

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS DEFLAGRADORES DE
MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA DURANTE A
CATÁSTROFE DE MARÇO/2011 NO MUNICÍPIO DE ANTONINA-PR**

Silvana Costa Ferreira

Campinas

2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS DEFLAGRADORES DE
MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA DURANTE A
CATÁSTROFE DE MARÇO/2011 NO MUNICÍPIO DE ANTONINA-PR**

Silvana Costa Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Jefferson de Lima Picanço

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado no Instituto de Geociências,
como requisito de conclusão do Curso de
Geologia.

Campinas

2012

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada. Agradeço ao meu orientador o Prof. Dr. Jefferson de Lima Picanço, pelo apoio e orientação que me proporcionaram um maior conhecimento nos processos deste trabalho. Agradeço também ao meu companheiro, Fernando, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades, quero agradecer também aos meus amigos, Mayra, Eloisa, Carolina, Débora, que estiveram a todo o momento iluminando de maneira especial os meus pensamentos me levando a buscar mais conhecimentos. E não deixando de agradecer de forma grata e grandiosa meus pais, Helena e Emílio, a quem eu rogo todas as noites a minha existência.

Resumo

Para este trabalho pretendeu-se estudar e caracterizar os movimentos gravitacionais de massa que ocorreram no Morro da Laranjeira, na cidade de Antonina (PR) no dia 11/03/2011. Foram caracterizados processos atuantes e os principais deflagradores destes movimentos gravitacionais de massa. Empregaram-se trabalhos de reconhecimento de campo, análises de mapas e ensaios geotécnicos em matrizes de solos para compreender o comportamento geotécnico dos mesmos, assim como inferir condições de ruptura de taludes em função dos dados obtidos. Os dados coletados durante a etapa de campo consistem em observações da geometria do talude rompido, a composição e estruturação do solo, do meio físico e seu caráter geológico-geomorfológico assim como a obtenção dos índices físicos de solo obtidos em ensaios laboratoriais de cunho geotécnico. O solo em questão é de caráter pouco espesso, configura ser de origem granítica, pertencente à Suíte Morro Inglês, que faz parte das Suítes Graníticas do Terreno Paranaguá, de idade do Proterozóico inferior, assim como o relevo da Região Costeira do Paraná. Os escorregamentos foram caracterizados segundo a sua morfologia. Os movimentos do Morro da Laranjeira foram caracterizados com translacionais e em particular há a ocorrência de uma corrida de lama e a formação de ravinamentos que, posteriormente evoluíram para pequenos escorregamentos rotacionais planares em suas laterais, formando estruturas de canais dendríticos. As características heterogêneas do solo, determinadas por ensaios físicos demonstraram que estas contribuem e agravam os aspectos que conferem a estabilidade do talude natural, e são necessárias ao entendimento e prevenção destes processos nos períodos chuvosos dos meses de janeiro, fevereiro e março; Contudo as altas temperaturas e os altos níveis de precipitação associados aos regimes climáticos vigentes sejam eles associados à própria estação do ano, ou na atuação da ENOS - oscilação sul do El Niño - e dos aspectos topográficos, e da constituição dos solos formam, portanto um conjunto a ser considerado para análise dos fenômenos associados aos movimentos gravitacionais em taludes naturais.

Palavras-chave: Escorregamentos, solos, clima, geomorfologia, geotecnia.

Abstract

We intended study and characterize gravitational mass movements occurred at Morro da Laranjeira, Antonina city (PR) on 11/03/2011. Active processes were characterized and the main triggers of gravitational mass movements. Were employed work field reconnaissance, mapping and analysis in geotechnical soil matrices to understand the geotechnical behavior of the same, as well as infer conditions of rupture slope depending on obtained data. Data collected during field stage have consisted on observations of geometry from embankment breached, composition and structure of soil, of the physical, geological and geomorphological character as well as obtained physical indices of soil from laboratory tests from geotechnical imprint. The soil in question is a little thick, configured from granitic origin, belonging to Morro Inglês Suite, which is part of Terrain Paranaguá granitic suites, lower Proterozoic Age, as well as relief from Coastal Region of Paraná. The landslides were characterized according to their morphology. Movements from Morro da Laranjeira were characterized with translational and in particular for the occurrence of mud flow and processes of gullies formations, forming dendritic channels structures. Heterogeneous characteristics of the soil, determined by physical tests demonstrate that they contribute and aggravate aspects that give the natural slope stability, and are necessary to the understanding and prevention of these processes during rainy months from January to March; however, high temperatures and high precipitation levels associated with current climatic regime are associated with season itself, from ENOS - El Niño Southern Oscillation - topographical features, and the formation of soils, so they can be considered for analysis of phenomena associated with gravitational movements in natural slopes.

Keywords: Landslides, soil, climate, geomorphology, geotechnical.

Sumário

1. Introdução.....	10
2. Objetivos.....	10
3. Os desastres naturais e a vulnerabilidade social e econômica.....	11
4. Referencial Teórico	13
Aspectos Geológicos, Geomorfológicos e Geotécnicos	13
Geologia Regional	13
Geomorfologia.....	15
Classificação pedológica dos Solos	17
Solos em Geotecnia.....	19
O perfil de alteração.....	22
Perfis de Intemperismo em Regiões Tropicais.....	23
Estruturas e mineralogia de solos residuais tropicais.....	25
Precipitação e dinâmica superficial.....	26
Escorregamentos e corridas.....	27
Condicionantes de instabilidade de encostas.....	33
Movimentos de Massa em Solos Residuais e Coluvionares	34
Intemperismo versus escorregamentos em Solos Tropicais	35
Resistência ao Cisalhamento de Solos Tropicais	35
Fatores Condicionantes.....	36
A questão da água em subsuperfície.....	38
A questão da cobertura vegetal.....	39
Fator de segurança	40
5. Materiais e Métodos.....	42
Etapas de Campo	43
Coleta de Amostras.....	44
Ensaio Geotécnicos de solos.....	45
6. Estudo de caso.....	47
Localização	47
Aspectos históricos do município de Antonina-PR.....	48
Os Eventos de escorregamentos.....	48

aspectos Geológicos locais	56
Rocha granítica	56
Diques de Diabásio	58
Quartzo xisto.....	58
Rocha Cálcio-Silicática	59
Mapa geológico preliminar	60
Os solos do Morro da Laranjeira.....	61
Clima Local.....	62
Temperatura.....	62
Pluviosidade.....	64
7. Resultados e Discussões.....	68
Mapa de declividade	68
Ensaio Geotécnicos.....	69
8. Conclusão.....	74
Referências Bibliográficas.....	78
Anexos	81

Lista de Figuras

Figura 1 : Mapa Geológico do Terreno Paranaguá na escala 1:750.000.	14
Figura 2: Mapa Geomorfológico do Paraná – Folha Curitiba	16
Figura 3 – exemplo de cambissolo.	18
Figura 4 - exemplo de solo regolítico.	18
Figura 5 - Exemplo de neossolo litólico.	18
Figura 6 - exemplo de gleissolo.....	19
Figura 7 - exemplo de solo regolítico.....	19
Figura 8: Perfil de Intemperismo.	25
Figura 9: Exemplo de escorregamento planar.	30
Figura 10: Fotos do experimento. A) Imagem da paisagem da amostra de solo para ensaio. B) Imagem do Ensaio montado demonstrando a utilização de bomba à vácuo para retirada de moléculas de ar da amostra.....	45
Figura 11: Mapa confeccionado à partir da utilização de foto aérea, destacando o Morro da Laranjeira e o Morro Santa Cruz e a área dos escorregamentos.	49
Figura 12: Percorso da corrida de lama.	51
Figura 13. Croqui do escorregamento analisado no Morro da Laranjeira.....	53
Figura 14. Perfil topográfico do escorregamento estudado para o Morro da Laranjeira. (altura em metros).	54
Figura 15. Seção topográfica demonstrando o perfil A-B na área do Morro da Laranjeira.....	54
Figura 16: A) Estereograma com os planos de fratura – casa do médico. B) Estereograma demonstrando as famílias de planos de fraturas distintas. Ambos no Morro da Laranjeira. ..	57
Figura 17: Estereograma representando os diques de Aplito, plano de foliação do granito, veios de quartzo e faixa de filonito. Afloramento da Pedra do Mirante.	58
Figura 18: ESTEREOGRAMA REPRESENTANDO A FOLIAÇÃO E O EIXO DE DOBRA DA ROCHA CÁLCIO-SILICÁTICA. AFLORAMENTO PRÓXIMO À LINHA DO TREM.	59
Figura 19: Mapa Geológico Preliminar.	60
Figura 21: Mapa de temperaturas para o litoral do Paraná segundo médias anuais e sazonais	63
Figura 22: Gráfico de precipitação para a região de Paranaguá-PR.	67
Figura 23: Mapa de declividade do município de Antonina ressaltando a declividade para o Morro da Laranjeira.....	68
Figura 24: Gráfico de Umidade (W) versus Grau de Saturação (Sr) ambos em porcentagem.	70
Figura 25: Gráfico - Umidade versus Número de Impactos.....	72
Figura 26: Triângulo para Determinação de Classes Texturas (IAC).	73

Lista de Tabelas

Tabela 1. Associação dos perfis de intemperismo e suas características.....	31
Tabela 2. Classificação de Varnes em função dos fatores condicionantes instabilizações e movimentos de massa.....	37
Tabela 3 – Fatores de segurança e sua consequência na instabilização de taludes	41
Tabela 4. Estações pluviométricas e os valores de pluviosidade para os meses de janeiro, fevereiro e março (dados de 2004)	65
Tabela 5. Estações pluviométricas e os valores de pluviosidade para os meses de abril, maio e junho (dados de 2004)	66
Tabela 6. Estações pluviométricas e os valores de pluviosidade para os meses de julho, agosto e setembro (dados de 2004).....	66
Tabela 7. Estações pluviométricas e os valores de pluviosidade para os meses de outubro, novembro e dezembro (dados de 2004)	66
Tabela 8. Estações pluviométricas e os valores médios anuais, totais e sazonal (dados de 2004).....	66
Tabela 9. Estações pluviométricas e os valores médios sazonais (dados de 2004).....	67
Tabela 10. Parâmetros obtidos segundo cálculo para os índices físicos	69
Tabela 11. Limite de liquidez.....	71

1. Introdução

Este estudo tem como escopo os fenômenos naturais nos quais caracterizam deslizamentos de material proveniente dos solos e das rochas, caracterizados como corrida de detrito e de lama, quedas de blocos, etc., definidos como movimentos de massas. Tais fenômenos ocorrem com elevada frequência, uma vez que em países onde impera um clima tropical nos quais os índices pluviométricos durante a primavera e o verão são bastante altos, que no senso geral induzem a população, seja ela nos centros urbanos ou não, a estados de alertas referentes ao risco geológico. O estudo permitiu uma visualização do problema partindo de dados sobre a geologia local do município de Antonina, de forma inédita e que será mais adensada e detalhada segundo alguns trabalhos subseqüentes a este.

A idéia deste estudo também visa adensar as informações sobre os processos e em contrapartida fornecer uma base sólida de informações para que as devidas providências sejam tomadas para conter os mesmos e preparar a população do município e lhes dar suporte em função de novos acontecimentos desta grandeza.

2. Objetivos

Para este trabalho pretendeu-se estudar e caracterizar os movimentos gravitacionais de massa que ocorreram no Morro da Laranjeira, na cidade de Antonina (PR) no dia 11/03/2011. Serão caracterizados os processos atuantes e os principais deflagradores destes movimentos gravitacionais de massa. Foram empregados trabalhos de reconhecimento de campo, análises de mapas e ensaios geotécnicos em matrizes de solos da região para compreender o comportamento geotécnico dos mesmos assim como inferir condições de ruptura de taludes em função desses dados obtidos. Este estudo tem como objetivo principal estudar os movimentos de massa, para a compreensão dos processos inerentes ao sistema solo-rocha que ocasiona os processos de deslizamentos e corridas de lama, no qual, para este trabalho, é caracterizado em sua maioria como fenômenos de escorregamentos planares, além de uma complementação e uma aplicação dos estudos para aplicar teorias e fazer a utilização de metodologias de estudo que visam o entendimento do comportamento geotécnico dos solos. Objetiva-se

também a confecção de um mapa preliminar com os eventos de movimentos de massa.

3. Os desastres naturais e a vulnerabilidade social e econômica

Este capítulo trata das relações entre o homem e o ambiente no qual vive. Quando se fala em mudanças climáticas e a sua relação com o homem precisamente ocorre à necessidade de reduzir as vulnerabilidades sociais, econômicas e ambientais. Este conceito de vulnerabilidade consiste no grau de perda ou dano de elementos sob o risco de ocorrência de uma ameaça. A fim de se gerenciar os eventos de desastres naturais, há a necessidade de se identificar as ameaças e analisar os diferentes cenários de risco, definir, planejar e executar ações de prevenção, planejar situações de emergência e fornecer informações precisas para a população, além de treinar líderes para que ocorra uma percepção e assistência adequadas.

Neste caso, a ameaça presente é representada pelos escorregamentos de grande porte. As perdas e os danos direta e indiretamente relacionados afetam as estradas, a circulação de pessoas, as estações de tratamento de água, a destruição de moradias, alto custo para reconstrução da cidade, além de possíveis óbitos.

Entretanto, para que haja a minimização dos danos/ações emergenciais a tais eventos, deve-se elaborar um *plano de gerenciamento de riscos*.

O gerenciamento de risco envolve três etapas nas quais se referem aos momentos antes do desastre, durante o desastre e após o desastre.

Antecipadamente ao desastre se objetiva uma prevenção para que se evite a ocorrência do evento; a mitigação que possui a função de minimizar o impacto do mesmo; a preparação que constitui certa estruturação para o evento; o alerta no qual representa uma notificação formal do perigo eminente.

Durante o desastre cabem as atividades de resposta ao mesmo, são os atendimentos de emergência, nos quais podem envolver desde a evacuação da área até o resgate, busca por vítimas e assistência à população.

Após o desastre, no qual denota o período de transição entre o final da emergência e a volta de serviços básicos à sobrevivência humana (abastecimento

de água, por exemplo) e o início do processo de reconstrução da comunidade afetada, revitalizando a economia.

Para todo tipo de desastre natural, devem ser criados Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRR) que consiste em treinar equipes municipais para elaborar diagnósticos, processos de prevenção e gerenciamento de riscos, além da atuação da defesa civil.

O PPDC (Plano Preventivo da Defesa Civil) no Estado de São Paulo criou critérios para planejar os atendimentos da defesa civil para desastres naturais; os mesmos visam seus trabalhos em função dos estados de observação, atenção, alerta e alerta máximos.

O estado de observação visa o início das operações, além de conscientizar a população das áreas de risco, dados pluviométricos, dados de acumulada de chuvas, previsões meteorológicas e a avaliação para o próximo estado.

Já no estado de atenção convém alertar a população sobre os valores ultrapassados de acumulação de chuvas, acima dos valores de referência. O estado de alerta corresponde ao processo no qual as vistorias feitas em campo indicarem feições de instabilidade ou deslizamentos. O alerta máximo ocorrem com o aparecimento de deslizamentos generalizados.

Contudo, um mapeamento de risco é necessário para a defesa civil, as prefeituras e demais órgãos relacionados, pois permite a visualização de possíveis eventos, e permite ações de prevenção de desastres, de forma a auxiliar na promoção do gerenciamento de riscos.

As fortes chuvas ocorridas no mês de março de 2011 ocasionaram duas mortes no município em função de suas residências serem soterradas pelos deslizamentos de terra.

Cerca de 7500 pessoas sofreram algum tipo de prejuízo com relação a este evento; deste total, 1.160 ficaram desabrigadas e outras 2.289 desalojadas por precaução; ocorrências de feridos somam cerca de 200 pessoas e pelo menos 71 residências foram destruídas, segundo dados da defesa civil da região.

4. Referencial Teórico

Aspectos Geológicos, Geomorfológicos e Geotécnicos

GEOLOGIA REGIONAL

Este subcapítulo irá conduzir este trabalho a um apanhado a cerca da geologia regional que abrange a área estudada, no município de Antonina no Estado do Paraná. Tratam-se das unidades pertencentes à Microplaca Luisa Alves e ao Terreno Paranaguá, na qual pertencem os litotipos que ocorrem na área em questão. Estes terrenos foram associados e colocados lado a lado durante o evento do Supercontinente Gondwana e são descritos a seguir:

A Microplaca Luis Alves

A Microplaca Luis Alves corresponde a um terreno que foi colocado lado a lado ao Terreno Paranaguá segundo falhas de empurrões, que causaram o retrabalhamento das rochas constituintes da borda do mesmo. Estes terrenos são constituídos predominantemente por gnáisses granulíticos e rochas migmatíticas e graníticas, rochas básicas e ultrabásicas, além de gnaisses cálcio-silicáticos, kinzigitos, formações ferríferas e quartzitos segundo estudos de Bartorelli et al. (1968), Figueiredo et al. (1991).

A geocronologia observada para as rochas correspondentes à Microplaca Luis Alves, utilizando método K-Ar, indica idades de formação entre o Arqueano (2,7 – 2,5 Ga) e o Paleoproterozóico (2,2 – 1,8 Ga).

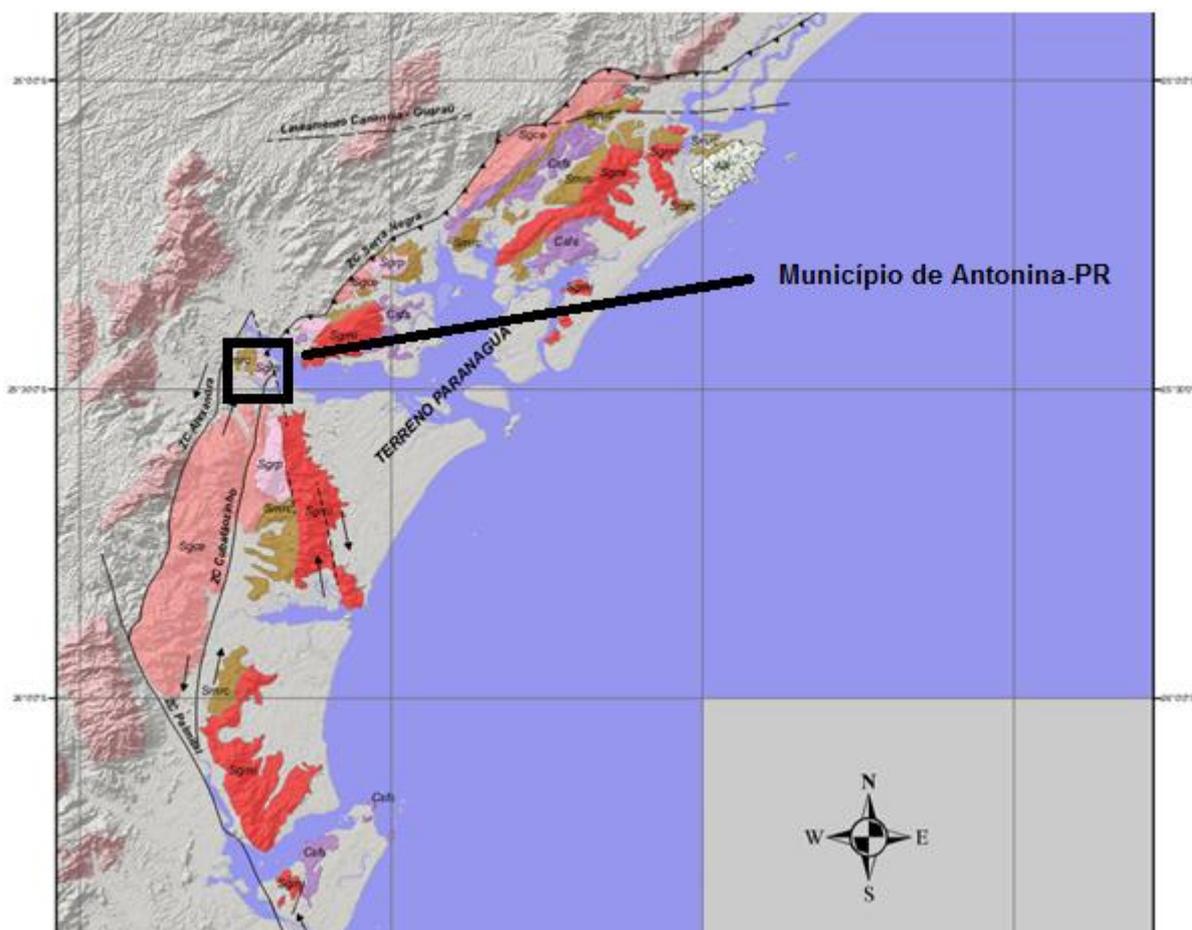
O Terreno Paranaguá

O Terreno Paranaguá é um terreno no qual está balizado a sudoeste pelas rochas gnáissico-granulíticas da Microplaca Luis Alves e a noroeste pela Microplaca Curitiba. É representado em quase sua totalidade por um complexo ígneo que inclui uma grande variedade de rochas graníticas, distribuídas ao longo de uma faixa oriental, que se estendem desde a Ilha de São Francisco do Sul – SC a Iguape – SP. Na Serra da Prata ocorrem cinco litotipos graníticos, denominados de Morro

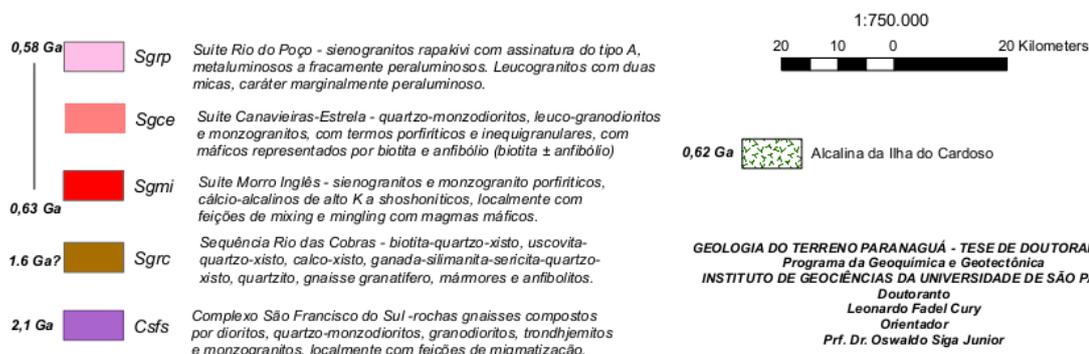
Inglês, Rio Canavieiras, Cubatãozinho, Rio do Poço e Estrela. Os metassedimentos que ocorrem nessa região foram denominados como Seqüência Rio das Cobras.

