

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CCH  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGG**

**CLEVERSON HOLOCHESKI**

**IMPLICAÇÕES DA RELAÇÃO SOLO VERSUS RELEVO NA INSTALAÇÃO E  
EVOLUÇÃO DE TÚNEIS**

**FRANCISCO BELTRÃO  
2011**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CCH  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGG**

**CLEVERSON HOLOCHESKI**

**IMPLICAÇÕES DA RELAÇÃO SOLO VERSUS RELEVO NA INSTALAÇÃO E  
EVOLUÇÃO DE TÚNEIS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ORIENTADOR: DR. JOSÉ EDÉZIO DA CUNHA**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PRODUÇÃO DO ESPAÇO E MEIO AMBIENTE  
LINHA DE PESQUISA: DINÂMICA, UTILIZAÇÃO E PRESERVAÇÃO DO MEIO  
AMBIENTE**

**FRANCISCO BELTRÃO  
2011**

Holocheski, Cleverson

**H754 Implicações da relação solo versus relevo na  
instalação e evolução de túneis. / Cleverson  
Holocheski. – Francisco Beltrão, 2011.**

73 f.

**Orientador: Dr. José Edézio da Cunha.**

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual  
do Oeste do Paraná – Campus de Francisco Beltrão.  
Programa de Pós-Graduação em Geografia.

1. Rio das Pombas – Guarapuava - Paraná. 2.  
Túneis – Erosão. 3. Relevo - Formas. 4. Fluxos  
hídricos. 5. Solos. 6. Pedologia. I. Cunha, José Edézio  
da. II. Título.

CDD – 551.4098162

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CCH  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – NÍVEL DE MESTRADO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

IMPLICAÇÕES DA RELAÇÃO SOLO VERSUS RELEVO NA INSTALAÇÃO E  
EVOLUÇÃO DE TÚNEIS

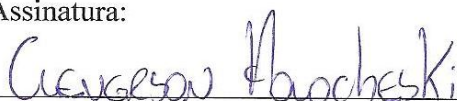
**Autor:** Cleverson Holocheski

**Orientador:** Prof. Dr. José Edézio da Cunha

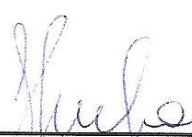
Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação defendida por Cleverson Holocheski e aprovada pela comissão julgadora.


Data: 05/08/2011

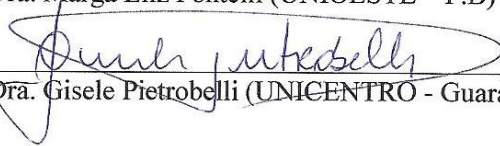
Assinatura:

  
\_\_\_\_\_

Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Edezio da Cunha (UNIOESTE – F.B)

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Marga Eliz Pontelli (UNIOESTE – F.B)

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Gisele Pietrobelli (UNICENTRO - Guarapuava)

## AGRADECIMENTOS

Ao término desta dissertação, resta-me registrar os meus sinceros agradecimentos a todos que de forma direta e indireta contribuíram para a realização desse trabalho.

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. José Edézio da Cunha, exemplo de dedicação, paciência e principalmente de profissionalismo.

A professora Dra. Gisele Pietrobelli, pela amizade, companheirismo, ajuda, paciência e, sobretudo pelo incentivo que a mim tem dedicado desde o período da graduação.

A minha família, meu rochedo e fortaleza, que me apoiou incondicionalmente em todos os sentidos, dando-me condições para que eu pudesse dedicar-me nessa minha nova empreitada. De forma especial agradeço a meu Pai, minha Mãe, minha Tia e Madrinha Filomena, a meu irmão e minha Irmã, cunhada Edinéia e cunhado Vitor, minha Vó e também ao Tio Claudino pelas palavras de incentivo.

Agradeço a Professora Dra. Marga Eliz Pontelli e ao Professor Dr. Julio Cesar Paisani pelas dicas e conselhos na banca de qualificação e também pelo empréstimos de materiais referentes a pesquisa.

