por 3:33h (o tempo de espera depende da temperatura que esta o ambiente, no caso a 25°C o tempo é de 3:33h). Preparou-se também a prova em branco, colocando-se o dispersante em uma pipeta de 500ml e seguindo o mesmo padrão, agitando durante 30 seg. e esperando o tempo necessário de sedimentação da argila até 5cm de profundidade.

Depois foi coletada a suspensão com a pipeta de 50ml e colocados em béquer de peso conhecido assim como a prova em branco. As amostras foram

deixadas secar durante a noite colocadas em dessecador para esfriar e pesadas assim como a prova em branco para se descartar o resíduo do dispersante. O calculo é feito retirando o peso dos béquers e do resíduo do dispersante, sobrando o peso da argila, e o peso do silte é a diferença entre o peso da argila e o das amostras do material grosseiro.

8.2.3 – Densidade Real dos Grãos

Esta análise foi realizada também no Laboratório de Solos da Faculdade de Eng. Agrícola da UNICAMP.

Para se verificar a densidade das partículas, colocou-se 20g da amostra de solo em um balão aferido de 50ml. As amostras foram secas em estufa, depois de frias no dessecador foram pesadas e foram acrescentados 25ml de álcool etílico, agitando e deixando descansar durante uma noite para eliminar as bolhas de ar que se formam. No dia seguinte, o volume de 50ml de álcool foi completado para cada amostra, anotando-se o volume que foi necessário para completar cada cilindro. A maioria das amostras teve em torno de 17ml de álcool etílico para completar o balão, mostrando que o volume ocupado pelas partículas é de aproximadamente 8ml. Sendo 20g do solo, que foi colocado no balão, dividido por 8ml, foi o volume ocupado.

8.2.4 – Argila dispersa em Água

Para a argila dispersa em água, colocou-se as amostras de 10g de solo com 100ml de água que ficaram agitando durante 12h na pipeta com mais água até que atingissem os 500ml de água. As amostras foram agitadas e tiveram 90 minutos de decantação para coletar o material que ainda estava em suspensão. Das 12 amostras que estavam no processo, apenas 6 depositaram o material sendo considerado como 0% de argila dispersa em água; já as amostras que

tiveram material em suspensão foram pipetadas e tiveram a argila pesada para verificar a porcentagem de argila que ainda estava em suspensão.

Este procedimento também foi realizado no Laboratório de Solos da Faculdade de Eng. Agrícola da UNICAMP.

8.2.5 – Curva de Retenção

A análise de curva de retenção ou curva característica foi realizada no Laboratório de Solos da Faculdade de Eng. Agrícola da UNICAMP.

Para a realização da curva de retenção foi feita a coleta de amostras indeformadas em anel volumétrico. No caso deste trabalho foram coletadas amostras de cada horizonte estudado. O volume destes anéis é conhecido, foram utilizados anéis de aço inoxidável em todas as amostras.

Antes de começar o procedimento de saturação das amostras, elas foram preparadas com um dos lados presos com um pedaço de "perfez" e elástico e o outro lado livre. Depois de preparadas as amostras foram pesadas e colocadas dentro de uma bacia com a parte presa com "perfez" para baixo. Em seguida foi colocada água na bacia até a metade dos anéis para que as amostras absorvessem água por capilaridade ou contra-pressão. As amostras ficaram cerca de 48h para saturar, sendo necessário colocar mais água para poder saturá-las completamente.

Depois de saturadas, as amostras foram apoiadas nas placas extratoras de Richard, que também foram saturadas com água, dentro da panela de pressão. A primeira pressão colocada foi a de 1 kPa (0,01 Bar) por 24h, essa primeira pressão é considerada somente para tirar o excesso de água do sistema, a partir desta é que se começa a pesar as amostras e a colocar outras pressões.

A primeira pressão considerada para utilizar na curva foi a de 0 kPa (equivalente a 1 kPa de pressão depois de 24h), seguida das de 2 , 6, 10, 20, 30, 50, 75, 300, 500 e 1500, todos os valores em kPa. O procedimento ao longo

das diferentes pressões foi o de pesar as amostras cada vez que em determinada pressão parasse de sair água do sistema.

Ao final do procedimento, todos os dados de pesagem e pressões utilizadas foram ajustados através do modelo de Van Genuchten que é definido a partir da equação 6.

Equação 6:

$$\theta(\%) = \theta_R + \frac{(\theta_S - \theta_R)}{[1 + (\alpha \times \Psi_m)^n]^m} \times 100$$

Equação 6 - Modelo de Van Genuchten (1980)

Onde:

θ (%) = umidade do solo

θ_R = umidade residual

θ_S = umidade saturada

α , m e n = parâmetros de ajuste

8.2.6 – Porosidade Total

Os dados de porosidade foram obtidos a partir dos anéis. Pelo peso das amostras saturadas e secas obteve-se a porosidade total das amostras; e a microporosidade e macroporosidade foram obtidas devido ao tempo de saturação até 6 kPa de pressão, até este valor a água está retida na macroporosidade e depois desta pressão a água retida está nos microporos.

8.2.7 – Mineralogia das Argilas

As análises mineralógicas foram realizadas pelo método de Difração de Raio X no laboratório de Raio X do Instituto de Física da Unicamp. As condições

das medidas estão descritas abaixo. As descrições não mudam de uma amostra para outra a não ser o horário de realização destas.

Measurement Conditions: (Bookmark 1)

Measurement Date / Time	3/23/2009 13:20
Step Size [°2Th.]	0,0200
Start Position [°2Th.]	5,0000
End Position [°2Th.]	49,9800
Sample Identification	T1A
Generator Settings	40 kV, 30 mA
Diffractometer Type	PW1710
Scan Type	CONTINUOUS
Scan Step Time [mm]	4,0000
Anode Material	Cu

8.2.8 – Umidade Gravimétrica Natural

A umidade gravimétrica natural das amostras foi realizada no Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. O procedimento foi o de pesagem das taras de caixinhas de aço e colocada certa quantidade de solos de cada amostra, depois pesadas novamente e deixadas secar por 24h em estufa a 105°C. Depois foram retiradas e pesadas novamente. O valor da umidade é dado pela diferença do peso do material úmido e do material seco, dividido pelo peso do material seco, isto é;

Equação 7:

$$w = Ma/Ms$$

8.2.9 – Limites de Plasticidade e Liquidez

Os limites foram realizados também no Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Eng. Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Para a determinação do limite de liquidez foi usada a norma da NBR 06459 -1984 MB

00030 e para o limite de plasticidade foi usada a norma NBR 07180 -1984 MB 00031. O procedimento descrito nestas normas é o de secar as amostras ao ar, que foi feito em 48h, e depois destorroar e peneirar em peneira de 0,042mm. Para determinar o limite de plasticidade foi usada uma placa de vidro fosco, (figura 6) para rolar uma massa de solo e formar um cilindro de 3mm de espessura e que tenha ranhuras para o limite de plasticidade. Depois pesá-lo úmido e pesá-lo seco para determinar a umidade do solo, considerando três amostras para cada horizonte e a média. Para determinar o limite de liquidez foi usado o aparelho de Casagrande, (figura 7) que consiste em uma massa de solo úmida colocada em uma concha e feita uma ranhura com anel padronizado e, em seguida, são dados golpes levantando a concha em um centímetro e deixando cair. A parte do solo que encontrar com a outra é retirada e pesada para verificar a umidade. O procedimento é repetido para outras massas de solo com diferentes umidades.

Foram contados os golpes e colocados em um gráfico para delimitar uma linha com os diferentes números de golpes e suas respectivas umidades. Desse gráfico é tirada a umidade do limite de liquidez que é aquela correspondente a 25 golpes do gráfico. Algumas amostras tiveram maior número de repetições que outras, isso se deu por causa do tipo de material que estava sendo analisado. Ao realizar os ensaios, algumas amostras tiveram um comportamento muito parecido não sendo necessário a repetição de mais de 4 vezes.

O índice de plasticidade foi feito subtraindo o limite de liquidez (LL) pelo limite de plasticidade (LP). E a atividade da argila foi determinada dividindo o índice de plasticidade (IP) pela porcentagem de argila de cada horizonte.



Figura 6: Placa de Vidro Fosco

Fonte: Carolina Perdomo



Figura 7: Aparelho de Casa Grande

Fonte: Carolina Perdomo

8.2.10 - Resistência ao Cisalhamento dos Solos

O ensaio de resistência ao cisalhamento foi realizado no Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP, utilizando o método de cisalhamento direto (figura 8) com amostras indeformadas. Foram utilizadas 3 amostras de cada horizonte (figura 9) para três diferentes umidades conforme valores indicados nas curvas de retenção realizadas anteriormente.

Para cada uma das amostras foi aplicada um tensão normal com os valores de 50, 100 e 200 kPa. Foram necessárias três amostras para poder traçar a envoltória de cisalhamento em cada umidade verificada. O volume dos anéis de cisalhamento utilizados nos ensaios foi de 95,01 cm³.

As amostras foram moldadas nos anéis e para cada bloco de solo moldado foi verificada a umidade de campo, utilizando o infra-vermelho, sendo que de todos os anéis moldados em nenhum deles foi necessário deixar secar, mas sim acrescentar água até a umidade desejada conforme indicado na curva de retenção correspondente ao horizonte.

A velocidade aplicada foi de 0,07mm/min. As umidades usadas para cisalhar foram as correspondentes a saturação, ao trecho correspondente a secagem dos macroporos na curva de retenção e ao trecho no qual a umidade gravimétrica independe da sucção (residual).

Os horizontes escolhidos para o ensaio de cisalhamento direto foram aqueles que apresentaram divergências no comportamento das curvas de retenção. Geralmente esses foram os horizontes B e C. O horizonte A não foi considerado porque embora tenha apresentado as maiores diferenças, não é neste horizonte que ocorre a ruptura.



Figura 8: Foto do Aparelho Usado no Cisalhamento Direto do Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Eng. Civil da UNICAMP.

Fonte: Carolina Perdomo



Figura 9: Foto dos Corpos de Prova Cisalhados nas Três Diferentes Umidades Citadas no Texto.

Fonte: Carolina Perdomo

8.2.11 - Digitalização das Curvas e Pontos de Campo

Para a digitalização das curvas de nível e dos pontos, além da confecção do modelo digital de elevação, foram utilizadas as cartas de 1:10000 do Município de Ubatuba, compradas do IGC. A parte digitalizada não corresponde a toda bacia do Rio Grande de Ubatuba, mas sim a uma seção controle definida abaixo da vertente de estudo.

Foram utilizadas as cartas Rio do Silva, Bairro Taquaral e Ubatuba. Todo o procedimento foi feito no ArcGis. Nas figuras planas as curvas de nível estão digitalizadas de 25 em 25m, já no modelo digital de elevação as curvas foram digitalizadas de 5 em 5m.

9 - Resultados e Discussões

9.1 – Carta Digitalizada da Bacia com a Localização dos Pontos

Nas figuras 10 e 11 estão definidos os pontos de sondagem na cor verde e as trincheiras na cor rosa, os cursos de água em azul, as curvas em amarelo e a estrada de Ubatuba a Taubaté em vermelho (aparece em preto na escala maior). As imagens foram digitalizadas na escala 1:10.000.

As trincheiras estão numeradas na seqüência de 1 a 3 começando do alto da vertente até a proximidade com o rio.

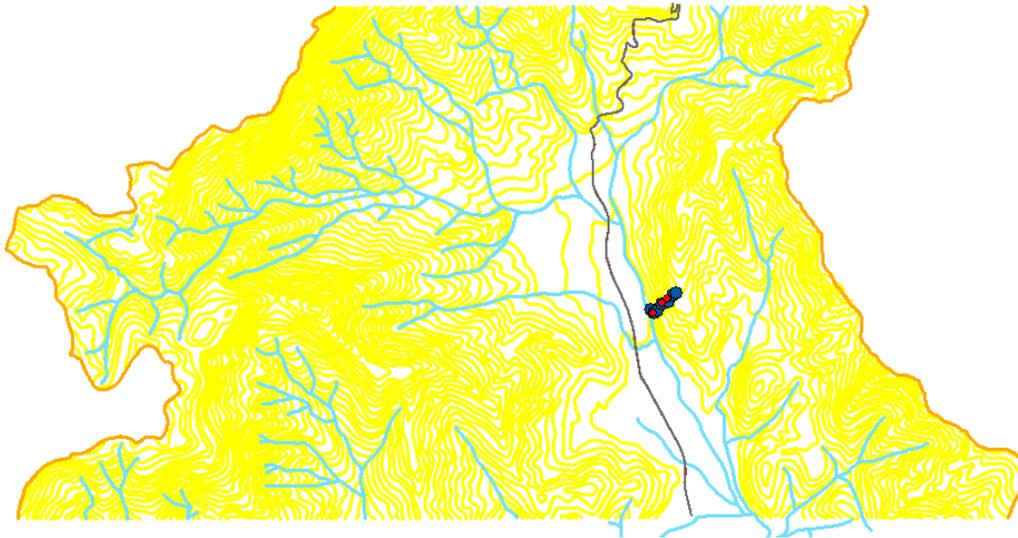


Figura 10: Imagem Parcial da Bacia do Rio Grande de Ubatuba Digitalizada

Fonte: Carolina Perdomo, programa Arc Gis.

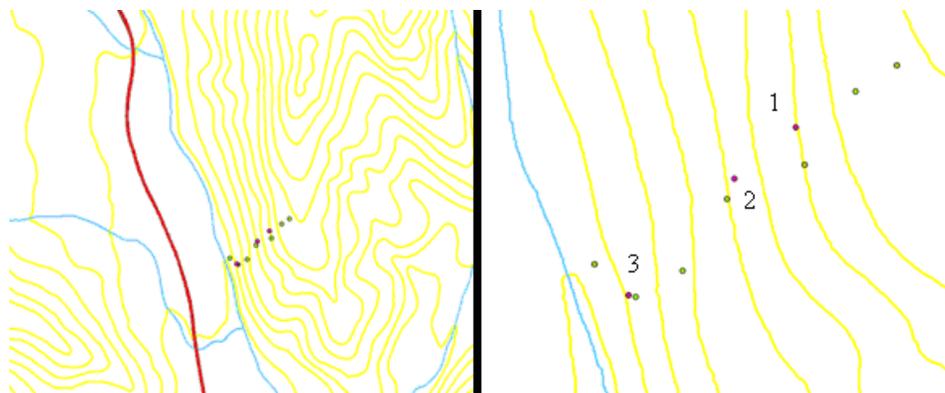


Figura 11: Imagem dos Pontos de Sondagem e das Trincheira com as Curvas de Nível Digitalizadas de 25m em 25m.

Fonte: Carolina Perdomo, programa Arc Gis.

9.2 – Descrição do Campo

Na parte superior de todas as trincheiras havia uma camada de serrapilheira de aproximadamente 3cm, indicando uma quantidade considerável de material vegetal que é depositado.

Ao longo de toda vertente existem blocos de rocha aflorantes de tamanhos variados, sendo alguns de grandes dimensões, a maior parte está na parte mais baixa, próximo da primeira trincheira que corresponde ao material coluvial. As raízes de algumas árvores maiores servem como barreiras e acumulam resíduos de solo e vegetais que são carregados para baixo (Selby, 1993), como mostra a figura 12, formando uma espécie de terracetes e que serviram como apoio em alguns pontos do primeiro trabalho de campo para realização das sondagens.

A área é de Mata Atlântica preservada (figura 13), embora tenha tido uma extração de palmeiras para retirada de palmito e a trilha que usamos (que acabou antes de chegarmos ao topo) é usada por caçadores. Tanto nos pontos de sondagem quanto nos de abertura de trincheira não foi encontrada água livre, mesmo o trabalho de campo tendo sido feito em dias com chuva e dias que sucederam às chuvas. A superfície do solo estava sempre muito úmida e

escorregadia, principalmente nos dias de precipitação, mas não foi observado escoamento superficial em nenhum dos dias de trabalho.



Figura 12: Raízes de Árvores Formando Terracetes

Fonte: Carolina Perdomo



Figura 13: Fotos da Área de Estudo Com a Mata Preservada.

Fonte: Carolina Perdomo

9.3 – Cálculo da Profundidade Real dos Pontos de Sondagem

Na primeira parte do campo foram feitas as sondagens, e para verificar as profundidades reais da área utilizou-se um cálculo simples de “arctan” para determinar o ângulo em graus, pois no campo foi medido em porcentagem como mostra a tabela 5 de cálculo de transferência de declividade de porcentagem para graus, e a partir destes dados foi possível montar a figura 14 onde se tem a projeção da profundidade coletada em campo e a profundidade real.

Tabela 5: Cálculo de Transferência de Declividade de Porcentagem para Graus

Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
100% - 1	100% - 1	100% - 1	100% - 1	100% - 1	100% - 1
40% - X1	65% - X2	40% - X3	60% - X5	85% - X6	55% - X7
X1 = 0,40	X2 = 0,65	X3 = 0,40	X5 = 0,60	X6 = 0,85	X7 = 0,55
Tan X1 = 0,40	Tan X2 = 0,65	Tan X3 = 0,40	Tan X5 = 0,60	Tan X6 = 0,85	Tan X7 = 0,55
X1 = arctan (0,40)	X2 = arctan (0,65)	X3 = arctan (0,40)	X5 = arctan (0,60)	X6 = arctan (0,85)	X7 = arctan (0,55)
X1 = 22°	X2 = 33°	X3 = 22°	X5 = 31°	X6 = 40°	X7 = 29°

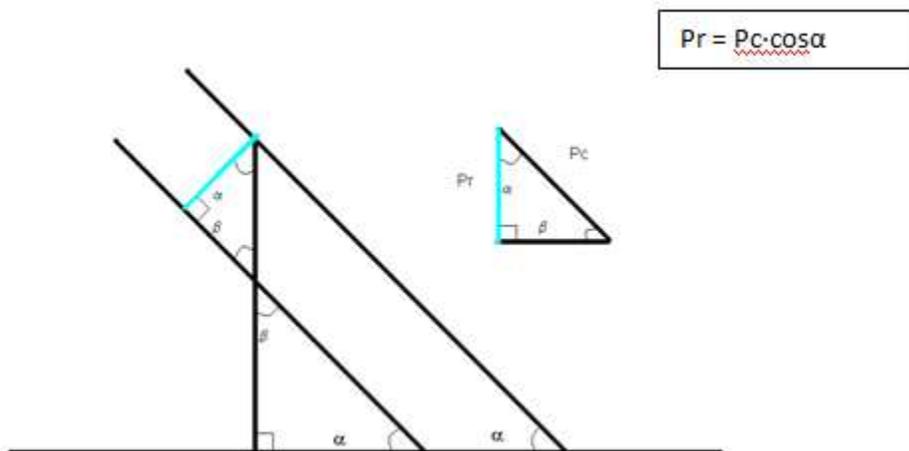


Figura 14: Situação de Profundidade em Campo e Obtenção da Profundidade Real

Com os dados de campo e os calculados montou-se a tabela 6, que mostra esses dados e as coordenadas em UTM que serviram para a plotagem na carta digitalizada.

Tabela 6: Resultado dos Dados de Campo e dos Dados Calculados dos Pontos de Sondagem

Pontos	Coordenadas UTM	Declividade (%)	Inclinação (°)	Espessura Campo	Espessura Corrigida
1	0488048/7412165	40	22	50 cm	46 cm
2	0488080/7412140	65	33	210 cm	176 cm
3	0488116/7412160	40	22	110 cm	102 cm
4	Ao lado do ponto 5	Não foi Medido	Não foi Medido	75 cm	Não foi Medido
5	0488150/7412215	60	31	230 cm	197 cm
6	0488210/7412241	85	40	240 cm	183 cm
7	0488249/7412297	55	29	110 cm	96 cm
8	0488281/7412317	Alto do Divisor	0	240 cm	240 cm

Depois de calcular as profundidades, de ter feita a classificação de cores das sondagens pelo pedocomparador e de projetar os pontos pelas coordenadas nas cartas topográfica de 1:10.000 do IGC, foi possível montar um perfil topográfico e os perfis de alteração desses pontos, como mostra a figura 15 em que se têm, tanto a localização e inclinação da vertente, quanto os dados de coloração dos perfis. Percebe-se que todos têm um comportamento parecido apresentando um horizonte superior com cores escuras seguidos de tons amarelados e com a proximidade com a rocha tons mais avermelhados, mesmo em pontos que no perfil não se pode observar devido a escala utilizada na representação.

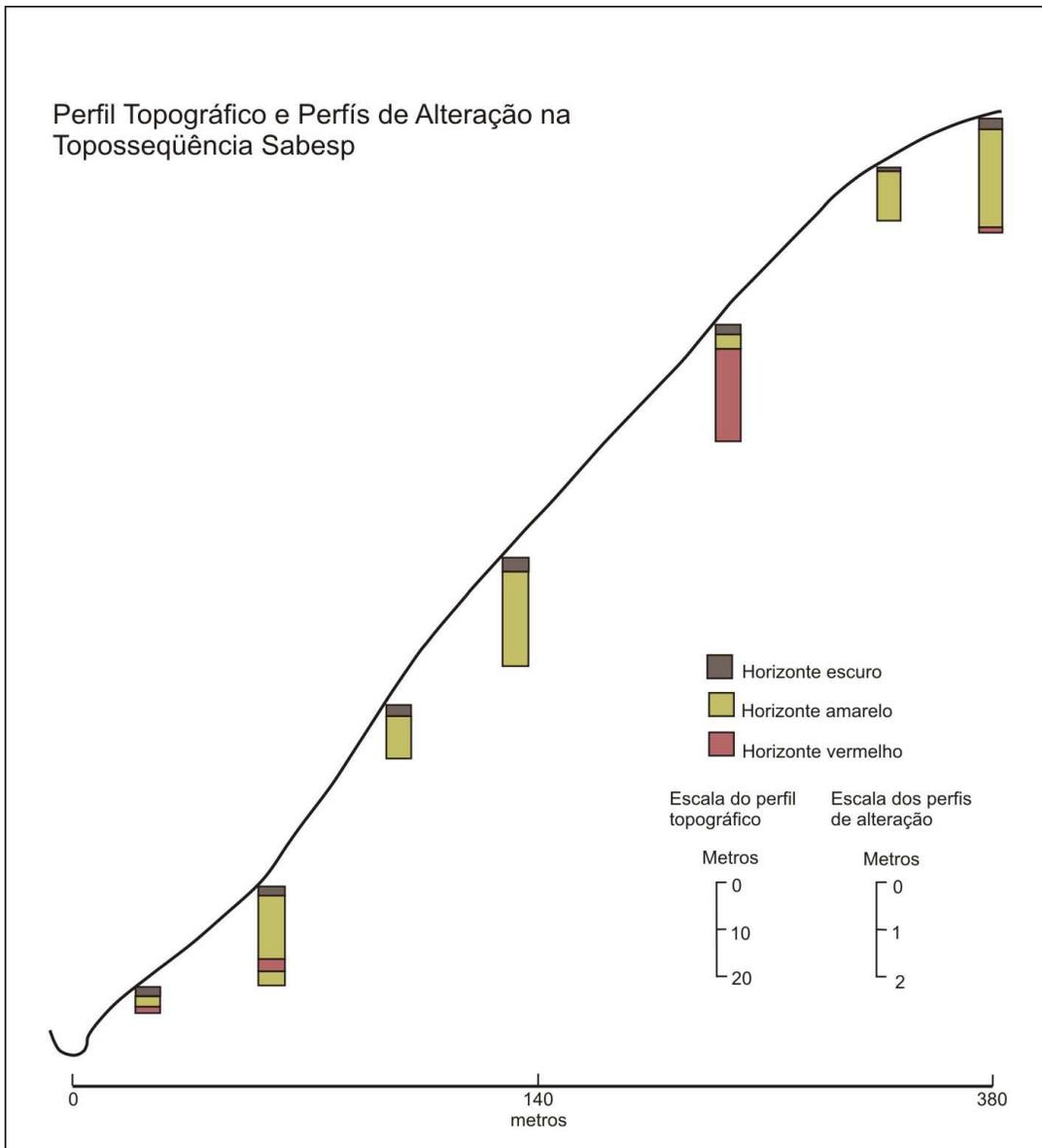


Figura 15 – Perfil topográfico e Perfis de Alteração nos Pontos da Toposseqüência Sabesp

Fonte: Francisco Ladeira (Corel Draw)

9.4 – Descrição das Trincheiras Abertas na Vertente

A escolha dos locais de abertura das trincheiras foi baseada nos pontos analisados das sondagens. A terceira trincheira foi aberta próxima a base onde se tem material coluvionar, onde no primeiro ponto de sondagem só se conseguiu chegar a 50cm de profundidade devido a presença de um bloco de rocha. Este ponto foi selecionado devido a sua complexidade de material que aí está depositado.