A geocronologia do Terreno Paranaguá sugere idades de formação e cristalização desses litotipos de 620-570 Ma, e padrão de resfriamento entre 560 – 480 Ma (Método K-Ar em micas).

FIGURA 1 : MAPA GEOLÓGICO DO TERRENO PARANAGUÁ NA ESCALA 1:750.000.



GEOLOGIA DO TERRENO PARANAGUÁ



GEOLOGIA DO TERRENO PARANAGUÁ - TESE DE DOUTORAMENTO
 Programa de Geoquímica e Geotectônica
 INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
 Doutorando
 Leonardo Fadel Cury
 Orientador
 Prof. Dr. Oswaldo Siga Junior

Fonte: Cury (2009) Adaptado.

A geomorfologia definida para o litoral paranaense, segundo Bigarella, 1978, assim como estudos de Ab'Saber e Bigarella, 1961 propuseram a classificação geomorfológica segundo publicação do Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná (Paraná, 2006), que descreve as unidades de forma a seguir.

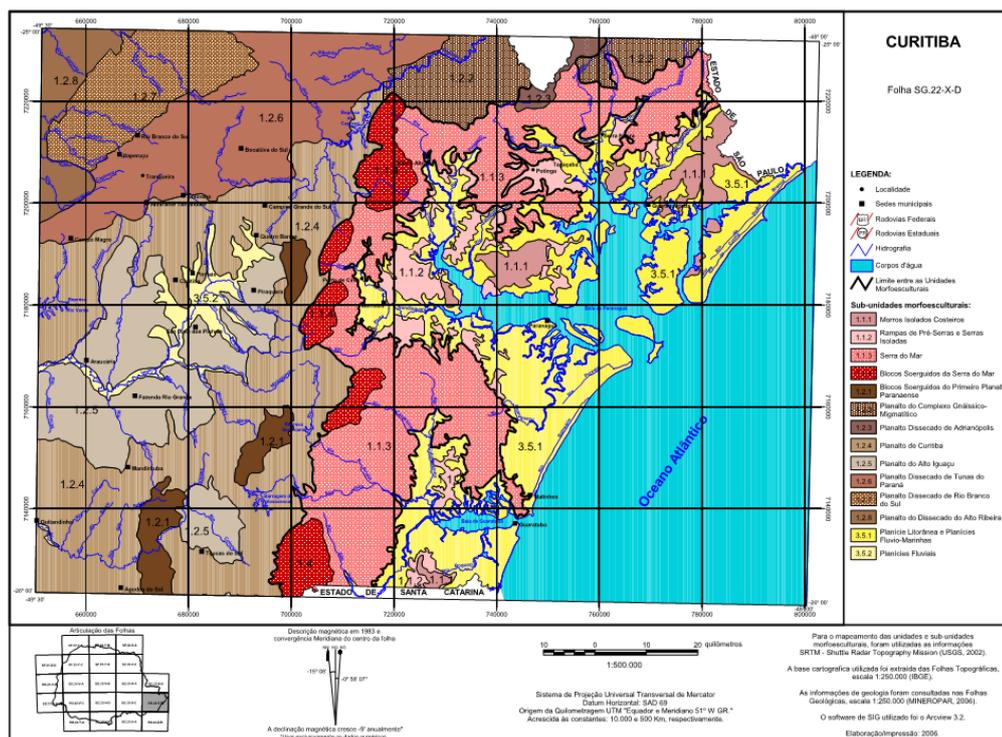
Os aspectos geomorfológicos na qual inclui a região de Antonina-PR é pertencente à Folha Curitiba, na qual apresenta várias subunidades e que à seguir se apresenta apenas aquelas referentes à área em questão:

- Morros Isolados Costeiros - com dissecação muito alta, ocupando uma área de 281 Km². A classe de declividade predominante está entre 30-47% em 104,90 Km². Em relação ao relevo, apresenta um gradiente de 900 metros com altitudes variando entre 20 e 920 m. s. n. m. (metros sobre o nível do mar). As formas predominantes são topos alongados e em cristas, vertentes retilíneas e vales em “V” fechado. A direção geral da morfologia é NW-SE, modelada em rochas do Complexo Gnáissico Migmatítico,
- Rampas de Pré-Serra e Serras isoladas - situam-se entre a Serra do Mar e a Planície Litorânea; com dissecação alta e ocupa uma área de 440,91 km². A classe de declividade predominante está entre 6-30%. Em relação ao relevo, apresenta um gradiente de 400 metros com variações entre 200 (mínima) e 600 (máxima) m. s. n. m. (metros sobre o nível do mar). As formas predominam topos alongados em crista e rampas dissecadas com vertentes retilíneas e vales em “V”, modeladas em rochas da Suíte Álcali-Granítica e do Complexo Gnáissico Migmatítico.
- Serra do Mar Paranaense – também possui dissecação alta e ocupa uma área de 2065,52 Km². A classe de declividade predominante está entre 12-30% relativa a uma área de 796,03 Km². O relevo, apresenta um gradiente de 1320 metros com altitudes variando entre 20 a 1340 m. s. n. m. (metros sobre o nível do mar). As formas predominantes são topos alongados e em cristas com vertentes retilíneas e vales em “V” encaixado. A direção geral da

morfologia varia entre NE-SW, N-S e NW-SE, modelada em litologias da Suíte Alkali-Granitos e do Complexo Gnáissico Migmatítico.

- Planície Litorânea e Planícies Fluvio-Marinhas – as mesmas estão situadas na unidade Planície, apresenta dissecação baixa e ocupa uma área de 2038,70 km². Possui uma classe de declividade menor que 6% em uma área de 1868,64 km². O relevo, apresenta um gradiente de 200 metros com altitudes variando entre 0 (mínima) e 200 (máxima) m. s. n. m. (metros sobre o nível do mar). As formas predominantes são as planícies de restinga e flúvio-marinhas, terraços arenosos, dunas e praias, modeladas em sedimentos marinhos e flúvio-marinhos.

FIGURA 2: MAPA GEOMORFOLÓGICO DO PARANÁ – FOLHA CURITIBA.



Fonte: Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

CLASSIFICAÇÃO PEDOLÓGICA DOS SOLOS

A classificação pedológica trata dos estudos mais superficiais do perfil de subsolo, nos quais atuam de forma mais eficaz os processos pedogenéticos onde há a diferenciação de horizontes de solo (horizontes A, B e C). As informações à cerca da classificação pedológica fornecem uma riqueza de informações sobre os processos atuantes na formação dos solos, uma vez que auxilia no entendimento dos processos erosivos. Mesmo esta classificação fornecendo informações dos processos de formação do solo, a classificação pedológica torna-se limitada à cerca dos horizontes A e B (muitas vezes retirados em obras geotécnicas) e pelo fato de vários grupos pedológicos apresentarem o mesmo comportamento geotécnico e vice versa.

Buscando-se referências sobre a classificação pedológica dos solos da região de Antonina-PR, utilizou-se, como base, os dados referentes a um recente trabalho da EMBRAPA-PR (2012) a seguinte classificação:

Cambissolos em associação com Neossolos Regolíticos (C + RR) - Estes solos correspondem a solos nos quais encontramos os dois tipos referidos acima, dessa forma descritos: Cambissolos (C) - são solos de encostas, pouco profundos (50 cm a 1 m) e bem drenados (água infiltra com facilidade), que ocorrem caracteristicamente em paisagens que possuem altas declividades; e Neossolos Regolíticos (RR) – tratam-se de solos de encostas de altas declividades, pouco profundos (50 cm a 1 m) e bem drenados (água infiltra com facilidade), determinando fragilidade ambiental;

Neossolos Litólicos com rocha aflorante (RL) – são solos de encostas de altas declividades, rasos (menos de 50 cm) e bem drenados (água infiltra com facilidade), sujeitos à erosão, portanto devem ser destinados à preservação; neste caso apresentam-se associados a ocorrências de afloramentos de rochas;

Gleissolos Sálícos (GZ) - estes solos se desenvolvem em ambientes com grande quantidade de água, portanto, devem ser destinados à preservação; a ocorrência do mesmo no município de Antonina-PR está associado a um gleissolo salino.

FIGURA 3 – EXEMPLO DE CAMBISSOLO.



Fonte: Embrapa-PR (2012).

FIGURA 4 - EXEMPLO DE SOLO REGOLÍTICO.



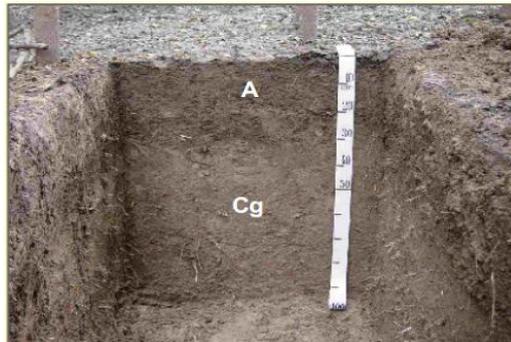
Fonte: Embrapa-PR (2012).

FIGURA 5 - EXEMPLO DE NEOSSOLO LITÓLICO.



Fonte: Embrapa-PR (2012).

FIGURA 6 - EXEMPLO DE GLEISSOLO.



Fonte: Embrapa-PR (2012).

FIGURA 7 - EXEMPLO DE SOLO REGOLÍTICO.



Fonte: Embrapa-PR (2012).

SOLOS EM GEOTECNIA

Embora, nos parágrafos anteriores tenha sido feito uma descrição pedológica simplificada sobre os solos da região de Antonina, faz-se necessária uma descrição de caráter geotécnico, uma vez que tal conhecimento engloba este projeto de pesquisa.

As etapas de caracterização do solo consistem em, a priori, classificar o mesmo a fim de diferenciar uma categoria de solo da outra, em função de propriedades como textura, estruturas, cor, plasticidade, etc., determinados de acordo com a execução de ensaios e observações, sejam estes ensaios em laboratório ou em campo.

Para esta tarefa dividiu-se os tipos de solos em cinco classificações distintas. As classificações que definem o tipo de solo, para fins geotécnicos correspondem a: classificação textural ou granulométrica, classificação genética, classificação geotécnica convencional e classificação geotécnica não convencional.

A classificação textural ou granulométrica consiste em classificar o solo em função do tamanho das partículas, essencial na descrição dos solos; ela é baseada na separação dos grãos em frações: fração argila (menor que 0,005mm de diâmetro), silte (entre 0,005mm e 0,05mm de diâmetro), areia fina (diâmetro entre 0,05mm e 0,42mm), areia média (diâmetro entre 0,42mm e 2,00mm), areia grossa (diâmetro entre 2,00mm e 4,80mm) e pedregulho (entre 4,8mm e 76,00mm de diâmetro).

A classificação genética corresponde às classificações geológicas e pedológicas. A classificação geológica está intrinsecamente ligada com a gênese do solo, nas quais estão relacionadas as correlações estratigráficas, a maneira pela qual o mesmo ocorre e os processos que ocasionam na formação do mesmo em função da rocha matriz (processos intempéricos na rocha matriz). A origem desses solos em função dos aspectos que tangem a geologia resultam na formação de solos residuais ou in situ e aos solos transportados. A classificação convencional se baseia nos resultados de ensaios de granulometria e limites de Atterberg (limites de liquidez e plasticidade), nos quais possuem a função de classificar e determinar o estado dos solos. Os limites de liquidez e plasticidade são apresentados em porcentagem; já a granulometria é representada em função do tamanho e tipo dos grãos. A classificação não convencional, diferentemente da anterior ela se baseia segundo a composição de alguns índices como, por exemplo, peso específico versus índice de vazios e coesão dos solos, ou mesmo em função de ensaios de compactação e perda de massa por imersão de corpos de prova, entre outros.

Tipos de solos

Solos Residuais

Estes solos são produzidos a partir de processos que dependem de fatores como a rocha matriz, do clima, do tempo decorrido, do relevo e dos agentes biológicos. A rocha matriz possui o papel definir os solos desse tipo, em função de sua composição mineralógica que influenciará o estado final do solo, sua espessura e a quantidade de horizontes em função do intemperismo que a rocha sofreu sob a

ação do clima. Sua composição será determinante para os parâmetros de plasticidade, granulometria e na composição dos argilominerais presentes, nos quais possuem grande importância no comportamento geomecânico desses solos.

Os solos residuais podem subdividir-se em solos eluvial e de alteração. Estes solos ocorrem por processos pedogenéticos e de intemperismo químico. Segundo Vaz (1996) pode-se subdividir a categoria de solos residuais em solos eluvial (SE) e de alteração (AS):

Categoria S1 – Solo Eluvial (SE) – trata de uma camada de solo proveniente da evolução pedogenética situada subjacente ao solo de alteração; este tipo de solo também é referido como sendo solo laterítico ou solo residual maduro.

Categoria S2 – Solo de Alteração (AS) – Este solo é caracterizado como uma camada que ainda se encontra em processo de alteração intempérica, na qual os processos pedogenéticos podem ser ínfimos; também é denominado saprólito ou solo residual jovem.

Solos Transportados

Estes solos representam aqueles que sofreram transporte por agente geológico de um local para outro até a sua deposição, ainda que não consolidados. Atualmente estes solos ainda estão em formação, ainda que formados no Cenozóico. A principal condição para a diferenciação do acúmulo e do material de origem desses solos é o meio de transporte e do clima. Assim, os solos transportados variam em conformidade com o material de origem e as condições de acumulação, porém, o meio de transporte é o principal fator de diferenciação. Nas regiões tropicais, os meios de transporte mais eficazes são o fluvial, pelos rios e o gravitacional, através dos escorregamentos.

Estes solos são determinados segundo seu estrato pedogenético, dos quais são representados:

- Coluvionar – transportado pela ação da gravidade;
- Aluvionar – transportados segundo à ação de águas correntes;
- Glacial – transportado pela ação das geleiras;
- Eólico – transportado pela ação do vento.

Deve-se citar a diferença entre os depósitos de tálus e coluviões; embora possuam a mesma origem, ou seja, por processos gravitacionais, os depósitos de tálus irão conter blocos de rochas contidos no substrato.

O PERFIL DE ALTERAÇÃO

Trata-se de uma seqüência de camadas que são resultantes da alteração das rochas; em função das observações sobre estas seqüências gerou-se uma variedade de denominações que ainda não são consenso entre os estudiosos do assunto.

Segundo Deere e Patton (1971) que definiram tais perfis como uma seqüência de camadas com diferentes propriedades físicas formadas em função das alterações químicas e físicas e que também se encontram in situ e recobrem o maciço rochoso.

Estudos de Pastore (1990) contribuíram para uma padronização para estes perfis para descrição de furos de testemunhos de sondagem, escavações e afloramentos no qual o resultado final consista em um perfil de alteração completo.

A análise de um perfil de solo no qual se vê as variações causadas pela pedogênese permite analisar camadas com diferentes propriedades físicas, formadas in situ por processos químicos e físicos que se encontram recobrendo a rocha.

Pastore propôs uma descrição para classificar os perfis de alteração em função de conceitos admitidos segundo o Comitê de Solos Tropicais da ISSMGE e a dividiu de seguinte forma:

- Horizonte de solo orgânico (I) – Trata-se de um horizonte pouco espesso, no qual apresenta uma composição de areia, silte a argila em quantidades discrepantes, no entanto contendo matéria orgânica decomposta. Em se tratando de aspectos pedológicos este seria considerado um horizonte A.
- Horizonte laterítico (II) – Trata-se de um horizonte onde houve a atuação dos processos de evolução pedológica (laterização), que irá afetar a matriz do solo e pode ocorrer tanto em solos residuais quanto transportados (aluviões, coluviões e tálus neste caso). Apresenta características que correspondem a horizonte B pedológico, contendo minerais de quartzo, argila predominantemente caulinítica, óxidos de ferro e alumínio hidratados

(formando estruturas porosas e instáveis) e cores em tons avermelhados e amarelados.

- Horizonte de solo saprolítico (III) – Este horizonte embora apresente feições reliquias do solo de origem, como estruturas, texturas, etc. é caracterizado como solo em geotecnia. Sua espessura e granulometria irão depender de sua posição no relevo e da rocha de origem, apresentam uma composição mineralógica que contém minerais de quartzo, caulinita e mica; tratam-se de areias siltosas pouco argilosas e siltes arenosos pouco argilosos.
- Horizonte Saprolítico ou saprólito (IV) – Este horizonte apresenta-se como uma transição entre o maciço de solo e o maciço rochoso; como a percolação de água é mais afetiva, formam-se solos ao longo de discontinuidades remanescentes da rocha, assim, apresentam-se blocos de rocha neste horizonte, conferindo características geotécnicas variáveis ao longo do horizonte.
- Horizonte de rocha muito alterada (V) – Trata-se da rocha em estado bastante alterado, não apresentando brilho nos minerais ou mesmo grande resistência em relação à rocha sã; as alterações são mais visíveis em zonas de fraturas e juntas na rocha.
- Horizonte de rocha alterada (VI) – Este horizonte apresenta-se como o início do processo de alteração da rocha, nos quais os minerais encontram-se descoloridos; a alteração neste caso será mais pronunciada em zonas de fraturas e juntas.
- Horizonte de rocha sã (VII) – Trata-se de um horizonte que possui a rocha propriamente dita, com sinais de alteração que podem apresentar indícios da mesma ao longo das fraturas e juntas.

PERFIS DE INTEMPERISMO EM REGIÕES TROPICAIS

Em função da atuação dos processos físicos, químicos e biológicos sobre a rocha, alguns autores buscaram estabelecer perfis de intemperismo para regiões tropicais. Nessas regiões, é comum a existência de materiais completamente decompostos e podem apresentar pouca ou nenhuma relação com a rocha matriz ou até blocos de rocha alterada a sã, imersa em uma matriz de solo.

Segundo alguns estudos efetuados por Vargas (1971), que definiu para engenharia alguns indicativos para a compreensão do resultado do intemperismo sofrido pelas rochas:

- Resistência de determinados fragmentos de rochas;
- Observação de cristais de quartzo que resistiram aos processos de intemperismo;
- Presença de argilas provenientes de minerais de feldspato e mica;
- Presença de minerais e ou substâncias precipitadas que possam alterar as propriedades do solo, como a gibsita e limonita por exemplo.

No caso das rochas metamórficas observaram-se aspectos de intemperismo diferencial no qual resultou em blocos de rocha são emersos na matriz de solo e que possuam resistência ao cisalhamento relativamente baixa. Nestes casos é possível a ocorrência de deslizamentos de placas de rochas, quando a resistência do material decomposto não mais consegue suportar o estado de tensões atuante.

As ocorrências de estruturas nas rochas também determinam o comportamento da massa de solo residual, uma vez que planos de fraturas, foliações e falhas podem gerar zonas de fraqueza na mesma.

No Brasil, num aspecto geral segundo a visão da engenharia, constituem-se perfis típicos de solos residuais, tais como:

- Rochas graníticas ou metamórficas que ocorrem ao longo da Serra do Mar. As rochas ígneas e metamórficas brasileiras têm o quartzo, o feldspato e a mica como principais constituintes;
- Rochas basálticas e arenitos que ocorrem no planalto sul - brasileiro;
- Rochas sedimentares que ocorrem no planalto do interior.

Os perfis não são determinados apenas pela origem das rochas, mas também dos minerais resultantes do intemperismo, permeabilidade e porosidade do solo em questão. Para solos coluvionares e residuais definiu-se perfis de intemperismo típico e admitem que as propriedades dos solos como porosidade, permeabilidade e mineralogia variam com a profundidade. Uma característica que indica os limites entre as camadas de solo coluvionar e solo residual, em campo, é a presença de linhas de seixos, nem sempre presente.

FIGURA 8: PERFIL DE INTEMPERISMO.

CAMADA VEGETAL		
SOLO POROSO (COLÚVIO)	<ul style="list-style-type: none"> - PRESENÇA DE "GRUMOS" DE SOLO E PARTÍCULAS DE QUARTZO - ELEVADA POROSIDADE - PRESENÇA DE ÓXIDOS DE FERRO E ALUMÍNIO - ESTRUTURA QUASE SEMPRE COLAPSÍVEL - PERMEABILIDADE ELEVADA - BAIXO GRAU DE SATURAÇÃO 	
LINHA DE SEIXOS (ÀS VEZES AUSENTE)		
SOLO RESIDUAL LATERÍTICO	<ul style="list-style-type: none"> - PERMEABILIDADE DECRESCENTE COM A PROFUNDIDADE - MINERALOGIA E RESISTÊNCIA DOS "GRÃOS" MUITO VARIÁVEL - POROSIDADE MUITO VARIÁVEL - COMPONENTE DE RESISTÊNCIA E RIGIDEZ DEVIDA A "LIGAÇÕES", ASSOCIADA A ALTERABILIDADE - EFEITO DESPREZÍVEL DA HISTÓRIA DE TENSÕES ASSOCIADA A ALTERABILIDADE 	
PASSAGEM GRADUAL		
VARIACÃO SAZONAL ↑ ↓	SOLO SAPROLÍTICO MENOS INTEMPERIZA DO OU POUCO LATERIZADO	<ul style="list-style-type: none"> - ESTRUTURA RELIQUIAR PRESENTE - PARTÍCULAS DE ROCHA ALTERADA RESISTENTE EM MATRIZ DE "SOLO"
	PASSAGEM GRADUAL SAPROLITO MAIS FINOS	
	MENOS FINOS	PERMEABILIDADE CRESCENTE COM A REDUÇÃO DE "FINOS"
ROCHA ALTERADA ROCHA SÃ		

Fonte: Cruz (1987).

ESTRUTURAS E MINERALOGIA DE SOLOS RESIDUAIS TROPICAIS

Segundo Suzuki (2004) nos perfis de solos tropicais as variações mineralógicas e estruturais são mantidas, e são as mesmas vistas em campo; tais aspectos influenciarão nas propriedades físicas dos solos no que tange o comportamento mecânico e hidráulico dos mesmos.