A Professora Dra. Vanda Moreira Martins e a Professora Dra. Maria Teresa de Nobrega pela gentileza em ensinar a utilização do programa Grapher.

Agradeço muitíssimo ao Professor Dr. Mauricio Camargo Filho, pela gentileza em ceder o Laboratório de Geomorfologia para que as análises laboratoriais fossem feitas nesse lugar. Também não posso deixar de agradecer pelos conselhos e principalmente pela amizade.

Agradeço ao Professor Gilberto Franco de Souza, pela gentileza em permitir que sua chácara fosse usada como área de estudo, e a toda a família do Sr. Adão (*in memoriam*) e da Sra. Maria (*in memoriam*), que muito ajudaram na manutenção e leitura dos equipamentos utilizados na pesquisa.

Agradeço a Sra. Mariazinha, pela bondade e carinho que teve conosco durante a época em que estivemos em sua pensão, fazendo o máximo para que nos sentíssemos em casa.

A Andreia Zuchelli Cucchi, exemplo de profissionalismo e gentileza, nos ajudando em tudo o que foi possível.

Agradeço ao meu amigo Wellington Barbosa, por todos os anos de amizade, ajuda e companheirismo, desde a graduação até o mestrado.

A todos meus amigos que ajudaram nas mais diversas etapas dessa pesquisa, sendo eles Ezequiel Metzger, Leandro Cesar Moreira Santos, Rafael Castro, Leandro V. Mascarello, Andrey L. Binda, Edilane Lacheski, Deyvis W. Silva, Adão José Cavalheiro, Constantino Eleuthério da Luz e Jairo Hansen.

Agradeço de forma especial a Uniflora Engenharia, pelo empréstimo dos equipamentos utilizados na topografia.

A CAPES pelo apoio financeiro durante a elaboração da pesquisa.

E sem poder deixar de esquecer agradeço a Deus meu criador e responsável por todas as conquistas que tive em minha vida.



“Todo o conhecimento humano começou com intuições, passou daí aos conceitos e terminou com idéias”.

**Immanuel Kant**



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>3</b>
1.1. CONCEITOS E MÉTODOS DE ANÁLISES RELACIONADOS À COBERTURA PEDOLÓGICA .....	3
1.2. GENESE E EVOLUÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS .....	6
1.3. DINÂMICA DA ÁGUA EM SUBSUPERFÍCIE .....	12
1.4. EROÇÃO EM TÚNEIS .....	17
<b>2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO</b> ....	<b>20</b>
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>25</b>
3.1. TRABALHOS DE CAMPO .....	27
3.1.1. Instalação da estação meteorológica .....	27
3.1.2. Levantamento topográfico .....	28
3.1.3. Levantamento pedológico .....	28
3.1.4. Instalação e monitoramento dos piezômetros .....	30
3.2. TRABALHOS DE GABINETE .....	33
3.2.1. Produção do material cartográfico.....	33
3.3. TRABALHOS DE LABORATÓRIO.....	34
3.3.1. Análise granulométrica.....	34
<b>4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>37</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SETORES DA ENCOSTA .....	40
4.2. ALTA ENCOSTA .....	40
4.2.1. Características macromorfológicas e descrição analítica dos materiais do setor alto da encosta .....	41
4.2.2. Relação entre o comportamento macromorfológico e a circulação hídrica do setor alto da encosta .....	47
4.3. MÉDIA ENCOSTA.....	48
4.3.1. Características macromorfológicas e descrição analítica dos materiais do setor médio da encosta .....	49
4.3.2. Relação entre o comportamento macromorfológico e a circulação hídrica do setor médio da encosta .....	54
4.4. BAIXA ENCOSTA .....	57
4.4.1. Características macromorfológicas e descrição analítica dos materiais do setor baixo da encosta.....	58