A segunda e a primeira trincheiras foram escolhidas por apresentarem um material diferenciado uma da outra como foi observado nos pontos de sondagem; a trincheira 1 representando um solo mais avermelhado e está próxima do ponto 6 da sondagem e a trincheira 2 por apresentar um solo mais amarelado e estando próximo da sondagem 5. Essas diferenças podem ser observadas nas figuras 16, 17 e 18.

9.4.1 – Trincheira 01

Superfície com 78% de declividade

A camada de serrapilheira é de aproximadamente 3cm e aparecem fragmentos de quartzo no meio do perfil.

No horizonte A têm-se uma porosidade abundante associada a raízes de 1mm a 1cm, no horizonte B1 também se tem porosidade associada a raízes, mas em menor quantidade, esse horizonte tem uma coloração mais amarelada do que o horizonte seguinte (B2) que é mais avermelhado, e têm presença de muita mica. Entre os horizontes C1 e C2 aparece uma divisão vertical entre uma coloração avermelhada com pouca porosidade e acinzentada com presença de rocha alterada com material mais friável (Tabela 7 e Figura 16).

Tabela 7: Descrição Macromorfológica do Perfil 01

Horizontes	Descrição Macromorfológica
A	0 - 18/23 cm, 5YR (seco) Bruno - Avermelhado, 5YR 3/4 (úmido) Bruno - Avermelhado Escuro - Argiloarenosa; moderada de média a grande granular; macia muito friável (tanto seca quanto úmida), plástico, ligeiramente pegajoso; transição clara, ondulada.
B1	18/23 - 43/50 cm, 5YR 4/6 (seco) Vermelho - Amarelado, 5YR 3/4 (úmido) Vermelho - Amarelado - Argiloarenosa; moderada de média a grande granular; macia friável (tanto seca quanto úmida), plástica, pegajosa; cerosidade fraca a moderada; transição clara, ondulada.
B2	43/50 - 87/92 cm, 10R 4/8 (seco) Vermelho, 10R 3/6 (úmido) Vermelho Escuro - Argiloarenosa; prismática; levemente dura, friável (tanto seca quanto úmida), plástico, pegajoso; cerosidade fraca a moderada; transição clara, irregular.
C1	87/92 - 153/161 cm, 10R 4/8 (seco) Vermelho, 10 R 4/6 (úmido) Vermelho - Argiloarenosa; prismática moderada; levemente dura, friável (tanto seca quanto úmida), plástico, pegajoso; cerosidade fraca a moderada; transição gradual, descontinua.
C2	153/161 - 227 cm (rocha), 2,5 Y 4/4 (seco) Bruno - Oliváceo, 2,5 Y 3/4 (úmido), Bruno - Oliváceo - Arenoso; sem estrutura, muito friável (tanto seca quanto úmida); não plástico, não pegajoso.

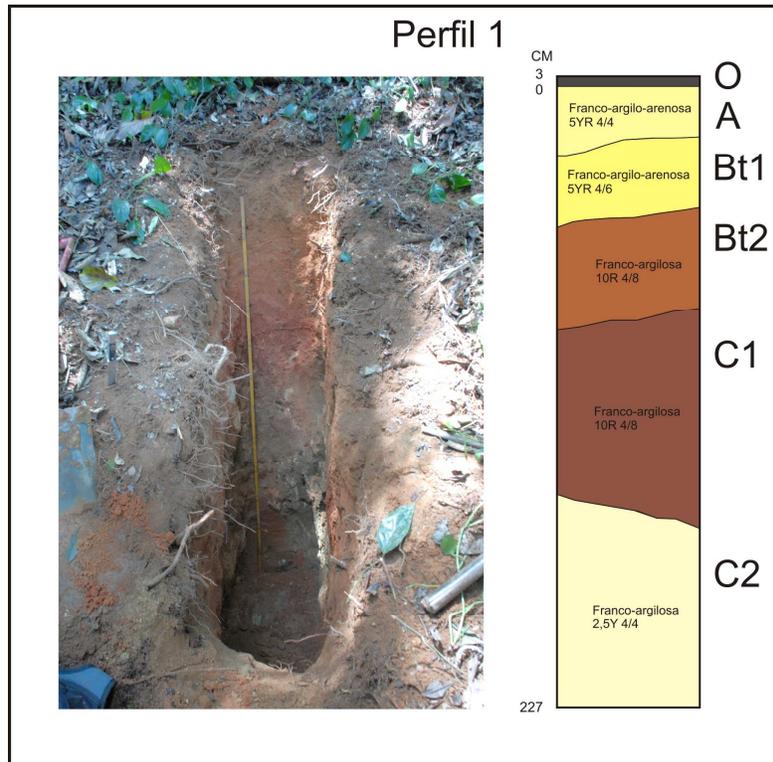


Figura 16: Fotografia e Esquema do Perfil da Trincheira 01

Fonte: Francisco Ladeira

9.4.2 – Trincheira 02

Superfície com 60% de declividade

Camada de serrapilheira de 3cm como nos outros perfis e rocha fresca na base da trincheira a cerca de 2m.

O horizonte A apresenta porosidade associada a raízes sub-milimétricas a 2mm e poros associados a bioturbação de tamanhos pequenos. A porosidade em B é menor do que no horizonte anterior, e está associada a raízes de maior porte indo de 1mm a 3cm, mas comuns a de 5mm. Nos horizontes inferiores diminui a quantidade de porosidade associada a raízes, tem uma grande quantidade de mica e fragmentos de quartzo (Tabela 8 e Figura 17).

Tabela 8: Descrição Macromorfológica do Perfil 02

Horizontes	Descrição Macromorfológica
A	0 - 26 cm, 7,5YR 4/4 (seco) Bruno, 7,5YR 4/4 (úmido) Bruno - Argilosa; grande a muito grande granular; macia a ligeiramente dura, muito friável (tanto seca quanto úmida), muito plástico, pegajoso; transição gradual, ondulada.
B	26 -72 cm, 7,5YR 5/6 (seco) Bruno - Forte, 7,5YR 5/8 (úmido) Bruno - Forte - Argilosa; prismática grande que se desfaz em blocos médios a grandes; fraca a moderada pouca (tipo coating); ligeiramente dura, friável (tanto seca quanto úmida), plástica, pegajosa; transição clara, plana.
C1	72 - 118 cm, 5YR 5/8 (seco) Vermelho - Amarelado, 5YR 4/8 (úmido) Vermelho - Amarelado - Argilosa; maciça; levemente dura, muito friável (tanto seca quanto úmida), muito plástico, muito pegajoso; transição gradual, plana.
C2	118 - 180 cm (rocha), 2,5YR 5/8 (seco) Vermelho, 2,5YR 4/8 (úmido) Vermelho - Argilosa com pequenos fragmentos; maciça; ligeiramente dura, friável (tanto seca quanto úmida); plástico, pegajoso.

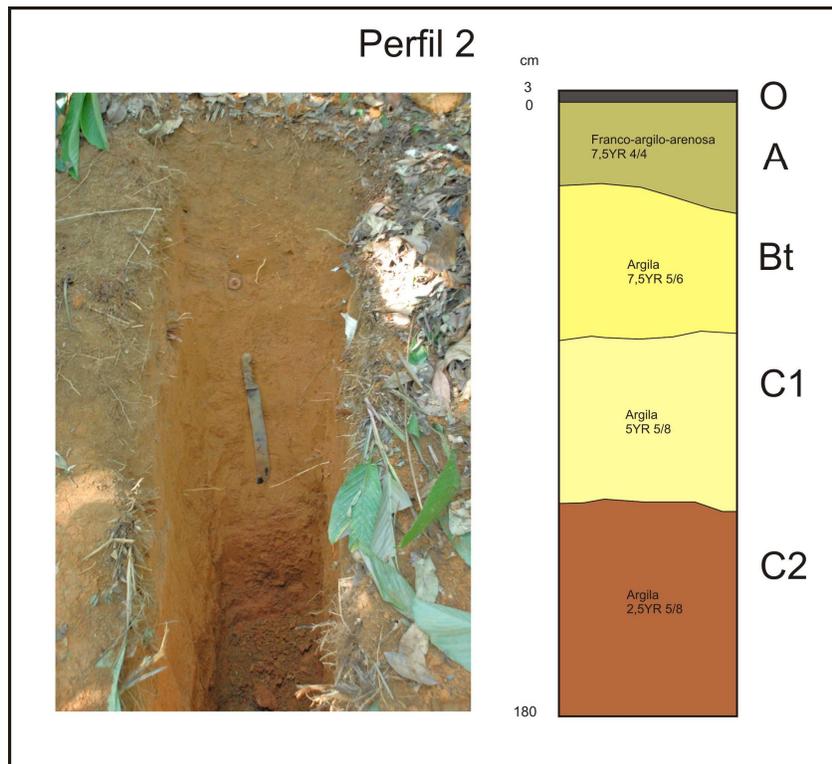


Figura 17: Fotografia e Esquema do Perfil da Trincheira 02

Fonte: Francisco Ladeira

9.4.3 – Trincheira 03

Superfície com 75% declividade

A distância desta terceira trincheira até o rio é de 38m que foram medidos com a trena. Aparecem blocos na superfície assim como nos horizontes superiores aparecem blocos médios e pequenos e blocos maiores na parte mais inferior.

No horizonte A, a porosidade está associada a raízes abundantes de 1mm a 1cm, com fragmentos decimétricos de gnaiss pouco intemperizados. Aparece uma camada de 3cm de serrapilheira. Há a presença de mica, mas não muito abundante. No horizonte C a porosidade também é influenciada pelas raízes, mas em menor quantidade. Na transição dos horizontes existe um grande bloco no contato (Gnaiss). No horizonte C1 já se encontra a rocha pulvulenta (micácea) (Tabela 09 e Figura 18).

Tabela 9: Descrição Macromorfológica do Perfil 03

Horizontes	Descrição Macromorfológica
A	0 - 25/27 cm, 10YR 4/4 (seco) Bruno - Amarelado Escuro, 10YR 4/3 (úmido) Bruno - Argiloarenosa; moderada de média a grande granular; macia, muito friável (tanto seca quanto úmida), plástico, ligeiramente pegajoso; transição clara, levemente ondulada.
C	25/27 - 111/134 cm, 10YR 5/6 (seco) Bruno - Amarelado, 10YR 4,5/4 (úmido) Bruno - Amarelado/ Bruno - Amarelado Escuro - Argiloarenosa; moderada, média a grande granular; macia, muito friável (tanto seca quanto úmida), plástica, pegajosa; transição clara, irregular com a presença de um grande bloco (gnaiss) no contato.
C1	111/134 - 175 cm (rocha), 10YR 5/8 (seco) Bruno - Amarelado, 10YR 4/6 (úmido) Bruno - Amarelado Escuro - Argiloarenosa; moderada média a grande granular; friável (tanto seca quanto úmida), plástico, pouco pegajoso; transição abrupta e descontínua entre o horizonte e a rocha pulvulenta.

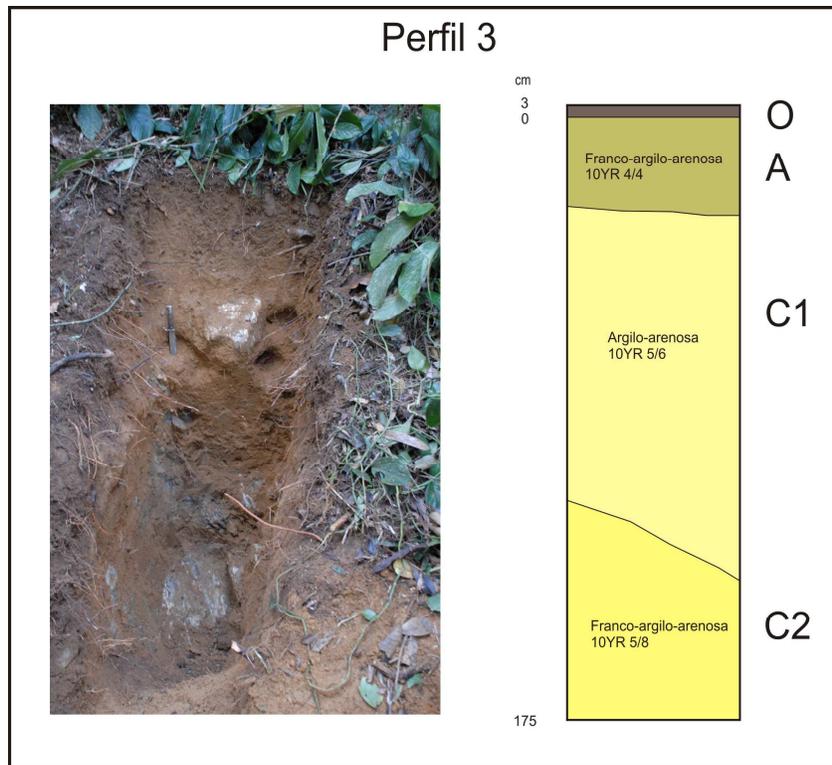


Figura 18: Fotografia e Esquema do Perfil da Trincheira 03

Fonte: Francisco Ladeira

9.5 – Análise Granulométrica

9.5.1 - Gráficos de Granulometria da Areia

O gráfico da granulometria da fração areia das trincheiras abertas representados no gráfico 1 mostra a quantidade de grãos em g/kg nas diferentes frações separadas no laboratório, sendo esta muito grossa, grossa, média, fina e muito fina.

O gráfico da granulometria da fração areia da primeira trincheira aberta (Gráfico 1) mostra que nesta trincheira os valores da granulometria têm maior variação do que os outros, mas também seguem uma trajetória de ascendência em relação à areia muito grossa e chegam aos valores maiores na areia média,

sendo que no horizonte B1 os valores de areia grossa e média são muito parecidos e no horizonte B2 os valores da areia média e fina também são muito próximos sendo a areia fina um pouco maior que a média. O horizonte C2 também se destaca no seu total de areia a partir da areia média. Os outros horizontes seguem a mesma trajetória da trincheira anterior, sendo um aumento da areia muito grossa até a média e depois uma diminuição até a areia muito fina.

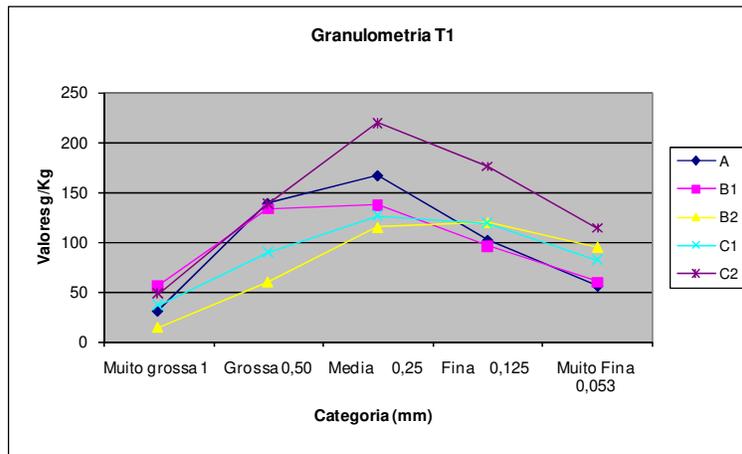


Gráfico 1: Granulometria da Areia da Trincheira 01

Fonte: Carolina Perdomo, programa Excel.

O gráfico da granulometria da fração areia da segunda trincheira aberta (Gráfico 2) mostra que a variação nos valores desta trincheira segue as outras com destaque para o horizonte A que tem valores muito elevados da concentração de areia, principalmente na areia média, em relação aos outros que ficam aproximadamente dentro de uma mesma faixa de variação.

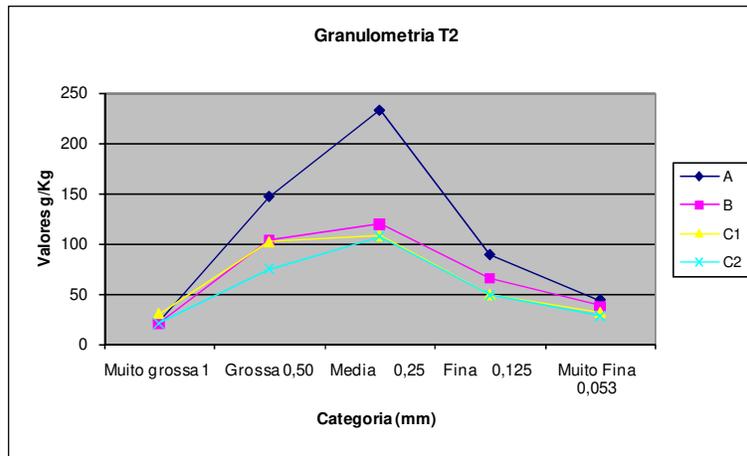


Gráfico 2: Granulometria da Areia da Trincheira 2

Fonte: Carolina Perdomo, programa Excel

Na terceira trincheira (Gráfico 3) vê-se uma concentração menor na areia muito grossa e que aumenta consideravelmente para areia grossa, sendo a maior concentração na areia média depois caindo para areia fina e caindo ainda mais para areia muito fina, ficando esta numa concentração parecida da areia muito grossa.

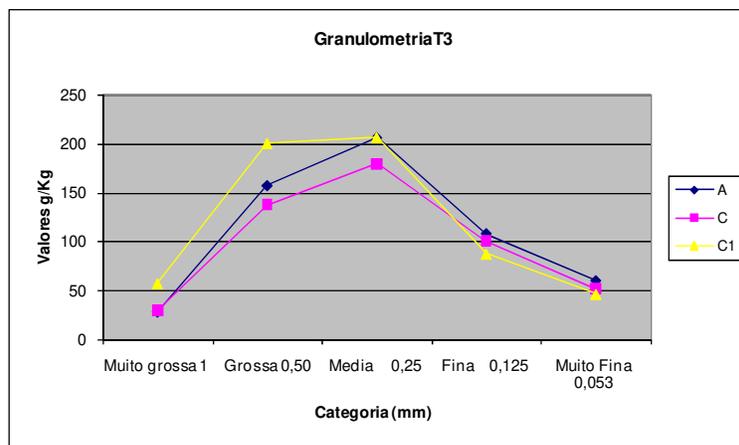


Gráfico 3: Granulometria da Areia da Trincheira 03

Fonte: Carolina Perdomo, programa Excel

Todas as trincheiras apresentaram um comportamento da variação granulométrica da fração areia muito parecido, tendo pouca concentração da areia muito grossa seguido de um aumento da areia grossa até um ponto máximo de concentração que é na areia média e começa a cair gradualmente até a areia muito fina.

9.5.2 – Variação Vertical da Textura dos Perfis

Para entender melhor o comportamento granulométrico dos perfis foi feita a variação vertical da textura com as porcentagens relativas à areia total, silte e argila. As areias foram acopladas numa única variação, pois sua apresentação separada já foi feita, e é importante nestas figuras mostrar a composição dos solos dos diferentes perfis.

Na figura 19, percebe-se uma alteração dos valores com a profundidade, sendo maior a fração areia até aproximadamente 40cm e depois um aumento de silte e argila até os 130cm e depois volta a aumentar a fração areia, sendo que na parte próxima a rocha quase não há argila.

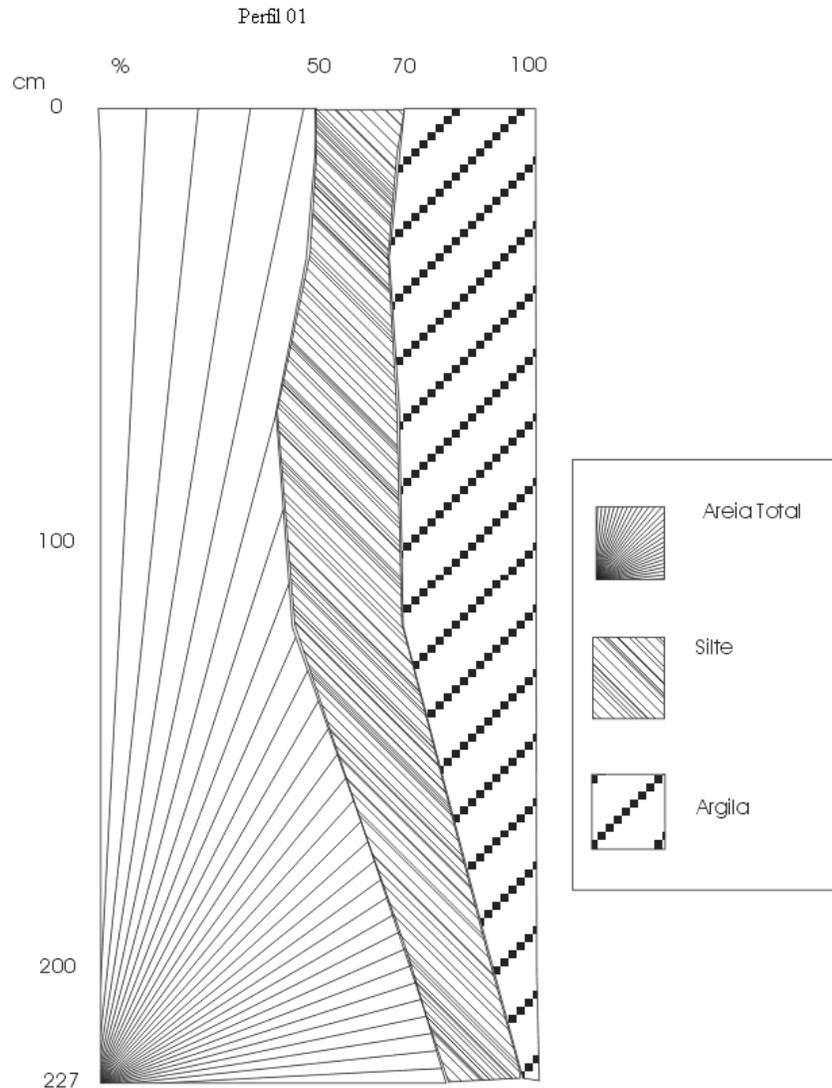


Figura 19: Variação Vertical da Textura do Perfil 01

Na figura 20 o comportamento das frações é diferente dos outros perfis. Nota-se uma maior quantidade de argila em todo perfil variando de forma crescente com a profundidade. Até os 50cm a fração areia é maior chegando a 60% no primeiro horizonte, e a partir desta profundidade ela vai aumentando gradativamente chegando a 30% perto da rocha. Esse comportamento não é o esperado, pois com a proximidade da rocha deveria ser maior a fração areia, de constituintes grosseiros, podendo esse fato estar as diferenças mineralógicas da rocha subjacente.