Nas porções superficiais dos solos tropicais são as presenças de precipitados de óxido de ferro e alumínio, assim como a argila caulinita (principal argilo-mineral do grupo das argilas) e muitas vezes a última ocorre revestida por óxidos. Esses óxidos presentes no solo podem acarretar na formação de estruturas porosas que se caracterizam por agregados de partículas que podem ser facilmente destruídas (dependendo do grau de cimentação).

Nestas condições, solos finos, predominantemente argilosos, tendem a comportar-se como um solo arenoso e menos plástico no seu estado natural, com elevada permeabilidade e parâmetros de resistência semelhantes a solos arenosos.

As camadas subjacentes de solos residuais jovens ou saprolíticos são caracterizadas por apresentar mineralogia e estrutura complexas, as quais variarão com o tipo de rocha matriz. A fração grossa desses solos, especialmente quando originados de rochas ácidas (ígneas e metamórficas), tem sua mineralogia

constituída, basicamente, de quartzo, feldspatos, micas e fragmentos de rocha, com proporções variando de acordo com o tipo de rocha e o grau do intemperismo.

Na fração silte os minerais existentes são, praticamente os mesmos encontrados na fração grossa, acrescentando ainda a caulinita, geralmente associada a outros minerais, como micas e haloisitas. Na fração argila, além da caulinita, é comum a existência de illitas e, algumas vezes, argilas do grupo das esmectitas.

PRECIPITAÇÃO E DINÂMICA SUPERFICIAL

Alguns parâmetros foram utilizados para explicar a geração de sedimentos (degradação do solo) em função do regime de precipitações, sua intensidade e magnitude e os aspectos de sazonalidade dos regimes climáticos e pluviométricos.

Tal constatação partiu de ensaios que associam o tamanho e a velocidade das gotas de chuva com a duração das precipitações e a velocidade do vento. Quando ocorre o contato gotas de chuva-solo o segundo irá possuir suas partículas deslocadas, ou seja, os grãos se desagregam e são carregados e escoados superficialmente. Quanto maiores as gotas de chuva maior sua rapidez, portanto pode-se associar estes parâmetros com a erosividade das chuvas.

Esta associação, ao que tange os estudos compreendidos à cerca dos escorregamentos demonstra que não apenas a quantidade em mm/h de precipitação é capaz de desencadear um evento de escorregamento. Segundo estudos de Tatizana (1987), sobre a Serra do Mar demonstraram que as grandes intensidades de chuvas, acima de 25mm/h, nem sempre estão associadas aos escorregamentos nessas regiões. Esse aspecto está mais relacionado à continuidade das chuvas mais fracas em um intervalo de alguns dias (4 dias por exemplo), nos quais sofreram alternância com chuvas mais intensas. Dessa forma o autor definiu uma equação para calcular a Intensidade Horária das Chuvas:

$$I(Ac) = K \times Ac^{-b}$$

Sendo:

I = Intensidade das chuvas (mm/h);

Ac = Acumulada de chuvas nos quatro dias anteriores (mm);

K e b = constantes de relação geométrica. Os mesmos variam com as características geotécnicas das encostas e as condições climáticas, portanto Serra do Mar K=2603 e b=0,533.

Esta análise demonstra que a medida que aumenta a saturação do solo diminui a intensidade horária das chuvas capaz de desencadear um evento de escorregamento, de forma geométrica.

Infelizmente, embora o monitoramento das chuvas seja de grande importância no que tange os eventos deflagradores dos escorregamentos, não é o único parâmetro a ser analisado, uma vez que os movimentos de massa dependem de outras variáveis para que possam ocorrer.

ESCORREGAMENTOS E CORRIDAS

Este item trata de informações sobre os processos de movimentos de massa em solos residuais e coluvionares, nos quais se tornaram grande objeto de estudos em função da quantidade de eventos ocorridos no Brasil e possuindo exemplos clássicos de estudos no litoral do Estado de São Paulo, principalmente em Santos e Cubatão (1939).

No ano de 1939 documentou-se o primeiro evento de escorregamento na Serra de Cubatão, aos fundos da Usina Hidrelétrica da empresa Light. Tais movimentações mostraram-se bastante intensas e a partir daí muitos estudos geotécnicos foram feitos a fim de determinar as causas do problema e as características dos maciços instabilizados.

Além de se determinar as características geotécnicas dos maciços, deve-se acrescentar ao estudo do comportamento do talude à geomorfologia, condições de estabilidade, e projetos de medidas para contenção dos mesmos.

Contudo, para determinar o comportamento de um talude nessas condições deve-se:

- identificar e classificação dos vários tipos de movimentos de massas que podem ocorrer no talude, sua morfologia, seus aspectos geológicos, a velocidade do movimento e as suas causas de instabilização;
- classificar e descrever de maneira precisa os materiais envolvidos no movimento e determinação das propriedades relevantes ao objetivo do estudo;
- efetuar a análise da estabilidade do talude onde se considera o tipo de movimentação e as propriedades dos materiais;
- correlacionar as observações de campo com os resultados da análise de estabilidade.

Identificação e classificação dos movimentos de massa

Muitos autores selecionaram alguns critérios para determinar os movimentos de massa baseados:

- Natureza do material instabilizado (solo, rocha, detritos, depósitos, etc.) e suas características (textura, estrutura e quantidade de água);
- Velocidade, direção e recorrência dos deslocamentos;
- Geometria das massas em movimento;
- Modalidade de deformação do movimento.

Autores como Augusto Filho (1992), Vargas (1999), entre outros, relacionaram as características dos movimentos de massa e suas movimentações em função do material envolvido e na geometria de encosta.

Foram determinados e utilizados quatro tipos de movimentos de massa: rastejo (creep), escorregamentos, quedas e corridas (flows).

Os rastejos são caracterizados por movimentos lentos e contínuos de material de encostas com limites geralmente indefinidos e neste caso podem envolver grandes massas de solo, onde não há distinção entre material em movimento e material estável. Foram definidos dois tipos de rastejos: o sazonal e o contínuo.

O modo sazonal é definido em função da variação da umidade e da temperatura do solo ou rocha superficial; trata-se de movimentos de contração e expansão da massa na qual atinge profundidades limitadas por estas variações.

Já o rastejo contínuo ocorre em função da gravidade e abaixo da zona de variação sazonal e atinge maiores profundidades, diferentemente do rastejo sazonal.

Pode-se considerar que os escorregamentos são caracterizados pela formação de superfícies de ruptura bem definidas onde se concentram as tensões cisalhantes. Eles ocorrem quando a relação entre a resistência ao cisalhamento do material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial de movimentação decresce até atingir uma unidade, no momento dos escorregamentos – quando a força gravitacional vence o atrito interno das partículas que são responsáveis pela estabilidade, fazendo com que o material escorregue talude abaixo.

Os escorregamentos são divididos em rotacionais e translacionais, dependendo da forma da superfície de deslizamento:

Os movimentos rotacionais são caracterizados por superfícies de ruptura curva, por isso também são denominados circulares. Eles ocorrem devido à existência de solos espessos e homogêneos, como os decorrentes da alteração de rochas argilosas. Muitas vezes esses movimentos se iniciam em função de cortes feitos na base desses materiais. Estes movimentos são caracterizados em função de uma parte do material que está compondo o talude deslizar, sem sofrer distorções, de forma côncava.

No caso dos escorregamentos translacionais haverá um movimento segundo um plano de estratificação, plano de falhas, fraturas ou mesmo contatos entre litotipos distintos que estejam paralelos à superfície do talude.

Esta diferença no sistema e na definição dos tipos de deslizamento não está apenas definida em função da forma da superfície de ruptura, também envolve um sistema de forças que atuam no talude. No caso dos rotacionais o sistema de forças diminui com o aumento das deformações, instabilizando o talude.

Nos deslizamentos translacionais o sistema de força que provoca o rompimento do talude é constante.

Quedas

O processo de queda de massas envolve material rochoso, de diferentes litologias e dimensões, como placas, blocos, lascas, etc. Segundo Guidicini e Nieble (1984) as quedas são classificadas da seguinte forma:

- Rolamento de blocos: corresponde ao movimento de matacões ao longo de uma superfície inclinada, devido à perda de apoio;
- Queda de blocos: o material se destaca da encosta e se desloca em queda livre;
- Tombamento de blocos: há uma rotação dos blocos devido a condicionantes geológicos, sistema de falhas ou juntas com mergulho desfavorável à estabilidade da encosta;
- Desplacamento: consiste no desprendimento de placas ou lascas da encosta devido a variações térmicas ou por alívio de tensões. O desprendimento pode ocorrer em queda livre ou por deslizamento em superfície inclinada.

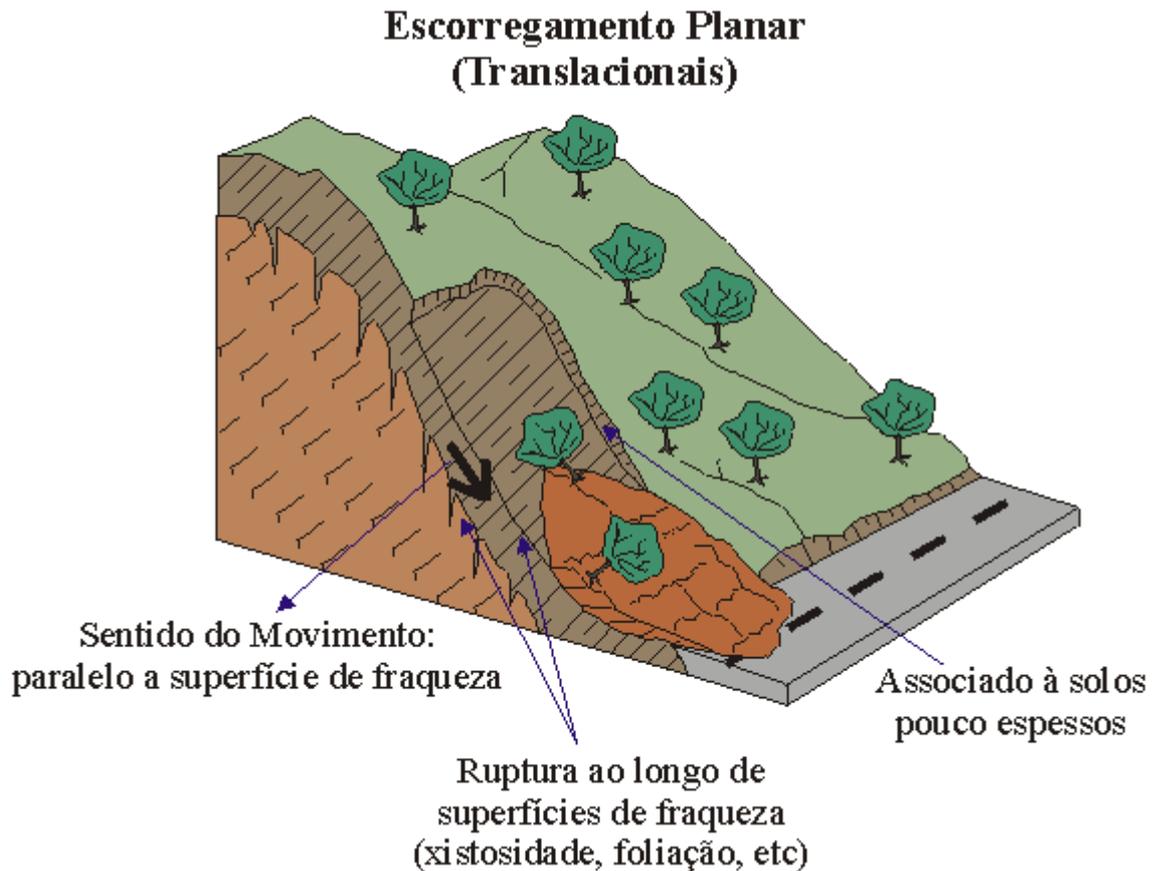
Corridas de Lama e Detritos

A definição de corrida é caracterizada por um escoamento rápido em função de aspectos hidrodinâmicos, no qual o material envolvido no processo, seja ele solo rocha ou detrito, irá perder o atrito interno entre as partículas e fluirá na presença de excesso de água (GUIDICINI & NIEBLE (1984)).

Os termos corrida de lama, corrida de detrito e corrida de terra dependerão da quantidade de água e das velocidades de deslocamento e são definidas como:

- Corrida de lama (mud flow): consistindo de solo com alto teor de umidade;
- Corrida de detritos (debris flow): envolve uma mistura de vários materiais como: fragmentos de rocha de várias dimensões, solo, restos vegetais e outros;
- Corrida de terra (earth flow): tem como material predominante o solo, mas com teor menor de umidade.

FIGURA 9: EXEMPLO DE ESCORREGAMENTO PLANAR.



O perfil acima denota a movimentação do escorregamento ocorrido no Morro da Laranjeira, no qual se pode afirmar, segundo os indícios e observações de campo.

Abaixo uma revisão proposta por Carregã (1996) que relacionou os mecanismos atuantes com a posição no perfil de intemperismo:

TABELA 1. ASSOCIAÇÃO DOS PERFIS DE INTEMPERISMO E SUAS CARACTERÍSTICAS

Horizonte do perfil de intemperismo	Constituição	Características	Permeabilidade subjacente	Mecanismo principal de Movimentação	
Superficial	Solo pedogeneticamente modificado (residual ou coluvionar)	Espessos, homogêneos (normalmente laterizados)	Menor	Escorregamento rotacional	Erosão
		Camadas delgadas (normalmente laterizadas)	Maior	Translacional (com rede de fluxo vertical)	
			Menor	Translacional (com rede de fluxo subparalela)	
Solo saprolítico	Solo de decomposição "in situ" com estruturas preservadas	Camadas espessas (não laterizadas)	Menor	Translacional (com rede de fluxo subparalela)	Rastejo
			Maior	Translacional (com rede de fluxo vertical)	
			Variável	Estruturados	
Saprólito	Rocha muito alterada	Espessuras variáveis (não laterizadas)	Menor	Estruturados	
Tálus	Variável	Variáveis	Variável	Rastejo	
				Escorregamentos	

Fonte: Carregã (1996).

Fez-se uma divisão entre os movimentos de massa de acordo com alguns estágios, nos quais são apresentados critérios de comportamento em função da tensão-deformação-tempo dos solos e seus aspectos mecânicos; eles foram divididos da seguinte forma: pré-ruptura, ruptura, pós-ruptura, reativação e deslizamento ativado.

O processo de pré-ruptura inclui o processo de deformação que evolui até à ruptura. Portanto a massa de solo está essencialmente sobre-adensada, intacta e

contínua. Dessa forma, denota-se que esta fase será caracterizada por possuir baixas velocidades que são controladas por fenômenos de ruptura progressiva.

Quando se aproxima da ruptura esta velocidade irá aumentar em função da zona de cisalhamento do solo e em função das suas tensões iniciais que irão variar intensamente a partir desse momento. O estágio de ruptura consiste na formação de uma zona ou superfície de cisalhamento, neste ponto as forças resistentes tornam-se iguais às forças cisalhantes, resulta também da adição de vários fatores; ela será influenciada pelos efeitos da velocidade de deformação, ruptura progressiva e descontinuidades.

A pós-ruptura será o movimento de massa de solo ou rocha envolvida no deslizamento logo após a ruptura; neste momento ocorre o aumento da velocidade e um progressivo decréscimo na massa que está em movimento – a forma na qual se comportará o material que está em movimento depende da redistribuição da energia potencial utilizada no processo de ruptura, que está representada pelas energias cinética, de desagregação e de fricção.

A fase de reativação irá descrever o movimento de massa ao longo de uma ou várias superfícies de ruptura pré-existentes; ele será controlado pelo comportamento do atrito entre as partículas de solo após os eventos de deslocamentos, a mesma pode ser ocasional ou contínua e possuir variações sazonais de velocidade de movimento.

De acordo com autores como Lacerda (2002), nos casos onde ocorre solo coluvionares bastante espessos, com cerca de 5 metros, nos quais os mesmos encontram-se localizados em depressões de vales, e permanentemente saturados serão aqueles que apresentarão maior risco; os mesmos estão situados acima do lençol freático possuem resistência devido à sucção e estrutura estável mesmo estando bastante inclinados. Sua geomorfologia denota que as encostas podem apresentar linhas de cumeada (divisor de águas) normais à direção do vale principal onde suas espessuras são mínimas; eles irão se depositar nos talwegues à partir de escorregamentos de capas superficiais alteradas.

Um estudo de observação muito importante concluiu que para a avaliação de estabilidade de taludes com inclinação inferior à 20°, uma medida importante a ser tomada seria o rebaixamento do lençol freático para estabilizar o mesmo, fato no qual não ocorre na área, uma vez que as inclinações apresentam-se em torno de 27°.

CONDICIONANTES DE INSTABILIDADE DE ENCOSTAS

A instabilização deriva de alguns processos que podem agir em conjunto, dentre eles a geologia, a geomorfologia, a hidrogeologia da área e a ação antrópica.

Terzaghi (1950) estudou as causas das instabilizações dos taludes, e as mesmas podem ser divididas segundo duas categorias: denominadas causas externas e internas. As causas externas são aquelas provocadas pelo aumento das tensões cisalhantes ao longo da superfície potencial de ruptura; já as causas internas serão aquelas provocadas pela diminuição da resistência ao cisalhamento do solo.

Como exemplos de causas externas têm-se a sobrecarga na parte superior do talude, escavação no pé, o efeito de vibrações entre outros. Já as causas internas, são uma representação da perda de resistência pela ação do intemperismo e a elevação do poro-pressão na superfície de ruptura.

As demais causas são condicionadas por causas geológicas, morfológicas, físicas e antrópicas. Entre as causas morfológicas pouco prováveis estão: o levantamento tectônico ou vulcânico, o alívio por degelo e a erosão glacial no pé do talude. Entre as causas físicas pouco prováveis pode-se citar: o derretimento de neve, os terremotos, as erupções vulcânicas, o descongelamento e o intemperismo por congelamento e descongelamento.

No caso das encostas brasileiras, como definido por Augusto Filho e Virgili (1998), foram definidas como causas dos grandes deslizamentos nessas áreas as seguintes denominações:

Quanto ao material que compõem o substrato, suas características e distribuições abrangem aspectos que dizem respeito aos solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas (xistosidade, fraturas, etc.). Definiram também a atuação dos eventos climáticos, principalmente no que tange o regime pluviométrico dessas áreas, assim como os aspectos geomorfológicos (inclinação, amplitude e forma do perfil das encostas – retilíneo convexo e côncavo). Além desses aspectos citados os autores enfatizam também a questão dos regimes de águas superficiais e subsuperficiais, assim como as características de uso e ocupação, nas quais abrangem os aspectos de cobertura vegetal e as diferentes formas de intervenção antrópica das encostas, como cortes, aterros e concentração de águas pluviais e servidas.

MOVIMENTOS DE MASSA EM SOLOS RESIDUAIS E COLUVIONARES

Este capítulo trata dos movimentos de massa em solos residuais e coluvionares, nos quais se tornaram grande objeto de estudos em função da quantidade de eventos ocorridos no Brasil e possuindo exemplos clássicos de estudos no litoral do Estado de São Paulo, principalmente em Santos e Cubatão (1939).

No ano de 1939 documentou-se o primeiro evento de escorregamento na Serra de Cubatão, aos fundos da Usina Hidrelétrica da empresa Light. Tais movimentações mostraram-se bastante intensas e a partir daí muitos estudos geotécnicos foram feitos sobre o problema a fim de se determinar as causas e as características dos maciços instabilizados.

Além de determinar as características geotécnicas dos maciços, deve-se acrescentar ao estudo do comportamento do talude à geomorfologia, condições de estabilidade, e projetos de medidas para contenção dos mesmos.

Contudo, para determinar o comportamento de um talude nessas condições deve-se:

- Identificar e classificação dos vários tipos de movimentos de massas que podem ocorrer no talude, sua morfologia, seus aspectos geológicos, a velocidade do movimento e as suas causas de instabilização;
- Classificar e descrever de maneira precisa os materiais envolvidos no movimento e determinação das propriedades relevantes ao objetivo do estudo;
- Efetuar a análise da estabilidade do talude onde se deve considerar o tipo de movimentação e as propriedades dos materiais;
- Correlacionar as observações de campo com os resultados da análise de estabilidade.

INTEMPERISMO VERSUS ESCORREGAMENTOS EM SOLOS TROPICAIS

Os solos tropicais são definidos como os solos que recobrem o substrato rochoso em localidades que possuem clima tropical. Muitas vezes o termo “solo residual tropical” ou, simplesmente, “solo residual” é também utilizado, pelo fato de a maioria dessas formações serem o produto do intemperismo de uma rocha matriz.

A formação do perfil de intemperismo envolve os processos físicos, químicos e biológicos ao longo do tempo. Fatores ambientais e geomorfológicos, tais como: clima, vegetação, topografia e rocha matriz influenciam e influenciarão na espessura do perfil.

Estes fatores citados acima interferem não só na formação dos solos residuais, eles também influenciam na formação de solos coluvionares ou outra formação de solo transportado que foram submetidas à ação do intemperismo em ambientes tropicais. Geneticamente se considera como sendo solo residual todo aquele que apresenta características mineralógicas e estruturais da rocha matriz. O solo coluvionar, ou colúvio é constituído por material decorrente de um depósito composto por blocos ou grãos de qualquer dimensão e de material transportado, principalmente, por gravidade e que são acumulados no sopé ou a uma pequena distância de taludes mais íngremes ou escarpas rochosas.

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE SOLOS TROPICAIS

A mineralogia, os aspectos estruturais e as condições de saturação podem influenciar na resistência dos solos tropicais; essa influência irá depender do grau de intemperismo, do nível de estruturas do solo e da rocha matriz. O intemperismo afeta a estrutura do solo em detrimento de casos onde possa ocorrer a litificação, ocasionando em um material de aspecto consolidado.

Na mecânica das rochas, a coesão é muito elevada e a resistência será dominada pela resistência das fissuras. Na mecânica dos solos a resistência será quase friccional, com uma pequena componente relativa à dilatação. Estes dois aspectos citados podem ocorrer conjuntamente, o que pode ocorrer com frequência em solos tropicais.