4.4.2.	Relação entre o comportamento macromorfológico e a circulação hídrica do setor baixo da encosta.....	65
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>73</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo hidrológico.....	13
Figura 2 - Localização da área de estudo. ....	23
Figura 3 - Túnel localizado na porção baixa da encosta. ....	24
Figura 4 - Organograma metodológico aplicado na pesquisa. ....	26
Figura 5 - Estação meteorológica Nexus Weather Station.....	27
Figura 6 - Localização das sondagens (tradagens).....	29
Figura 7 - Mapa de perímetro e a localização dos piezômetros. ....	31
Figura 8 - Confecção dos piezômetros.....	32
Figura 9 - Piezômetro utilizado na pesquisa.....	33
Figura 10 - Diagrama triangular de classificação de sedimentos de acordo com a granulometria (Segundo Shepard 1954, modificado por Bigarella, 1966). ....	36
Figura 11 - Mapa planimétrico de uso do solo.....	38
Figura 12 - Mapa hipsométrico da área estudada. ....	39
Figura 13 - Açude localizado na alta encosta.....	40
Figura 14 - Variação vertical da granulometria das sondagens TR 13 e TR 14. ....	44
Figura 15 - Topossequência representando as unidades de solo da alta encosta....	45
Figura 16 - Dreno do açude que abastece o banhado. ....	48
Figura 17 - Variação vertical da granulometria das sondagens TR 1, TR 2 e TR 3. ....	49
Figura 18 - Topossequência representando parte das unidades de solo da média encosta.....	50
Figura 19 – Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 1) de março a setembro de 2010. ....	56
Figura 20 – Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 2) de março a setembro de 2010. ....	56
Figura 21 - Vegetação composta por árvores de médio porte e gramíneas.....	57
Figura 22 - Topossequência representando as unidades de solo da baixa encosta. ....	58

Figura 23 - Variação vertical da granulometria das sondagens TR 4, TR 5, TR 6, TR 7, TR 8 e TR 9.....	62
Figura 24 - Variação vertical da granulometria das sondagens TR 10, TR 11 e TR 12. ....	65
Figura 25 - Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 8) de março a setembro de 2010. ....	67
Figura 26 - Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 10) de março a setembro de 2010. ....	68
Figura 27 - Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 12) de março a setembro de 2010. ....	68
Figura 28 - Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 15) de março a setembro de 2010. ....	68
Figura 29 - Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 16) de março a setembro de 2010. ....	69

## QUADROS

Quadro 1 - Índices pluviométricos do ano de 2010. ....	22
Quadro 2 - Características morfológicas dos perfis obtidos através das sondagens realizadas na alta encosta.....	42
Quadro 3 - Dados referentes a distribuição granulométrica das sondagens TR 13 e TR 14. ....	47
Quadro 4 - Características morfológicas dos perfis obtidos através das sondagens realizadas na média encosta.....	51
Quadro 5 - Dados referentes a distribuição granulométrica das sondagens TR 1, TR 2 e TR 3.....	52
Quadro 6 - Características morfológicas das sondagens TR 4, TR 5, TR 6, TR 7, TR 8, TR 9, TR 10, TR 11 e TR 12. ....	59
Quadro 7 - Dados referentes a distribuição granulométrica das sondagens realizadas na baixa encosta. ....	63