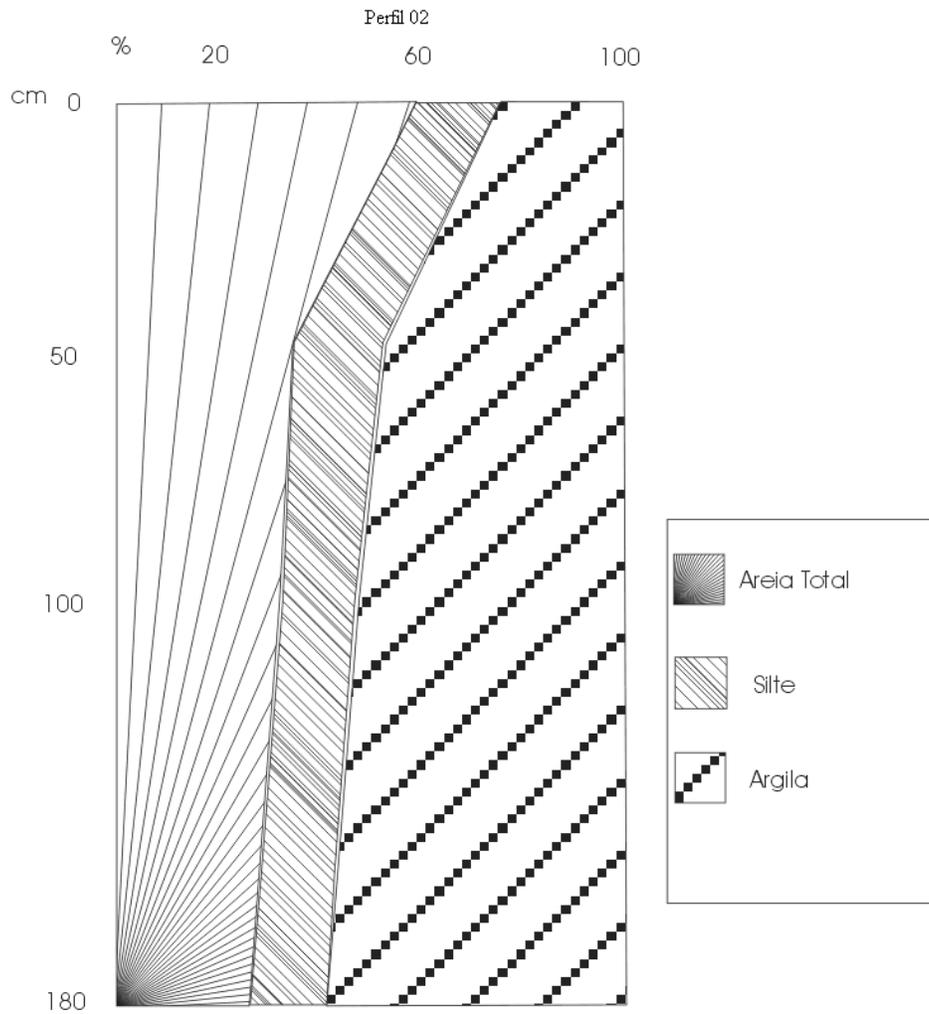


Figura 20: Variação Vertical da Textura do Perfil 02

A figura 21 mostra a variação relativa ao perfil 03, de sua textura, com areia total, silte e argila. A fração areia total aparece em maior quantidade, mais que 50% em quase todo perfil somente se aproximando deste valor na profundidade de 75cm.

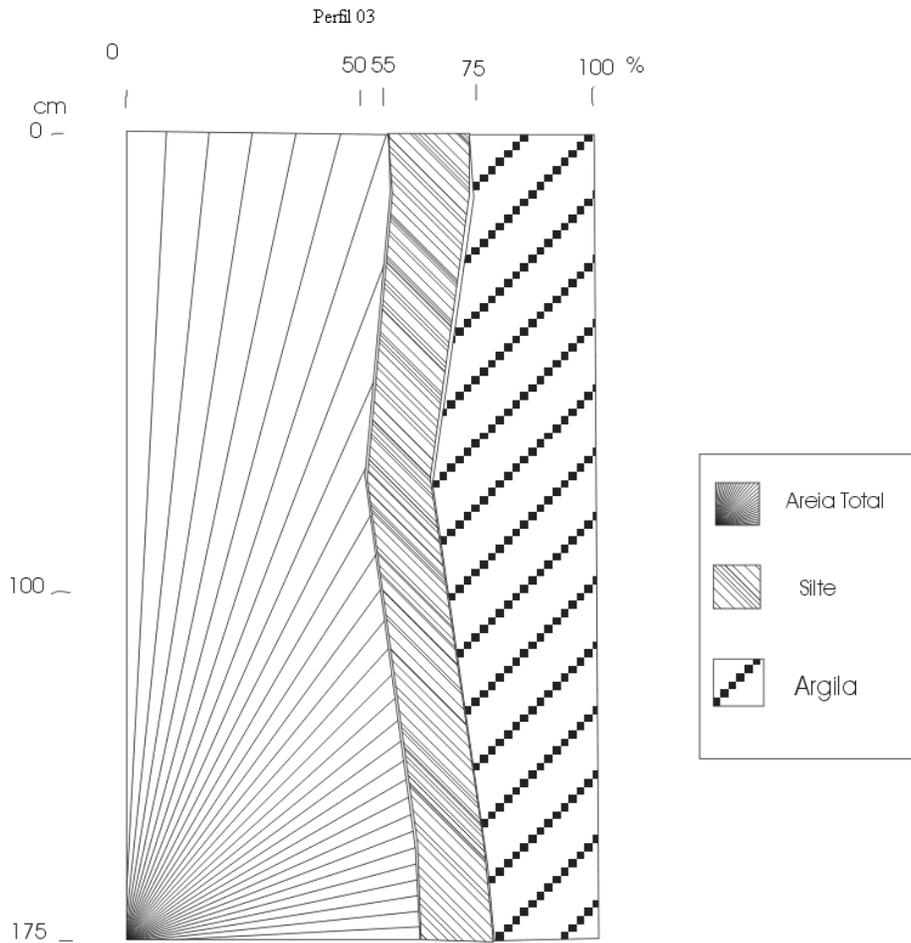


Figura 21: Variação Vertical da Textura do Perfil 03

Com os dados de granulometria foi possível determinar a classe textural dos horizontes dos perfis. Foi usado na classificação o Triângulo Textural adotando-se a classe de textura do Sistema Americano ou triângulo americano, de acordo com o Soil Survey Manual (Estados Unidos 1959, 1993) contido em Santos (2005).

Considerando as porcentagens granulométricas A como areia, S como silte e Ar como argila, temos no perfil 01 o horizonte A – Franco-argilo-arenosa (A – 31.6%, S – 18.9%, Ar – 49.5%), B1 – Franco-argilo-arenosa (A – 33.1%, S – 18.7%, Ar – 48.2%), B2 – Franco-argilosa (A – 32.7%, S – 26.9%, Ar – 40.4%),

C1 – Franco-argilosa (A – 29.7%, S – 25.2%, Ar – 45.1%), C2 – Franco-arenosa (A – 12%, S – 18.4%, Ar – 69.6%).

No perfil 02 o horizonte A – Franco-argilo-arenosa (A – 29.7%, S – 16.7%, Ar – 53.6%), B – Argila (A – 46.9%, S – 18.2%, Ar – 34.9%), C1 – Argila (A – 52.5%, S – 15.5%, Ar – 32%) e C2 – Argila (A – 56.8%, S – 15.2%, Ar – 28%).

No perfil 03, o horizonte A – Franco-argilo-arenosa (A – 27.9%, S – 16.2%, Ar – 55.9%), horizonte C – Argilo-arenosa (A – 35.9%, S – 14.5%, Ar – 49.6%) e horizonte C1 – Franco-argilo-arenosa (A – 26.6%, S – 13.8%, Ar – 59.6%).

Percebe-se que tanto no perfil 01 quanto no perfil 03 a quantidade de argila aumenta nos horizontes medianos e diminui com a profundidade o que não acontece com o perfil 02 em que há um aumento da quantidade de argila com a profundidade. Essa diferença foi percebida no campo, principalmente na abertura das trincheiras em que o material da trincheira 02 estava muito mais denso (pesado), difícil de escavar do que das outras.

9.6 – Valores das Análises Químicas e Físicas dos Horizontes

Foram elaboradas tabelas com todos os dados das análises químicas e físicas para melhor visualização dos resultados de cada horizonte das respectivas trincheiras.

A tabela 10 mostra os valores para a trincheira 01, a tabela 11 mostra os valores para trincheira 02 e a tabela 12 mostra os valores correspondentes a trincheira 03.

As análises realizadas contemplam a parte de granulometria para caracterização da composição do solo. Os ensaios de densidade das partículas também auxiliam na compreensão da constituição do solo. A densidade de solo e porosidade foram obtidos através do anel volumétrico quando da realização da curva de retenção.

Também em relação à física do solo, foram realizados ensaios para verificação da argila dispersa em água e grau de floculação. Este último pode indicar se as argilas tem comportamento de areia, uma vez que se encontram floculadas. O grau de floculação também pode influenciar no ângulo de atrito interno, devido a este comportamento de areia já citado.

A análise química nos indicou o quanto este solo é intensamente intemperizado, pois o pH nas três diferentes trincheiras mostrou valores muito próximos, abaixo de 5,0 (abaixo de 7,0 é considerado ácido). Nem todos os elementos presentes no solo foram contemplados nessas análises, por não ser considerado importante para o objetivo da pesquisa.

Tabela 10: Valores das Análises Físicas e Químicas do Perfil 01

Horizontes		Composição Granulométrica da terra Fina g/kg						Argila g/kg	Silte g/kg	Argila Dispersa em Água g/kg	Grau de Floculação %	Relação Silte / Argila	Densidade g/cm³		Porosidade cm³/100cm³
Simbolos	Profundidade cm	Muito grossa	Grossa	Media	Fina	Muito Fina	Areia Total						Solo	Partículas	
A	0 - 18/23	31	139	167	102	56	495	316	189	176	44	0,60	1,20	2,52423	0,51
B1	18/23 - 43/50	56	133	137	96	60	482	331	187	258	22	0,56	1,05	2,47870	0,53
B2	43/50 - 87/92	14	60	115	120	95	404	327	269	0	100	0,82	1,23	2,50400	0,50
C1	87/92 - 153/161	36	89	126	118	82	451	297	252	0	100	0,85	1,15	2,48047	0,50
C2	153/161 - 227	48	138	220	176	114	696	120	184	0	100	1,53	1,1	2,49645	0,49
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo Cmol/Kg							Valor V% (saturação) por bases	Saturação por Alumínio % (m)	C (orgânico) g/Kg	Atividade da Argila	Teor Umidade Gravimetrica %	
	Água	KCl 1N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺						Valo T (soma) CTC
A	4,3	3,9	0,1	0,1	0,08	0,05	0,33	1,6	5,8	7,73	5,7	82,9	2,2	0,43	41,43
B1	4,5	4,0	0,1	0,1	0,04	0,03	0,27	1,1	3,9	5,27	5,1	80,3	1,3	0,52	33,06
B2	4,7	4,2	0,1	0,1	0,03	0,03	0,26	0,8	2	3,06	8,5	75,5	0,6	0,46	32,81
C1	5,0	4,4	0,1	0,1	0,02	0,02	0,24	0,4	1,8	2,44	9,8	62,5	1,2	0,58	28,57
C2	4,6	4,2	0,1	0,1	0,03	0,02	0,25	1,0	1	2,25	11,1	80	0,4	NP	19,38

A tabela 10 mostra os valores das análises granulométricas, que foram analisadas nos gráficos das areias e na variação vertical da textura. Em relação a densidade de partículas a variação é muito pouca ficando em torno de 2,50. O grau de floculação só apresentou argila dispersa em água nos horizontes A (44%) e B1 (22%), nos outros horizontes a argila floculou totalmente.

O solo do perfil 01 apresenta valores de pH muito baixos, tanto em água, quanto em KCl, sendo que o maior é de 5,0 para o horizonte C1 (Água) e o mais baixo é de 3,9 (KCl) para o horizonte A. Em relação ao complexo sortivo, os valores das bases é muito baixo em relação a concentração de Al³⁺ e H⁺. Com

essas concentrações os valores para a saturação por alumínio em todo o perfil é acima de 50%, chegando a 82,9% no horizonte A, o menor valor de 62,5%.

Tabela 11: Valores das Análises Físicas e Químicas do Perfil 02

Horizontes		Composição Granulométrica da terra Fina g/kg						Argila g/kg	Silte g/kg	Argila Dispersa em Água g/kg	Grau de Floculação %	Relação Silte / Argila	Densidade g/cm ³		Porosidade cm ³ /100cm ³
Simbolos	Profundidade cm	Muito grossa	Grossa	Media	Fina	Muito Fina	Areia Total						Solo	Partículas	
A	0 - 26	23	147	233	89	44	536	297	167	216	27	0,56	1,03	2,43321	0,55
B	26 - 72	21	104	120	66	38	349	469	182	0	100	0,39	1,23	2,44162	0,51
C1	72 - 118	30	102	108	49	31	320	525	155	0	100	0,29	1,17	2,48184	0,51
C2	118 - 180	21	75	107	49	28	280	568	152	0	100	0,26	1,17	2,49410	0,52
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo Cmol/Kg								Valor V% (saturação) por bases	Saturação por Alumínio % (m)	C (orgânico) g/Kg	Atividade da argila	Teor Umidade Gravimétrica %
	Água	KCl 1N	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ⁺³	H ⁺	Valo T (soma) CTC					
A	4,3	3,9	0,1	0,1	0,09	0,09	0,38	1,6	5	6,98	5,4	80,8	1,6	0,38	27,14
B	4,5	4,1	0,1	0,1	0,04	0,03	0,27	1,0	3	4,27	6,3	78,7	0,8	0,44	32,81
C1	4,9	4,3	0,1	0,1	0,03	0,04	0,27	0,3	3,1	3,67	7,3	52,6	0,7	0,51	38,85
C2	4,9	4,3	0,1	0,1	0,03	0,04	0,27	0,5	2,9	3,67	7,3	64,9	0,4	0,48	41,18

Os valores na granulometria da fração areia mostraram como já foi visto maior valor para areia média, e grande quantidade de argila em relação aos outros perfis, principalmente nos horizontes inferiores. A variação da densidade dos grãos também não se alterou muito, apenas os horizontes A (2,43) e B (2,44) apresentaram valores um pouco abaixo dos outros que mantiveram a média de 2,50. O único horizonte que não teve 100% de floculação da argila foi o A (27%).

Na análise química os valores de pH também foram baixos sendo o maior de 4,9 (água) para os horizontes C1 e C2 e o mais baixo de 3,9 (KCl) para o horizonte A. No complexo sortivo têm-se valores similares ao perfil anterior, sendo que o maior valor para a saturação em alumínio chegou a 80,8% no horizonte A e o menor de 52,6% no C1.

Tabela 12: Valores das Análises Físicas e Químicas do Perfil 03

Horizontes		Composição Granulométrica da terra Fina g/kg						Argila g/kg	Silte g/kg	Argila Dispersa em Água g/kg	Grau de Floculação %	Relação Silte / Argila	Densidade g/m ³		Porosidade cm ³ /100cm ³
Simbolos	Profundidade cm	Muito grossa	Grossa	Media	Fina	Muito Fina	Areia Total						Solo	Partículas	
A	0 - 25/27	28	157	206	108	60	559	279	162	198	29	0,58	1,14	2,49027	0,53
C	25/27 - 111/134	29	137	179	100	51	496	359	145	125	65	0,40	1,24	2,50044	0,48
C1	111/134 - 175	57	200	206	87	46	596	266	138	238	10	0,52	1,27	2,50216	0,48
Horizonte	pH (1:2,5)		Complexo Sortivo Cmol/Kg								Valor V% (saturação) por bases	Saturação por Alumínio % (m)	C (orgânico) g/Kg	Atividade da Argila	Teor Umidade Gravimetrica %
	Água	KCl 1N	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Valor S (soma)	Al ⁺³	H ⁺	Valor T (soma) CTC					
A	4,4	4,0	0,2	0,2	0,11	0,07	0,58	1,2	5,8	7,58	7,6	67,4	1,2	0,40	31,70
C	4,5	4,0	0,1	0,1	0,04	0,08	0,32	1,0	4,6	5,92	5,4	75,75	0,7	0,32	31,14
C1	4,5	4,1	0,1	0,1	0,04	0,06	0,30	1,1	4,1	5,5	5,4	78,57	0,9	0,36	28,10

Os valores na granulometria da areia mostraram também maiores valores para areia média e para argila valores parecidos com a trincheira 01. A variação da densidade dos grãos também não se alterou muito, mantiveram a média de 2,50. Em relação ao grau de floculação todos os horizontes apresentaram argila dispersa em água, sendo que para o horizonte A foi de 29%, C de 65% e para o C1 de 10%.

Na análise química os valores de pH também foram baixos sendo o maior de 4,5 (água) para os horizontes C e C1 e o mais baixo de 4,0 (KCl) para o horizonte A e C. Este foi o perfil que apresentou maior quantidade de bases no complexo sortivo, mas mesmo assim a concentração de Al³ e H⁺ também foi muito alta, sendo que o maior valor foi de 78,57% para o horizonte C1 e o menor foi de 67,4% para o horizonte A.

O horizonte A de cada perfil foi o que apresentou menor valor de pH, isso se deve ao fato de esse horizonte conter a maior parte da matéria orgânica proveniente da mata. Todos os solos foram classificados em álicos pois todos apresentaram saturação por alumínio maior que 50%.

O solo tem uma certa homogeneidade em relação a composição química, embora tenha mostrado diferenças relevantes na granulometria.

9.7 – Valores de Umidade do Solo

Os valores da umidade gravimétrica do solo representados na tabela 13 indicam a umidade natural do solo quando ele foi retirado no campo. A análise da umidade indica uma tendência do perfil 01 e 03 de diminuição da umidade com a profundidade, enquanto que no perfil 02 a umidade têm o comportamento contrário, aumentando com a profundidade.

Tabela 13 – Teor de Umidade Gravimétrica do solo

Teor de Umidade Gravimétrica do Solo		
Perfil 01	Perfil 02	Perfil 03
A - 41,43	A - 27,14	A - 31,70
B1 - 33,06	B - 32,81	C - 31,14
B2 - 32,81	C1 - 38,85	C1 - 28,10
C1 - 28,57	C2 - 41,18	
C2 - 19,38		

9.8 – Índices de Atterberg

As propriedades dos solos influenciam na sua resistência, para Selby (1993) a resistência depende de muitos fatores como os tipos de minerais e sua quantidade, tipos de absorção de cátions, forma e tamanho da distribuição das partículas, quantidade de água, arranjo do solo e fatores externos como clima e vegetação.

Para o estudo da resistência do solo também foram realizados ensaios de limites de plasticidade e liquidez em cada horizonte do solo, denominados de índices de Atterberg. De todos os horizontes somente um teve resultado indicando não plástico. Os outros horizontes deram resultados de acordo com as tabelas 14, 15 e 16 abaixo que mostram o limite de plasticidade (LP), o limite de liquidez (LL) e o índice de plasticidade (IP) que é dado pela diferença entre o limite de plasticidade e o limite de liquidez ($IP=LL-LP$).

Tabela 14: Mostra o LP, LL e IP do perfil 01

Horizontes	LP %	LL %	IP %
T1A	40,5	54	13,5
T1B1	36,2	53,4	17,2
T1B2	33,9	48,8	14,9
T1C1	32,5	49,5	17,1
T1C2	NP	NP	NP

Tabela 15: Mostra o LP, LL e IP do perfil 02

Horizontes	LP %	LL %	IP %
T2A	33	44,4	11,4
T2B	35,1	55,1	20,7
T2C1	44,8	71,8	27
T2C2	40,1	67,6	27,5

Tabela 16: Mostra o LP, LL e IP do perfil 03

Horizontes	LP %	LL %	IP %
T3A	31,8	42,9	11,1
T3C	36,4	48,1	11,6
T3C1	32,5	42,2	9,7

Os dados de limites mostram a porcentagem de umidade do solo atingida para cada limite. Como o comportamento do solo em relação à resistência está ligado à argila, tanto na quantidade quanto na composição, pode-se a partir dos dados de porcentagem de argila em cada horizonte fazer sua associação com os limites encontrados, não esquecendo que o material dos limites é de, praticamente, argila e silte, pois passa na peneira de 0.042mm.

Ao analisar os três perfis, percebe-se que o valor da umidade aumenta no perfil 02 para atingir os limites, e é este o perfil que apresentou a maior quantidade de argila e silte na análise granulométrica, mostrando a influência destes minerais no comportamento de plasticidade do solo. A umidade natural gravimétrica também teve o mesmo comportamento em relação aos perfis, sendo maior onde havia maior quantidade de argila e silte.

O comportamento do solo está, geralmente, relacionado aos minerais de argila que são os componentes mais reativos. Uma maior quantidade de minerais de argila num solo torna tanto seu potencial de expansão maior quanto de contração também, assim como dificulta a permeabilidade da água, torna o material mais plástico e com maior coesão. Então para um estudo de resistência do solo é de fundamental importância o estudo dos minerais de argila.

Os dados de umidade gravimétrica e dos limites como mostrado nas tabelas 17, 18 e 19.

Perfil 01

Tabela 17: Limites e Umidade Gravimétrica do perfil 01

Horizonte	LL%	LP%	IP%	Umidade %
A	54,0	40,5	13,5	41,43
B1	53,4	36,2	17,2	33,06
B2	48,8	33,9	14,9	32,81
C1	49,5	32,5	17,1	28,57
C2	NP	NP	NP	19,38

Pode-se observar que o comportamento do solo ao ser retirado era no perfil 01 de plástico no horizonte A e semi-sólido nos horizontes B1, B2 e C1. O índice de plasticidade têm pouca variação e está de acordo com a granulometria dos perfis.

Perfil 02

Tabela 18: Limites e Umidade Gravimétrica do perfil 02

Horizonte	LL%	LP%	IP%	Umidade %
A	44,4	33,0	11,4	27,14
B	55,1	35,1	20,7	32,81
C1	71,8	44,8	27,0	38,85
C2	67,6	40,1	27,5	41,18

No perfil 02 os dados indicam que os horizontes A, B e C1 estão no estado de semi-sólido e o horizonte C2 no estado plástico, o valor está entre os limites de plasticidade e liquidez. O índice de plasticidade do perfil têm uma variação que está compatível com a granulometria, pois apresentou maior quantidade de argila com a profundidade, por isso o índice aumenta também com a profundidade.

Perfil 03

Tabela 19: Limites e Umidade Gravimétrica do perfil 03

Horizonte	LL%	LP%	IP%	Umidade %
A	42,9	31,8	11,1	31,7
C1	48,1	36,4	11,6	31,14
C2	42,2	32,5	9,7	28,1

No perfil 03 todos os horizontes se apresentam em estado semi-sólido. A variação do índice de plasticidade é muito pequena, o que indica uma quantidade quase homogênea de argila ao longo do perfil.

Para os três perfis apresentados a maior variação nos valores de índice de plasticidade está no perfil 02, que é o perfil que têm também os maiores valores chegando a 27,5% no horizonte C2 e tendo o menor valor de 11,4% no horizonte A. Com as umidades do campo, que antecedeu dias de chuva, apenas um horizonte estava no limite de plasticidade, o horizonte C2 do perfil 02,

estando com 41,18% de umidade de campo e o limite de plasticidade deste solo é atingido com 40,1%.

9.8.1 - Atividade das Argilas

O índice de atividade é determinado pela divisão do Índice de Plasticidade (IP), pois ele indica a influência das partículas finas do solo no comportamento do solo, pela porcentagem de argila (% argila) o quanto deste material fino tem no solo.

A atividade das argilas esta diretamente relacionada com a composição mineralógica dos argilo-minerais (Pinto, 2006), podendo ter certos solos elevados teores de argila e baixos índices de atividade como visto no perfil 02, em que a porcentagem de argila chega a 58.6% e a atividade não chega a 0.75, sendo classificada como inativa. As tabelas 20, 21 e 22 mostram as atividades das argilas para cada horizonte estudado.