Em casos nos quais os horizontes superficiais são constituídos por solos coluvionares ou formações residuais, como exemplo os solos provenientes de granitos, pode ocorrer matacões imersos em uma matriz de solo. Para casos como

estes, a resistência do solo será dominada pela matriz do mesmo; no entanto, em solos saprolíticos que possuem estruturas provenientes da rocha matriz o seu comportamento será determinado por tais estruturas.

Quando ocorre a ausência de argilas expansivas nas camadas de solos superficiais e a ocorrência de óxidos e ferro e alumínio, estes últimos contribuirão para a resistência ao cisalhamento do solo, atuando no aumento da coesão e do ângulo de atrito. Nas camadas de solos residuais a mineralogia tende a influenciar de forma mais significativa na resistência.

FATORES CONDICIONANTES

Para descrever os processos de instabilização de taludes, neste caso, naturais, os processos foram associados e combinados da seguinte forma:

- A velocidade, direção e recorrência dos deslocamentos;
- A natureza do material instabilizado, solo, rocha, detritos, depósitos, etc., sua textura, estrutura e conteúdo d'água;
- A geometria das massas movimentadas;
- Modalidade de deformação do movimento;

Varnes (1978) propõem a associação dos movimentos de massa, dos fatores apresentados nos parágrafos anteriores e fenômenos naturais/antrópicos para gerar modelos preventivos. O autor também discute que os principais condicionantes e mecanismos deflagradores partem do reconhecimento dos fatores que aumentam as solicitações ou diminuem a resistência dos terrenos.

TABELA 2. CLASSIFICAÇÃO DE VARNES EM FUNÇÃO DOS FATORES CONDICIONANTES INSTABILIZAÇÕES E MOVIMENTOS DE MASSA

Fatores	Fenômenos Naturais/Antrópicos
Remoção de massa (lateral ou base)	Erosão, escorregamentos e cortes.
Sobrecarga	Peso d'água de chuva, neve, granizo, etc.;
	Acúmulo de depósitos;
	Peso da vegetação;
	Construção de aterros.
Dinâmicos	Terremotos, ondas, vulcões, etc.;
	Explosões, tráfego, sismos induzidos
Pressões Laterais	Água em trincas, congelamento, material expansivo, etc.
Textura, estrutura e geometria do material	Características geomecânicas e o estado das tensões
Mudança na característica do material	Intemperismo, redução da coesão e ângulo de atrito
	Elevação do NA
Outros	Rastejos progressivos gerando enfraquecimentos
	Bioturbação e ação das raízes das árvores

Tais fatores demonstrados na tabela acima podem ser compreendidos como processos de causa e efeito nos quais levam o talude a romper.

Outros autores como Guidicini e Nieble (1976) definiram que para tais movimentos, ocorre a ação de dois agentes – os agentes predisponentes e os agentes efetivos.

Os agentes predisponentes constituem conjuntos de características naturais extrínsecas dos terrenos nos quais os movimentos vão ocorrer. Tratam-se dos complexos Geológicos, geomorfológicos, climatológicos, hidrogeológicos, de gravidade, calor solar e tipo de vegetação.

Já os agentes efetivos são aqueles responsáveis diretamente por desencadear as instabilizações de taludes/encostas e neste caso incluem a ação antrópica. Eles ainda estão subdivididos em fatores preparatórios e imediatos dos quais:

Os agentes efetivos preparatórios correspondem a efeitos da pluviosidade, erosões da água e vento, degelo, variações de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação dos níveis freáticos, ação de animais e antrópica.

No que tange os agentes efetivos imediatos pode-se citar os eventos de chuvas intensas, fusão do gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, ventos e a própria ação antrópica.

Os agentes acima citados atuam de maneira concomitante, com algumas particularidades dependendo de cada caso, no entanto uma característica óbvia que pode influenciar momentaneamente ou ao longo de intervalos bem determinados é representada pelas características climáticas, com destaque para o regime pluviométrico. Os aspectos geomorfológicos nos quais abrangem a amplitude e forma do perfil das encostas (côncavo, convexo ou até mesmo retilíneo) somadas à inclinação também são indicativos de movimentações e merecem a devida atenção para a prevenção das mesmas. Associa-se também aos regimes das águas superficiais e subsuperficiais, além do uso e ocupação do solo. O uso e ocupação do solo vão influenciar diretamente na cobertura vegetal e nas diferentes formas de intervenção das encostas, como os cortes, aterros e a concentração de água pluvial e servida.

O substrato em regiões tropicais e subtropicais resulta em mantos de cobertura superficial de grandes espessuras, com formações de zonas de diferentes resistências, permeabilidade e outras características que vão se relacionar diretamente aos escorregamentos. Em se tratando do substrato terroso, no qual o ângulo de atrito e a coesão serão parâmetros importantes na resistência ao cisalhamento que irá depender da gênese e das características do mesmo. A coesão está relacionada à capilaridade (coesão aparente - é o resultado da tensão superficial da água nos capilares do solo, formando meniscos de água entre as partículas dos solos parcialmente saturados, que tendem a aproximá-las entre si) e vai variar com o grau de saturação do solo.

A QUESTÃO DA ÁGUA EM SUBSUPERFÍCIE

A água em subsuperfície é considerada como uma das principais responsáveis pela deflagração dos movimentos de encostas. Portanto, estudos como os de Patton e Hendron Junior (1974) propuseram um modelo de redes de fluxos subterrâneos para aquíferos livres, que consiste do fato de que nas proximidades de uma encosta as linhas de fluxo apresentam-se subparalelas ao nível d'água, na base da encosta. Portanto a base da encosta é considerada uma área de

descarga, portanto, nos faz concluir, com base nos estudos citados no parágrafo anterior, que se houver impermeabilização dessa base, poderão ocorrer processos de represamento das linhas de fluxo e conseqüentemente a elevação do nível d'água e das pressões neutras (ou poropressão) levando aos escorregamentos.

A ação do deslocamento da água subsuperficial pode desencadear os escorregamentos segundo: a diminuição da coesão aparente – afinal a permeabilidade cresce em profundidade nos solos, tendendo a formar linhas de fluxo sub-verticais que aumentarão o grau de saturação e diminuir o efeito da coesão aparente (a frente de umedecimento do solo vai avançando em profundidade) – neste caso pode gerar rupturas sem mesmo ocorrer a elevação do nível d'água – trata-se de um dos principais deflagradores dos escorregamentos planares estudados na Serra do Mar Paulista; A variação do nível piezométrico em massas homogêneas – o nível d'água se eleva nestas condições, aumentando as pressões neutras, reduzindo as tensões normais efetivas e a resistência ao cisalhamento – podendo levar o talude a romper; A elevação da coluna d'água em descontinuidades pode fazer com que o nível d'água das águas subterrâneas se eleve de maneira mais intensa nos taludes rochosos pouco fraturados se comparados aos maciços terrosos. Estas elevações dos níveis d'água nas descontinuidades diminuem tanto as tensões normais efetivas (soma das tensões intergranulares e da pressão d'água (pressão neutra)), quanto geram esforços laterais cisalhantes.

A QUESTÃO DA COBERTURA VEGETAL

A vegetação como um dos processos deflagradores de movimentos de massa possui grande importância em função do balanço hídrico no qual irá implicar na dinâmica da água. Para tanto, fez-se necessário analisar o efeito da vegetação nos movimentos de massa e uma correlação entre os aspectos favoráveis e desfavoráveis.

Os aspectos favoráveis são relacionados de duas formas: na redistribuição da água proveniente das chuvas e no acréscimo da resistência do solo devido às raízes.

A redistribuição da água está associada às copas das árvores que vão dificultar o impacto direto da chuva com a superfície do talude natural, assim diminui a

quantidade de água que infiltra efetivamente no solo; outro aspecto que deve ser levado em consideração é a retirada de água no solo por parte da planta em função dos nutrientes que a mesma necessita.

O acréscimo à resistência do solo é enfatizado em função do reforço mecânico e o escoramento provocado pelas raízes no solo.

Os aspectos desfavoráveis estão associados ao efeito alavanca, o efeito em cunha e a sobrecarga vertical.

O efeito alavanca consiste em gerar uma força cisalhante que será transferida pelos troncos das árvores ao terreno, em caso de fortes ventos.

O efeito em cunha é causado pela pressão lateral gerada pelas raízes quando as mesmas penetram nas fendas do solo ou rocha.

A sobrecarga vertical corresponde ao peso das árvores no que tange a inclinação das encostas associadas às características do solo.

O desmatamento também promove um aceleração na instabilização das encostas, pois com a retirada das árvores ocorre a priori uma diminuição da sobrecarga e do efeito em cunha, por exemplo, no entanto desprotege o solo que receberá os impactos da águas das chuvas, além da ocorrência do apodrecimento das raízes das mesmas, aumentando a probabilidade de rupturas, servindo como um dos processos que irão diminuir o fator de segurança para estabilidade.

FATOR DE SEGURANÇA

Além dos aspectos citados nos itens anteriores deste presente trabalho não se pode deixar de citar a definição de Fator de Segurança (FS)

O fator de segurança (FS) é entendido com um valor numérico da relação estabelecida entre a resistência ao cisalhamento disponível do solo para garantir o equilíbrio do corpo deslizando e a tensão de cisalhamento mobilizada, em função do efeito dos esforços atuantes, ou seja, trata-se de uma forma de analisar o equilíbrio limite na estabilidade do talude. Este parâmetro nada mais é que o quociente entre a resistência do terreno e as forças motoras que ocorrem ao longo da superfície de movimentação.

Para analisar o equilíbrio limite de um talude deve-se analisar e relacionar a tensão-deformação em função do conhecimento das resistências ao cisalhamento, de pico e residuais (sendo que a primeira consiste na máxima tensão de

cisalhamento que o solo se mostra capaz de suportar sem sofrer ruptura e a segunda da mínima resistência ao cisalhamento apresentada pelo solo, na condição drenada, após sua ruptura e após grandes deslocamentos). Em função dos métodos numéricos a distribuição das tensões do talude ou da encosta a fim de se estabelecer a forma geométrica do volume que pode vir a deslizar e avaliar a sua estabilidade.

Contudo, foram calculados em função desses estudos valores de FS que dizem respeito à condição do talude:

TABELA 3 – FATORES DE SEGURANÇA E SUA CONSEQUÊNCIA NA INSTABILIZAÇÃO DE TALUDES

Coeficiente de Segurança (FS)	Condição do Talude
FS < 1	Talude Instável – na ocorrência de corte ou aterro deverá sofrer ruptura.
FS = 1	Condição de limite na eminência de rompimento – deve ser adotado para as condições de retroanálise.
FS > 1	Condição estável – quanto mais próximo de 1,0, mais frágil a condição do talude.
FS >> 1	Condição estável – neste caso as possibilidades de rompimento serão menores se submetido à condições críticas.

Fonte: Carvalho (2001) – adaptado.

Estes fatores de segurança são calculados:

Área da base do bloco deslizante (A); Coesão no plano de ruptura (c); Empuxos devidos às pressões neutras no plano de ruptura e na trinca de tração (U,V); Força devido ao Tirante (T); Peso do bloco (P); Ângulo de atrito no plano de ruptura (ϕ); Ângulo entre T e o plano de ruptura (β); Inclinação do plano de ruptura (ψ).

$$FS = \frac{cA + (P \cos \psi - U + T \sin \beta) \tan \phi}{P \sin \psi + V - T \cos \beta}$$

5. Materiais e Métodos

Para a compreensão do comportamento geotécnico dos solos da região do Morro da Laranjeira em Antonina-PR fez-se alguns estudos de cunho geológico-geotécnico para que o mesmo ocasionasse a um entendimento dos processos que levaram à ruptura do solo na mesma localidade, na qual é caracterizada como um caso de deslizamento planar.

Os estudos na área em questão foram efetuados alguns meses após os eventos de movimentos de massa ocorridos em março de 2011.

A metodologia de estudos de baseia a priori na coleta de dados de campo e das condições do talude escorregado, assim como um trabalho de pré-mapeamento necessário para a visualização dos eventos e suas relações com a topografia, solo, rocha e água em subsuperfície.

Dessa forma, para que tais processos de reconhecimento fossem de grande utilidade para este estudo utilizou-se em etapas pré-campo fotos aéreas, mapas geológicos, mapas topográficos e imagens de sobrevôos, assim como fotos fornecidas pelo Google Earth®, com o intuito de identificar as áreas de interesse.

As etapas de realização dos trabalhos sugeriram uma etapa levantamento bibliográfico inicial para conhecimento da área de estudos, citada na literatura científica, a fim de propor e elucidar aspectos pertinentes aos condicionantes de movimentos de massa.

Após a construção conceitual sobre os elementos que contemplam os movimentos de massa e suas ocorrências bibliográficas partiu-se para a pesquisa de campo na qual foi efetuada em duas etapas:

A primeira etapa, realizada em setembro de 2011, visou reconhecer o evento e suas causas; a segunda etapa em dezembro de 2011, buscou-se associar os aspectos geológicos, a fim de se correlacionar os litotipos aos eventos pretéritos – nesta etapa também se fez um adensamento e fechamento de um mapa geológico preliminar que será aprimorado em trabalho próximo, além da coleta de amostras para a execução de ensaios geotécnicos para obtenção dos índices físicos do solo.

As duas etapas de campo, referentes aos meses de setembro e novembro de 2011, tiveram o objetivo de englobar toda a geologia local do município de Antonina,

relacioná-la à formação dos solos presentes e suas conseqüências para os movimentos de massa.

ETAPAS DE CAMPO

A primeira etapa de reconhecimento de campo consistiu em efetuar o reconhecimento das formas dos taludes rompidos, a aparição de blocos rolados, posições das árvores e a disposição de suas raízes, que possuem a finalidade de trazer informações sobre como ocorreu a movimentação, indicando a direção da mesma; Fez-se uma busca por estruturas como fraturas verticais encontradas no solo que pudessem indicar zonas de fraqueza que não ocorressem apenas na rocha sã, mas também no solo proveniente desta rocha. Tais estruturas (fraturas verticais no solo) encontravam-se dispostas no topo do plano de ruptura do talude, apresentando uma direção geral do mesmo em torno do azimute 115°. Estabeleceram-se os contatos entre os litotipos, proporcionando a elaboração de um mapa geológico preliminar. Estes contatos e os diferentes litotipos serviram de apoio ao entendimento da origem dos solos e como se apresentavam seus perfis. Outras estruturas também foram identificadas, como por exemplo, degraus de abatimento, rachaduras no solo e a formação de pequenos fluxos de escoamento para corridas de lama, assim como a visualização de surgências de águas do lençol freático.

Esta etapa também contou com o auxílio da Mineropar, na qual demonstrou uma metodologia de classificação de vertentes de forma muito significativa, seguindo a proposta de Zuquette (1998), caracterizando-se vertente por vertente dos morros envolvidos nas movimentações de massa em março de 2011.

Fez-se a análise de horizontes de solo, que, para a localidade do Morro da Laranjeira, apresentava muitas vezes horizonte A pouco espesso e logo abaixo saprólito de granitos e inclinação da mesma em torno de 35°. Anexo 1.– Figuras a e b.

Durante a segunda campanha de reconhecimento de campo, na qual se reconheceu as demais áreas onde houve deslizamentos se fez uma visita até o município de Morretes, que apresentava um grande fluxo de detritos, onde se observou os grandes efeitos do evento e a diversidade de materiais rochosos distintos trazidos em forma de grandes blocos; tal fluxo, além de descer do topo das

encostas, utilizava o canal do rio para escoamento e alargamento do mesmo, acarretando em um cenário de grande destruição que atingiu a população daquela área, destruindo casas, automóveis, etc. Esta etapa também teve como objetivo o adensamento das áreas em questão, a fim de compreender a disposição geológica da área de estudo de forma mais ampla; outro aspecto particular desta etapa faz alusão à coleta de amostras para caracterização geotécnica, constituídas de amostras pouco deformadas e em estado deformado de solos em um dos taludes naturais já rompidos no Morro da Laranjeira.

COLETA DE AMOSTRAS

Para a caracterização geotécnica do solo foram coletadas amostras em estado deformado e outras pouco deformadas para serem efetuados ensaios de laboratórios para a obtenção dos índices físicos do solo.

As amostras nas quais foram retiradas para tal fim são pertencentes a um dos taludes rompidos do Morro da Laranjeira, em um local acessível, que ao final da coleta representou 14 metros de perfil vertical de solo, localizado da metade do talude até o sopé do mesmo.

As amostras pouco deformadas foram coletadas em cilindros de PVC, contendo 10 cm de altura e cerca de 4,3 cm de diâmetro, espaçadas 1 m, totalizando 14 metros de amostragem e possuindo duplicatas.

Os cilindros foram cravados no solo de forma cuidadosa, a fim de preencherem os cilindros por completo e feita a identificação dos mesmos, embalados com plástico filme e papel alumínio em seguida; foram colocados posteriormente em caixa de isopor, contendo um tecido úmido no fundo da mesma para que não ocorresse a perda de umidade do solo e em seguida levadas para o laboratório de física do solo da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas no município de Campinas-SP.

As amostras deformadas foram coletadas em sacos plásticos em quantidade considerável, para que não faltasse material para que fossem feitos os ensaios.

ENSAIOS GEOTÉCNICOS DE SOLOS

As amostras foram ensaiadas nos laboratórios de física do solo das Faculdades de Engenharia Civil e Engenharia Agrícola (Unicamp), com o auxílio dos técnicos Reinaldo Leite, André Campanholi e Célia Panzarin.

Os técnicos fizeram uso das normas NBR para a obtenção dos índices físicos, seguindo os padrões de ensaios de laboratório utilizados por outros laboratórios.

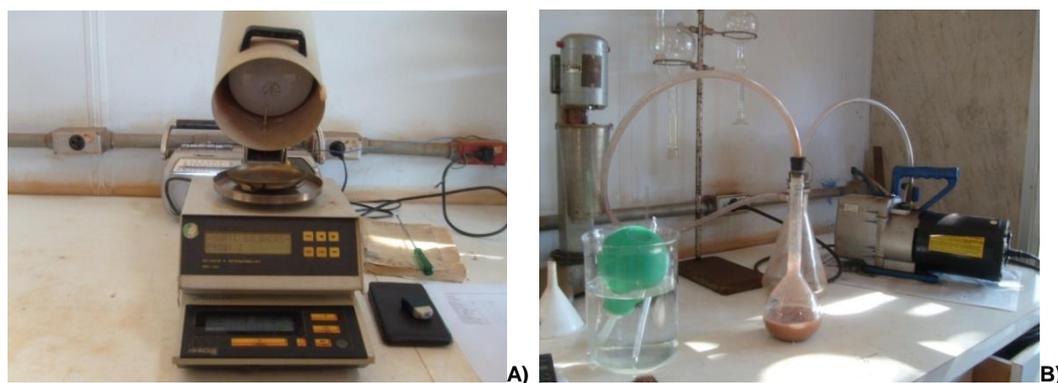
Para a obtenção desses parâmetros os técnicos da Faculdade de Engenharia Civil e Faculdade de Engenharia Agrícola, ambos responsáveis pelos laboratórios de física do solo, de suas unidades respectivas utilizaram as seguintes Normas NBR:

- 1 – NBR 6458 – Determinação da Absorção e das Massas Específicas Aparentes e dos Grãos de pedregulhos retidos na peneira 4,8 mm.
- 2 – NBR 6459 – Determinação do Limite de Liquidez dos solos.
- 3 – NBR 6508 – Determinação de Massa Específica dos Grãos – método do picnômetro.
- 4 – NBR 7180 - Determinação do Limite de Plasticidade de solos.

Cada metodologia nos fornece um parâmetro para que, a partir deles possamos calcular os demais.

Para a determinação do peso específico médio do solo (g/cm^3) utilizou o método do picnômetro, no qual a amostra foi secada à estufa por 12 horas e após este período pesou-se uma fração de 50g de solo para a realização do ensaio. Ao final do processo de pesagem dos picnômetros, vazio e completado com a amostra e água, fez-se cálculos para chegar ao índice de peso específico do solo médio, obtendo-se um valor de $2,748\text{g/cm}^3$. Figura 10 (a e b).

FIGURA 10: FOTOS DO EXPERIMENTO. A) IMAGEM DA PESAGEM DA AMOSTRA DE SOLO PARA ENSAIO. B) IMAGEM DO ENSAIO MONTADO DEMONSTRANDO A UTILIZAÇÃO DE BOMBA À VÁCUO PARA RETIRADA DE MOLÉCULAS DE AR DA AMOSTRA.



Com a obtenção desse índice e de acordo com o ensaio de determinação de absorção e massas específicas aparentes pôde-se calcular os demais, até a obtenção do grau de saturação.