## IMPLICAÇÕES DA RELAÇÃO SOLO VERSUS RELEVO NA INSTALAÇÃO E EVOLUÇÃO DE TÚNEIS

Considerando que a erosão é um processo que deprecia o solo diminuindo a sua produtividade ou até mesmo impossibilitando a sua produção de alimentos, cabe ressaltar, a importância de estudos sobre essa temática, principalmente, com explicações e soluções para os problemas encontrados em áreas degradadas por processos erosivos. A instalação e evolução da erosão em túneis depende de uma série de fatores, tanto aqueles relativos à cobertura pedológica e as formas das vertentes, como aqueles vinculados à hidrologia da encosta. Com destaque para esse tipo de fenômeno erosivo, o presente trabalho, adota como objetivo principal reconhecer os fatores correlacionados a instalação e evolução de túneis, particularmente, aqueles relativos às características dos solos e das formas de relevo, em uma encosta do Rio das Pombas, Município de Guarapuava, Centro Sul do Estado do Paraná. Para tanto, a pesquisa desenvolveu-se a partir de uma abordagem detalhada do sistema pedológico, identificando e individualizando as unidades de solo através de sondagens e também, monitorando as precipitações e os fluxos hidrológicos, a fim de, observar a dinâmica subsuperficial da água na referida encosta. A metodologia utilizada na pesquisa dividiu-se em quatro fases, sendo que a primeira fase consistiu basicamente no levantamento bibliográfico do conteúdo a ser trabalhado, em seguida na segunda parte da pesquisa realizou-se os trabalhos de campo, sendo que nessa fase foram coletadas as amostras para análises em laboratório; instalados os piezômetros para o monitoramento dos fluxos subsuperficiais e também instalada a estação meteorológica, para as coletas referentes às precipitações. Na terceira fase os trabalhos concentraram-se em laboratório e em gabinete, onde então foram realizadas as análises granulométricas e também a confecção do material cartográfico juntamente com a tabulação dos dados para confecção dos gráficos. Na quarta e última fase ocorreu a análise integrada dos dados, de onde então através dessa análise chegou-se aos resultados da pesquisa. No caso estudado, os resultados apontam que os principais fatores de instalação e manutenção de erosão dos túneis foram aqueles referentes às propriedades físicas da cobertura pedológica, tais como, a composição granulométrica, a forma da encosta e principalmente as condições hidrológicas. No que diz respeito à evolução do processo erosivo na referida encosta, pode-se afirmar que os túneis futuramente poderão chegar a se tornar uma voçoroca, prejudicando utilização da área.

**Palavras chaves:** unidades superficiais, relevo, fluxos hídricos, túneis.

## IMPLICATIONS OF LANDFORMS IN CONNECTION WITH SOIL VERSUS EVOLUTION AND INSTALLATION OF THE TUNNELS

Whereas erosion is a process that detracts from the soil, reducing its productivity or even making impossible the food production in it, it is worth emphasizing the importance of studies on this topic, especially with explanations and solutions to problems found in areas that are degraded by erosive processes. The installation and evolution of this process depends on a number of factors, all of them related to the pedological cover and the shapes of slopes, such as those linked to the hydrology of the hillside. With emphasis on this type of erosion phenomenon, this work takes as its main objective to recognize the factors correlated with onset and progression of tunnels, particularly those concerning the characteristics of soils and landforms in a hillside of *Rio das Pombas*, in the city of Guarapuava, South Center of the Paraná State. To this end, the research was developed from a comprehensive pedological system approach, identifying and individualizing the units of soil through surveys, and also monitoring the rainfall and hydrological flows in order to observe the dynamics of subsurface water in that slope. The methodology used in the study was divided into four phases with the first phase consisted basically of bibliographic content to be worked, then the second part of the research was carried out on field work, and in this phase samples for laboratory analysis were collected; the piezometers for monitoring of subsurface flows were installed and it was also installed the weather station to the collections related to rainfall. In the third phase, the work was focused on laboratory and office, where were then carried out the sizing analysis and also the preparation of cartographic material combined with the tabulation of data for the construction of graphs. The fourth and final phase was the analysis of integrated data, from which, through the analysis the results were achieved. In the case studied, the results indicated that the main factors of installation and maintenance of erosion of those tunnels were that related to the physical properties of pedologic cover, such as the particle size, the shape of the slope and mainly the hydrological conditions. Regarding the evolution of the erosion on that slope, it can be said that the tunnels in the future may finally become a crater, damaging the use of the area.

**Keywords:** surface units, topography, water flows, tunnels.

## INTRODUÇÃO

A erosão é um processo que deprecia o solo, diminuindo a sua produtividade e até mesmo impossibilitando sua produção de alimentos. Diante do exposto, vale ressaltar, que é de suma importância que sejam realizados estudos sobre essa temática, visando principalmente, explicações e soluções para os problemas encontrados em áreas degradadas por processos erosivos.