Índice de Atividade = $IP / \% \text{ Argila}$

Argila Inativa = menor que 0,75

Argila Normal = entre 0,75 e 1,25

Argila Ativa = maior que 1,25

Tabela 20: Atividade da argila do perfil 01

Horizontes	IP%	Argila %	At
A	13,5	31,6	0,43
B1	17,2	33,1	0,52
B2	14,9	32,7	0,46
C1	17,1	29,7	0,58
C2	NP	12,0	NP

Tabela 21: Atividade da Argila do perfil 02

Horizontes	IP%	Argila %	At
A	11,4	29,7	0,38
B	20,7	46,9	0,44
C1	27,0	52,5	0,51
C2	27,5	56,8	0,48

Tabela 22: Atividade da Argila do perfil 03

Horizontes	IP%	Argila %	At
A	11,1	27,9	0,40
C	11,6	35,9	0,32
C1	9,7	26,6	0,36

O importante no conhecimento da atividade das argilas é que este índice pode servir para indicar uma maior ou menor influência das propriedades mineralógicas e químico-coloidal das argilas nas propriedades geotécnicas do solo (Vargas, 1977). A atividade das argilas indica o comportamento do solo, pode-se ter dois tipos de solos diferentes sendo que eles têm as mesmas quantidades de argila, mas dependendo das propriedades mineralógicas destas argilas o solo pode ter comportamento diferenciado.

Todas as argilas amostradas foram consideradas inativas tendo valor abaixo de 0.75. O perfil que teve valores mais próximos a 0.75 foi o perfil 01 sendo a máxima de 0.58 e o perfil que mais se afastou desses valores foi o 03 com o menor valor de 0.32.

9.9 - Mineralogia das Argilas

A mineralogia das argilas é uma propriedade que auxilia na compreensão da estabilidade das encostas, pois como são as argilas os componentes do solo mais reativos, são eles que têm maior influência nas interações da água com os sólidos dos solos. A tipologia das argilas indica o comportamento destas com a

água, indicando também sua influência no maior ou menor grau de estabilidade da encosta.

Os resultados das análises mineralógicas (figuras 22, 23 e 24) mostram que os horizontes das três trincheiras têm uma composição muito parecida. As análises mineralógicas foram realizadas com o material da fração argila previamente separado. A composição encontrada foi de gibsitita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), sendo o material predominante, seguido de caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e alumínio fosfato (AlPO_4).

A gibsitita indica que o material se encontra numa área com intenso processo de intemperismo, como a área estudada.

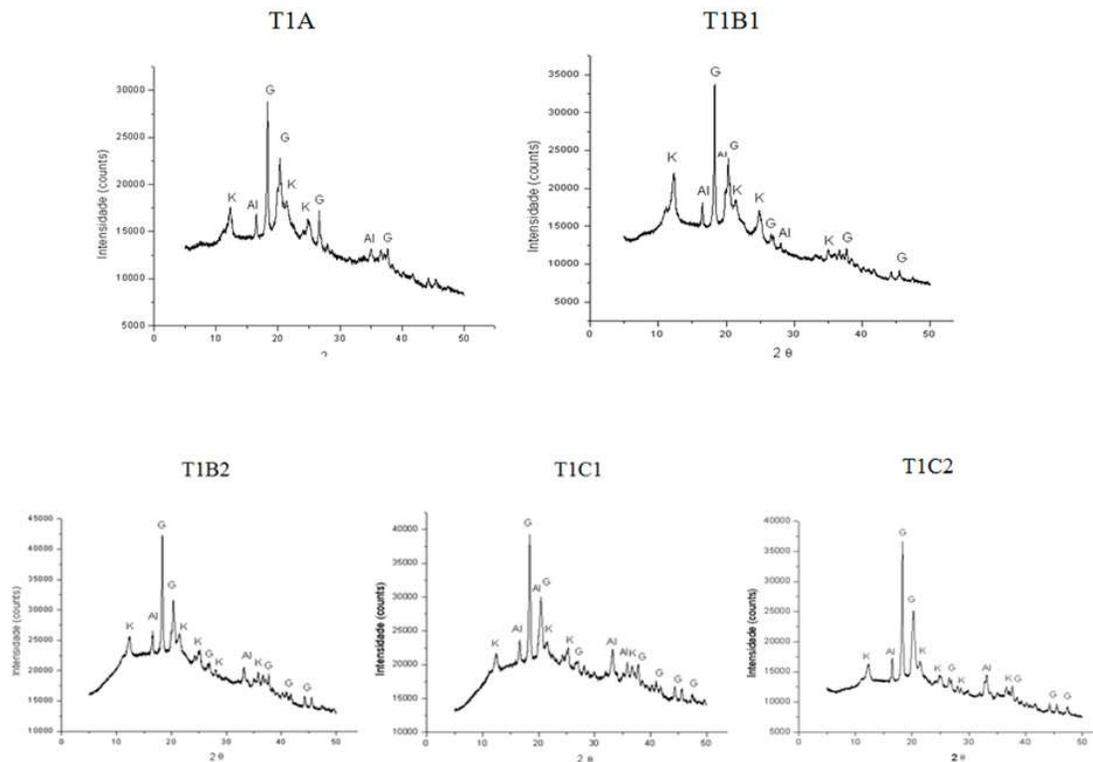


Figura 22: Gráficos da Mineralogia das Argilas do Perfil 01 nos Cinco Horizontes Diferenciados em Campo (fonte: Carolina V. Perdomo, utilização do programa Origin.)

Na observação dos gráficos do perfil 01, percebemos que a argila do tipo gibsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$) é a que têm maior representação seguido da caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e pouca presença de alumino fosfato (AlPO_4). A variação da frequência desses elementos de um horizonte para outro muda pouco.

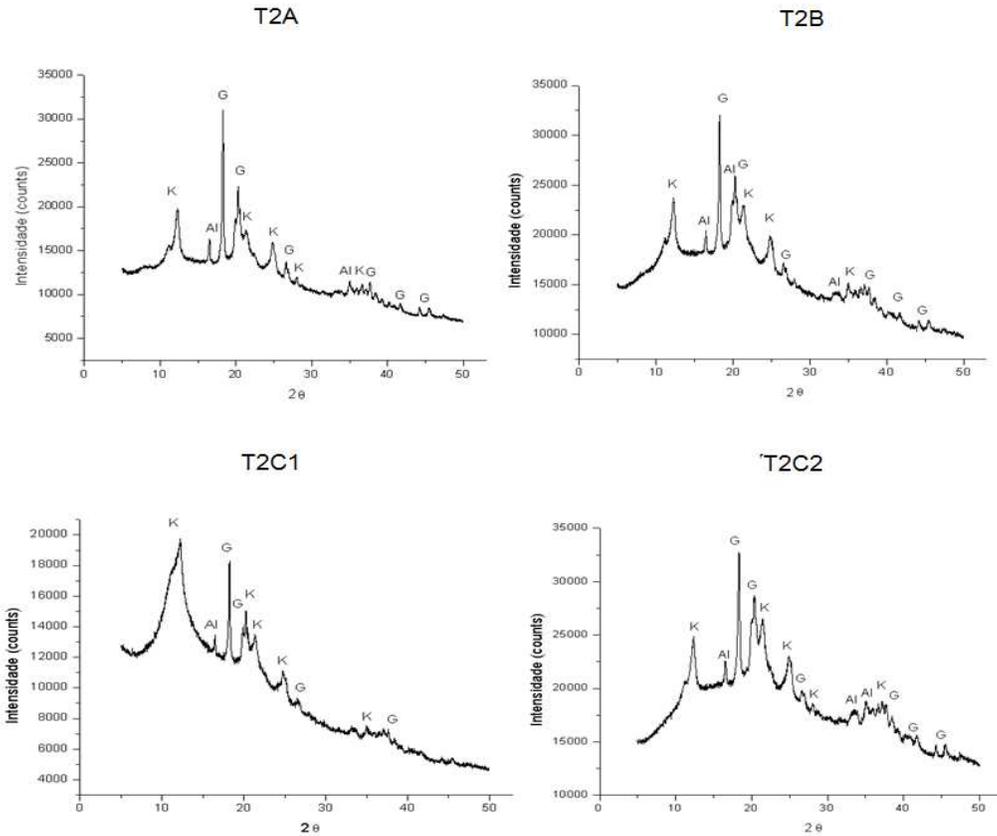


Figura 23: Gráficos da Mineralogia das Argilas do Perfil 02 nos Quatro Horizontes Diferenciados em Campo (fonte: Carolina V. Perdomo, utilização do programa origin.)

No perfil 02 existe uma variação da caulinita no horizonte C1 bastante representativa em relação aos outros. Este perfil foi o que apresentou maior quantidade de argila na análise granulométrica, e também a maior concentração de caulinita. Os outros horizontes têm o comportamento parecido em relação a frequência da composição identificada.

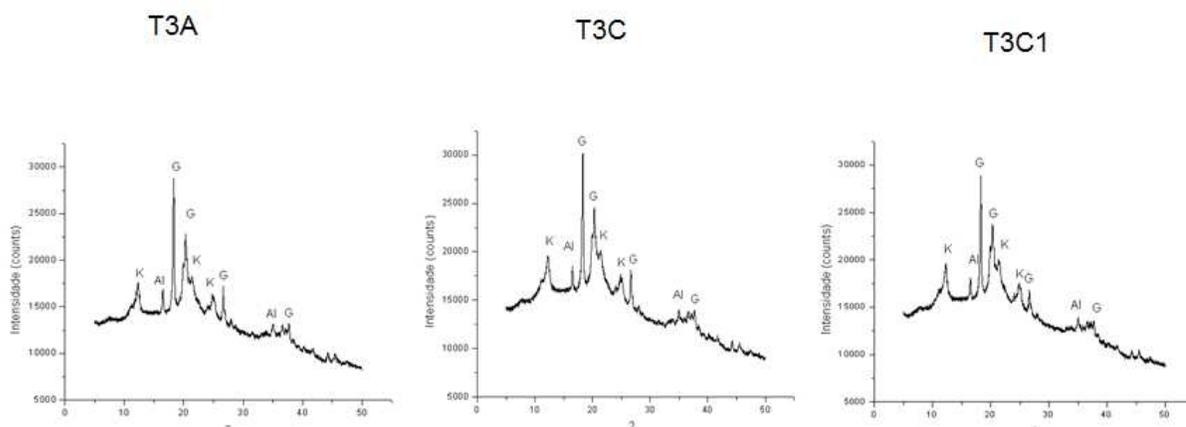


Figura 24: Gráficos da Mineralogia das Argilas do Perfil 03 nos Três Horizontes Diferenciados em Campo (fonte: Carolina V. Perdomo, utilização do programa origin.)

O terceiro e último perfil têm praticamente a mesma variação das argilas, sendo que este é o perfil que está na parte da base da vertente representando material de colúvio, por isso era esperado que o material tivesse o comportamento e a composição parecidos.

A partir dos resultados da mineralogia pode-se entender que no solo estudado as interações químicas entre a água e as argilas não são tão expressivas a ponto de interferir na deformação do solo, pois nenhuma das argilas apresentou na sua composição ser do tipo expansiva. Esta característica das argilas têm grande influência nos movimentos sendo estudada por vários pesquisadores como Summa et al (2010) na Itália, que mostram a importância do estudo mineralógico ao estudar as superfícies de cisalhamento em relação à composição dos sedimentos de argila e silte.

No trabalho de Marui e Tiwari (2004) foi verificada a correlação entre o ângulo de atrito interno e alguns parâmetros do solo com o limite de liquidez, o índice de plasticidade e a porcentagem de argila do tipo esmectita. Para a argila, eles encontraram variações do ângulo entre as porcentagens de 8% e 42%,

sendo que para valores mais baixos de 8% e maiores de 42% não há variação do ângulo de atrito interno.

Além do teor de umidade, a natureza mineralógica também vai influenciar diretamente na plasticidade e coesão dos solos (Vargas, 1977). Das argilas encontradas no trabalho a caulinita é a que têm maiores índices de plasticidade, como foi verificado nos resultados das análises dos limites de plasticidade e liquidez, o horizonte que apresentou maior índice de plasticidade foi o que apresentou também maior quantidade de caulinita na composição, o horizonte C1 da segunda trincheira.

9.10 - Curvas de Retenção da Água ou Curvas Características de Sucção

A curva de retenção da água ou curva característica de sucção representa a relação entre a quantidade de água existente nos poros do solo e a energia necessária para sua remoção (Campos et al, 2005). Assim o conhecimento dessa dinâmica hidrológica no interior dos solos da encosta serviu para entender como se comporta a água nos diferentes horizontes identificados, e a partir desses dados efetuar os testes de cisalhamento direto nos materiais que apresentaram maior discordância, em relação à infiltração da água.

Com as amostras de anel volumétrico necessárias para realização da curva de retenção obtêm-se também os valores de porosidade do solo como mostra a tabela 23.

Tabela 23: Macro, Micro e Porosidade Total de Cada Horizonte das Trincheiras.

Horizontes	Porosidade (m ³ /m ³)		
	Micro	Macro	Total
T1A	0,39	0,12	0,51
T1B1	0,34	0,19	0,53
T1B2	0,36	0,14	0,50
T1C1	0,29	0,21	0,50
T1C2	0,24	0,25	0,49
T2A	0,32	0,23	0,55
T2B	0,40	0,11	0,51
T2C1	0,41	0,11	0,52
T2C2	0,43	0,09	0,52
T3A	0,30	0,23	0,53
T3C	0,36	0,12	0,48
T3C1	0,43	0,10	0,53

A porosidade dos horizontes fica em torno de 50%, sendo que somente os horizontes T1C2 e T3C apresentam valores um pouco abaixo de 50%. Entre valores de micro e macro porosidade os horizontes mostram maiores valores para a microporosidade com exceção do horizonte T1C2 que têm um equilíbrio entre macro e microporosidade. Este horizonte apresentou na análise granulométrica grande quantidade de material grosseiro, e foi o único que o resultado dos limites apareceu como não plástico, ou seja, não há quantidade de material fino suficiente para determinar os limites (plasticidade e liquidez).

Também no perfil 01 observa-se que T1B2 e T1C1 têm a mesma quantidade total de poros, mas estes estão distribuídos de forma diferenciada em relação a micro e macroporosidade.

O perfil 02 foi o que apresentou maior quantidade de argila na sua composição e também a maior porcentagem de microporos estando estes em torno de 40%.

O perfil 03 teve a variação de poros (macro e micro) parecida com a trincheira 01, sendo que o horizonte C1 teve uma proporção de microporos e macroporos quase igual ao horizonte C2 da trincheira 02, que foi a que apresentou a maior quantidade de argila na granulometria (0,43 para microporos e 0,10 para macroporos no horizonte C1 do perfil 03 e 0,43 microporos e 0,09 para macroporos no horizonte C2 do perfil 02).

9.10.1 - Análise das Curvas de Retenção

Todas as amostras foram saturadas e depois colocadas nas placas e aplicadas às pressões de 0,1; 2; 6; 10; 20; 30; 50; 75; 300; 500 e 1500kPa. Foi utilizada a sucção máxima de 1500kPa porque as amostras foram feitas no laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp e para a parte de estudo do solo na agricultura o importante é verificar a retenção da água no solo até o ponto de murcha da planta, que é atingido em torno de 1500kPa de sucção matricial Reichardt (1978).

As curvas são representadas na escala semilog para os valores de sucção matricial e na linear para valores de umidade gravimétrica. A representação das curvas está separada por perfil, sendo que foram feitos gráficos para curvas com umidade gravimétrica real (figuras 25, 28, 31) e curvas ajustadas pelo modelo matemático de Van Guenutchen (figuras 26, 29, 32). Foram realizados também gráficos em que as curvas partem de um único ponto considerando aquela umidade inicial, para melhor visualização do comportamento dos horizontes um em relação ao outro (figuras 27, 30, 33).

9.10.1.1 - Análise da Trincheira 01

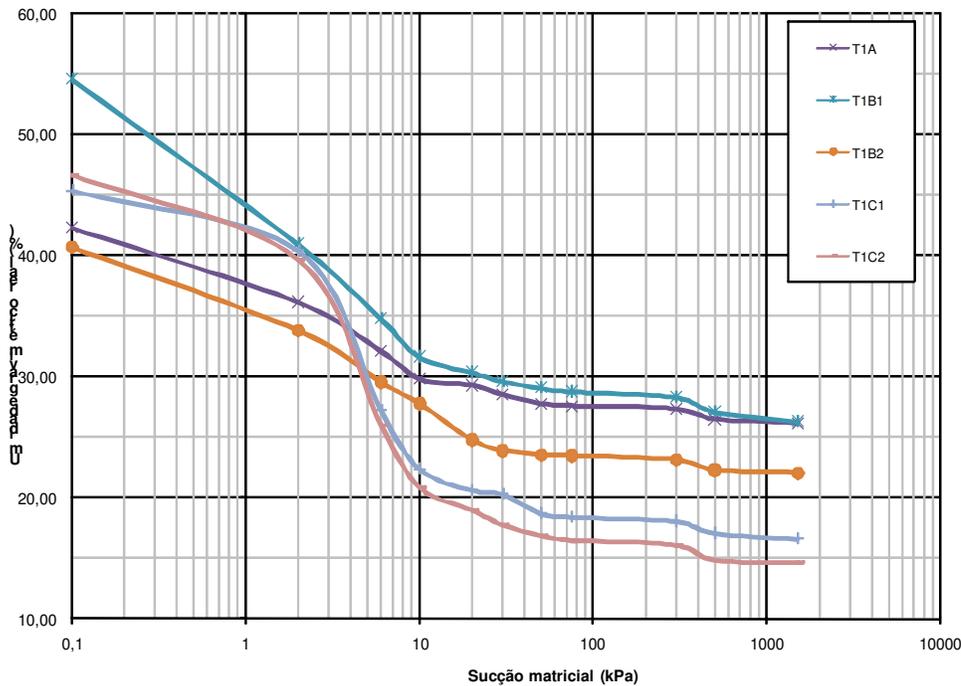


Figura 25 - Curva de Retenção com Umidade Real de Cada Horizonte da Trincheira 01

No perfil 01 percebe-se uma semelhança muito grande em relação ao comportamento das curvas dos horizontes C1 e C2, sendo que a saturação desses horizontes está próxima uma da outra, em torno de 46% de umidade. As curvas têm a maior perda da umidade de 2 até 10kPa, começando a se estabilizar, ou seja, não perde mais água pela sucção próximo a umidade de 16%. São os horizontes que menos retém água no perfil. O horizonte C2 foi o que perdeu mais rapidamente água, e este é também o horizonte que resultou em não plástico nas análises de limites (plasticidade e liquidez). Este resultado está coerente pois este horizonte contém maior quantidade de areia na composição.

O horizonte B1 foi o que teve a maior porcentagem de água para chegar a saturação, em torno de 55%. Já os horizontes A e B2 apresentaram um

porcentagem de umidade para saturação próxima de 42%. O horizonte A teve uma queda constante da umidade desde o início da aplicação da sucção de 0,1kPa até aproximadamente 10kPa, quando começa a estabilizar e a perda de umidade ;e muito pouca em relação ao aumento da sucção. O horizonte B1 que foi o que teve maior valor de umidade para saturação, também apresentou uma queda constante da umidade ate a sucção de 10kPa onde começa a se estabilizar em torno de 30% de umidade. O horizonte B2 teve um queda da umidade praticamente constante também a partir da saturação, chegando a sucção de 30kPa para começar a estabilizar.

Percebe-se uma descontinuidade na retenção da água na transição do horizonte B2 para o C.

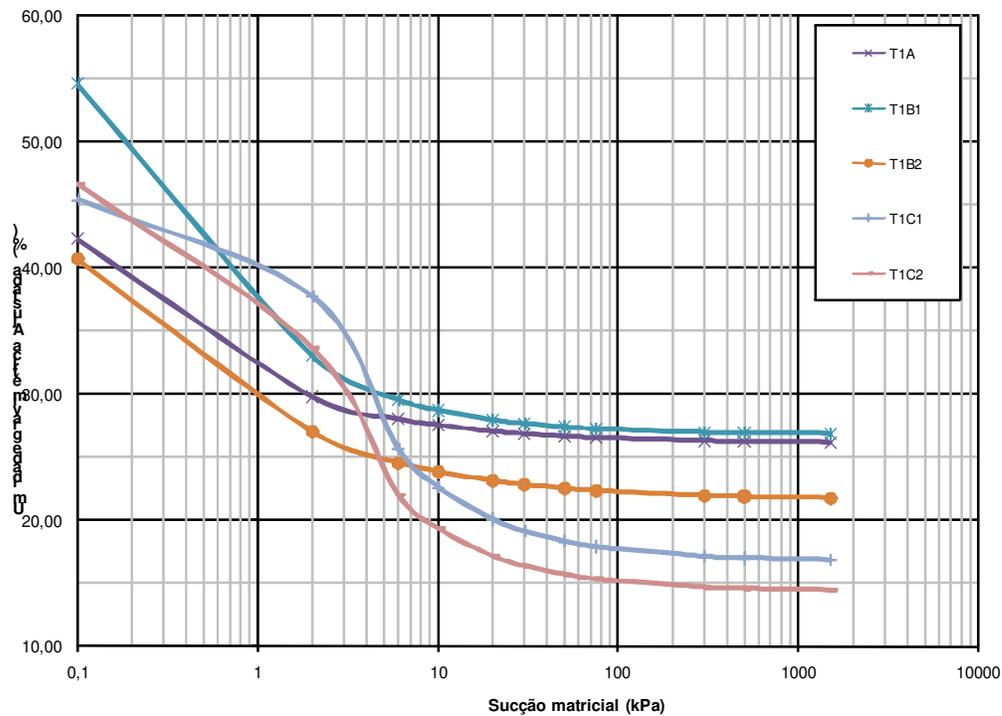


Figura 26 - Curva de Retenção Ajustada com o Modelo de Van Guenutchen de Cada Horizonte da Trincheira 01

A figura 26 mostra as curvas ajustadas pelo modelo matemático, observa-se que não houve uma mudança muito grande em relação ao comportamento ao longo das curvas, sendo que houve um distanciamento das curvas dos horizontes C1 e C2, mas o horizonte C1 continua sendo o que mais retém água em relação ao outro.

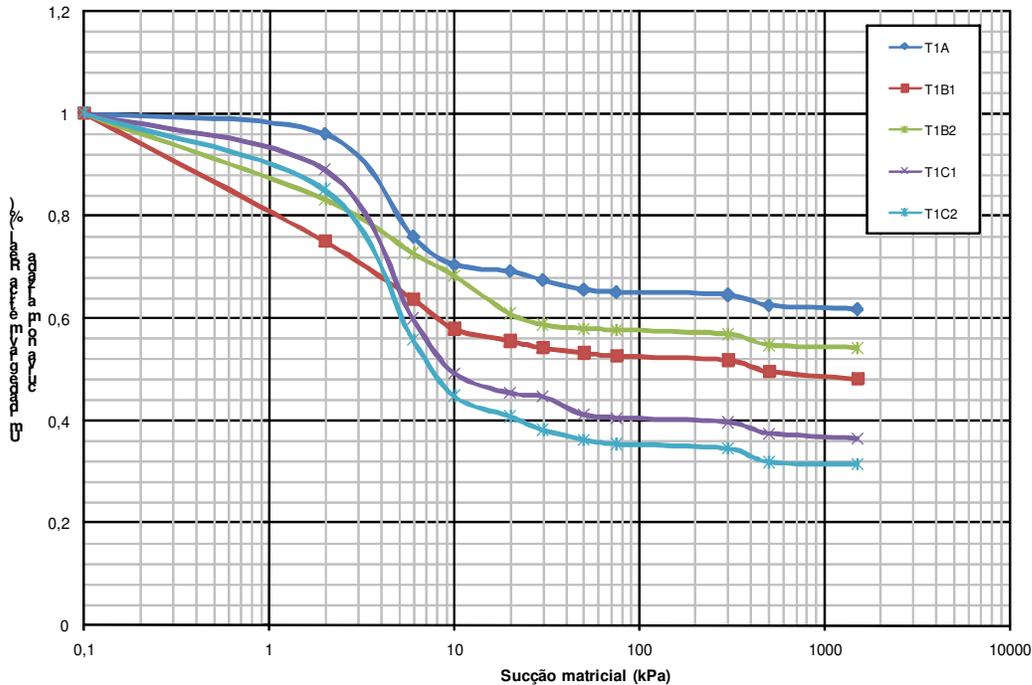


Figura 27 - Curva de Retenção com Umidade Gravimétrica Normalizada com Relação à Cada Horizonte da Trincheira 01

A figura 27 mostra o comportamento das curvas partindo de um único ponto. Neste gráfico consegue-se observar que o horizonte A é o que mais retém água e que o horizonte C2 o que perde água mais rapidamente. Observamos que embora o horizonte A seja o que mais retém água ele não influencia diretamente nos processos de escorregamento, pois o rompimento se dá geralmente entre os horizontes mais profundos. A maior discordância e o local mais possível de rompimento se encontram entre os horizontes B2 e C1, pois existe uma diferença considerável entre eles.