Os formulários utilizados para os cálculos dos índices físicos são apresentados a seguir:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h \quad \text{- Cálculo do Volume do Cilindro (V em cm}^3\text{)}.$$

$$\gamma = \frac{M_t}{V_t} \quad \text{- Cálculo da Massa Específica do Solo (\gamma)}.$$

$$W = \frac{M_w}{M_s} \quad \text{- Cálculo da Umidade (W)}.$$

$$e = \frac{V_{\text{vazios}}}{V_{\text{sólidos}}} = \frac{\gamma_{\text{sólido}}}{\gamma_{\text{líquido}}} - 1 \quad \text{- Cálculo do Índice de Vazios (e)}.$$

$$n = \frac{V_{\text{vazio}}}{V_{\text{total}}} = \frac{e}{1+e} \quad \text{- Cálculo da Porosidade (n)}.$$

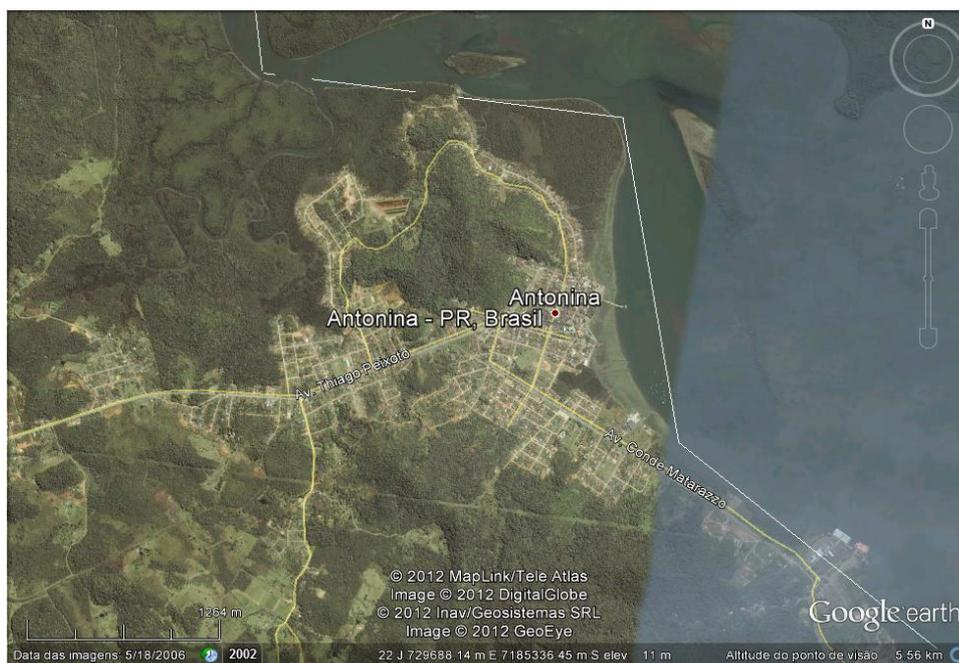
$$S_r = \frac{V_{\text{água}}}{V_{\text{vazios}}} = \frac{W}{e} \cdot \frac{\gamma_{\text{sólido}}}{\gamma_{\text{água}}} \quad \text{- Cálculo para o Grau de Saturação (Sr)}.$$

6. Estudo de caso

LOCALIZAÇÃO

Antonina está situada no estado do Paraná e é integrante da região litorânea do estado. Possui 876.551 km², apresentando uma população em torno de 18.891 habitantes, segundo último senso do IBGE. Mais precisamente está situada entre o litoral paranaense e a Serra do Mar. Apresenta um clima quente e úmido e grandes altitudes, podendo atingir cerca de 1800 metros de altura nas regiões de serra; contudo, apresenta relevo aplainado nas regiões centro-sul, assim como variações de forte e leve ondulado a norte e leste da área em questão e tornando-se montanhoso a oeste.

FIGURA 1: IMAGEM DO GOOGLE EARTH CAPTURADA EM MAIO DE 2005 DEMONSTRANDO A LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ANTONINA-PR.



Fonte: Google Earth (2012).

ASPECTOS HISTÓRICOS DO MUNICÍPIO DE ANTONINA-PR

O município de Antonina surgiu segundo pequenas atividades mineradoras no século XVII, garimpados na região de estuário, possuindo caráter de sesmaria em função dessa atividade, até passar à categoria de vila séculos atrás. Sua ocupação deu-se ao redor das encostas, tratando-se de uma característica histórica de urbanização. Com a escassez do ouro e o aumento da cidade, a mesma passou a atividades pesqueiras e portuárias, e atualmente busca firmar-se no ramo turístico. Com bastante semelhança aos eventos analisados na região serrana do Rio de Janeiro, Antonina sofreu processos erosivos bastante semelhantes, no entanto, a consequência de óbitos foi extremamente menor em relação à primeira.

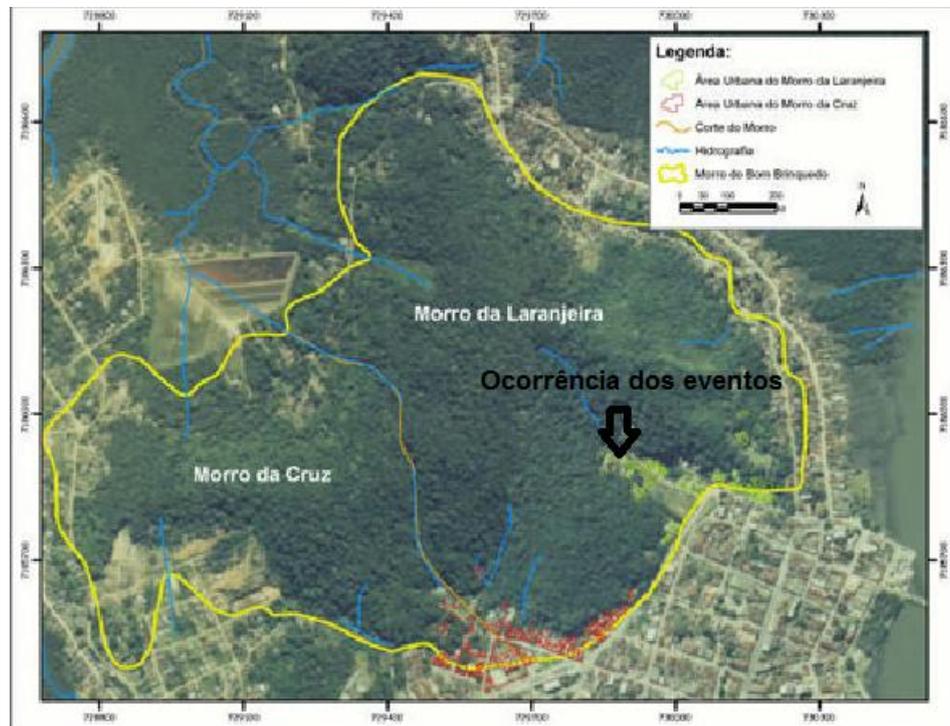
OS EVENTOS DE ESCORREGAMENTOS

Para um entendimento da dinâmica desses processos buscou-se observar não apenas as relações dos escorregamentos com a geometria do talude escorregado, mas também a interação do meio com o homem, no qual muitas vezes é responsável, em partes, e vítima dos acontecimentos de eventos dessa magnitude.

Inúmeros eventos como estes possuem também como agente deflagrador a atuação antrópica, consistindo na aceleração dos processos, uma vez que o homem atua como agente modificador do relevo. Sua atuação consiste em cortes de talude e aterro onde muitas vezes apresentam configurações negativas, propícios a romper, causando uma instabilidade no maciço terroso. No caso do município de Antonina-PR, o corte e o aterro feito de forma irregular é caracterizado apenas nas porções dos morros onde não houve escorregamentos.

O Morro da Laranjeira possuía residências localizadas em sua maioria, na base do morro; apenas uma das residências verificadas durante a atividade de campo havia sido construída sob condição diferente. Contudo, para a grande maioria das residências não se notou participação no que tange a aceleração desses processos perante os eventos de março de 2011, no entanto encontram-se ocorrências em algumas casas localizadas no sopé do morro, assim concluiu-se que em partes a atividade humana pode ser considerada com auxiliar nos processos deflagradores dos movimentos de massa para esta localidade.

FIGURA 11: MAPA CONFECCIONADO À PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE FOTO AÉREA, DESTACANDO O MORRO DA LARANJEIRA E O MORRO SANTA CRUZ E A ÁREA DOS ESCORREGAMENTOS.



Fonte: Picanço (2011) - modificado.

Para a compreensão dos processos foi necessário para analisar as ocorrências no local, enfatizando-se o momento do rompimento do talude.

A área selecionada possui na realidade três eventos de escorregamentos maiores e um menor porte. Anexo 1. Figuras f, g e h.

A priori caracterizou-se a rocha matriz que deu origem ao material escorregado e como a mesma se comportava perante aos eventos de escorregamentos. A rocha em questão representa o granito da Suíte Morro Inglês, de caráter pórfiro, cinza avermelhado; o solo que se originou a partir dessa rocha gerou uma característica muito peculiar para o mesmo, pois gerou solos silto-argilosos que apresentavam uma permeabilidade significativa, compreendendo uma “molhabilidade” intensa no maciço, no qual foi comprovado em função dos ensaios de plasticidade para este solo. Esta “molhabilidade” sugere a que o solo comporta-se como uma “peneira” para o escoamento da água superficial. No decorrer dos vários dias em que ocorreram as chuvas, os níveis de precipitação atingiram valores superiores aos esperados para o período, chegando a cerca de 518 mm em março

de 2011 (segundo a DER-PR). Em se tratando de um evento inesperado, o solo se comportou de maneira a romper a sua estrutura, levando ao escorregamento.

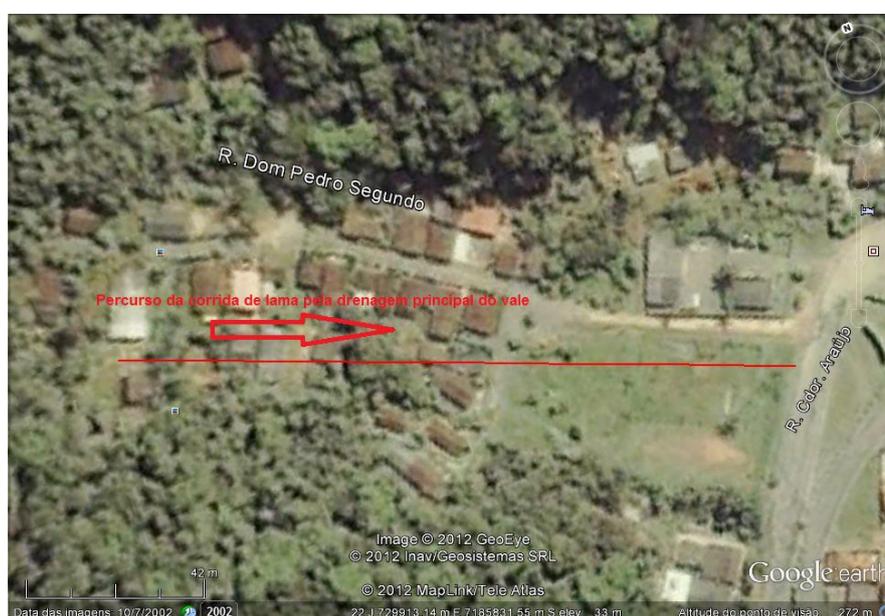
O primeiro evento a acontecer ocorreu sob a residência de um dos médicos do município na qual se encontrava no ponto mais alto de uma das vertentes do morro. Anexo 1 – Figura c. Este primeiro evento de deslizamento tornou-se um dos mais didáticos para o entendimento dos processos e do comportamento do solo, pois se identificou fraturas de ruptura do solo (de origem pedogenética) na quebra do talude; esta feição indica uma possível direção de ruptura do solo, de forma a favorecer a movimentação que se deu durante o rompimento do talude – não se trata de uma feição reliquiar da rocha matriz desse solo, mas uma evolução pedogenética do perfil que neste caso, favorece a ruptura do talude. A direção do plano de ruptura deste solo, na qual apresentava aberturas que variavam de 3,0 mm a 0,5 cm e 40cm de comprimento era de, em média, 210/85 e não se encontrava preenchida ou mesmo possuía algum revestimento. Anexo 1 – Figura d. Este escorregamento se iniciou primeiramente com uma evolução do perfil de intemperismo, no qual se formou em função da formação de ravinamentos e a formação de sulcos e possivelmente o aparecimento de degraus de abatimento, que vieram a evoluir com o acréscimo das chuvas acumuladas em março de 2011. Trata-se de um escorregamento com características de movimentação planar (translacional), no qual o solo rompeu segundo a direção citada e escorregou, atingindo a casa do médico. (Anexo 1. Figura e).

O segundo evento é o objeto deste estudo, e foi caracterizado como um escorregamento planar com corrida de lama. Este se caracteriza por haver o rompimento de dois taludes, separados por um interflúvio.

Este escorregamento foi considerado o mais importante a ser citado neste trabalho, em função de como o processo foi originado. O processo se iniciou no alto do morro, próximo à linha de quebra do relevo. Houve a formação de ravinamentos nos quais apresentavam uma evolução em função de pequenos escorregamentos rotacionais planares em suas laterais; tal processo causou um aumento na área de ruptura, formando estruturas de canais dendríticos (Anexo 1 – Figura I). Após a instalação da ravina houve uma evolução para erosão laminar e erosão em sulcos. Quanto ao material escorregado, pode-se afirmar que o mesmo foi erodido e deslocado, acarretando em depósitos no sopé da encosta, no qual auxiliou na retenção de água superficial, que após este processo evoluiu para a

corrida de lama. A corrida de lama que foi gerada segundo o acúmulo de material proveniente da erosão do morro e da forte declividade do talude assim, juntamente com uma grande precipitação, a corrida de lama iniciou o processo de escavação da drenagem na qual já existia no local, mas de menor porte, gerando uma pequena avalanche de lama e detritos em alta velocidade. O fluxo percorreu algumas dezenas de metros (cerca de 200 metros) até atingir a rua Comendador Araújo. Seu percurso foi desviado por algumas casas e o fluxo se deslocou até alcançar a drenagem principal do vale.

FIGURA 12: PERCURSO DA CORRIDA DE LAMA.



Fonte: Google Earth®. 2002.

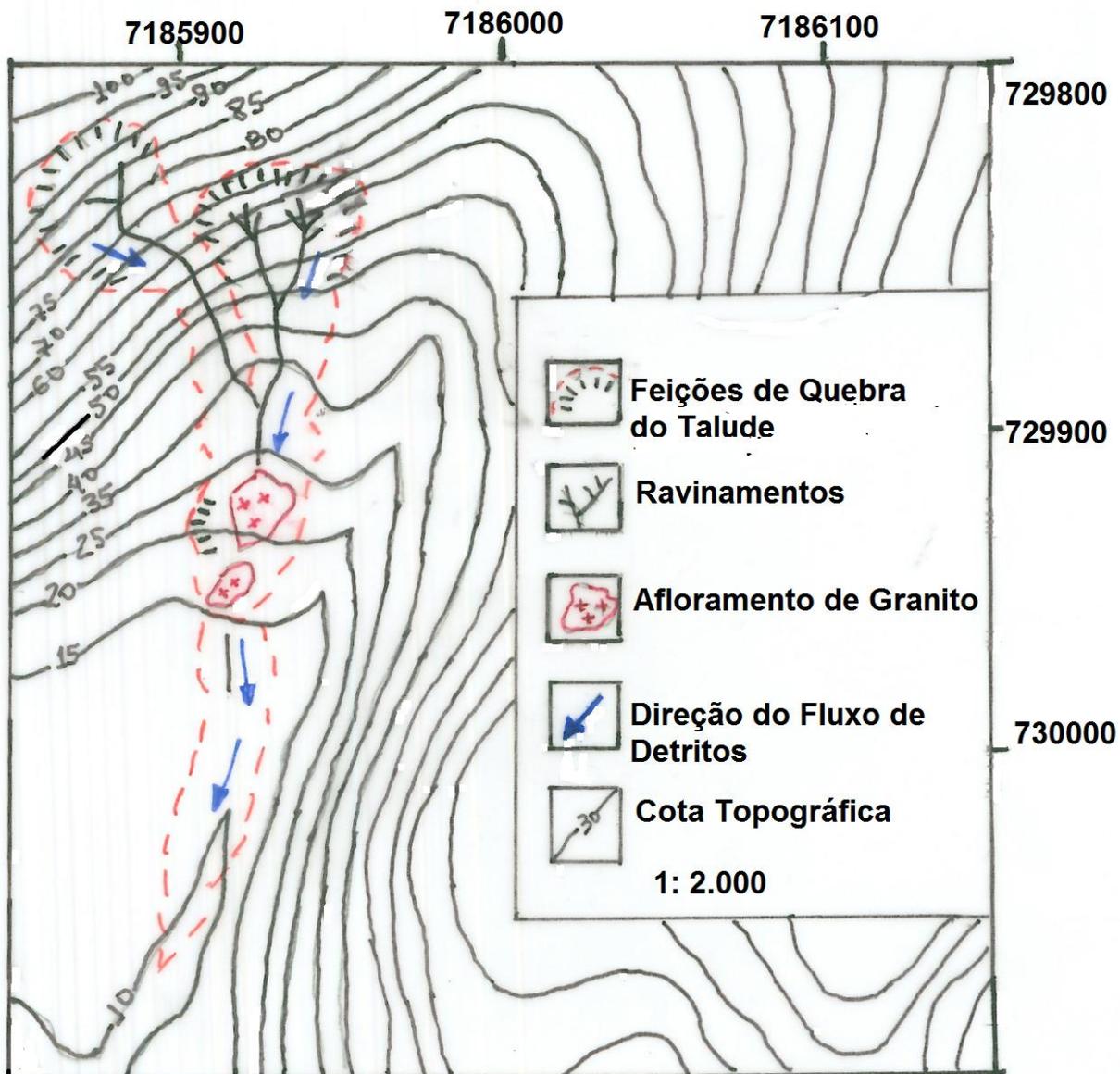
Outro escorregamento a ser evidenciado perante este estudo seria um de menor porte na mesma localidade, no Morro da Laranjeira, no qual ocorreu atrás das residências que funcionaram como barreira para a contenção do mesmo. Este também denota um escorregamento translacional; sua evolução provavelmente apresenta um caráter mais simplificado, uma vez que a inclinação do morro neste ponto aparenta ser maior, além do mesmo ter possuído alguns cortes em sua base feitos pelos moradores, dessa forma, instabilizando o talude.

Dando seqüência aos eventos, alguns dias após os acontecimentos que destruíram as residências contidas nesta mesma localidade houve a ocorrência de mais um movimento de massa, que neste caso, considerado também como

translacional; o mesmo ocorreu segundo vários dias de precipitação ininterrupta, ou seja, em situação na qual o solo encontrava-se bastante encharcado e já apresentava um nível de saturação máxima. Este último escorregamento foi descrito por um dos moradores de uma das casas atingidas, que ouviu um grande estrondo proveniente da parte mais alta do morro e assim resolveu retirar sua família no exato momento do evento. Este ponto apresenta rocha granítica aflorante, e alguns blocos de rocha espalhados pelo sopé do talude; não há indícios de rolamento de blocos no evento de março de 2011, mas, assim como o evento descrito anteriormente, o local apresenta uma declividade acentuada e também a ocorrência da formação de processos erosivos em forma de sulcos que pode evoluir conseqüentemente para uma ravina. Pode-se caracterizá-lo dessa forma como um evento translacional raso, onde apenas o solo superficial foi removido, não apresentando características rotacionais. Anexo 1- Figura k.

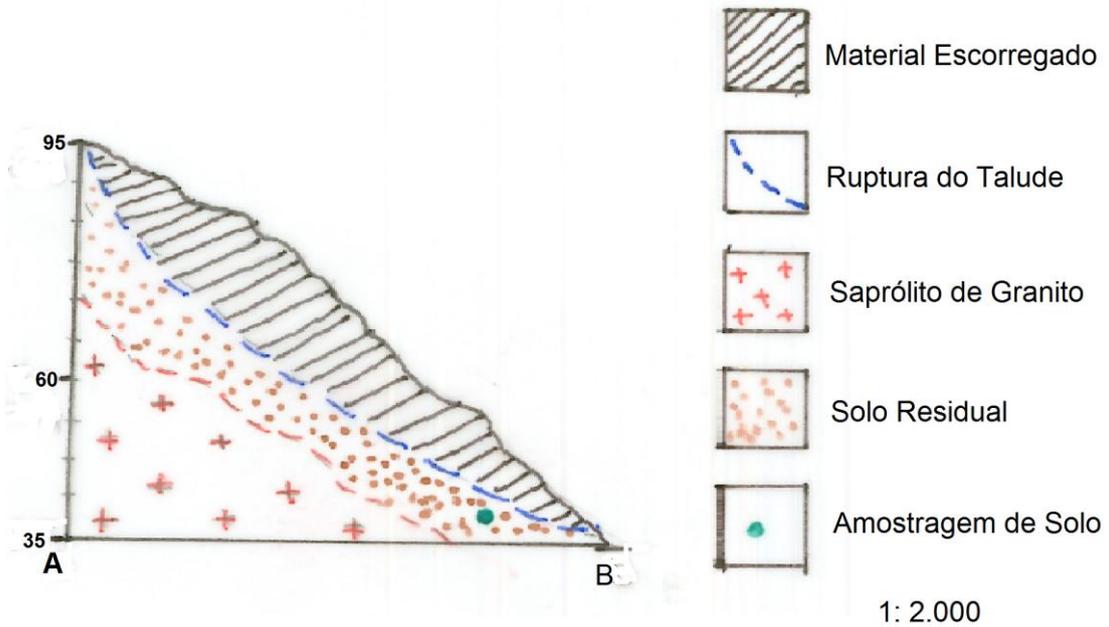
Estas ocorrências apresentadas neste item demonstram a grandeza dos movimentos de massa, denotando uma das áreas mais atingidas no município de Antonina, na qual também sofreu a ação das enchentes durante a ocorrência desses processos e das quedas de barreiras nas rodovias de acesso e outros escorregamentos isolados e não habitados em outras localidades; além deste evento no Morro da Laranjeira, os demais escorregamentos demonstraram o quanto o município encontra-se fragilizado quanto a estas questões, nas quais transformaram a vida dos moradores do município e fazendo com que os mesmos fiquem em constante estado de alerta durante os períodos chuvosos.

FIGURA 13. CROQUI DO ESCORREGAMENTO ANALISADO NO MORRO DA LARANJEIRA.



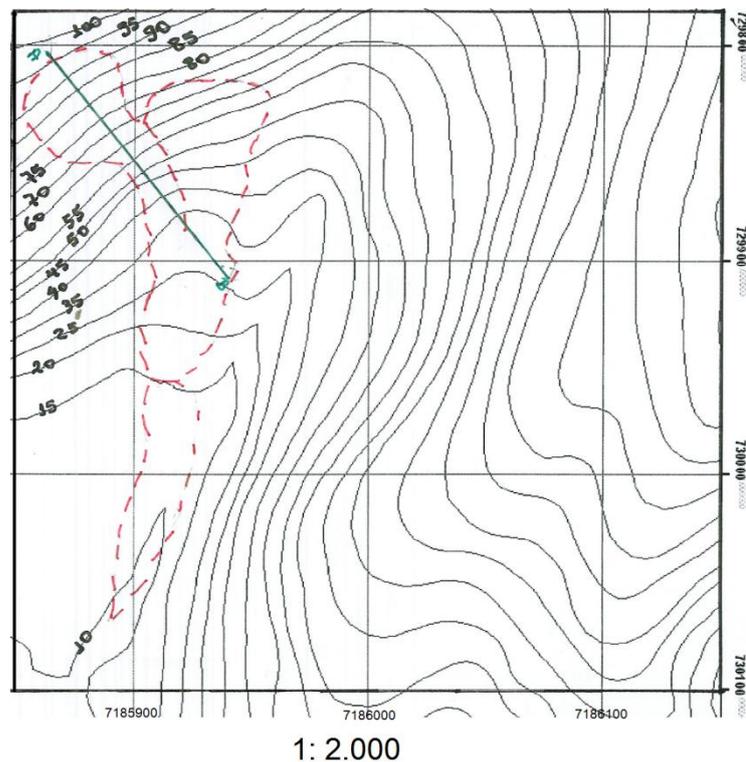
Este croqui acima denota a área do escorregamento analisado no qual se coletou as amostras. Note a direção do fluxo de detritos (corrida de lama) a localização dos afloramentos de rocha granítica e a formação de ravinamentos que se formaram no perfil.