Segundo Bigarella & Mazuchowski (1985), boa parte da população acredita que o Brasil é um país maravilhoso, de terras fertilíssimas e que possui os melhores solos para agricultura. Entretanto, boa parte desta afirmativa é ilusória porque as adversidades geográficas são muitas e em muitos casos, são decisivas para uma boa produtividade. Nesse contexto, destacam-se as características do clima, que ao contrário do que muitos leigos acreditam, as regiões tropicais são extremamente produtivas, porém, são as mais suscetíveis a instalação e evolução de processos erosivos.

Um dos fatores mais atenuantes na conservação do solo é a vegetação. Esta representa um dos fatores ambientais responsáveis pelo equilíbrio do meio, e seu desenvolvimento é comandado pelas condições hidrológicas, climáticas e edáficas. A remoção da vegetação representa a quebra do equilíbrio ambiental, de onde surge então a necessidade de inserir métodos conservacionistas que diminuam os aspectos negativos causados pela degradação do solo.

O processo de alteração do solo, pode se desenvolver com maior ou menor intensidade, sobretudo, porque a peça fundamental para a sua degradação é a forma como está sendo ocupado. O uso e o manejo inadequado podem levar a destruição das estruturas do solo, interferindo principalmente na hidrologia, logo, propiciando processos erosivos, afetando diretamente o desenvolvimento socioeconômico baseado em atividades agropecuárias.

Neste sentido, conhecer o solo, suas características e o seu funcionamento, se torna imprescindível, tanto para o controle, quanto para a prevenção dos

fenômenos erosivos, já que, o mesmo permite o uso e a ocupação mais adequada e segura das coberturas pedológicas (MORESCO & CUNHA, 2006).

Assim, para esses autores, a obtenção de informações precisas sobre a atuação da água nos solos, se reveste de grande importância principalmente, quando correlacionada ao desenvolvimento de processos erosivos. As questões que norteiam esta pesquisa se baseiam no fato de que a água, em seu processo dinâmico altera e promove mudanças no solo em amplitudes variáveis, tornando-se localmente responsável por mudanças na fisionomia da encosta e regionalmente pela evolução da paisagem.

O estudo da hidrologia, do relevo e da cobertura pedológica, como é o caso desta pesquisa, objetiva então, entender e identificar a relação que a alta, média e baixa encosta de uma área inserida na Bacia do Rio das Pombas no município de Guarapuava, possuem com a formação e a manutenção de túneis. Nessa mesma perspectiva, esta pesquisa busca também contribuir para os estudos dirigidos para a hidrologia de encosta associada à erosão subsuperficial.

A relevância desse trabalho está pautada na necessidade de conhecer e reconhecer as interrelações entre o solo e as formas de relevo na instalação e evolução de túneis, podendo sua metodologia ser aplicada em outras pesquisas relacionadas a processos erosivos dessa ordem.



## 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. CONCEITOS E MÉTODOS DE ANÁLISES RELACIONADOS À COBERTURA PEDOLÓGICA

A forma como a sociedade se relaciona com o ambiente, tem inúmeras variáveis, particularmente aquelas pautadas nos estudos ambientais, que justifica a grande quantidade de estudos relativos a esta temática ambiental.

Esta amplitude temática permite aos pesquisadores grandes desafios, onde estes devem adaptar-se ou até mesmo mudar suas metodologias conforme o enfoque ou a área específica que deseja estudar. Este talvez não seja considerado um problema, mas sim, uma alavanca que objetiva impulsionar ainda mais a tentativa de possíveis respostas para as mudanças ambientais, ou seja, mudanças na paisagem.

Segundo Melo (1994, pág. 123):

O ambiente do solo é um dos mais complexos dos encontrados em toda natureza. É construído por uma fração mineral, uma fração orgânica e por vazios. A fração mineral, que depende da rocha que lhe deu origem, pode se encontrar em vários estágios de intemperização, o que define a potencialidade em fornecer nutrientes para os vegetais e a atividade da fração argila. A fração orgânica encontra-se em dois estados vitais: material orgânico vivo, e material orgânico morto.