9.10.1.2 – Análise da Trincheira 02

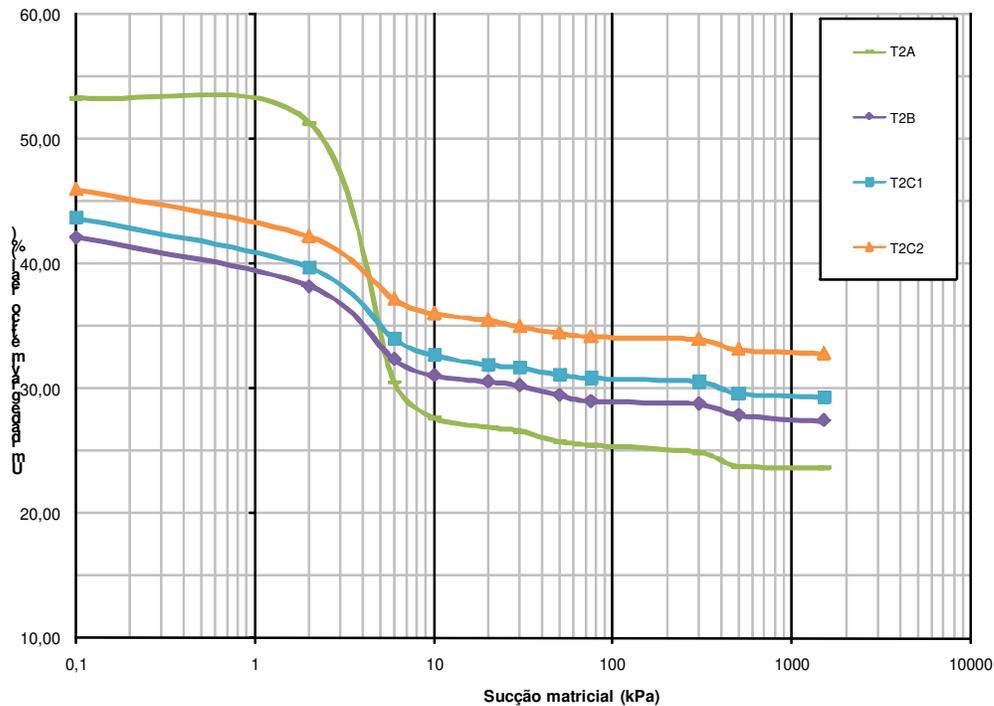


Figura 28 - Curva de Retenção com Umidade Real de Cada Horizonte da Trincheira 02

No perfil 02 percebe-se uma semelhança muito grande em relação ao comportamento das curvas dos horizontes B, C1 e C2, sendo que a saturação desses horizontes está próxima uma da outra, em torno de 44% de umidade. As curvas têm a maior perda da umidade de 2 até 10kPa, começando a se estabilizar, ou seja, a variação da umidade não muda muito em relação ao aumento da sucção.

O horizonte A foi o que apresentou o comportamento mais discrepante, saturando com 54% e se estabilizando com 27% de umidade, mas este horizonte tem influência muito grande de material orgânico e raízes, aumentando a porosidade e conseqüentemente interferindo na retenção da água.

O horizonte B foi o que menos reteve água se estabilizando em torno de 29% de umidade. O horizonte C1 teve valores muito próximos ao do horizonte B, sendo que começa a se estabilizar com 31%. Enquanto que o horizonte C2 foi o que se distanciou mais se estabilizando em torno de 35% de umidade e foi este horizonte que também apresentou a maior quantidade de argila na análise granulométrica.

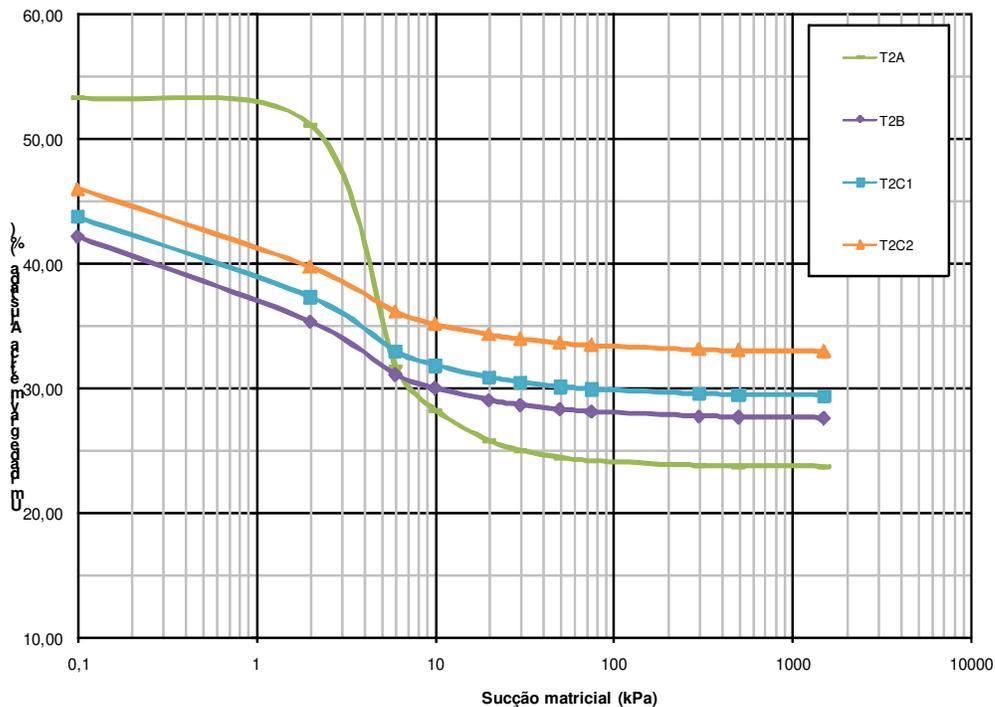


Figura 29 - Curva de Retenção Ajustada com o Modelo de Van Guenutchen de Cada Horizonte da Trincheira 02

As curvas ajustadas também não tiveram grande mudanças, sendo que apenas apresentaram uma suavidade maior ao longo da curva e o valor da sucção que começa a estabilizar passa para 20kPa.

Os horizontes B, C1 e C2 se mantêm com o comportamento parecido, sendo que o C2 continua sendo o que mais se distâncias. O horizonte A continua com a discrepância de comportamento em relação aos outros.

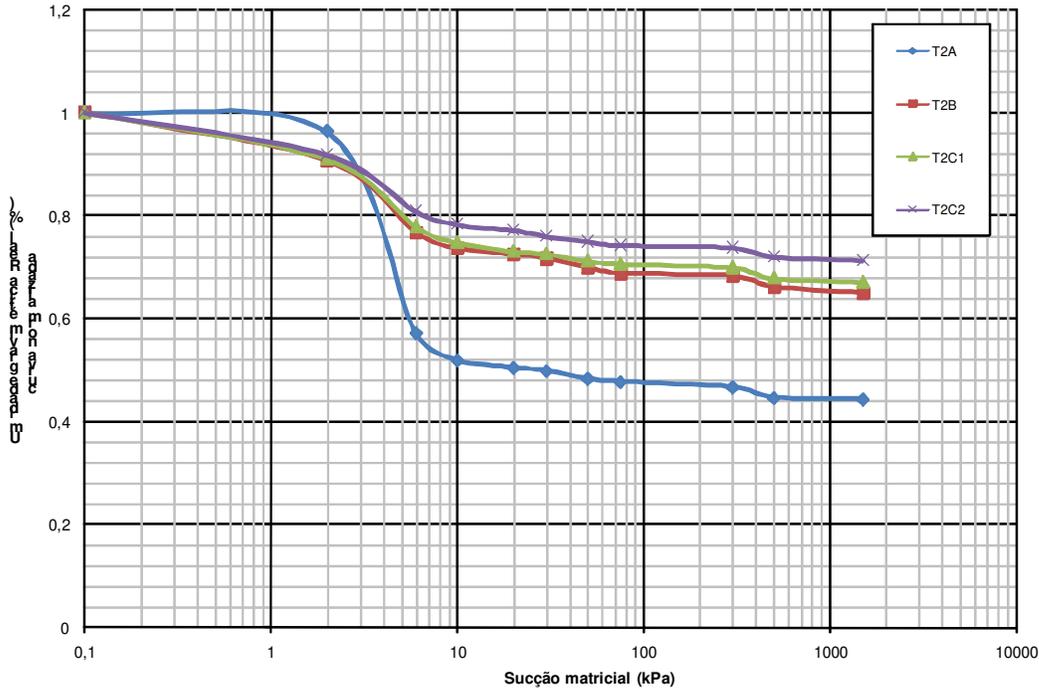


Figura 30 - Curva de Retenção normalizada para Comparação de Cada Horizonte da Trincheira 02

A figura 30 mostra o comportamento das curvas partindo de um único ponto. Neste gráfico conseguimos ver que o horizonte A é o que menos retém água e que o horizonte C2 o que mais retém água. Observamos que o horizonte A é o que apresenta maior discordância entre os horizontes, mas ele não interfere nos escorregamentos. Entre os horizontes mais profundos a maior discordância está entre o C1 e o C2.

9.10.1.3 – Análise da Trincheira 03

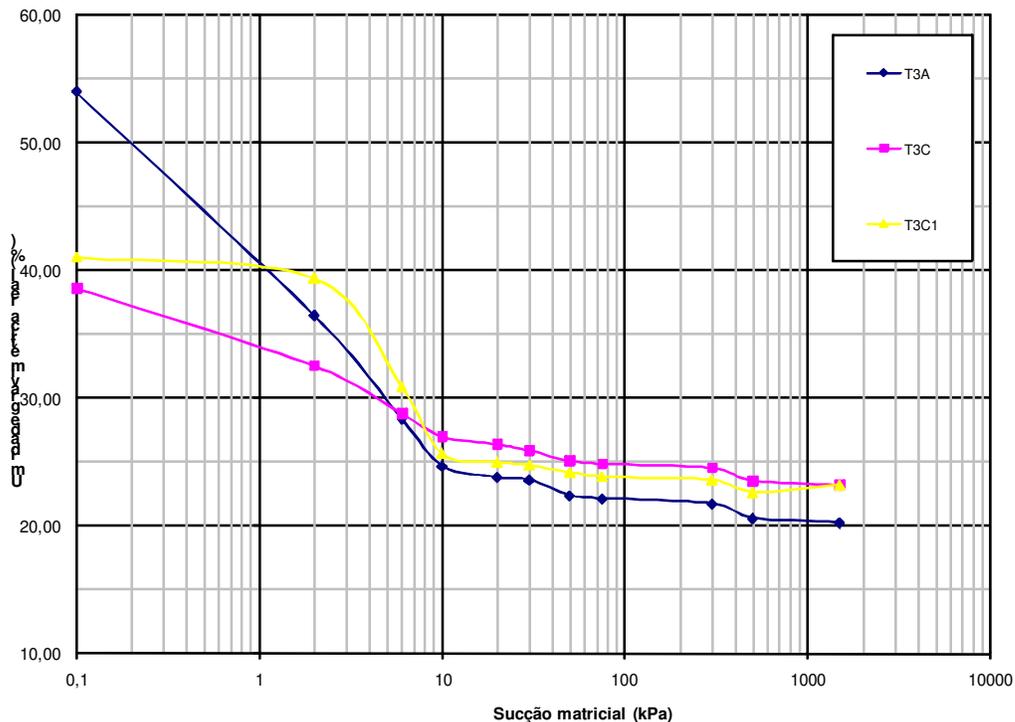


Figura 31 - Curva de Retenção com Umidade Real de Cada Horizonte da Trincheira 03

O perfil 03 mostrou que o horizonte A foi o que teve maior queda da retenção começando a se estabilizar próximo a 25% e também ao maior valor para saturação (54%), a perda de água foi constante desde a saturação até os 25% de umidade. Este foi o horizonte que apresentou a maior quantidade de macroporos do perfil indicando corretamente a tendência para este comportamento.

Os outros horizontes também começaram a se estabilizar no valor próximo a 25% de umidade na sucção de 10kPa, sendo que o horizonte C também teve uma queda praticamente constante desde a saturação, já o horizonte C1 começou a ter a maior perda de água a partir da sucção de 2kPa.

O comportamento dos três horizontes foi bem diferente, indicando a heterogeneidade do solo ao longo do perfil em relação à retenção de água.

A distribuição entre micro e macro porosidade está diretamente relacionada com a curva de retenção, pois a água escoar mais rapidamente entre os macroporos.

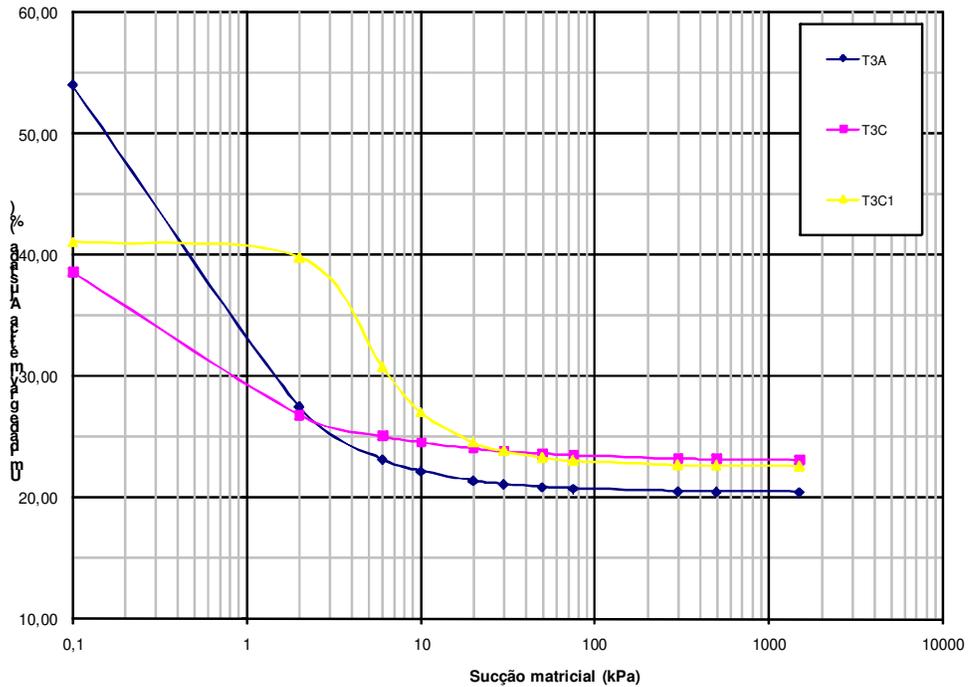


Figura 32 - Curva de Retenção Ajustada com o Modelo de Van Guenutchen de Cada Horizonte da Trincheira 03

Quando as curvas são ajustadas pelo modelo matemático percebemos que o horizonte C1 não teve alteração no comportamento, apenas aumentou um pouco o ponto ele começa a se estabilizar. Os horizontes A e C tiveram uma pequena mudança na perda de água sendo que ficaram com os valores de umidade quando começam a estabilizar um pouco mais baixos.

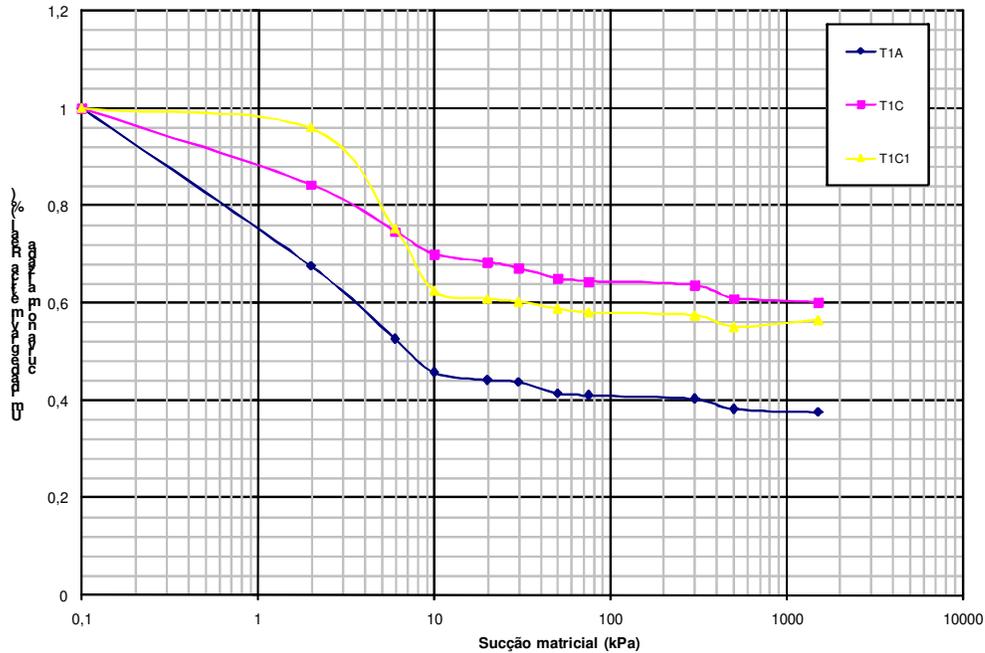


Figura 33 - Curva de Retenção Normalizada para Comparação de Cada Horizonte da Trincheira 03

A figura 33 mostra o comportamento das curvas partindo de um único ponto. Neste gráfico consegue-se observar que o horizonte A, assim como no perfil anterior, é o que menos retém água e que o horizonte C é o que mais retém água.

Os horizontes C e C1 têm um comportamento diferente na perda de água. O horizonte C têm uma queda praticamente constante, enquanto que o C1 começa a cair (perder água) perto da sucção de 2kPa. Esses horizontes não apresentam grande discordância de retenção de água entre eles.

Foi montado um gráfico com todas as curvas de retenção dos três perfis (figura 34) partindo de um único ponto de umidade para visualizar o comportamento de todos junto.

9.10.1.4 – Análise de Todas as Trincheiras Juntas

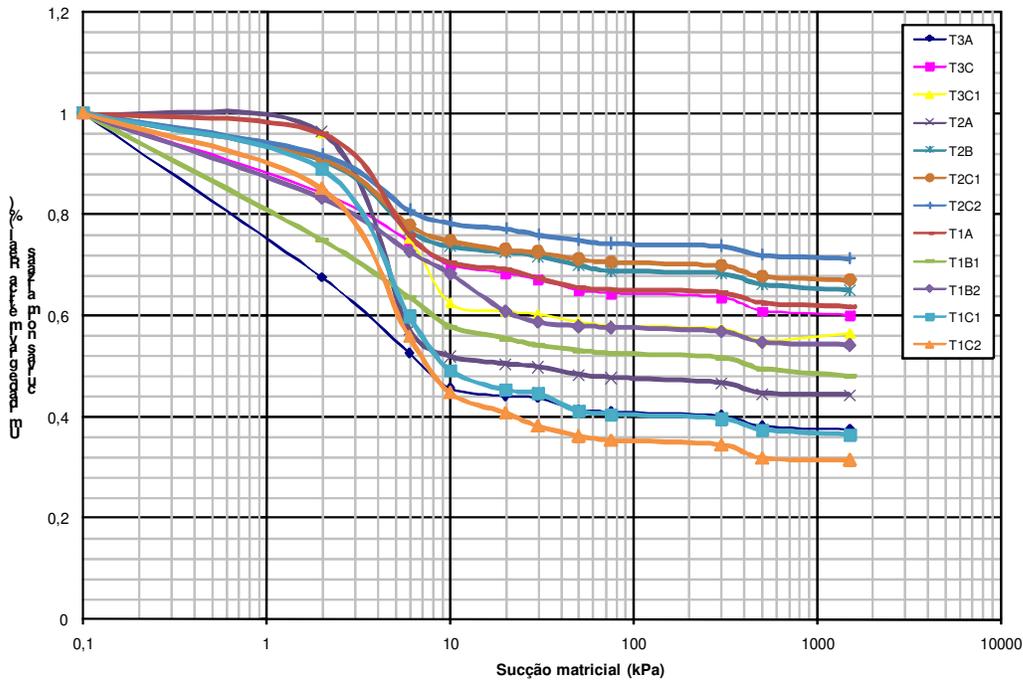


Figura 34 - Curvas de Retenção Normalizadas para Comparação de Drenagem de Cada Horizonte das Três Trincheiras

Com todas as curvas juntas percebe-se que o horizonte que mais retém água é o C2 da segunda trincheira (T2C2), e o horizonte que perde água mais rapidamente é o C2 da primeira trincheira (T1C2). Estes horizontes foram os que respectivamente apresentaram maior quantidade de argila, com altos índices de umidade para atingir os limites de plasticidade liquidez. O horizonte C2 da primeira trincheira (T1C2) foi o que apresentou resultado de não plástico para os limites, indicando grande quantidade de material grosseiro, o que facilita a passagem de água (macroporos) e faz com que ele perca água mais rapidamente.

10 - Resistência ao Cisalhamento dos Solos

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito interno) foram calculados para os horizontes B1, B2 e C1 da trincheira 01 (Tabela 24) e para os horizontes B e C2 da trincheira 02 (Tabela 26). Não foram realizados ensaios na trincheira 03, pois ela está localizada na base da vertente seu material constituído de depósitos coluviais, sem qualquer organização, não tendo sido observado, em campo, qualquer ocorrência de cicatrizes nestes materiais, ao contrario das porções mais elevadas da vertente.

Os ensaios foram realizados em três diferentes tensões normais (50kPa, 100kPa e 200kPa) com o intuito de traçar a envoltória de cisalhamento, e a partir dessa envoltória e dos parâmetros obtidos (coesão e ângulo de atrito interno) com ela, foram calculados os pontos de tensões de campo (simulação da situação de campo) como pode ser observado nas tabelas 25 e 27.

Cada ensaio de umidade gerou uma reta, que é definida pela linha de tendência entre os três pontos calculados em laboratório, quando é traçada a linha de tendência é pedida a equação da reta. Esta equação é mostrada na parte superior direita dos gráficos e nela são definidos os parâmetros (ângulo de atrito interno e coesão), o ângulo que é calculado pelo Arctg (arco tangente) do valor multiplicado por X e o segundo valor que aparece é o ponto em que a reta encontra o eixo Y que é a coesão do solo.

10.1 - Análise do Perfil 01

O perfil 01 é o que está mais próximo ao topo da vertente, e também aquele que se diferencia do manto de alteração predominante verificado com as sondagens feitas da base até o divisor de águas da vertente estudada. Para este perfil foram feitos os ensaios descritos anteriormente, e para facilitar a visualização dos parâmetros obtidos, coesão e ângulo de atrito interno foi montada a tabela 24.

Este foi o perfil mais profundo chegando a 227cm, e o que apresentou coloração avermelhada.

Tabela 24: Coesão e Ângulo de Atrito Interno dos Horizontes B1, B2 e C1 da Trincheira 01 em Umidades Determinadas pela Curva de Retenção.