FIGURA 14. PERFIL TOPOGRÁFICO DO ESCORREGAMENTO ESTUDADO PARA O MORRO DA LARANJEIRA. (ALTURA EM METROS).



A figura acima denota um perfil topográfico com a seção de escorregamento demonstrando de forma representativa o volume de material escorregado e o solo residual do granito e seu saprólito.

FIGURA 15. SEÇÃO TOPOGRÁFICA DEMONSTRANDO O PERFIL A-B NA ÁREA DO MORRO DA LARANJEIRA.



Outro aspecto a ser salientado seria a presença de solos coluviais em outros pontos nos quais ainda não haviam sido observados, nos morros e bairros no arredores do Morro da Laranjeira; durante o deslocamento para estas demais áreas fez-se a descoberta do contato entre a rocha cálcio-silicática e o quartzo xisto (em direção a Pedra do Índio, no bairro Buraco da Onça); observou-se que a mudança do solo/rocha também proporcionava um evento distinto daqueles ocorrido no Bairro da Laranjeira, pois havia a presença de pequenos escorregamentos rotacionais, associados à heterogeneidades do solo e das rochas, nas quais representam descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas que fazem parte das evoluções geomorfológicas, pedológicas e geológicas.

Nas demais regiões do município de Antonina se observaram outros eventos bastante interessantes e que mostram a evolução desses processos nos demais cenários e solos mais distintos do qual citamos nos itens anteriores.

Em direção a um dos morros que levavam a uma localidade próxima a chamada Pedra do Índio, encontraram-se dois grandes escorregamentos que não causaram nenhum dano material, no entanto muito didáticos. Tratava-se de duas vertentes separadas por um interflúvio; uma delas apresentava ser um grande deslizamento translacional simples, envolvendo pequenas espessuras de solos em uma área relativamente grande, acumulando solo e troncos de árvores na base. O escorregamento nucleou-se na parte superior da vertente, em substrato de rocha cálcio-silicática.

O outro deslizamento teve uma evolução bastante complexa. Iniciou-se na parte superior da vertente, no contato entre a vertente que possuía uma alta declividade e a parte plana do topo do morro. Iniciou-se como deslizamento translacional; havia um trecho onde apresentava uma drenagem anastomosada que evoluiu para uma corrida de lama, que erodiu o solo e deixou a rocha exposta nos trechos de maior declividade. Em um dos pontos da mesma, mais precisamente na metade deste talude rompido, havia uma barreira constituída por algumas árvores nas quais parte do material escorregado foi deslocado.

Esta localidade torna-se bastante interessante também, pois apresenta indícios de eventos pretéritos, com blocos de granito enterrados no sopé do morro, sugerindo depósitos de tálus.

Foram observados também eventos rotacionais, de menor porte, nos quais se observou um solo mais desenvolvido e mais espesso com relação ao evento do Morro da Laranjeira.

ASPECTOS GEOLÓGICOS LOCAIS

Foram identificadas quatro unidades principais e uma ocorrência de filonitos provenientes de metamorfismo dinâmico posterior nas rochas graníticas, dentro do limite no qual foi percorrido durante a atividade de campo. Tratam-se dos granitos vistos no Morro da Laranjeira, Bairro do Tucunduva e nas Pedras do Mirante e do Índio, os Diques de Diabásio em contato com o granito, o quartzo-xisto (avistado no Bairro do Tucunduva) e a rocha cálcio-silicatada (Seqüência Rio das Cobras - encontrada em afloramento nas proximidades da linha do trem da cidade e que continua em direção à caixa d'água da ETA central da SAMAE), e.

ROCHA GRANÍTICA

A rocha granítica possui, a olho nu, características mineralógicas básicas, contendo minerais de quartzo, feldspatos potássicos, biotita e outros máficos, de textura porfírica. Os granitos encontravam-se bastante fraturados, principalmente em zonas onde ocorrem contatos com outros litotipos e onde houve metamorfismo dinâmico; Este litotipo apresenta zonas de fraturas de distintas famílias; portanto buscou-se avaliar a presença de estrias de movimentação e medir as diferentes famílias de fraturas contidas nestes litotipos.

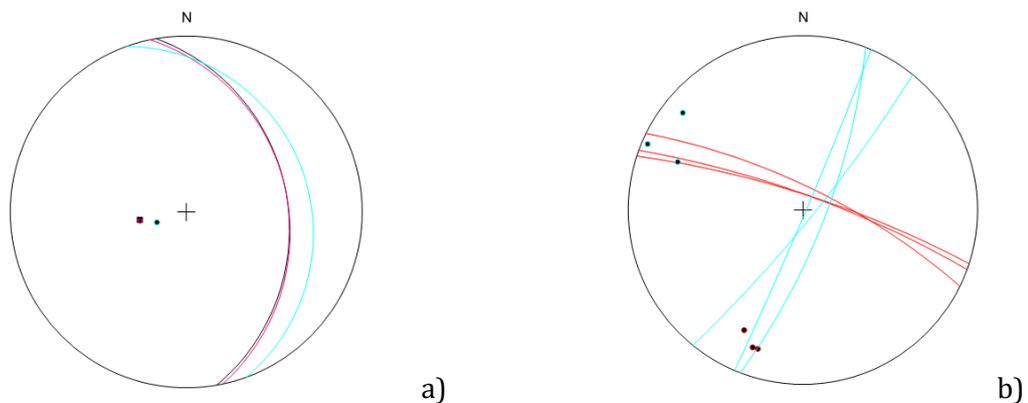
Na literatura estes granitos são descritos como integrantes do Complexo Gnáissico-Migmatítico do Arqueano-Proterozóico Inferior; são descritos como uma suíte granítica foliada, muitas vezes metassomáticos ou de anatexia e indiferenciados. Estes dados fornecidos pela literatura condizem com os aspectos observados em campo, em algumas localidades, principalmente na Pedra do Mirante, na qual se encontrou diques de Aplito (granito fino e sem minerais máficos) de direção geral 194/55.

Estas rochas muitas vezes possuíam fraturas preenchidas por filonitos (trata-se de um milonito estrutural e mineralogicamente semelhante a um filito, de metamorfismo regional, mas que se origina em zonas de falhas – metamorfismo dinâmico) que possui planos de foliação de direções 100/74 e 260/72. Em outros

pontos fizeram-se medidas de fraturas nos quais se encontraram afloramentos de rocha que apresentaram os seguintes comportamentos:

- a) Afloramento próximo à residência do médico Dr. Dinarte (Morro da Laranjeira) – direções de planos 20/70 e 30/78. Figura 16 a).
- b) Afloramento no talude ao lado do talude descrito acima – direções de planos com duas famílias distintas – 113/88, 129/83 e 111/75; 26/75, 18/80 e 20/80. Figura 16 b).

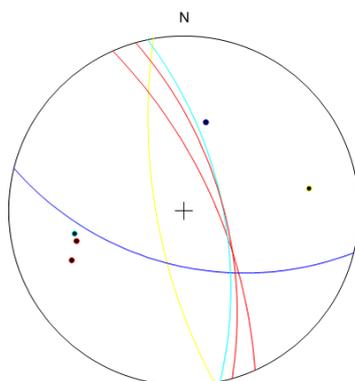
FIGURA 16: A) ESTEREOGRAMA COM OS PLANOS DE FRATURA – CASA DO MÉDICO. B) ESTEREOGRAMA DEMONSTRANDO AS FAMÍLIAS DE PLANOS DE FRATURAS DISTINTAS. AMBOS NO MORRO DA LARANJEIRA.



Como visto nas figuras 16 a e b, à esquerda o plano de fratura do granito denota rupturas em sentido bastante semelhantes aos planos de cerca de 26/75, 18/80 e 20/80, e mergulhos também concordantes. No entanto, no estereograma da direita vê-se que os pontos de intersecção entre os planos de fratura denotam pontos nos quais estas famílias de fraturas provocarão quedas de blocos exatamente na localidade desses pontos.

- c) Afloramento da Pedra do Mirante – este afloramento possui algumas peculiaridades, pois apresenta diques de Aplito e aparenta estar foliado e com veios de quartzo e com uma faixa centimétrica de filonito. Figura 17 .

FIGURA 17: ESTEREOGRAMA REPRESENTANDO OS DIQUES DE APLITO, PLANO DE FOLIAÇÃO DO GRANITO, VEIOS DE QUARTZO E FAIXA DE FILONITO. AFLORAMENTO DA PEDRA DO MIRANTE.



O estereograma acima denota as características que foram reconhecidas durante o levantamento de campo. Os planos plotados em vermelho significam a existência dos veios de quartzo, enquanto que o plano de cor azul escuro a direção do plano do dique de aplito, em amarelo a faixa de filonito e em azul claro a foliação principal do granito. Contudo, vê-se claramente que os veios de quartzo e o plano de foliação são concordantes, o filonito denota estar em direção contrária aos veios e à foliação e o dique de Aplito demonstra estar cortando a foliação e os veios em questão.

DIQUES DE DIABÁSIO

Este litotipo foi identificado em contato com o granito descrito nos parágrafos anteriores. Tratava-se muitas vezes apenas de um perfil de intemperismo no qual apresentava um solo mais argiloso, possuindo larguras de pouco mais de um metro. O fato de o mesmo apresentar apenas perfis de intemperismo ao longo de todos os afloramentos nos quais pudemos encontrá-lo, não permitiu a retirada de medidas de direção do mesmo, contudo, os mesmos podem ser visualizados segundo fotos aéreas nas quais se identificam estruturas que condizem com os mesmos.

No Morro do Bom Brinquedo, às margens da Rua Pe. Pinto encontrou-se blocos de diabásio rolados e “imersos” no solo pertencente ao talude. O mesmo encontrava-se em contato com o granito novamente.

QUARTZO XISTO

O litotipo que representa o quartzo xisto foi detectado em uma pedreira no Bairro do Tucunduva; este local demonstra uma significativa mudança de relevo

evidenciando-se assim um possível contato litológico entre as rochas, pois, havia morros mais suaves a sudoeste e mais acidentados a sudeste. A priori se classificou a rocha como um quartzito, na primeira etapa de campo; no entanto, na segunda etapa de campo notou-se que a rocha apresentava uma foliação de direção 210/65 e alguns sistemas de planos de fraturas.

Esta unidade é descrita, na literatura, como Complexo da Cachoeira, na qual se apresenta intercalada com rochas básicas e ultrabásicas, fato confirmado em função da ocorrência, nas imediações, de um perfil de solo intemperizado proveniente de uma rocha ultrabásica que não pôde ser identificada.

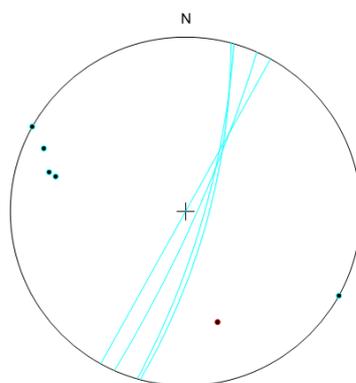
ROCHA CÁLCIO-SILICÁTICA

Esta rocha foi avistada às margens da linha do trem, a princípio, e também foram encontradas em direção a ETA SAMAE, no Bairro do Tucunduva, evidenciada pelo contato entre a mesma e o granito em estado milonitizado.

A mesma foi nomeada como mármore, por conter minerais carbonáticos, no entanto, bastante silicificados.

Nos demais afloramentos notam-se apenas a formação do solo proveniente desta rocha, caracterizando solos bastante espessos, vermelho amarelados, argilosos, apresentando estruturas de ravinamento em função da presença da foliação genética do mesmo, e perfis mais desenvolvidos. A figura 18 demonstra o estereograma para a mesma denota as foliações concordantes e o eixo de dobra representado em vermelho.

FIGURA 18: ESTEREOGRAMA REPRESENTANDO A FOLIAÇÃO E O EIXO DE DOBRA DA ROCHA CÁLCIO-SILICÁTICA. AFLORAMENTO PRÓXIMO À LINHA DO TREM.

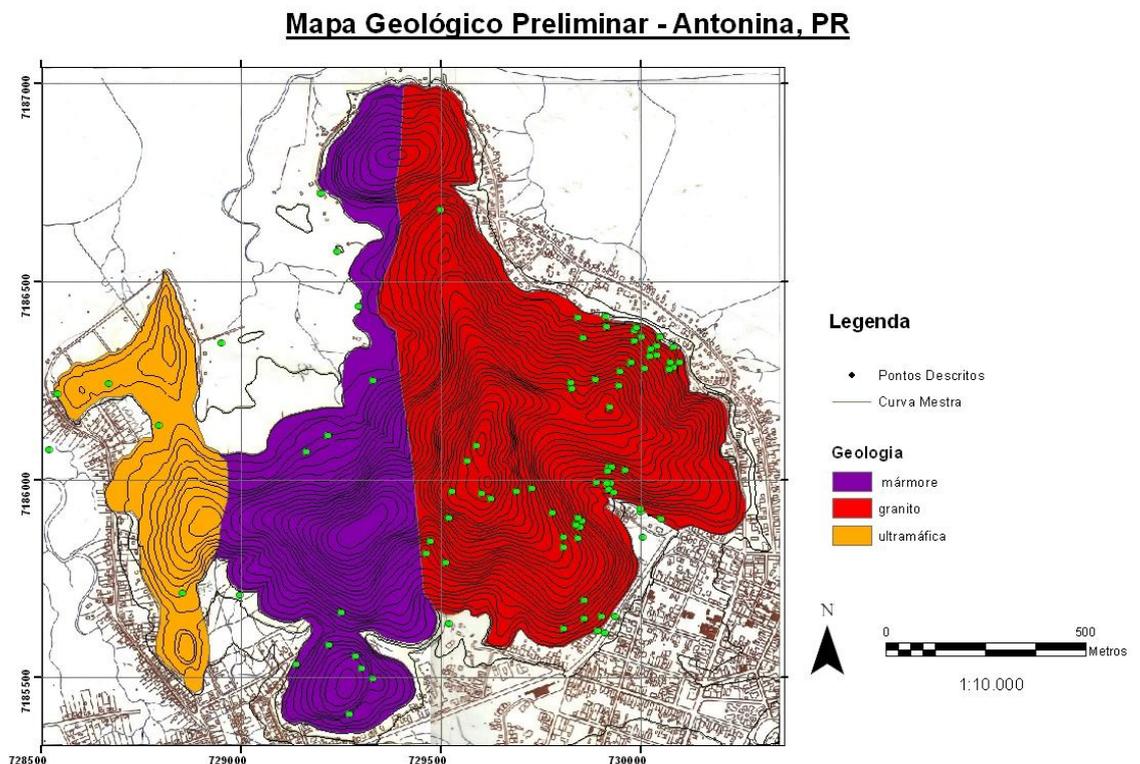


Este litotipo apresenta algumas estruturas como Budins e Ribbons de quartzo e pequenas dobras. Trata-se de um afloramento de cerca de 10 m de comprimento, apresentando foliações de direções 105/75; 114/83 e 106/78 e pequenos eixos de dobras com direção 164/23.

MAPA GEOLÓGICO PRELIMINAR

Após o reconhecimento dos litotipos acima, houve a necessidade da confecção de um mapa geológico preliminar que representasse espacialmente as rochas que estão contidas no perímetro urbano do município de Antonina. Há um déficit quanto à localização dos diques de diabásio, uma vez que não se pode determinar ao certo a sua ocorrência, e sendo a mesma caracterizada como pontual em relação aos demais litotipos. Este déficit será suprido nos trabalhos subseqüentes a este.

FIGURA 19: MAPA GEOLÓGICO PRELIMINAR.



Fonte: Picanço, J. L.; Morais, M. M. G.; Ferreira, S. C. (2011).

OS SOLOS DO MORRO DA LARANJEIRA

De acordo com a classificação geotécnica vigente para solos de encostas provenientes da rocha de origem, podem-se classificar os solos do Morro da Laranjeira como sendo um solo residual, de origem granítica, no topo do morro; na base dos mesmos, nas proximidades no nível do mar, são denominados transportados, na qual se encontra a presença de grãos de quartzo angulosos a arredondados provenientes do transporte do topo, em direção à base do morro.

Observando-se estes solos do ponto de vista pedológico, pode-se afirmar que constituem solos classificados como Cambissolos em associação com solos Regolíticos nas proximidades da base e neossolos Litólicos com rocha aflorante e residuais no topo.

Como descrito acima, em sua maioria, os solos do topo da seqüência possuem horizonte A pouco espesso (horizonte de solo orgânico), por vezes apresentando horizonte B (horizonte laterítico sem indícios de laterização) e em seguida solo saprolítico. Havia apenas um indício de solo transportado no sopé do morro escorregado, em um corte de um pequeno talude atrás da Copel (Companhia Paranaense de Energia), que apresentava características de um solo transportado, composto por grãos milimétricos de quartzo. Anexo 1 – Figura j.

Esta descrição assemelha-se com a descrição feita a alguns parágrafos anteriores, no entanto, não apresenta a evolução gradativa dos solos saprolíticos até o nível de rocha muito alterada, uma vez que o perfil que aflorou no Morro da Laranjeira apresenta-se bastante homogêneo nas porções analisadas.

Nas porções do Morro da Laranjeira no qual não havia sinais de escorregamento, pôde-se analisar perfis de solos bastante característicos, neste caso, os mesmos eram compostos por Horizonte A pouco espesso, com matéria orgânica, possuindo logo abaixo uma camada de cerca de 20 cm de solo transportado; a seguir, há a ocorrência de um solo jovem, marrom avermelhado estruturado e com grãos de quartzo (podendo chegar a algumas poucas centenas de centímetros até 1m) e enfim o saprólito proveniente de granito.

Os solos transportados muitas vezes apresentavam seixos de quartzo e fragmentos de feldspatos, que provavelmente podem ser provenientes das rochas graníticas presentes nos morros (solos coluvionares).

CLIMA LOCAL

Os estudos abrangeram porções do estado do Paraná correspondente às latitudes 24°30`S e 26°00`S e longitudes 48°00`W e 49°00`W, fazendo parte da Planície Litorânea e da Serra do Mar. É representada pelos municípios de Guaraqueçaba, Antonina, Morretes, Paranaguá, Matinhos, Guaratuba e Pontal do Paraná. Classificou-se o clima da Planície Costeira como Clima Subtropical Úmido – Mesotérmico, no qual apresentam médias, em meses mais quentes, maior que 22°C e no mais frio, 18°C, não possuindo estação seca definida, com verão quente e poucas geadas.

No entanto, o clima da Serra do Mar, que chega a atingir cerca de 700m de altitude apresenta uma denominação semelhante, no entanto com algumas nuances no comportamento. Trata-se do Clima Subtropical Úmido – Mesotérmico com verão fresco; nessas regiões as precipitações são mais freqüentes, no qual a temperatura média não passa dos 22°C.

Estes regimes são controlados pelo Anticiclone do Atlântico Sul, na qual as massas polares agem com maior influência no inverno e a tropical atlântica no verão.

Assim como apresentado anteriormente, o relevo de Planícies Costeiras, Serras e Morros Isolados que ocorrem na região irão influenciar intensamente os aspectos climáticos em questão, uma vez que a serra do mar irá funcionar como uma barreira para o avanço das massas de ar e na distribuição das temperaturas na região.

TEMPERATURA

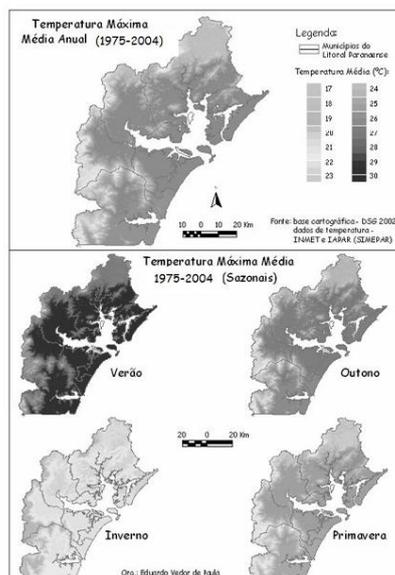
Em se tratando da região litorânea do Paraná, a temperatura do ar funciona como um regionalizador do clima. Segundo estudos de Vanhoni & Mendonça (2008) que coletou dados de estações situadas em algumas cidades do litoral paranaense, incluindo o município de Antonina, fez-se o estudo em questão para a caracterização do mesmo, nas quais se viu a variação sazonal do clima. Ao analisar-se os dados relativos às temperaturas mínimas, observa-se que as médias (anual e sazonal) apresentam-se da seguinte maneira: a média anual fica entre 16° e 18°C na planície litorânea decaindo com o aumento da altitude; nas Serras e Morros, a média anual situa-se entre 11° e 13°C. Já no verão a média está em torno de 19° e 21°C na planície, decaindo para 15° e 16°C nas regiões mais altas, e mesmo

para 12° e 13°C nos picos montanhosos; no outono a média situa-se entre 16° e 18°C, que apresenta valores mais baixos nas regiões mais elevadas (entre 11° e 13°C). Durante o inverno as médias de temperaturas ficam em torno de 12°C e 14°C na planície, no entanto, nas encostas e regiões montanhosas atinge valores entre 09° e 11°C. Durante a primavera as médias apresentam comportamento semelhante, com médias anuais (entre 16° e 18°C na planície, e decai para 11° e 13° nas regiões mais altas).