De acordo com Paquet & Clauer (1997), a importância dos elementos químicos no solo, passa a ter uma maior relevância no final do século XVIII e início do século XIX. Estudos daquela época, já discutiam a importância da matéria orgânica e da nutrição mineral para o desenvolvimento vegetal.

Em 1883, Dokutchaeu, reconhece a sucessão de horizontes do solo A, B e C, como também, suas características físicas e químicas, relacionando-as com a origem e evolução dos solos (QUEIROZ NETO, 2009).

A evolução da ciência do solo subdividiu-se basicamente em três fases, sendo a primeira relacionada ao inventário e o mapeamento dos solos (1885 a 1940), a segunda está vinculada ao estudo detalhado e minucioso dos materiais em laboratório (1945 a 1970) e a terceira, pautada ao estudo da lateralidade do solo, sendo iniciada a partir da década de 1970 (CUNHA, 1996).

No Brasil, as primeiras observações sobre intemperismo químico e sua importância para a morfogênese das estruturas superficiais ocorreram no ano de 1886 (VITTE, 2003).

A pedologia surgiu da necessidade do reconhecimento da diferenciação vertical do solo, sendo observada através de perfis, cortes ou secções verticais do solo arranjados na superfície até a rocha, seu suposto material de origem (CUNHA, 1996).

Os estudos pedológicos sempre empregaram um rigor analítico no entendimento dos solos e de seus materiais constituintes, que com a evolução nos estudos e tecnologias, fez surgir as primeiras bases da Pedogeoquímica. Na década de 30, a existência das relações de dependência entre a história dos solos e a posição ocupada nos relevos, passa a ser percebido pela Pedologia (PAQUET & CLAUER, 1997).

No início do século XX, vem à tona a necessidade de um maior aprofundamento nos estudos sobre os processos pedogenéticos, principalmente, quando se passava da escala zonal para a escala local (CUNHA, 1996).

De acordo com Melo (1994, pág. 124):

Em 1945, Waksman definiu o solo como um ambiente microbiológico. Na verdade, um meio de cultura complexo, diferente de um meio de cultura de laboratório, onde os organismos interagem entre si e com as plantas de uma maneira complexa, cada um lutando pela sua fonte de carbono e de energia, pela água e pelos nutrientes indispensáveis às funções vitais.

Após a segunda metade da década de 70, começaram a ser conhecidos os graus de evolução dos sistemas pedológicos inventariados até recentemente (CUNHA, 1996). Apenas nos anos 80, as alterações nas rochas pelo intemperismo e a formação dos solos atuando nas formas de relevo, começam a ser estudadas pelos pedólogos (PAQUET & CLAUER, 1997).

Segundo Magalhães (2008), através dos vários estudos realizados por meio da pedogeoquímica, é correto afirmar que a cobertura pedológica encontra-se organizada e hierarquizada em níveis que vão desde microestruturas de solo até o entendimento dos sistemas pedológicos como um todo na paisagem; mas isso se deve a estudos recentes, mais precisamente a partir da década de 1970.

No decorrer dos últimos 30 anos, os estudos sobre a cobertura pedológica cooperaram muito para o entendimento do transporte de material pela circulação hídrica interna, tanto vertical como lateral, tanto em superfície como em subsuperfície (CUNHA, 1996).

Para a compreensão da estrutura e o funcionamento da cobertura pedológica, necessita-se o uso de métodos e técnicas que auxiliem o entendimento das relações entre o solo e o relevo, ou seja, da sua distribuição na paisagem. Com essa perspectiva, a partir da década de 1960, a escola francesa tem demonstrado em suas pesquisas a necessidade da compreensão da lateralidade do solo (MORESCO & CUNHA, 2006).

Procurando mostrar a importância da topografia e das condições de drenagem na distribuição dos solos com relação as suas colorações, Brammer (1962), citado por Espíndola (2008), apresentou um esquema representativo de diferentes perfis ao longo de uma vertente, mostrando a continuidade de sua cobertura.