Amostras	Coesão (kpa)			Ângulo de Atrito Interno (°)		
	29%	36%	Saturado	29%	36%	Saturado
T1B1	35	30,4	12,1	29,6	27,1	32,3
	23%	32%	Saturado	23%	32%	Saturado
T1B2	68,9	35,1	7,4	36,2	29,1	33,9
	22%	30%	Saturado	22%	30%	Saturado
T1C	25,5	23	13,9	33	37,9	33,9

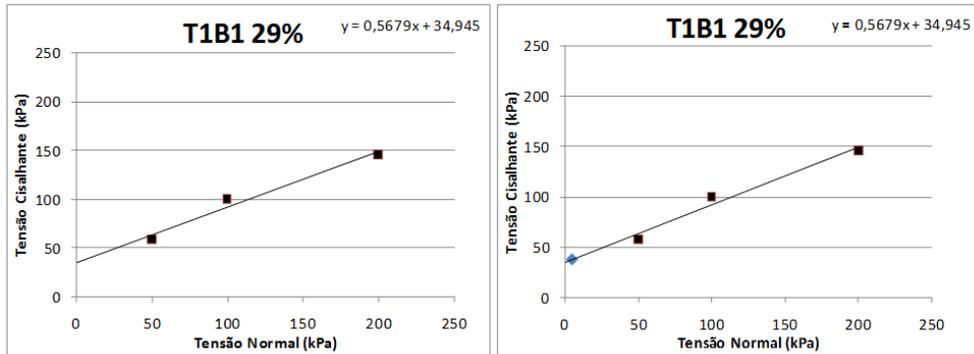
A coleta das amostras foi feita no meio de cada horizonte estudado neste ensaio, sendo que o B1 foi coletado a 30cm, o B2 a 70cm e o C a 120cm, estas profundidades foram utilizadas no cálculo da tensão normal de campo e da resistência para simulação de como estaria o solo no campo nas diferentes umidades (tabela 25). Mostrando que embora a massa específica do solo não tenha grande variação, a profundidade faz com que a normal tenha um aumento considerável.

Tabela 25: Cálculo da Normal e da Resistência ao Cisalhamento das Condições de Campo para Cada uma das Umidades Estudadas da Trincheira 01.

H = 0,3 m		T1B1								
		ω 29%			ω 36%			ω Sat		
Massa Especifica (g)	Massa do Ensaio/Volume do Anel	1,638	1,621	1,576	1,617	1,661	1,533	1,65	1,619	1,651
Media			1,611			1,603			1,640	
Normal (kpa)	$\sigma = \gamma_{nat} \cdot H$	4,914	4,863	4,728	4,851	4,983	4,599	4,95	4,857	4,953
Media			4,833			4,809			4,92	
Resistencia ao Cisalhamento (kpa)	$\delta = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	37,791	37,762	37,685	32,882	32,949	32,753	15,229	15,17	15,231
Media			37,745			32,861			15,21	
H = 0,7 m		T1B2								
		ω 23%			ω 32%			ω Sat		
Massa Especifica (g)	Massa do Ensaio/Volume do Anel	1,657	1,659	1,675	1,628	1,631	1,703	1,622	1,689	1,733
Media			1,663			1,654			1,681	
Normal (kpa)	$\sigma = \gamma_{nat} \cdot H$	11,599	11,613	11,725	11,396	11,417	11,921	11,354	11,823	12,131
Media			11,641			11,578			11,767	
Resistencia ao Cisalhamento (kpa)	$\delta = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	77,389	77,399	77,481	41,442	41,454	41,735	15,029	15,344	15,551
Media			77,419			41,544			15,307	
H = 1,2 m		T1C								
		ω 22%			ω 30%			ω Sat		
Massa Especifica (g)	Massa do Ensaio/Volume do Anel	1,556	1,477	1,512	1,593	1,484	1,568	1,704	1,738	1,716
Media			1,515			1,548			1,719	
Normal (kpa)	$\sigma = \gamma_{nat} \cdot H$	18,672	17,724	18,144	19,116	17,808	18,816	20,448	20,856	20,592
Media			18,18			18,576			20,628	
Resistencia ao Cisalhamento (kpa)	$\delta = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	37,625	37,01	37,282	37,881	36,863	37,647	27,64	27,914	27,737
Media			37,306			37,461			27,761	

Com o cálculo das condições de campo foi possível montar dois gráficos traçando a envoltória de resistência ao cisalhamento, um gráfico com os pontos medidos em laboratório, definindo as tensões normais (50kPa, 100kPa e 200kPa) e outro com a normal calculada simulando as condições no campo. Este procedimento foi feito para todos os horizontes estudados, em cada umidade definida na curva (umidade em que há maior dessecação, quando a umidade começa a ficar estável mesmo aumento a sucção e quando o solo está saturado). Também foi montado um gráfico em que as três retas traçadas estão juntas para poder visualizar melhor o comportamento delas.

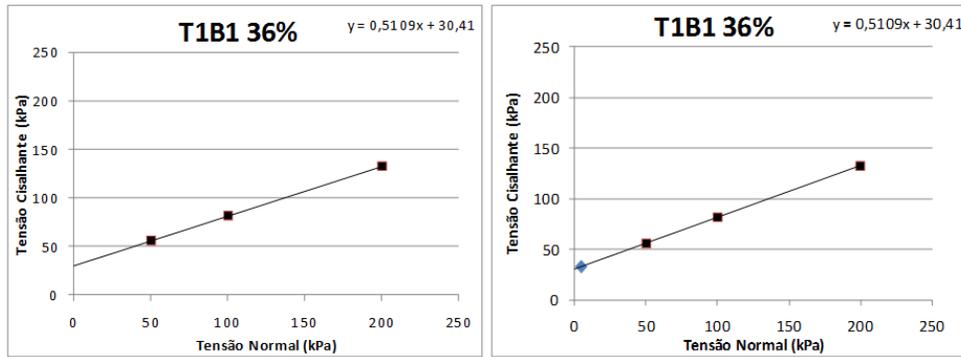
As figuras seguintes (35, 36 e 37) mostram os resultados de cada horizonte (B1, B2 e C) nas três umidades previamente definidas nas curvas de retenção e a figura 38 mostra as três curvas juntas.



Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)
50	58,04		
100	99,68	35	29,6
200	145,87		

Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)
50	58,04		
100	99,68	35	29,6
200	145,87		
4,833	37,745		

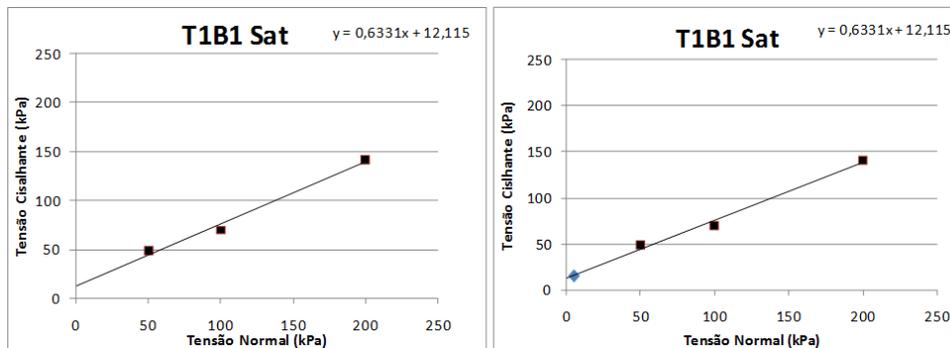
Figura 35: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B1 da Trincheira 01 com 29% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.



Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)
50	55,77		
100	81,77	30,4	27,1
200	132,49		

Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)
50	55,77		
100	81,77	30,4	27,1
200	132,49		
4,809	32,861		

Figura 36: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B1 da Trincheira 01 com 36% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.



Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)
50	47,95		
100	69,15	12,1	32,3
200	140,82		

Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)
50	47,95		
100	69,15	12,1	32,3
200	140,82		
4,92	15,21		

Figura 37: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B1 da Trincheira 01 com a Amostra Saturada e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

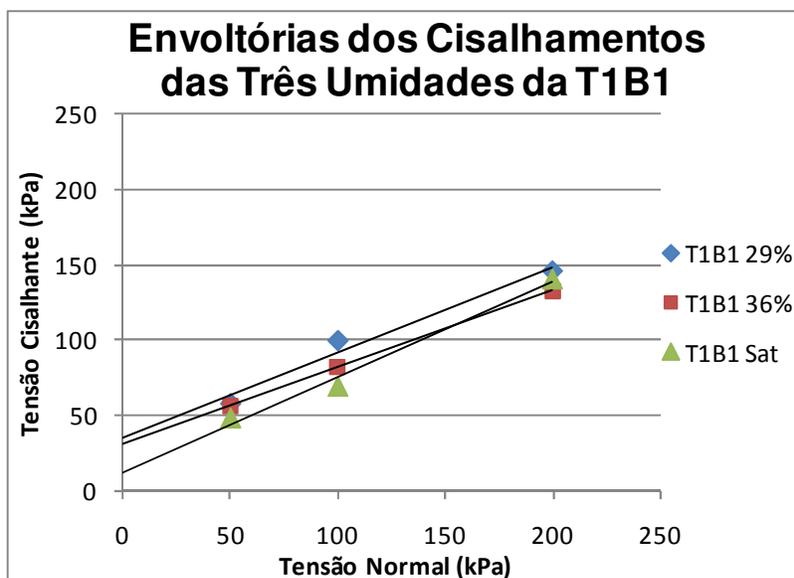


Figura 38: Gráfico das Envoltórias de Cisalhamento do Horizonte B1 da Trincheira 01 com as Três Diferentes Umidades, Conforme a Curva de Retenção.

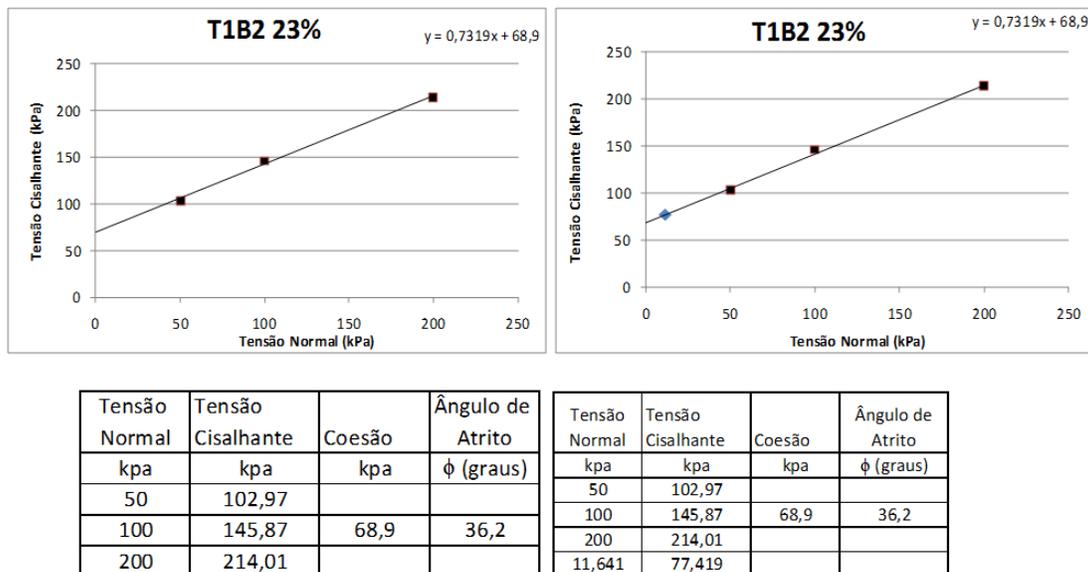
Para o valores de coesão do horizonte B1 da trincheira 01, temos 35 kPa para a umidade 29%, com pouca diminuição para a umidade de 36% com 30.5kPa. Quando o material estava saturado, houve uma diminuição considerada da coesão indo para 12.1 kPa, essa coesão é a coesão verdadeira do solo, e a diferença entre as coesões anteriores e a do corpo de prova saturado representa a coesão aparente do solo. No caso da coesão do horizonte B1 com 29% de umidade, a coesão aparente do solo nesta umidade seria 22.9 kPa (35-12.1).

A variação do ângulo de atrito interno não é grande, e ela pode estar relacionada com grãos de diferentes tamanhos que estavam no interior das amostras, geralmente quanto mais heterogêneo o solo maior seria o ângulo. Essa variação também pode estar relacionada com pequenas raízes nos horizontes mais superficiais.

A figura 38 mostra as envoltórias de resistência ao cisalhamento das três umidades para o horizonte B1 da primeira trincheira. As envoltórias têm um comportamento parecido, sendo que a envoltória da amostra saturada, embora apresente uma coesão menor, ela aumenta com o aumento da normal ficando

com um valor maior de resistência do que a envoltória de 36%, na tensão normal de 200kPa. Para situação de campo essa mudança no comportamento das envoltórias com tensão normal maior que 100kPa não vai ter muita importância, pois em campo a normal não passou de 25kPa para esta trincheira.

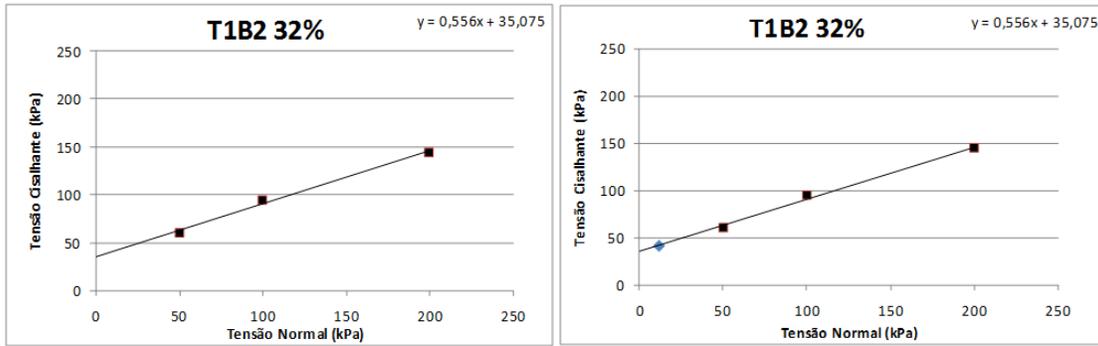
As figuras seguintes (39, 40 e 41) mostram os resultados para o horizonte B2. E a figura 42 os resultados das três envoltórias juntas.



Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)
50	102,97		
100	145,87	68,9	36,2
200	214,01		

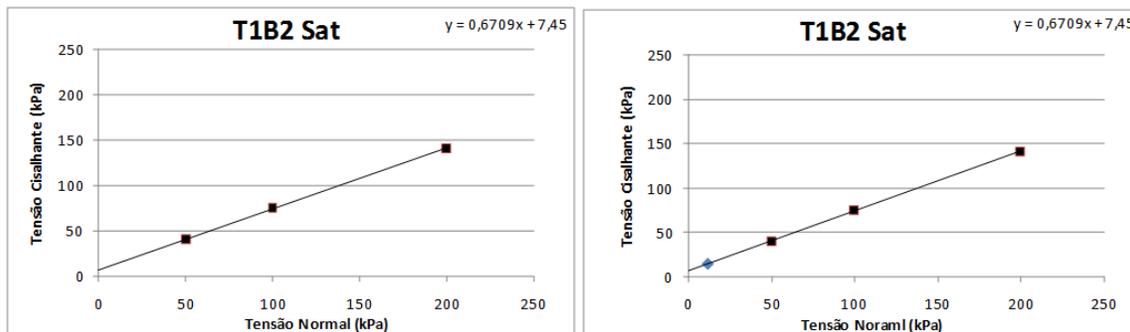
Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)
50	102,97		
100	145,87	68,9	36,2
200	214,01		
11,641	77,419		

Figura 39: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B2 da Trincheira 01 com 23% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.



Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	φ (graus)
50	60,06		
100	94,89	35,1	29,1
200	144,86		
11,578	41,544		

Figura 40: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B2 da Trincheira 01 com 32% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.



Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	φ (graus)
50	40,38		
100	75,46	7,4	33,9
200	141,32		
11,767	15,307		

Figura 41: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B2 da Trincheira 01 com a Amostra Saturada e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

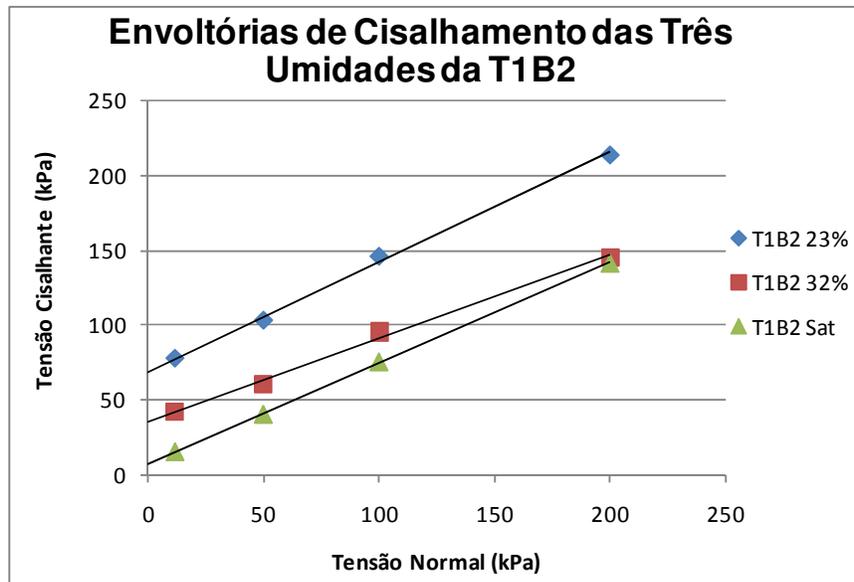


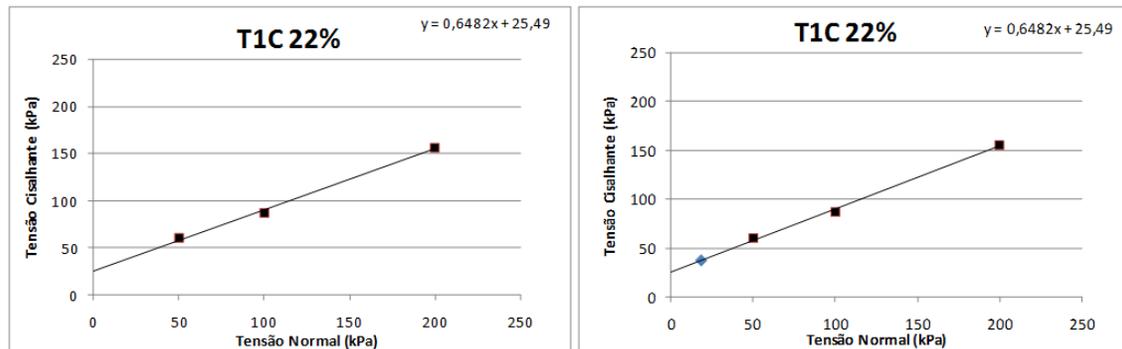
Figura 42: Gráfico das Envoltórias de Cisalhamento do Horizonte B2 da Trincheira 01 com as Três Diferentes Umidades, Conforme a Curva de Retenção.

O horizonte B2 apresentou valores maiores de coesão, sendo que na umidade de 23% a coesão foi de 68,9kPa, caindo para 35,1kPa na umidade de 32% e caindo ainda mais no estado saturado em que apresentou 7,4kPa. Neste caso a sucção pode estar influenciando, pois a umidade do ensaio foi de 23%.

Nos limites de plasticidade e liquidez os valores foram próximos aos outros horizontes deste perfil, na granulometria é o horizonte que têm maior quantidade de silte e argila, mas com pouca diferença em relação aos outros. A densidade de partículas (2,504) é semelhante a dos demais (2.478 - B1 e 2.480 - C1) e a densidade de solo tem um pequeno aumento sendo de 1.23 e o B1 - 1.05 e o C1 - 1.15. Tanto este horizonte quanto o C1 apresentam 100% de floculação da argila enquanto que o B1 têm 22% da argila floculada. Assim como a porosidade também apresenta valores próximos em todos os horizontes, tendo o este (B2) em torno de 50%, sendo que a micro porosidade nele é um pouco maior que nos outros, mas a diferença não é suficiente para influenciar no aumento da coesão. Os valores de ângulo de atrito interno variaram pouco como nos outros ensaios.

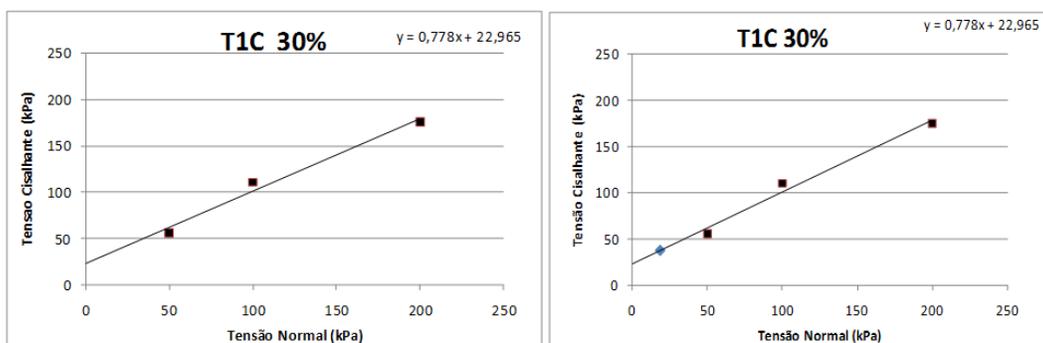
Na figura 42 pode-se observar o afastamento a envoltória da umidade de 23% em relação às outras. As envoltórias da umidade de 32% e a saturada começam com um afastamento considerável, mas à medida que a força normal aumenta, elas vão se aproximando, chegando a valores muito próximos na normal de 200KPa, o que também não interfere muito na situação de campo, pois a força normal de campo neste horizonte não passa de 25KPa.

Para o horizonte C têm-se as figuras 43, 44, 45 para os gráficos da envoltórias e a figura 46 para o gráfico das envoltórias juntas.



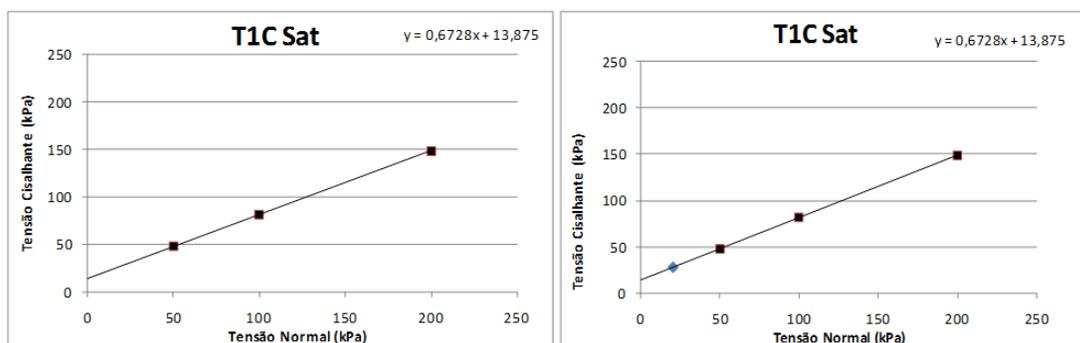
Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito	Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)	kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)
50	60,06			50	60,06		
100	87,07	25,5	33	100	87,07	25,5	33
200	156,21			200	156,21		
				18,18	37,306		

Figura 43: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte C1 da Trincheira 01 com 22% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.



Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	φ (graus)
50	55,52		
100	110,28	23	37,9
200	175,39		
18,576	37,461		

Figura 44: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte C1 da Trincheira 01 com 30% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e outro com Valor de Campo Incluído.



Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	φ (graus)
50	47,44		
100	81,26	13,9	33,9
200	148,39		
20,628	27,761		

Figura 45: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte C1 da Trincheira 01 com a Amostra Saturada e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

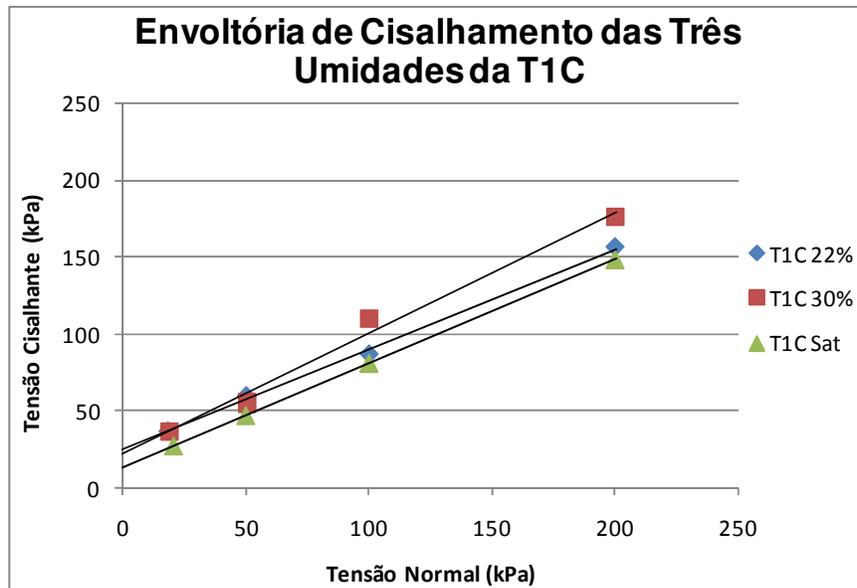


Figura 46: Gráfico das Envoltórias de Cisalhamento do Horizonte C1 da Trincheira 01 com as Três Diferentes Umidades Conforme a Curva de Retenção.

O horizonte T1C é o que apresenta granulometria mais grosseira, o que dificultou um pouco a moldagem dos anéis, pois existiam fragmentos de rochas relativamente grandes na amostra. Este foi o horizonte com menores valores de coesão e maiores de ângulo de atrito interno (menos em relação ao horizonte B2 com 23% de umidade que foi o que apresentou o valor muito grande de coesão e de ângulo de atrito interno). Os valores de coesão entre as umidades de 22% e 30% , varia muito pouco, ele diminui mais significativamente com a amostra saturada.

De todos os três horizontes estudados neste perfil o que apresentou a menor coesão verdadeira foi o B2 (7,4kPa). O maior valor para a coesão verdadeira ficou com o horizonte C (13,9kPa).

10.2 - Análise do Perfil 02

Assim como na trincheira 01, a trincheira 02 também teve as envoltórias traçadas e os valores de campo calculados. A tabela 26 mostra os valores dos

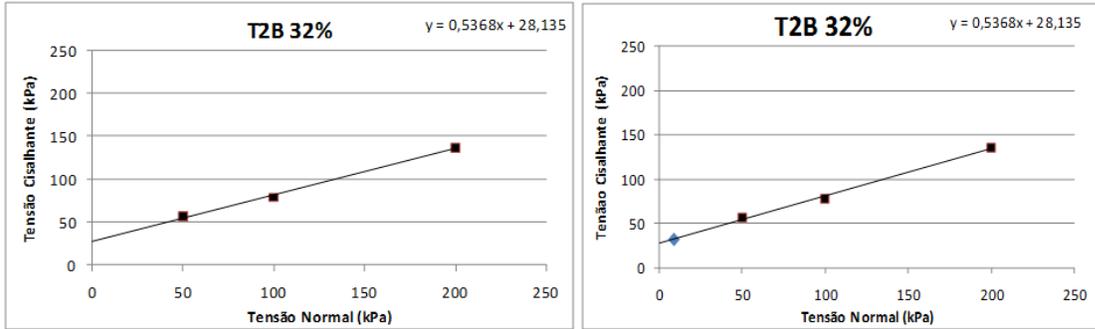
parâmetros (coesão e ângulo de atrito interno) nas três umidades para os dois horizontes estudados (B e C2). A tabela 27 mostra os cálculos para os valores de campo (a profundidade do horizonte B foi de 50cm e do horizonte C foi de 150cm), e as figuras 47, 48, 49, 50, 51 e 52 mostram os resultados das envoltórias, sendo que os gráficos da direita mostram em destaque azul os pontos calculados simulando a situação no campo.

Tabela 26: Coesão e Ângulo de Atrito Interno dos Horizontes B e C em Umidades Determinadas pela Curva de Retenção da Trincheira 02.

Amostras	Coesão (kpa)			Ângulo de Atrito Interno (ϕ)		
	32%	38%	Saturado	32%	38%	Saturado
T2B	28,1	18	17,7	28,2	29	27,6
	36%	40%	Saturado	36%	40%	Saturado
T2C	37	24,9	19,1	28,1	26,5	28,5

Tabela 27: Cálculo da Normal e da Resistência ao Cisalhamento das Condições de Campo para Cada uma das Umidades Estudadas da Trincheira 02.

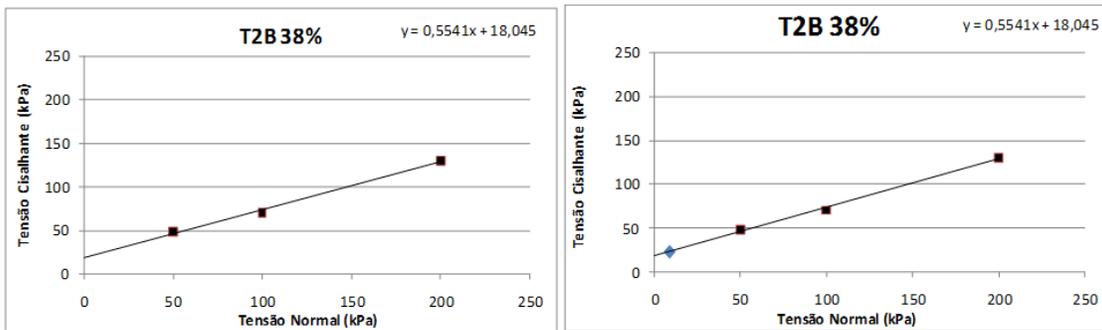
H = 0,5 m		T2B								
		ω 32%			ω 38%			ω Sat		
Massa Especifica (g)	Massa do Ensaio/Volume do Anel	1,744	1,665	1,774	1,842	1,784	1,845	1,747	1,830	1,822
Media			1,728			1,825			1,800	
Normal (kpa)	$\sigma = \gamma_{nat} \cdot H$	8,72	8,325	8,87	9,21	8,92	9,225	8,735	9,15	9,11
Media			8,64			9,125			9	
Resistencia ao Cisalhamento (kpa)	$\delta = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	32,775	32,564	32,856	23,105	22,944	23,113	22,266	22,483	22,462
Media			32,733			23,058			22,405	
H = 1,5 m		T2C								
		ω 36%			ω 40%			ω Sat		
Massa Especifica (g)	Massa do Ensaio/Volume do Anel	1,694	1,731	1,695	1,744	1,666	1,774	1,792	1,725	1,906
Media			1,706			1,728			1,807	
Normal (kpa)	$\sigma = \gamma_{nat} \cdot H$	25,41	25,965	25,425	26,16	24,99	26,61	26,88	25,875	28,59
Media			25,59			25,92			27,105	
Resistencia ao Cisalhamento (kpa)	$\delta = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$	50,56	50,86	50,57	37,943	37,36	38,167	33,694	33,149	34,623
Media			50,66			37,823			33,817	



Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)
50	57,03		
100	78,74	28,1	28,2
200	136,53		

Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)
50	57,03		
100	78,74	28,1	28,2
200	136,53		
8,64	32,733		

Figura 47: Gráfico da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B da Trincheira 02 com 32% de Umidade e Tabela com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.



Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)
50	47,95		
100	70,16	18	29
200	129,97		

Tensão Normal	Tensão Cisalhante	Coesão	Ângulo de Atrito
kpa	kpa	kpa	ϕ (graus)
50	47,95		
100	70,16	18	29
200	129,97		
8,92	23,06		

Figura 48: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B da Trincheira 02 com 38% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento

com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

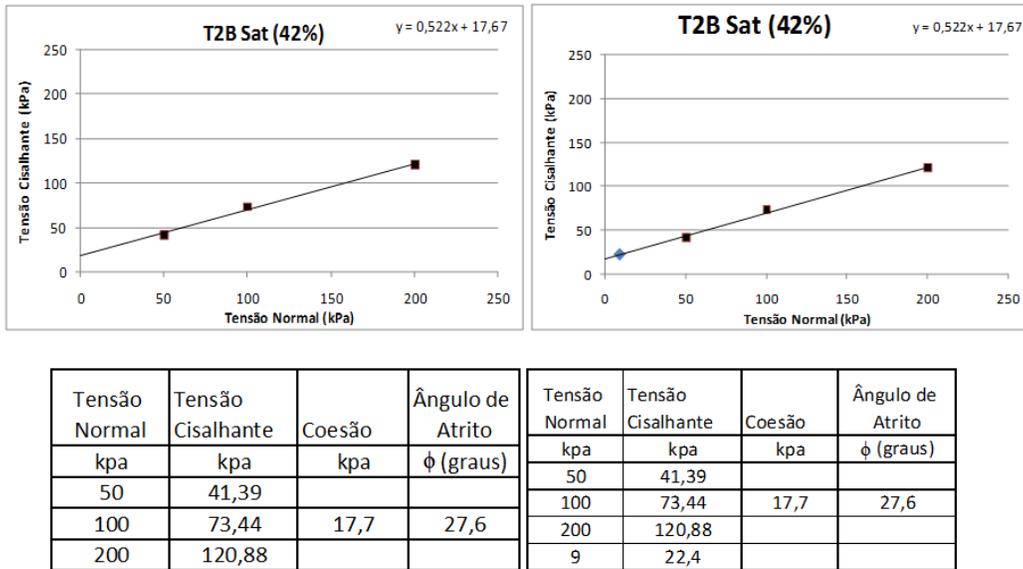


Figura 49: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte B da Trincheira 02 com a Amostra Saturada e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

Foram realizados três ensaios para cada umidade, de acordo com o comportamento de cada horizonte apresentado nas curvas de retenção de água. O horizonte B da trincheira 02 perde muito da coesão quando passa da umidade de 32% (28,1kPa) para 38% (18kPa), no entanto, se comparar-se a perda de coesão da umidade de 38% (18kPa) até a saturação (17,7kPa) percebe-se que é muito pequena. A diferença entre os ângulos de atrito interno não muda muito; ele varia de acordo com a granulometria e a estrutura. Como o solo do perfil 02 é mais argiloso a tendência do ângulo de atrito interno é de ser menor do que se comparado com solo mais grosseiro.

O material moldado era bem compacto, indicando grande quantidade de argila que foi observado na granulometria, era também um material que tinha uma umidade de campo relativamente alta, indicativa de material granular menor

que têm maior capacidade de retenção da água. O material coletado estava no meio do horizonte (profundidade medida anteriormente na ida a campo e separação dos horizontes em cada perfil), a intenção era coletar material representativo deste horizonte para entender seu comportamento em relação ao horizonte C. A profundidade de retirada das amostras foi de 0.5m. A figura 50 a seguir mostra a envoltória de cisalhamento para as três diferentes umidades em um único gráfico para poder visualizar este comportamento do horizontes juntos.

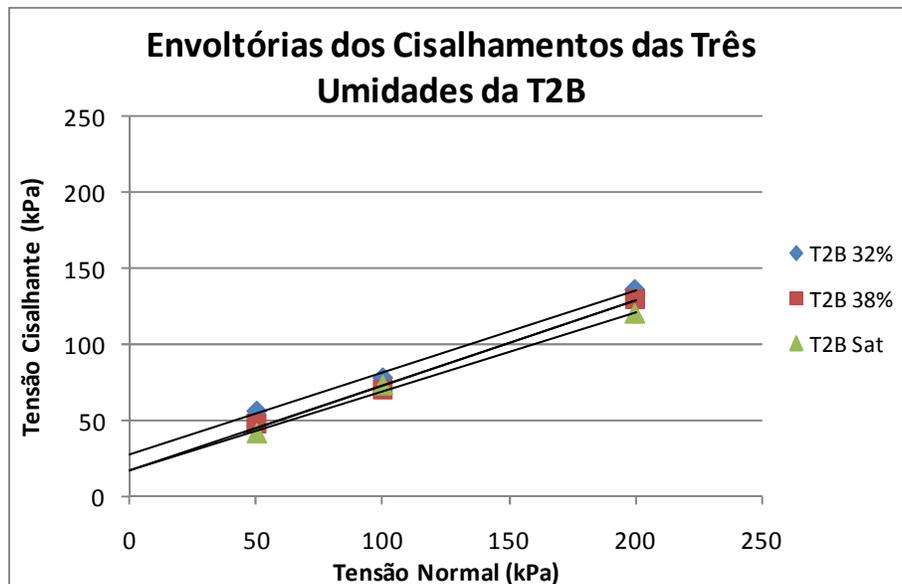


Figura 50: Gráfico das Envoltórias de Cisalhamento do Horizonte B da Trincheira 02 com as Três Diferentes Umidades Conforme a Curva de Retenção.

O comportamento das três envoltórias é muito próximo. Apenas a envoltória da umidade de 32% se distancia um pouco das outras duas. Percebe-se que quando a umidade está maior que 38%, o comportamento do solo, em relação a sua resistência em cisalhar, é muito parecido. Este horizonte atinge seu limite de plasticidade com 35,1 % de umidade, logo ele está no estado plástico com a umidade de 38%.

O horizonte C desta trincheira apresenta maiores valores de coesão para as umidades representativas na curva de retenção (umidade em que embora a sucção aumente ela permanece quase sem alteração, a umidade em que a mostra sofre grande dessecação e a que ela está saturada). A figuras 51, 52 e 53 mostram esses resultados. E a figura 54 mostra o gráfico com as envoltórias das três umidades juntas.

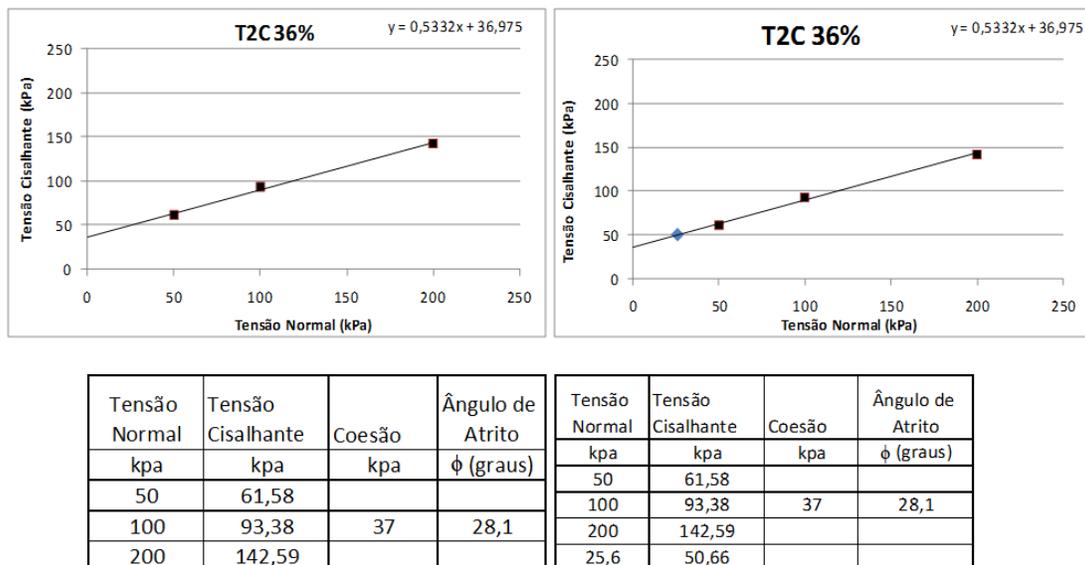


Figura 51: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte C da Trincheira 02 com 36% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento

com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

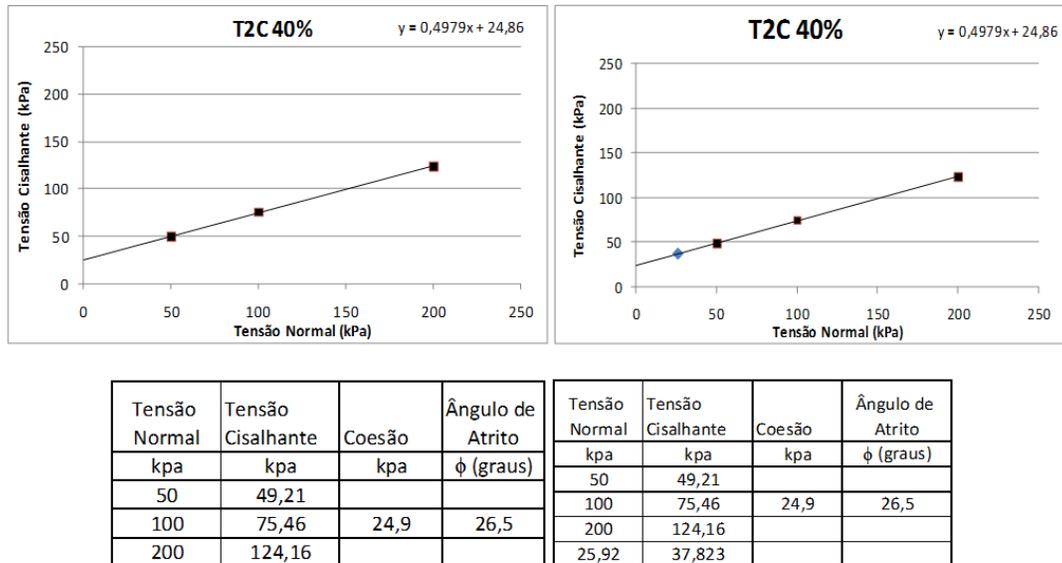


Figura 52: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte C da Trincheira 02 com 40% de Umidade e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

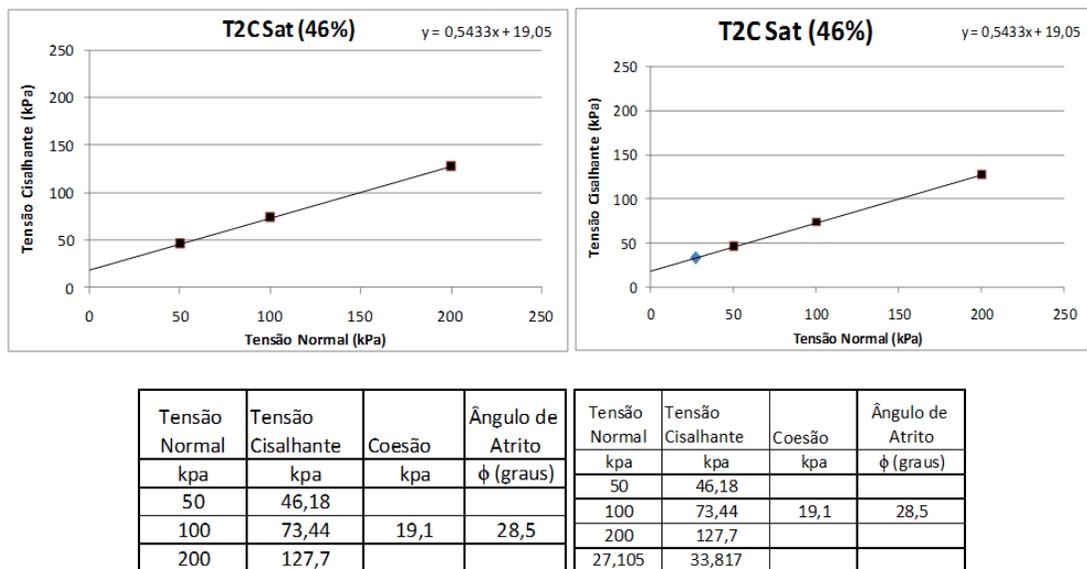


Figura 53: Gráficos da Envoltória de Cisalhamento do Horizonte C da Trincheira 02 com a Amostra Saturada e Tabelas com Valores dos Pontos da Envoltória de Cisalhamento

com os Valores dos Parâmetros: Coesão e Ângulo de Atrito Interno. Um Gráfico com Valores de Laboratório e Outro com Valor de Campo Incluído.

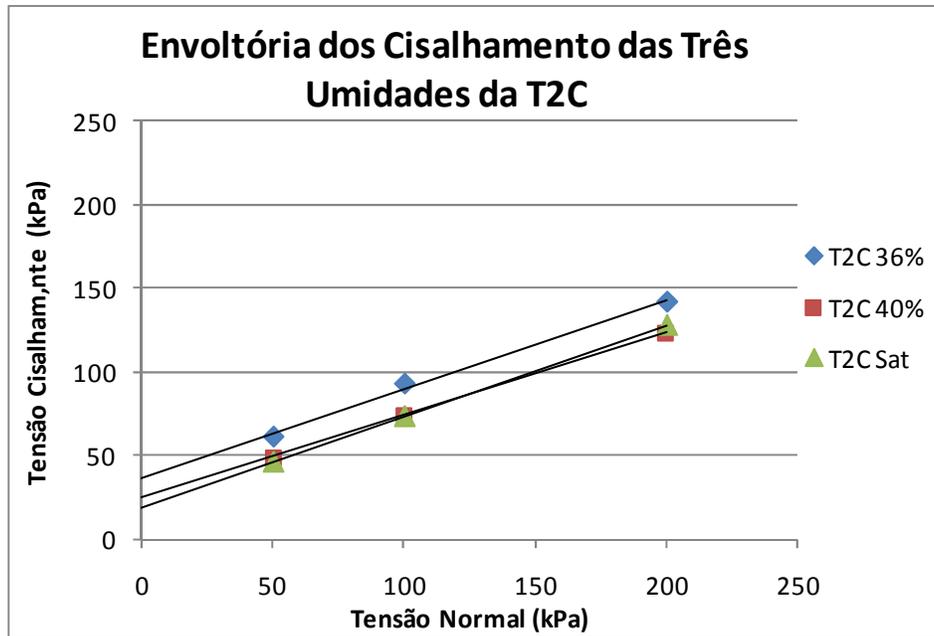


Figura 54: Gráfico das Envoltórias de Cisalhamento do Horizonte C da Trincheira 02 com as Três Diferentes Umidades Conforme a Curva de Retenção.

Foram realizados três ensaios para cada umidade, de acordo com o comportamento de cada horizonte na curva de retenção. O horizonte C da trincheira 02 perde muito da coesão quando passa da umidade de 36% (37kPa) para 40% (24,9kPa), mas, a perda de coesão da umidade de 40% (24,9kPa) até a saturação (19,1kPa) nota-se que é menor. Os ângulos de atrito interno não sofreram grandes mudanças. Este horizonte têm seu limite de plasticidade com 40,1% de umidade, então, na envoltória de 40% de umidade ele está praticamente no limite entre o estado plástico e semi-sólido.

Assim como no horizonte anterior o material constituinte deste horizonte era muito compacto, foi o que resultou em maior quantidade de argila nos ensaios de granulometria e a maior umidade de campo.

O material coletado também estava no meio do horizonte (profundidade medida anteriormente na ida a campo e separação dos horizontes em cada

perfil), para verificar possíveis diferenças no comportamento entre um horizonte e outro.

Para todos os horizontes analisados, tanto da trincheira 01 quanto da trincheira 02, têm-se que os valores de ângulo de atrito interno ficaram entre $36,2^\circ$ e $26,5^\circ$, sendo que a variação dentro dos horizontes não foi muito grande. O valor mais alto não se diferencia muito do encontrado por Abramento e Pinto (1993) de 38° nos ensaios de cisalhamento realizados na Serra do Mar em vertente próxima a Rodovia dos Imigrantes, entre os municípios de São Paulo e Santos. Assim como os valores encontrados por Aguiar (2005) no município de Itaguaí também na Serra do Mar, que foram de 31° e $29,1^\circ$.