Quanto às temperaturas máximas, na qual as médias anuais atingem cerca de 25°C e 27°C na Planície Litorânea se reduz nas áreas de relevo mais elevado; já nas Serras e Morros, a média anual fica em torno de 22°C e 23°C.

As temperaturas no verão a média das máximas apresenta-se entre 29°C e 30°C na área de planície e decai para 25°C e 27°C na porção mais elevada do relevo onde e nos picos montanhosos cerca de 22°C e 23°C. Durante o outono as médias apresentam-se em torno de 26°C e 27°C, das quais 23°C e 24°C situam-se nas porções mais elevadas do relevo. No inverno, as médias apresentam-se em torno de 22°C e 23°C na planície, e entre 19° e 20°C nas elevações. Figura 21.

FIGURA 20: MAPA DE TEMPERATURAS PARA O LITORAL DO PARANÁ SEGUNDO MÉDIAS ANUAIS E SAZONAIS



Fonte: Vanhoni & Mendonça (2008).

PLUVIOSIDADE

Ainda segundo o estudo de Vanhoni (2008) no qual observou que a pluviosidade é um aspecto muito importante para o entendimento dos processos de movimentos de massa ocorridos, afinal, os mesmos irão influenciar na saturação máxima dos solos em questão.

A média anual para o litoral do Paraná é de 2435,8mm, na qual a máxima foi registrada na estação Véu de Noiva (em Morretes) que atingiu cerca de 3465,4mm, e a mínima registrada na mesma estação foi de média de 1958,7mm. Tais dados são explicados segundo a altitude (cerca de 680m) e localizada num vale profundo, no qual cedeu ao estudo valor de média anual tão alta.

No litoral ocorrem as mais altas pluviosidades, na qual é influenciada pela Massa Tropical Atlântica durante o verão.

Na região de serras, as precipitações serão elevadas e bem distribuídas durante o ano, e sendo a Paranaguá estação de inverno a menos chuvosa.

Na planície onde se situam os Municípios de Antonina, Morretes e, as médias pluviométricas possuem valores em torno de 2.000mm/ano e 2.200 mm/ano, no entanto, nas regiões mais montanhosas próximas as médias serão maiores em relação a estes valores.

Observando-se as médias encontradas durante o verão, estação de interesse, as médias claramente possuirão maiores valores, em torno de 1000 mm em altitudes maiores e 800 mm nas áreas de planícies. Em função dessas observações, notou-se também que as médias pluviométricas para o inverno são as menores, apresentando-se com médias que variam em torno de 300 a 400 mm/ano, nos topos de morros e nas planícies em torno de 280 mm/ano em Antonina, Morretes, Paranaguá, Matinhos e Parte de Pontal do Paraná.

Embora as demais estações não estejam representadas neste texto, observou-se que as intensidades das chuvas estão intrinsecamente ligadas as estações do ano, uma vez que o período chuvoso que mais interessa para este presente trabalho é referente ao período de verão, no qual ocorreram os acontecimentos pretéritos que causaram danos ao município de Antonina.

Um fato importante a ser ressaltado é a maior quantidade de chuvas no trimestre mais quente (dezembro, janeiro e fevereiro), na qual é atribuída a dois fatores principais: a participação da Frente Polar Atlântica – em função de uma certa

freqüência de semi-estacionária da MPa (Massa Polar Atlântica) sobre o Paraná, nesta época, e em função das ocorrências de chuvas de convergência trazidas pelas correntes vindas de oeste; contudo deve-se ressaltar que além desses aspectos apresentados até agora, outro fator, a maritimidade, também deve ser responsabilizada por tais fenômenos na região litorânea do Paraná.

De acordo com pesquisas e da leitura de boletins meteorológicos passados e sob a influência de estudiosos na área, conclui-se que o Sul do Brasil seria uma região na qual o efeito do El Niño causa impacto, principalmente quanto ao regime de chuvas.

A região centro-sul do país é uma região constituída de dez estados, nos quais os climas predominantes são o tropical típico ao norte da linha do trópico de Capricórnio e o temperado ao sul.

Durante o verão ocorrem chuvas convectivas bastante intensas, e no Sul do Brasil esta variação ocorre em caráter interanual e se justifica pela ação do El Niño e da La Niña. Estas variações causam bastante preocupação por parte dos estudiosos e da população em si, pois conferem anomalias climáticas que podem resultar em conseqüências climáticas desastrosas principalmente em relação à intensidade das chuvas. Tais variações são bastante nítidas, comparando-se as médias de precipitação nestas áreas, e como mostradas à seguir, com base nos dados de estudos anteriores.

TABELA 4. ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E OS VALORES DE PLUVIOSIDADE PARA OS MESES DE JANEIRO, FEVEREIRO E MARÇO (DADOS DE 2004)

Estação	Município	Órgão	Altitude	JAN	FEV	MAR
Guaraqueçaba	Guaraqueçaba	IAPAR	40m	394,0	346,9	297,9
Colônia Cachoeira	Antonina	ANA	80m	378,7	337,6	300,5
Antonina	Antonina	IAPAR	60m	387,7	346,8	314,5
São João da Graciosa	Morretes	SUDERHSA	159m	402,9	338,3	314,6
Antonina	Antonina	SUDERHSA	74m	337,1	293,8	244
Véu de Noiva	Morretes	ANA	680m	414,1	306,3	372,5
Morretes	Morretes	ANA	8m	347,3	290,4	233,9
Morretes	Morretes	IAPAR	59m	302,7	263,3	224,2
Marumbi	Morretes	SUDERHSA	60m	299,0	239,5	216,2
Paranaguá	Paranaguá	INMET	5m	346,2	312,3	271
Colônia Santa Cruz	Paranaguá	SUDERHSA	32m	313,1	264,3	249,6

TABELA 5. ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E OS VALORES DE PLUVIOSIDADE PARA OS MESES DE ABRIL, MAIO E JUNHO (DADOS DE 2004)

Estação	Município	Órgão	Altitude	ABR	MAI	JUN
Guaraqueçaba	Guaraqueçaba	IAPAR	40m	168,5	127,1	104,8
Colônia Cachoeira	Antonina	ANA	80m	151,0	137,6	111,1
Antonina	Antonina	IAPAR	60m	160,1	132,2	114,6
São João da Graciosa	Morretes	SUDERHSA	159m	175,4	158,1	115,3
Antonina	Antonina	SUDERHSA	74m	127,5	117,9	86,5
Véu de Noiva	Morretes	ANA	680m	228,0	215,0	162,8
Morretes	Morretes	ANA	8m	118,7	126,8	99,9
Morretes	Morretes	IAPAR	59m	107,8	116,0	92,5
Marumbi	Morretes	SUDERHSA	60m	122,2	107,4	94,1
Paranaguá	Paranaguá	INMET	5m	165,0	137,2	99,1
Colônia Santa Cruz	Paranaguá	SUDERHSA	32m	135,0	116,8	84,9

TABELA 6. ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E OS VALORES DE PLUVIOSIDADE PARA OS MESES DE JULHO, AGOSTO E SETEMBRO (DADOS DE 2004)

Estação	Município	Órgão	Altitude	JUL	AGO	SET
Guaraqueçaba	Guaraqueçaba	IAPAR	40m	115,5	79,3	152,4
Colônia Cachoeira	Antonina	ANA	80m	123,3	98,3	171,2
Antonina	Antonina	IAPAR	60m	122,8	87,6	170,1
São João da Graciosa	Morretes	SUDERHSA	159m	135,8	106,5	197,5
Antonina	Antonina	SUDERHSA	74m	113,6	80,2	153,2
Véu de Noiva	Morretes	ANA	680m	185,8	181,0	312,4
Morretes	Morretes	ANA	8m	123,6	86,2	163,1
Morretes	Morretes	IAPAR	59m	111,2	80,7	143,5
Marumbi	Morretes	SUDERHSA	60m	116,9	82,3	161,1
Paranaguá	Paranaguá	INMET	5m	115,5	79,4	155,9
Colônia Santa Cruz	Paranaguá	SUDERHSA	32m	99,3	72,5	134,6

TABELA 7. ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E OS VALORES DE PLUVIOSIDADE PARA OS MESES DE OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO (DADOS DE 2004)

Estação	Município	Órgão	Altitude	OUT	NOV	DEZ
Guaraqueçaba	Guaraqueçaba	IAPAR	40m	171,9	179,5	265,1
Colônia Cachoeira	Antonina	ANA	80m	200,5	230,6	281,1
Antonina	Antonina	IAPAR	60m	191,5	221,0	285,7
São João da Graciosa	Morretes	SUDERHSA	159m	240,8	231,3	296,5
Antonina	Antonina	SUDERHSA	74m	182,2	188,6	230,6
Véu de Noiva	Morretes	ANA	680m	386,6	324,1	391,2
Morretes	Morretes	ANA	8m	173,5	172,6	232,9
Morretes	Morretes	IAPAR	59m	156,0	154,9	205,9
Marumbi	Morretes	SUDERHSA	60m	162,3	171,6	230,8
Paranaguá	Paranaguá	INMET	5m	169,7	187,1	225,9
Colônia Santa Cruz	Paranaguá	SUDERHSA	32m	150,9	159,5	222,8

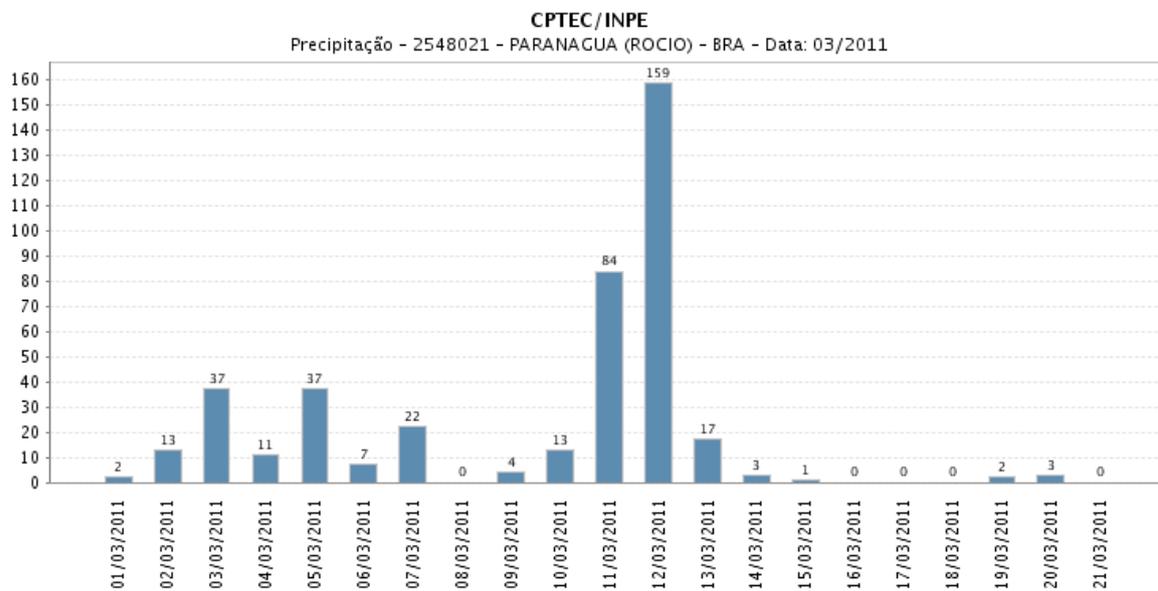
TABELA 8. ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E OS VALORES MÉDIOS ANUAIS, TOTAIS E SAZONAL (DADOS DE 2004)

Estação	Município	Órgão	Altitude	Média Anual	Total Anual	VERÃO
Guaraqueçaba	Guaraqueçaba	IAPAR	40m	200,2	2403,2	1014,2
Colônia Cachoeira	Antonina	ANA	80m	210,1	2521,6	993,2
Antonina	Antonina	IAPAR	60m	211,2	2534,5	1033,1
São João da Graciosa	Morretes	SUDERHSA	159m	226,1	2713,0	1038,5
Antonina	Antonina	SUDERHSA	74m	179,6	2155,1	855,0
Véu de Noiva	Morretes	ANA	680m	290,0	3465,4	1111,1
Morretes	Morretes	ANA	8m	180,7	2168,8	870,1
Morretes	Morretes	IAPAR	59m	163,2	1958,7	769,7
Marumbi	Morretes	SUDERHSA	60m	167,0	2003,2	768,4
Paranaguá	Paranaguá	INMET	5m	188,7	2264,1	876,7
Colônia Santa Cruz	Paranaguá	SUDERHSA	32m	166,9	2003,3	798,0

TABELA 9. ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E OS VALORES MÉDIOS SAZONAIS (DADOS DE 2004)

Estação	Município	Órgão	Altitude	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA
Guaraqueçaba	Guaraqueçaba	IAPAR	40m	593,6	299,7	503,9
Colônia Cachoeira	Antonina	ANA	80m	589,1	332,7	602,3
Antonina	Antonina	IAPAR	60m	606,8	325,0	582,5
São João da Graciosa	Morretes	SUDERHSA	159m	648,2	357,6	669,6
Antonina	Antonina	SUDERHSA	74m	489,5	280,3	523,9
Véu de Noiva	Morretes	ANA	680m	805,9	531,1	1031,5
Morretes	Morretes	ANA	8m	479,4	309,7	509,1
Morretes	Morretes	IAPAR	59m	448,0	284,4	454,5
Marumbi	Morretes	SUDERHSA	60m	445,8	293,3	495,0
Paranaguá	Paranaguá	INMET	5m	573,1	294,0	512,6
Colônia Santa Cruz	Paranaguá	SUDERHSA	32m	501,4	256,7	445,0

FIGURA 21: GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO PARA A REGIÃO DE PARANAGUÁ-PR.



Fonte: CPTEC – Março de 2011.

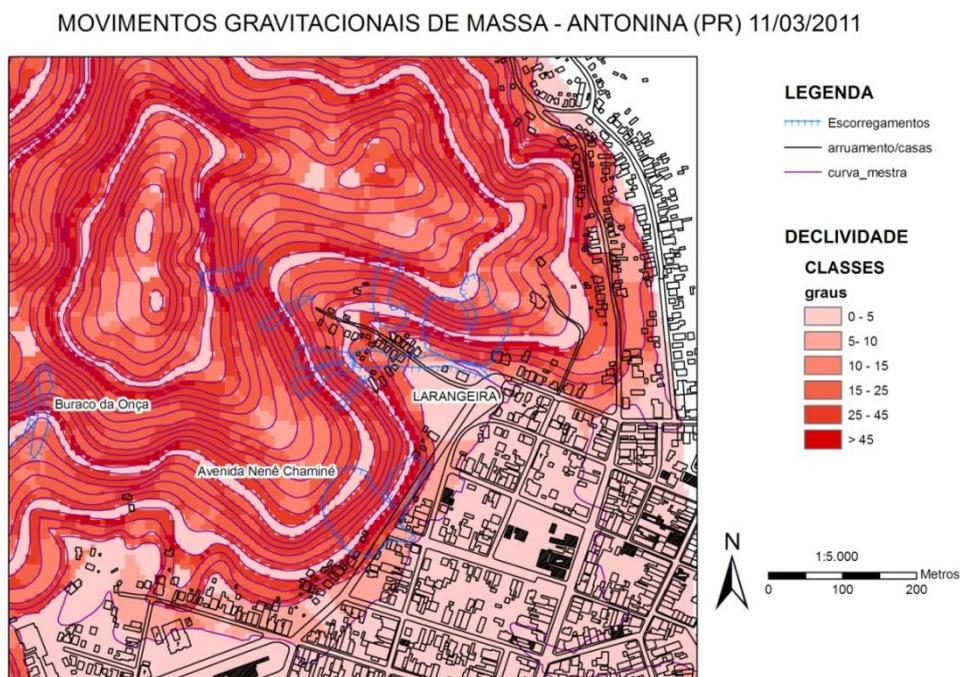
7. Resultados e Discussões

MAPA DE DECLIVIDADE

O mapa de declividade confere uma visualização dos fenômenos de escorregamentos associados à topografia do terreno, sugerindo zonas de maior interesse e predispostas a movimentos de massas.

Este apresentado abaixo, com o auxílio desta confecção por Picanço (2011), sugere zonas de declividade importantes para os eventos de escorregamentos ocorridos no município de Antonina. As cores mais quentes denotam maiores declividades em torno dos morros que ocorrem no município. Este mapa além de possuir uma modelagem para as declividades do terreno demonstra também as feições de escorregamentos, fazendo-se coincidir as feições com os altos valores de declividades que podem chegar a 45% (apresentando valores acima dos 25%). Portanto, com a observação dos dados retirados da figura abaixo deduz-se claramente a influência destes aspectos em zonas delicadas, inerentes à possíveis eventos de escorregamentos.

FIGURA 22: MAPA DE DECLIVIDADE DO MUNICÍPIO DE ANTONINA RESSALTANDO A DECLIVIDADE PARA O MORRO DA LARANJEIRA.



Fonte: Picanço (2011)

ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Os ensaios de cunho geotécnico tiveram importante utilidade para agregar o conhecimento à cerca do comportamento dos materiais e associá-los as características geológico/geotécnicas dos maciços.

Estes ensaios utilizaram amostras pouco deformadas e em estado deformado em um dos taludes rompidos do Morro da Laranjeira. Em função do solo ser proveniente de um saprólito do granito, buscou-se obter dos índices físicos do mesmo para se chegar ao grau de saturação do solo, e estabelecer um valor máximo (100%) para que pudéssemos inferir, segundo cálculos, a umidade nestas estas condições.

Depois de calculados estes índices, para as 14 profundidades diferentes, fez-se um caminho inverso, admitindo um grau de saturação máximo, ou seja, de 100%; esta alegação pressupõe que para valores acima do valor encontrado para o cálculo da umidade (W') o talude não suporte o seu peso e venha a romper. A tabela à seguir demonstra os valores encontrados para cada amostra.

TABELA 10. PARÂMETROS OBTIDOS SEGUNDO CÁLCULO PARA OS ÍNDICES FÍSICOS

Amostras	Volume (cm ³)	Massa (g)	γ (g/cm ³)	W (%)	γ_s (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	e	n (%)	Sr(%)	Sr máx.	W' (%)
LA01A	141,57	222,56	1,57	0,27	2,75	1,24	1,22	0,55	0,61	1,00	0,45
LA02A	144,21	229,33	1,59	0,26	2,75	1,26	1,18	0,54	0,61	1,00	0,43
LA03A	145,81	256,10	1,76	0,27	2,75	1,39	0,98	0,49	0,74	1,00	0,36
LA04A	147,49	205,64	1,39	0,28	2,75	1,09	1,52	0,60	0,50	1,00	0,55
LA05A	148,48	251,64	1,69	0,28	2,75	1,32	1,08	0,52	0,72	1,00	0,39
LA06A	148,66	200,14	1,35	0,29	2,75	1,05	1,63	0,62	0,49	1,00	0,59
LA07A	152,55	238,58	1,56	0,27	2,75	1,23	1,23	0,55	0,60	1,00	0,45
LA08A	149,45	194,88	1,30	0,32	2,75	0,99	1,78	0,64	0,49	1,00	0,65
LA09A	144,39	246,01	1,70	0,30	2,75	1,31	1,10	0,52	0,76	1,00	0,40
LA10A	144,02	183,57	1,27	0,28	2,75	0,99	1,77	0,64	0,44	1,00	0,64
LA11A	150,94	209,90	1,39	0,30	2,75	1,07	1,58	0,61	0,53	1,00	0,57
LA12B	144,52	212,57	1,47	0,25	2,75	1,18	1,33	0,57	0,51	1,00	0,48
LA13B	142,52	221,27	1,55	0,36	2,75	1,14	1,41	0,59	0,70	1,00	0,51
LA14B	144,85	230,12	1,59	0,25	2,75	1,27	1,16	0,54	0,59	1,00	0,42

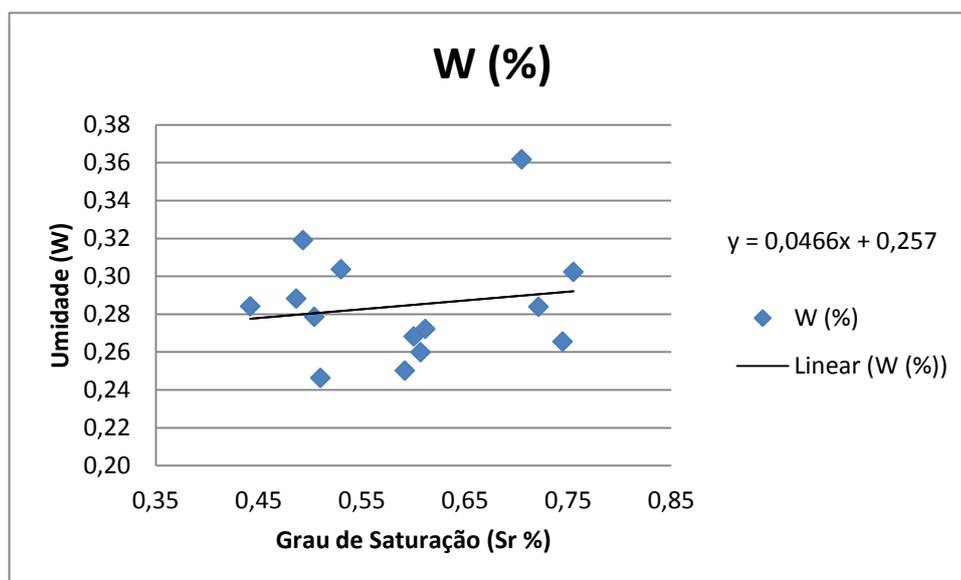
Segundo a tabela acima demonstra os valores encontrados e calculados posteriormente, a fim de classificar o grau de saturação do solo em casa trecho analisado (crescente em profundidade), sendo e o índice de vazios, γ_d o peso específico aparente seco, γ_s o peso específico saturado, n a porosidade, γ_w o peso específico da água, Sr o grau de saturação; admitindo-se o γ_w igual a 1, encontra-se um novo valor de umidade, W' , na qual demonstra a hipótese apresentada no parágrafo anterior.