Importantes pesquisadores, também como Chauvel (1976) e Carvalho (1976), deram significativa colaboração no que diz respeito à sistematização da cobertura pedológica, onde, nesses estudos destacam-se as variações e transições dos horizontes do solo, dando condições à compreensão da gênese, evolução e distribuição da cobertura pedológica.

Para a investigação dessas relações estruturais e genéticas, podem ser empregados os procedimentos propostos pela análise estrutural da cobertura pedológica (BOULET *et al.*, 1982).

Trabalhos como de Cunha (2002), já demonstraram a importância de se conhecer as características pedomorfológicas dos ambientes, reconhecendo a distribuição pedológica vertical e lateral ao longo das vertentes, para então compreender a dinâmica externa.

A ciência do solo sempre buscou proporcionar uma gigantesca contribuição nos estudos voltados às mudanças na paisagem, uma vez que esta se relaciona com estudos voltados a física, química e biologia, auxiliando no entendimento da formação, organização e dinâmica da cobertura pedológica.

## 1.2. GENESE E EVOLUÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS

Vieira & Vieira (1983), afirmam que desde muitos anos a terra já é vista pelos homens como um lugar a ser utilizado para o cultivo de sementes destinadas a alimentação e que, desde o início dessa atividade o homem conseguia distinguir os solos propícios e os não propícios para o cultivo, tais como as pedreiras, banhados.

Inúmeras civilizações tiveram suas primeiras origens em torno de colônias agrícolas, onde plantavam e colhiam seus próprios alimentos, se distanciando cada vez mais dos princípios nômades de seus ascendentes.

Enquanto a agricultura era exclusivamente uma forma de subsistência familiar para os agricultores, não era dada muita importância ao solo. No momento em que a agricultura tomou um caráter econômico gerador de renda, surgiram então as primeiras preocupações e estudos a respeito do solo e de sua correta manutenção (HOLOCHESKI, 2008).

Devido ao grande crescimento na população mundial, a abertura de novas fronteiras agrícolas tornou-se atividade indispensável, sobretudo tratando da grande demanda de alimentos que a população necessita para a sua sobrevivência, e da grande área de terra que é necessário para que estes alimentos sejam produzidos.

Quando o solo começa a ser empregado no cultivo, suas propriedades físicas, químicas e biológicas são modificadas (GALETI, 1985). Segundo o mesmo autor, o solo não deixa de ser um corpo vivo, constituído por milhões de microorganismos benéficos, que ali digerem, respiram, pulsam. Tamanha é a importância do solo para a sociedade, que cada vez mais ao passar dos anos, novos estudos e pesquisas estão sendo realizadas para uma melhor utilização dos recursos que o solo oferece.

Ao passo que novas soluções vão sendo encontradas para problemas oriundos do solo, surgem também novos obstáculos e são neles que observamos o destaque dos processos erosivos, devido à larga capacidade de degradação que proporcionam nas lavouras, pastagens e até mesmo em florestas.

Com a eliminação da cobertura vegetal, queima dos restos de cultivos, degradação da camada superficial devido os processos de preparação para o cultivo e o ataque das superfícies através das gotas das chuvas ou das enxurradas, provocam principalmente a alteração na estrutura, compactação, rebaixamento dos perfis do solo entre outros. Mas isso pode variar de acordo com o clima, relevo, vegetação e principalmente do manejo do solo (GALETI, 1985).

A utilização correta de um solo consiste em identificar se ele é raso ou profundo, mecanizável ou não, erodível ou resistente a chuvas; também como se comporta em culturas anuais, perenes ou pastagens (BIGARELLA & MAZUCHOWSKI, 1985).

De acordo com Morgan (1986), Wischmeier & Mannering (1969), apud Guerra (1994), a erodibilidade do solo é definida como a resistência do solo em ser removido ou transportado, uma vez que estes mesmos autores apontam a erodibilidade como o principal fator na predição da erosão e no planejamento do uso da terra.