Nenhum dos resultados encontrados teve a envoltória de cisalhamento das amostras saturadas muito distanciada das outras com umidades menores. O horizonte que teve a envoltória da amostra saturada mais afastada foi o T1B2, mas esta diferença não foi tão grande quando comparado com os resultados de Soares (2005) que fez ensaios em uma vertente na Floresta da Tijuca no Rio, em que esses resultados mostraram um grande distanciamento da envoltória da amostra saturada, que teve o intercepto coesivo próximo a 10kPa, enquanto que na sucção de 25kPa na curva de retenção (valor aproximado de 33% de umidade) esse intercepto vai para 140kPa.

De todos os horizontes analisados os únicos que estavam no limite de plasticidade quando realizado o ensaio de cisalhamento foram T1B1 com 36% (o limite de plasticidade para ele é de 36,2%), o T2B com 38% (o limite de plasticidade para ele é de 35,1%) e o T2C2 com 40% (sendo o limite de plasticidade 40,1%).

10.3 - Resistência com Valores de Umidade

Para melhor observar os resultados dos ensaios de resistência ao cisalhamento nas respectivas umidades em que estavam submetidos, foram

montados gráficos comparando esses valores que podem ser visualizados nas figuras 55 e 56.

Nos gráficos (figuras 55 e 56) pode-se observar que em relação à resistência ao cisalhamento de todos os horizontes o que apresentou maiores valores foi o T1B2, os valores dos outros horizontes ficaram muito próximos não tendo uma diferença significativa entre eles, mesmo nas amostras saturadas.

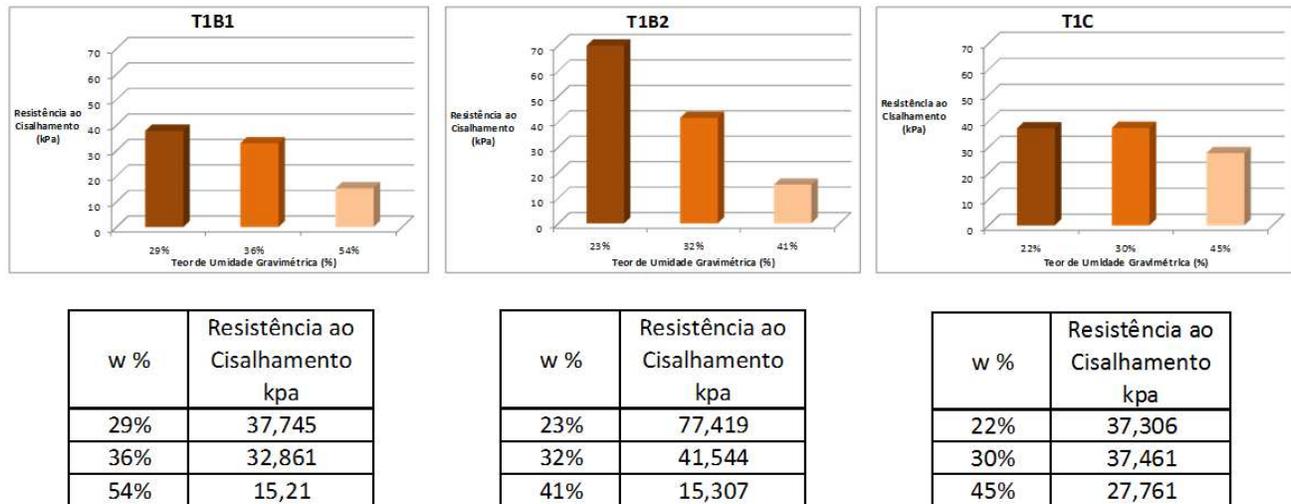


Figura 55: Gráficos com Valores da Resistência ao Cisalhamento com as Umidades (%) Retiradas das Curvas de Retenção e tabelas com os Respectiveos valores da T1.

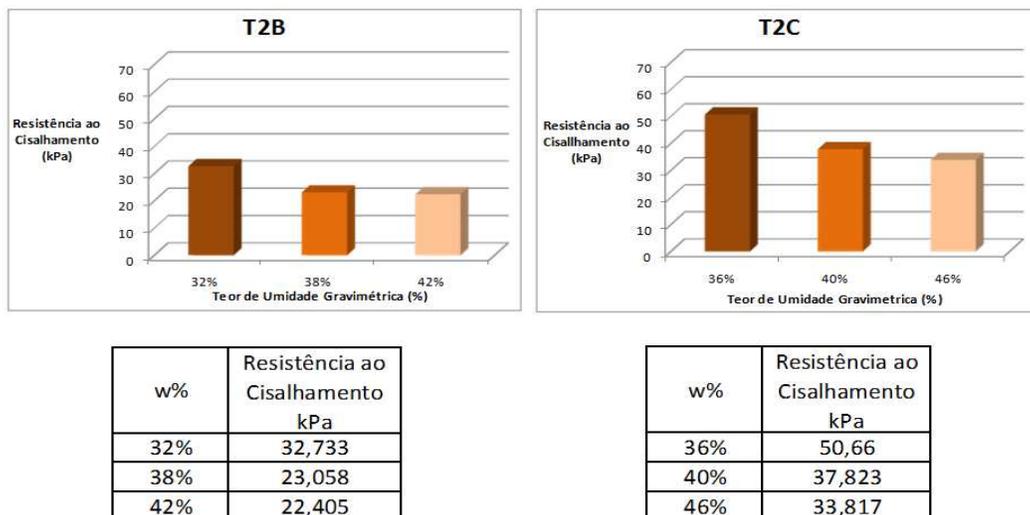


Figura 56: Gráficos com Valores da Resistência ao Cisalhamento com as Umidades (%) Retiradas das Curvas de Retenção e tabelas com os Respectiveos valores da T2.

Ao observar os gráficos das figuras 55 e 56, nota-se que a maior diferença está no horizonte T1B2, em que a diferença entre a resistência do solo saturado ($w = 41\%$) para a umidade de 23% é de $62,112\text{KPa}$. Outra importante observação foi feita em relação à resistência dos solos saturados, em que o T1C teve um valor muito alto comparado aos outros horizontes desta trincheira.

Na segunda trincheira os solos apresentaram valores maiores de resistência para o horizonte C2, assim como maiores valores das umidades. Embora esta tenha sido a trincheira mais homogênea em relação aos constituintes, percebe-se também algumas diferenças como nos valores finais mostrando que o horizonte C2 apresenta uma resistência maior mesmo em umidades maiores.

11 - Síntese

Para este estudo foi selecionada uma vertente de elevada declividade na Serra do Mar no município de Ubatuba - SP. Nesta vertente foi realizada uma série de tradagens para posterior seleção do posicionamento de trincheiras. A partir deste levantamento inicial, foram realizadas três trincheiras para estudo de detalhe. Dessas três, apenas uma não teve os ensaios de resistência ao cisalhamento realizados, a trincheira 03, localizada próxima a base da encosta. Esta não teve este ensaio porque foi considerada fora da área de propensão aos movimentos de massa (que estariam entre a média e alta vertente). A declividade nesta encosta é bem acentuada, sendo que ela aumenta com a proximidade do topo.

As características dos horizontes dos solos são importantes condicionantes nos processos de ruptura. Nos solos estudados, o horizonte A apresenta grande quantidade de material orgânico, porosidade associada a raízes, e uma camada de serrapilheira de 3cm recobrimdo a superfície. A classificação textural destes horizontes foi de franco-argilo-arenosa.

Os solos tiveram classificações diferentes em relação à granulometria, que variou de argilosa para o perfil 02, chegando a 56,8% de argila no horizonte C2, à franco – arenosa (69,6% de areia) para o horizonte C2 do perfil 01.

A granulometria dos solos estudados está de acordo com os limites encontrados para cada horizonte. Sendo que os limites com maior necessidade de água são encontrados nos horizontes com maior quantidade de argila. O horizonte com maior valor de umidade para atingir o limite de plasticidade foi o T2C1, que também apresentou uma grande quantidade de argila na granulometria. Com os resultados dos limites e obtenção do índice de plasticidade obteve-se a atividade das argilas, sendo que todas deram o resultado de inativas.

As análises químicas mostraram que os solos estudados ao longo da encosta são álicos, indicando o alto grau de intemperismo da área.

A mineralogia das argilas apresentou resultados já encontrados em área próxima, mas não apresentou interferência em relação ao rompimento no contato entre os horizontes (B e C), pois foram analisadas qualitativamente e quantitativamente, talvez em uma análise de distribuição, a mineralogia teria alguma influência.

Na realização das curvas de retenção foram obtidos os valores de porosidade dos solos, sendo que para todos foram encontrados valores totais próximos a 50%, sendo a variação entre macro e microporosidade. O horizonte que apresentou a maior quantidade de microporos em relação à macroporos foi o T2C2, que foi o que teve maior concentração de argila na granulometria. E o único horizonte que teve a quantidade de macroporos em relação à de micros foi o T1C2, que é o horizonte que deu resultado de não plástico nos testes de limites.

Nas análises das curvas de retenção, ou seja, a energia necessária para retirar a água existente nos poros, pôde-se entender o comportamento da água nos diferentes horizontes estudados. A partir deste comportamento é que foram confeccionados os testes de resistência ao cisalhamento.

Para os testes de resistência os horizontes superficiais (A) não foram considerados, pois ruptura do material se dá nos horizontes mais profundos.

Os resultados, de ângulo de atrito interno, encontrados nos ensaios de resistência ao cisalhamento podem ter tido interferência nos horizontes que tiveram o grau de flocculação de 100% na análise granulométrica, pois, neste estado as argilas podem ser comportar como areia, que é o material que interfere neste parâmetro. Para os resultados de coesão, o horizonte que teve maior discrepância foi o T1B2 (70 kpa), mas esse resultado está de acordo com a umidade em que o ensaio foi realizado e a variação granulométrica que o horizonte apresentou no perfil, grande quantidade de argila, e foi feito em uma umidade baixa.

12 – Considerações Finais

Ao longo da vertente o solo predominante, é o Argissolo Vermelho Amarelo álico, com uma variação no perfil 1 em relação ao resto da vertente, mas constituindo ainda Argissolo. Apenas no final da vertente aparece um Neossolo Regolítico associado aos materiais coluviais da base da vertente.

A profundidade destes solos é um dos pontos cruciais para futuros estudos sobre movimentos de massa gravitacionais. Os solos encontrados na área apresentaram relativa profundidade, chegando a 2,27cm (espessura de campo), mas são encontrados mais profundos na região, e em outras áreas da Serra do Mar.

Dos horizontes estudados em detalhe (B e C do perfil 02 e B1, B2 e C do perfil 01), os maiores valores de ângulo de atrito interno são para os horizontes do perfil 01, e de coesão também, com exceção do T1C que apresentou valores um pouco menores, esses valores indicam o que o perfil 02 seja mais suscetível a sofrer rupturas (o perfil 02 é o que se encontra localizado no meio da encosta).

Entre os horizontes B e C, nos dois perfis, observou-se que a coesão no estado saturado (verdadeira) diminui e o ângulo de atrito interno não sofre muita alteração, este comportamento dos horizontes em relação à resistência ao cisalhamento indica que o contato mais propício ao rompimento está entre esses horizontes. Em campo foram observadas cicatrizes em que o horizonte mais próximo da rocha (C) permaneceu no local, indicando que a ruptura possa realmente ser neste local.

As análises de retenção da água nos solos, indicaram um comportamento de acordo com os resultados de granulometria, em que o perfil 02 tem maior concentração de argila no horizonte C, e foi este que teve maior retenção de água. O horizonte B foi o que menos reteve água. No perfil 01 a distância entre a curva do horizonte B e C é bem significativa, sendo que neste perfil o horizonte que mais reteve água foi o B, e o que teve maior perda em relação à sucção foi o C. Esse comportamento de distanciamento entre as curvas de retenção da

água indicam que esses horizontes que estão em contato são os que têm o comportamento que mais se distância, indicando uma área mais frágil e susceptível à ruptura. Os solos no estado saturado apresentam maior resistência ao cisalhamento no horizonte C do que no horizonte B, em ambos os perfis. Essa observação assim como as outras acima citadas nos levam a entender que o contato entre esses horizontes (B e C) é um ponto susceptível a ruptura.

Referências Bibliográficas

Abramento, M. Pinto, C. S. Resistência ao Cisalhamento de Solo Coluvionar não Saturado das Encostas da Serra do Mar. Revista Solos e Rochas, São Paulo, 16, (3): 145-158, Outubro, 1993.

Ab'Saber, A.N. e Bernardes, N. O vale do Paraíba, A Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. 18 Cong. Inter. Geograf. Rio de Janeiro, C.B.G. IBGE, guia excursão n 4. 1958. In CRUZ, O. A Serra do Mar e o Litoral na Área de Caraguatatuba – SP. Trabalho de Doutorado, F>F.C.L.H. – USP, 1974.

Aguiar, M.F.P. Silva Filho, F.C. Almeida, M.S.S. Análise da Estabilidade de Encosta na Serra do Mar pelo Metodo de Equilíbrio-Limite Considerando Dados de Instrumentação de Campo. IV COBRAE - Conferencia Brasileira de Estabilidade de Encostas, Salvador - BA, 2005.

Albuquerque, J.A. Reinert, D.J. Fiorin, J.E. Ruedell, J. Petrere, C. & Fontinelli, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. R. bras. Ci. Solo. Campinas 19(1): 115-119, 1995.

Almeida, F.F.M. Os Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista, 1964. In CRUZ, O. A Serra do Mar e o Litoral na Área de Caraguatatuba – SP. Trabalho de Doutorado, F>F.C.L.H. – USP, 1974.

Almeida, F.F.M. Carneiro, C. Dal Ré. Origem e Evolução da Serra do Mar. Revista Brasileira de Geociências, 28, nº2:135-150, 1998.

Augusto Filho, O. Wolle, C. M. Cartas de Risco de Escorregamentos: Uma Proposta Metodológica e sua Aplicação no Município de Ilhabela, SP. Solos e Rochas. V. 19, nº1.p.45-62, 1996.

Bertrand, G. Paisysage et géographie physique globale. Esquise methodologique, Ver. Geogra. Dês Pyrenees et du Sud0Oest, Toulouse, 39 (3): 249-272. 1968. In Cruz, O. A Serra do Mar e o litoral de Caraguatatuba. Trabalho de Doutorado. IG- Teses e Monografias. FFLCH – SP. São Paulo, 1974.

Boulet, R. Analise Estrutural da Cobertura Pedológica e a Experimentação Agrônômica In Moniz, A. C. et al A Responsabilidade Social da Ciência do Solo. XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988.

Boulet, R. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e Cartografia. In Moniz, A.C. et al. A Responsabilidade Social da Ciência do Solo. XXI Congresso Brasileiro de Ciências do Solo. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo,1988.

Brandão, V.S. Cecílio, R.A. Pruski, F. F., Silva, D.D. Infiltração da Água no Solo, 3 Edição Atual. e Ampl. Ed. UFV, Viçosa, 2006.

Campos, I.C.O. Guimarães, E.M. Carvalho, J.C. Busca de Entendimento da Curva Característica de Materiais Expansivos. CBGE, 12 □ Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, porto de Galinhas - PE, 2005.

Coelho Neto, A.L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In Guerra, A.J.T. Cunha, S.B. Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos. Rio de Janeiro.Ed Bertrand do Brasil 3ª Edição, 1998.

Cruz, O. A Serra do Mar e o litoral de Caraguatatuba. Trabalho de Doutorado. IG- Teses e Monografias. FFLCH – SP. São Paulo, 1974.

Domingues, A.J.P. Evolução das vertentes. In curso de férias para professores, Rio de Janeiro. C.N.G.. IBGE, 30-47, 1964. In Cruz, O. A Serra do Mar e o litoral de Caraguatatuba. Trabalho de Doutorado. IG- Teses e Monografias. FFLCH – SP. São Paulo, 1974.

Embrapa. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª Edição. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2006.

Espíndola. C. R. Retrospectiva Crítica Sobre a Pedologia: Um Repasse Bibliográfico. Campinas. Editora da Unicamp, 2008.

Fernandes, N. F. Amaral, C. P. Movimentos de Massa: Uma abordagem Geológico-Geomorfológica. In: Geomorfologia e Meio Ambiente. Guerra, A J. T., Cunha, S. B. Bertrand Brasil, 1996.

Fernandes, N.F Guimaraes, R.F. Gomes, R.A.T. Vieira, B. C. Montgomery, D.R. e Greenberg, H. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 2, Nº 1, 51-71, 2001.

Freitas, C.G.L. Braga, T.O. Bitar, O. Y. Farah, F. Habitação e Meio Ambiente – Abordagem Integrada em Empreendimentos de Interesse Social. HABITARE (Programa de Tecnologia de Habitação). IPT, São Paulo. 2001.

Gomes, R. A. T Guimarães, R. F. Carvalho Junior, O. A. Fernandes, N. F. Análise de um Modelo de Previsão de Deslizamentos (Shalstab) em Diferentes

Escalas Cartográficas. Solos e Rochas, São Paulo, 28, (1): 85 - 97, Janeiro - Abril, 2005.

IPT. Curso de Capacitação de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Riscos, 2007.

Jorge, M.C.O. Zoneamento ambiental do Município de Ubatuba – SP. Dissertação de mestrado em geografia. UNESP, Rio Claro, 2004.

Lepsch, I.F. Formação e Conservação dos Solos. Oficina de Textos, São Paulo, 2002.

Libardi, P.L. Dinâmica da Água no Solo. Ed. EDUSP, São Paulo, 2005.

Lopes, E.S.S, Riedel, P.S, Bentz, C.M, Ferreira, M.V. Naletto, J.L.C. Inventário de Escorregamentos Naturais em Banco de Dados Geográficos – Análise dos fatores Condicionantes na Região de serra de Cubatão – SP. Anais do XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. P2785-2769, 2007.

Luiz, E.L. Influencia da Dinâmica Hidrológica e das Características das Formações Superficiais nos Mecanismos de Ruptura das Encostas com Rochas Granitóides de Áreas Subtropicais – São Pedro de Alcântara/SC. Tese Doutorado/UFRJ/IGEO/PPGG, 2003.

Marui, H. Tiwari, B. New Approach for the estimation of the residual friction angle based on the mineralogical composition and index properties. In Lacerda, W.A. Ehrlich, M. Fontoura, S.A.B. & Sayão, A.S.F. Landslides: Evaluation & Stabilization. Proceedings of the ninth International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro. Taylor & Francis Group, London, 2004.

Menezes, S. M. Ribeiro, K. D. Sampaio, F. M. T. Almeida, A.C. Comportamento da Distribuição de Vazios de um Solo Perante os Resultados de sua Permeabilidade. 12º Congresso Brasileiro de Engenharia de Geologia e Ambiental , Porto de Galinhas, 2008.

Ministério das Cidades (<http://www.cidades.gov.br/>), 2008.

Negreiros, A. B., Chirol, A.A., Coelho Neto, A.L. Interações Biota-Solo-Agua em Cicatriz de Deslizamento e Entorno Florestado: Maciço da Tijuca,RJ. Simpósio Nacional de Geomorfologia, SINAGEO. Belo Horizonte. 2008.

Passarella, S.M. Machado, F.B. Riedel, P.S. Lopes, E.S.S. Ferreira, M.V. Moreira, M.R. Azzi, A.A. Análise da Relação entre Escorregamento e Formas de Vertentes no Município de Cubatão (SP) e seus Arredores. Revista Geociências, UNESP, São Paulo, v.27, n.1, p.7-20, 2008.

Penha, H.M. Processos Endógenos na Formação do Relevo. In Guerra, A.J.T, Cunha, S.B. Geomorfologia:Uma Atualização de Bases e Conceitos. 3ª Edição, Ed Bertrand Brasil, 1998.

Pinto, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos: em 16 Aulas. 3a Edição Oficina de Textos. São Paulo, 2006.

Popp, J.H. Geologia Geral. 5ª Edição. Ed LTC, 1998.

Porter T.P., Pwens P.R, Lee B.D. e Marshall D. Soil and Landform Characteristics Related to Landslide Activit – A Review. Soil Surv. Horiz. 49:22-26. 2008.

Prado, H. Solos do Brasil: Gênese, Morfologia, Classificação e Levantamento. Piracicaba - SP, 2001.

Queiroz Neto, J.P.z Análise Estrutural da Cobertura Pedológica no Brasil. In Moniz, A.C. et al. A Responsabilidade Social da Ciência do Solo. XXI Congresso Brasileiro de Ciências do Solo. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo,1988.

Queiroz Neto, J.P Relações entre as Vertentes e os Solos. Simpósio Nacional de Geomorfologia, SINAGEO. Belo Horizonte. 2008.

Reichardt, K. A Água na Produção Agrícola. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, Piracicaba, 1978.

Reichardt, K. Timm, L.C. Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, Processos e Aplicações. 1 Edição. Editora Manole, Barueri-Sp, 2004.

Rossi, M., Queiroz Neto, J.P. Ensaio Morfopedológico em Escarpa Tropical Úmida: Serra do Mar – SP. Revista Sociedade e Natureza. I Simpósio Nacional de Geomorfologia. Vol. 8, nº15, 1996.

Ruellan, A. Dosso, M. Regards Sur Le Sol. Universités Francophones, URE. Foucher, 1993.

Santanna Neto, J.L. Ritmo Climático e a Gênese das Chuvas na Zona Costeira Paulista. Dissertação de Mestrado. Geografia FFLCH. USP. SP, 1990.

Santos, A. R. A Grande Barreira da Serra do Mar – Da Trilha dos Tupiniquins a Rodovia dos Imigrantes. Editora, O Nome da Rosa, São Paulo. 2004.

Santos, R.D. Lemos, R.C Santos, H.G Ker, J.C. Anjos, L.H.C Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo. SBCS. Viçosa, 2005.

SEADE, Fundação Sistema Nacional de Análise de Dados, dados de população de Ubatuba. <http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/2008>.

Selby, M.J. Hillslope Materials & Processes, Oxford University Press, New York, 2ª Edição, 1993.

SMN, Secretaria de Meio Ambiente do estado de São Paulo. <http://www.ambiente.sp.gov.br/>, 1998.

Soares, R.M. de Campos, T.M.P. Resistência ao Cisalhamento de um Solo Coluvionar não Saturado da Cidade do Rio de Janeiro. IV COBRAE - Conferencia Brasileira de Estabilidade de Encostas, Salvador - BA, 2005.

Summa, V. Tateo, F. Giannossi, M.L. Bonelli, C.G. Influence of Clay Mineralogy on the Stability of a Landslide in Plio-Pleistocene Clay Sediments Near Grassano (Southern Italy). *Catena* 80, p. 75-85, 2010.

Tominaga, L.K. Avaliação de Metodologias de Análise de Riscos a Escorregamentos: Aplicação de um Ensaio em Ubatuba, SP. Tese de Doutorado em Geografia, IFFLCH, USP, 2007.

Tricart, J. Cailleux, A. *Traité de Geomorphologie. Le Modelé des Regions Cheudes, Forêts et Savanes*. Paris, SEDES, 322p. 1965. In Cruz, O. *A Serra do Mar e o litoral de Caraguatatuba*. Trabalho de Doutorado. IG- Teses e Monografias. FFLCH – SP. São Paulo, 1974.

Vargas, M. *Introdução a Mecânica dos Solos*, São Paulo. Editor McGraw-Hill do Brasil, Editora da USP, 1977.

Vargas, M. Revisão Histórico-Conceitual dos Escorregamentos da Serra do Mar. Solos e Rochas. Volume único. P. 53-83, 1999.

Vedovello, R. & Macedo, E.S. Deslizamentos de Encostas. In Santos, R.F. Vulnerabilidade Ambiental. MMA, Brasília, 2007.

Vieira, B. C. Previsão de Escorregamentos Translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a Partir de modelos Matemáticos em bases Físicas. Tese de Doutorado, UFRJ, Programa de Pós-Graduação em geografia, 2007.

Wolle, C.M., Carvalho, C. S. Deslizamentos em Encostas da Serra do Mar – Brasil. Solos e Rochas. V.12, nº único. P. 27-36, 1 989.