$W' = \frac{1.e.\gamma_w}{\gamma_s}$ - Cálculo para o novo valor em porcentagem da umidade em nível de saturação máximo.

A tabela nos proporciona uma análise sobre o perfil do solo amostrado durante a etapa de campo. Os dados são claros à cerca dos resultados obtidos, ou seja, não há uma linearidade no comportamento do solo ao longo do perfil, caracterizando uma hipótese de rompimento do talude diferenciado para cada trecho do mesmo. O perfil apresenta porosidades variáveis, graus de saturação variáveis assim como os valores para umidade. Tal observação demonstra a complexidade da obtenção de dados na natureza, ou seja, dados reais e não obtidos em corpos de teste.

Abaixo um gráfico de umidade versus grau de saturação do solo:

FIGURA 23: GRÁFICO DE UMIDADE (W) VERSUS GRAU DE SATURAÇÃO (SR) AMBOS EM PORCENTAGEM.



O gráfico acima foi confeccionado segundo a relação entre o Grau de Saturação (Sr) e a Umidade (W), pois o grau de saturação é calculado utilizando-se os valores de umidade. Estes valores estão contidos na tabela 10. Os dados apresentados mostram a dispersão desses valores, demonstrando o caráter físico heterogêneo das amostras; contudo, os dados que mais se aproximam da linha de tendência podem ser caracterizados como sendo mais correlacionáveis, dessa forma, valores de grau de saturação entre 45% e 50% estão mais próximos de justificar os valores de umidade entre 27% e 29%; já para valores de grau de saturação em torno entre 70% e 75% irão corresponder a valores de umidade entre 28% e 30%. Deve-se

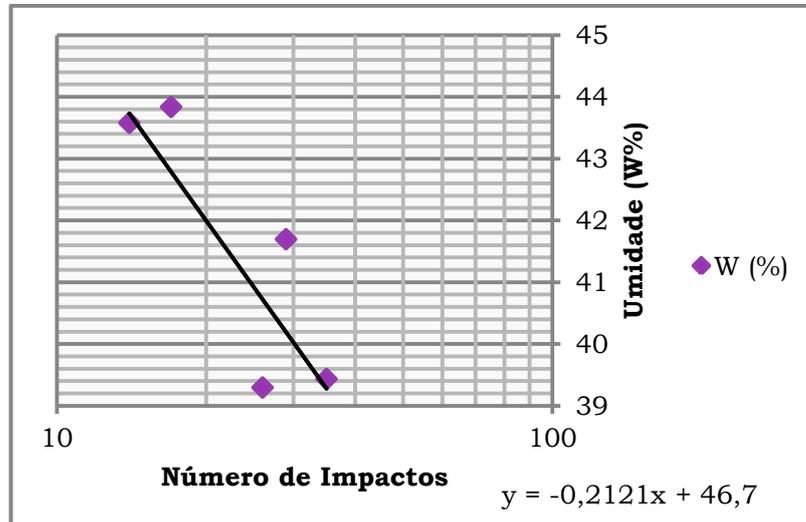
salientar que estes dados referem-se ao solo do Morro da Laranjeira, coletado no mês de novembro no qual os níveis de precipitação não ultrapassam os 220mm de chuva, situação bastante distinta em relação a precipitação do mês de março, que pode chegar a quase 315mm de chuva para o período. Portanto, estes dados nos mostram que estes pares de associação de valores de grau de saturação e umidade elucidam o fato de que a umidade irá condicionar os níveis de saturação do solo analisado, concluindo que o volume das chuvas pode simplesmente alterar estes valores, chegando a resultados bem próximos aos de rompimento do talude, que devem estar próximos a 100% de saturação nos poros do solo.

Os ensaios de plasticidade conferiram solos com pouca plasticidade, assim como observado no ensaio de limite de liquidez; observou-se também que o solo absorvia intensamente a água no qual lhe era adicionada, e com o modelamento da amostra e sob efeito de pressão exercida pelo mesmo a amostra liberava quantidades consideráveis de água. Ao se moldar os cilindros de 10 cm de comprimento e alguns milímetros de diâmetro o mesmo se fraturava com muita facilidade, conferindo uma característica pouco plástica ao solo (valores de limite de liquidez e limite de plasticidade com valores máximos de 41,85 e 10,0 respectivamente; sendo $W_n(N/25)^{0,12}$ a fórmula para a determinação do limite de liquidez.

TABELA 11. LIMITE DE LIQUIDEZ

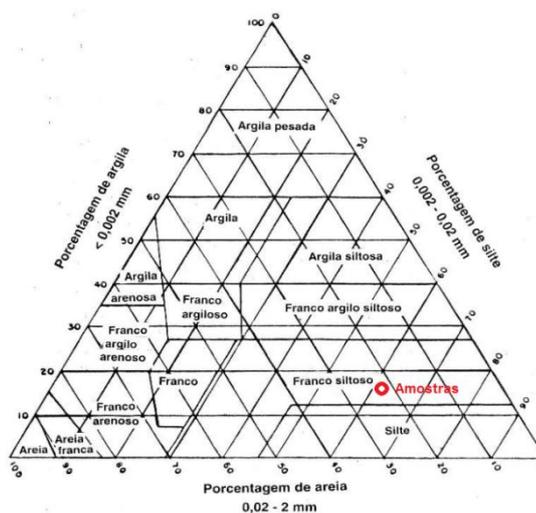
Limite de Liquidez						
Becker nº	Nº Pancadas	P.U.	P.S.	P.T.	%U	$W_n(N/25)^{0,12}$
83	14	21,42	20,47	18,29	43,58	40,65
60	17	14,01	13,05	10,86	43,84	41,85
73	26	24,09	22,42	18,17	39,29	39,48
75	29	14,27	13,04	10,09	41,69	42,44
86	35	19,07	17,82	14,65	39,43	41,06

FIGURA 24: GRÁFICO - UMIDADE VERSUS NÚMERO DE IMPACTOS.



O gráfico acima está relacionado aos ensaios para obtenção do limite de liquidez, no qual se vê que o material apresenta características heterogêneas; em função desse fato é natural a obtenção de valores como estes; contudo estes valores que se apresentam mais próximos da curva de normalização demonstram que quanto menor o número de impactos, maior a porcentagem de umidade, ou seja, mais água é adicionada à amostra, assim, menor será o impacto para que a mesma possa vir a sucumbir em função das pancadas.

FIGURA 25: TRIÂNGULO PARA DETERMINAÇÃO DE CLASSES TEXTURAS (IAC).



Ensaio de granulometria, a partir do método do picnômetro demonstraram que o solo é classificado como Franco Siltoso, fato já esperado, uma vez que as características desse solo, observadas em campo, e o seu comportamento durante os ensaios para obtenção dos limites de liquidez e plasticidade demonstraram que o mesmo absorve quantidades significativas de umidade; este comportamento é específico de solos silto-argilosos, nos quais a permeabilidade significativa explica esta absorção de água pelo mesmo.

8. Conclusão

Tendo em vista os argumentos apresentados nos parágrafos anteriores, dos quais tiveram o papel de associar as ocorrências dos eventos com as informações obtidas na literatura e da metodologia utilizada, fez-se um entendimento dos processos com o intuito de constituir um modelo que leva em consideração uma gama de informações que caracterizam os movimentos de massa.

As associações dos dados obtidos correspondem ao fato de que toda a revisão bibliográfica apresentada elucidada, de forma geral, as causas dos movimentos de massa ocorridos em março de 2011 em Antonina-PR.

Caracterizar o meio físico em função das definições geotécnicas é de grande valia para explicar tais eventos, demonstram que estas informações podem ser tratadas como evidências na identificação desses processos e da observação dos maciços rochosos e terrosos, especificando a sua composição mineralógica, estruturas, as rochas de origem desses solos e seu comportamento geotécnico que irão constituir uma metodologia de prevenção de eventos futuros.

Como demonstrado anteriormente, a ocorrência de estruturas reliquias das rochas influenciam o comportamento do solo residual, gerando zonas de fraqueza, bastante observadas nos perfis de escorregamento localizados em todo o município de Antonina. Deve-se elucidar a importância do estudo climático no que se refere aos regimes de chuvas, pois a continuidade das mesmas, em intensidades menores, é capaz de desencadear os escorregamentos, fato muito bem observado pela população e corpo de bombeiros que sofreram as consequências desses movimentos no período citado. Outros estudos sugerem que a instabilidade de taludes também esteja associada a causas internas e externas, no que tange principalmente as causas internas, pois as mesmas diminuem a resistência ao cisalhamento do solo (perda de resistência em função do intemperismo e elevação da poro-pressão na superfície de ruptura) e principalmente demonstradas nos ensaios físicos de solos, nos quais evidenciam que a heterogeneidade do perfil analisado e sua correlação com o teor de umidade conferem uma diminuição da coesão entre as partículas de solos por parte do aumento da umidade.

Estes solos se enquadram na categoria geotécnica dos solos residuais tropicais, onde há uma atuação conjunta da resistência das fissuras das rochas e uma resistência quase friccional que resulta em uma pequena dilatação deste solo, algo

bastante evidente no talude analisado, principalmente nas proximidades da residência do médico, no Morro da Laranjeira. Outro aspecto a ser citado como agravante do processo de escorregamento seria o modelo de linhas de fluxo subterrâneo de água, pois se apresentam subparalelos ao nível de base, na qual, na ocorrência da impermeabilização da base da encosta poderá acarretar em um processo de represamento da água, que causará a elevação do nível d'água e da poro pressão, fato que pode ter ocorrido no Morro da Laranjeira em função da construção das residências no sopé do mesmo; estas linhas de fluxo sem tornam subverticais e vão aumentar o grau de saturação e diminuirão o efeito de coesão aparente, reduzindo as tensões normais e efetivas e a resistência ao cisalhamento, fazendo com que o talude venha a romper.

Analisando-se o relevo, mostra-se que, além da atuação antrópica, os processos também estão relacionados aos aspectos do material de origem, estudados pela mecânica de solos e das rochas, além do conhecimento pleno da geologia regional e local. De forma inédita fez-se um reconhecimento que permitiu uma visualização e o entendimento da geologia local do município de Antonina, mais adensada e detalhada segundo alguns trabalhos subseqüentes a este.

Viu-se que os processos deflagradores e o modo no qual ocorrem os escorregamentos denotam uma associação aos tipos de solos, suas espessuras, e está intrinsecamente ligada a formação do mesmo por parte da rocha de origem. Tal aspecto é observado em função do tipo de movimentação – nos escorregamentos planares (translacionais) nos quais os solos eram pouco espessos, muitas vezes com a formação de solos jovens logo abaixo do horizonte A, e em seguida os saprólitos de granitos (rocha origem – granito); os escorregamentos rotacionais, que na área de estudos não eram tão freqüentes quanto os planares, os solos apresentam perfis mais desenvolvidos, como demonstrado nos perfis de solo que se originaram na rocha cálcio-silicatada.

O talude analisado deve ser considerado como um corpo heterogêneo no qual o solo irá variar segundo as profundidades distintas, no entanto, há uma ressalva sobre o tipo de solo que em estamos tratando (dados de granulometria e plasticidade) – não se trata de um solo bem formado e sim de um solo jovem. Tal perfil foi escolhido para caracterizar um talude nessas condições, portanto, um talude rompido, no qual contenha um solo bem formado, pode apresentar características mais homogêneas ou não, sendo assim, já era esperada tal

heterogeneidade, pois se trata de um saprólito de granito no qual o solo ainda apresenta as características reliquias da rocha.

Os estudos geotécnicos à cerca do solo saprolítico do talude rompido do Morro da Laranjeira demonstra uma característica bastante peculiar que ocorre em deslizamento planares – os mesmos irão ocorrer segundo diferentes superfícies de ruptura, constituídas em função das heterogeneidades do solo. Estas características foram evidenciadas pelos ensaios para obtenção dos limites de liquidez e plasticidade, além de granulometria e a obtenção dos demais índices físicos. Estes resultados seguem que as superfícies de ruptura sejam as interfaces entre estas zonas heterogêneas. O solo por ser classificado como franco silteoso evidencia a capacidade do mesmo de reter a água superficial, conferindo-lhe um caráter de permeabilidade muito significativo.

As ocorrências da erosão pretérita aos eventos de março de 2011 auxiliaram também na deflagração desses movimentos, uma vez que as superfícies de fraqueza, geradas por estes processos encontravam-se ativas, fornecendo material e canais para o escoamento de detritos.

Outro fato a ser observado durante os levantamentos de dados à cerca dos litotipos e da formação de solos: trechos onde havia indícios dos diques de diabásio (perfis de solos intemperizados) apresentavam-se mais argilosos, em função da sua composição mineralógica, conferindo mais plasticidade ao perfil de solo como um todo, podendo gerar matéria prima para as eventuais corridas de lama.

A morfologia dos taludes rompidos demonstra que os mesmos apresentam movimentos de escorregamentos distintos para cada vertente, nos quais sempre controlados por estruturas reliquias das rochas e das superfícies de ruptura dos solos que se encontram separados por interflúvios.

Os dados sobre a geologia local foram primordiais para o entendimento da ocorrência dos corpos litológicos encontrados na área em questão, afinal, nos estudos regionais não ocorrem registros óbvios da presença dos diques de diabásio que podem até mesmo ser inferidos por fotos aéreas que permitem estereoscopia; as informações também explicam a origem da existência de filonitos em meio aos granitos de aspecto foliado encontrados em alguns afloramentos visitados (pois o mesmo intrudiu nas rochas metamórficas, ocorrendo contatos tectônicos que conferiram a existência dessas rochas).

Nota-se que a presença de estruturas ocasionadas por meio de fraturas confere uma direção preferencial às quedas de blocos, portanto os processos podem ocorrer segundo a intersecção de planos de fraturas.

O mapa de declividade confeccionado para este estudo demonstra claramente a influência do efeito da declividade nos escorregamentos. As áreas onde ocorrem as maiores declividades coincidem com as áreas onde ocorrem os escorregamentos, no qual, em sua maioria, são marcados pela tendência a valores mais altos, ou seja, valores entre 25% e 45% de declividade. O clima confere suposições óbvias à ocorrência das precipitações mais elevadas para o período, afinal os meses que contemplam o verão possuem estas características, além da atuação da ENOS no sul do país; Deve-se salientar a presença de eventos chuvosos anormais, como no caso de março de 2011, no qual, apresentaram-se precipitações em torno de 518,0 mm, nos quais normalmente não ultrapassam 320,0 mm para o período.

Contudo, para este estudo, não se pode apenas utilizar uma forma de classificar ou determinar os processos deflagradores dos movimentos de massa, pois este trabalho sugere uma junção dos mesmos, pois isolados não justificam estes processos, mas em conjunto, não de forma generalista, podem explicar como ocorrem estes movimentos e quais as suas causas.

Para uma melhor caracterização sugere-se um estudo de continuidade para a área em questão, propondo-se estudos de resistência ao cisalhamento do solo, ensaios de laboratório triaxiais ou de cisalhamento direto ou mesmo uma retroanálise para avaliar as condições iniciais do talude rompido.

Referências Bibliográficas

- AB'SABER, A. N.; BIGARELLA, J.J. 1961. **Considerações sobre a morfogênese da Serra do Mar no Paraná**. Boletim Paranaense de Geografia, 16, 17.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14724**: Informação e documentação. Trabalhos Acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- ALMEIDA, F. F. M. (1967), **Origem e Evolução da Plataforma Brasileira**, DNPM, Bol. Div. Geol. Min. 241: 1 – 36. Rio de Janeiro-RJ.
- AUGUSTO FILHO, O. (1992), **“Caracterização Geológico-Geotécnica Voltada à Estabilização de Encostas: uma Proposta Metodológica”**, In: 1a Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE), v. 2, pp. 721-733, Rio de Janeiro.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. **Geologia de Engenharia – Cap. 15 – Estabilidade de Taludes**, São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998, 26p.
- BARTORELLI, A.; MINIOLI, B.; KAWASHITA, K. 1968. **Nota preliminar sobre rochas ultrabásicas de Itajuba - Santa Catarina**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte, SBG, v.1, p.243-246.
- BASEI, M. A. S. , SIGA Jr, O.; MACHIAVELLI, A. e MANCINI, F. **Evolução tectônica dos terrenos entre cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC)**. Revista Brasileira de Geociências 22(2):216-221, junho de 1992
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; MATOS, D. J. & WERNER, A. **A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná - Um problema de segurança ambiental e nacional**. Secretaria de Estado do Planejamento e Associação de Defesa e Educação Ambiental, Curitiba, 1978.
- CARREGÃ, D. L. (1996), **Estudo de Movimentações de Encostas Aplicado ao Perfil de Intemperismo em Ambientes Tropicais**, In: 8o. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Rio de Janeiro, Anais: ABGE, volume 2, pp.415-427.
- CORDANI, U.G. & GIRARDI, V.A.V. 1967. **Geologia da Folha de Morretes**. Boletim da Universidade Federal do Paraná, Geologia, 26:40p.
- CRUZ, P.T. (1987), **Solos Residuais: Algumas Hipóteses de Formulações Teóricas de Comportamento**, Seminário em Geotecnia de Solos Tropicais, Brasília.
- EMBRAPA. Mapa Simplificado de Solos do Estado do Paraná. 2012.
- FOOKES, P.G. (1997), **Tropical Residual Soils, Geological Society Professional Handbooks**. The Geological Society, London.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. (1984), **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**, 2 ed., São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **CENSO 2010- População do Estado do Paraná**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_parana.pdf > Acesso em: 13 abr. 2011.

LACERDA, W.A., 1985, **Casos de Escorregamentos em Encostas Coluviais em Regiões Tropicais**, Anais Colóquio sobre Solos Tropicais e suas Aplicações em Engenharia Civil, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, pp. 211-234.

LACERDA, W.A., 2002, **Comportamento Geotécnico de Massas Coluviais**, In: Geosul, Joinvile, pp. 219-231.

MESQUITA, M. J. M. de, CURY, L. F. PÍCANÇO, J. L.; **Roteiro de campo “As rochas do litoral paranaense”** UFPR, Curitiba, 2010.

MINEROPAR. **Levantamentos das potencialidades Minerais dos municípios de Antonina, Guaraqueçaba e Morretes**. Curitiba, 1990. 110p., anexos.

PARANÁ. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná – Escala 1:250.000 modelos reduzidos Minerais do Paraná**; Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. 63 p.; il.

PASTORE, L. N.; IGNATIUS, S.; SALOMÃO, F.X.T.; CAMPOS, J.O. E BONGIOVANI, S. 1990. **Correlação entre as classificações pedológicas e geotécnicas de alguns solos do interior do Estado de São Paulo**. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 6, 1990, Salvador:Anais... São Paulo: ABGE v.2, p.261-270

SANTOS, L. J. C. **Mapeamento geomorfológico como subsídio a identificação e à estima dos solos na área de drenagem da Baía de Antonina (PR)**. Revista Brasileira de Geomorfologia - v. 10, nº 2 (2009).

SEVERINO, Antonio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 22. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cortez, 2002.

SUZUKI, S. **Propriedades geomecânicas de alguns solos residuais e coluviais ao longo do oleoduto Curitiba-Paranaguá**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

TATIZANA, C.; OGURA, A.T.; CERRI, L.E.;ROCHA, M.C.M. da. 1987. (a) **Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos - Serra do Mar - Município de Cubatão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA, 5?, São Paulo, SP. Anais. São Paulo, v.2, p. 225-236.

TERZAGHI, K. (1950), **“Mechanisms of Landslides”**, The Geological Society of America – Engineering Geology (Berkey), pp. 83-123.

TOMINAGA, L. K., Santoro, J., Amaral, R. (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. Instituto Geológico – SMA – Governo do Estado de São Paulo.

TREIN, E.; MURATORI, A.; BASUMALLICK, S.; BERTOLDO, A.L. 1970. **Folha geológica de Antonina (escala 1:70.000)**. Curitiba, Comissão da Carta Geológica do Paraná.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F.; **O Clima do Litoral Paranaense** – Revista Brasileira de Climatologia, agosto de 2008.

VARGAS, M. (1971), **Geotecnia dos Solos Residuais**, Revista Latino Americana de Geotecnia, volume 1, Venezuela, pp. 20-41.

VARGAS, M., 1999, Revisão **Histórico-Conceitual dos Escorregamentos da Serra do Mar**. Solos e Rochas, São Paulo, volume 22, no. 1, pp.53-83.

VAUGHAN, P. R. (1988) **Characterizing the Mechanical Properties of in Situ Residual Soil**. General Report, Session 2". Proc. of the 2nd International Conference on Geomechanics Tropical Soils. Singapore, 2, 469-487.

ZUQUETTE, L. V; NAKAZAWA, V. A.;**Cartas de Geologia de Engenharia. Geologia de Engenharia**. 2ª edição. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, cap 17,p.283-300,1998.

ZUQUETTE, L. V.; Gandolfi, N. **Cartografia Geotécnica** – Oficina de textos.

Anexos

	
<p>Figura a): Vista aérea. Morro da Laranjeira.</p>	<p>Figura b): Vista aérea. Morro da Laranjeira.</p>
	
<p>Figura c): Deslizamento nas proximidades da casa do Dr. Dinarte. Morro da Laranjeira.</p>	<p>Figura d): Visualização do plano de ruptura do solo. Morro da Laranjeira.</p>
	
<p>Figura e): Aspecto da invasão de material escorregado. Morro da Laranjeira</p>	<p>Figura f): Aspecto do rompimento de talude onde ocorreu um óbito. Morro da Laranjeira.</p>



Figura g): Aspecto do rompimento de talude onde ocorreu um óbito. Morro da Laranjeira.



Figura h): Escorregamento translacional planar; Último evento de escorregamento. Morro da Laranjeira.



Figura i): Heterogeneidades do solo onde ocorrem diferentes superfícies de ruptura – saprólito de granito. Morro da Laranjeira.



Figura j): Aspecto de solo transportado constituídos em sua maioria por grãos de quartzo centimétricos. Morro da Laranjeira atrás da COPEL.



Figura k): Blocos de granito em meio a matriz de solo evidenciando eventos pretéritos de rolamentos de blocos – Morro da Laranjeira.



Figura l): Padrão dendrítico das drenagens formados por processos erosivos. Morro da Laranjeira.