Os processos erosivos são encontrados em quase todo o globo terrestre, variando sua intensidade em determinados lugares, devido à grande diferença de pluviosidade, principalmente em países tropicais (GUERRA, 1994).

Para Nunes & Romão (2008) a erosão compreende um conjunto de fenômenos naturais, envolvendo a remoção e o transporte de materiais detríticos provenientes da decomposição e desagregação das rochas e dos solos. Uma das formas fundamentais da erosão pelas águas pluviais, relaciona-se à desagregação dos agregados constituintes do solo e seu arraste pelas águas do escoamento superficial difuso (BIGARELLA *et. al.*, 1996).

O fluxo por terra ou processo de escoamento superficial acontece sempre que parte, ou até mesmo toda a água precipitada, deixa de infiltrar. As principais razões do escoamento superficial são as baixas densidades ou a ausência de cobertura vegetal, a declividade, o comportamento do material de superfície, a intensidade e duração das chuvas, dentre outras variáveis (CASSETI, 2005). O processo erosivo inicial, ganha nova dimensão com o escoamento superficial difuso e ainda com o escoamento superficial concentrado, principalmente, se associado à natureza física e morfológica da cobertura pedológica e a certos tipos de ocupação (CUNHA, 1996).

A tipologia do solo assegura se ele é, ou não, propício para erosão, pois, sua textura, sua forma de uso, vai determinar o quanto este solo será atacado pelas erosões. Quanto mais usado, mais propício à erosão o solo estará, destaca Galetti (1985).

Cassetti (2005) destaca que dependendo dos fatores intrínsecos, como declividade e geometria da vertente, uso e ocupação do solo e dos fatores extrínsecos, como intensidade e duração das chuvas, têm-se as diferentes formas de escoamento, denominados de fluxos difusos, laminares e concentrados.

A água move-se rapidamente em forma de chuva na atmosfera e como fluxo superficial canalizado ou não-canalizado (também abaixo da superfície), fluindo gradualmente para os rios (COELHO NETTO, 1994). Sendo um dos principais agentes erosivos, a água atua diretamente na morfologia do terreno, operando de diversas maneiras dependendo da natureza do solo, das precipitações (total e distribuição no ano) e do tipo de cobertura vegetal (BIGARELLA *et. al.*, 1996). O reconhecimento, a localização e a quantificação dos fluxos d'água nas encostas são de fundamental importância ao entendimento dos processos geomorfológicos que governam as transformações do relevo (COELHO NETTO, 1994).

Um dos principais agentes colaboradores do ciclo hidrológico e dos processos erosivos é a pluviosidade, portanto, em períodos chuvosos existe uma aceleração nesses processos, onde a água atua na desestabilização de uma encosta de várias formas, tanto através da saturação, como também através do escoamento superficial (PISANI, 2003).

Quando uma grande quantidade de água entra em contato com o solo, esta começa a se mover tanto superficial como subsuperficialmente, podendo então dar início a processos erosivos através desses movimentos. A erosão hídrica é o processo erosivo que mais se destaca nas mudanças da paisagem, uma vez que, esta depende do clima (vento, precipitação, temperatura); do relevo (declividade, comprimento da encosta), e da vegetação.

A erosão pode atingir o solo através de duas formas distintas: uma é através do ataque da água, desagregando e transportando o material encosta abaixo; outra forma ocorre tanto na superfície como na subsuperfície numa determinada porção do perfil, afetando uma massa de material inconsolidado (BIGARELLA & MAZUCHOWSKI, 1985).

Uma menção feita por Galetti (1985, p.11), afirma que:

A chuva é o elemento do clima mais importante no processo da erosão. Atua numa primeira fase bombardeando o solo através das suas gotas d'água. As gotas d'água chocam-se contra as partículas terrosas ou seus aglomerados desagregando-os, soltando-os, jogando-os a distância, para os lados e para cima. É a fase em que a água solta a terra. Numa segunda fase, as gotas vão se juntando formando as enxurradas, que se movimentam lançante a baixo. À medida que descem se avolumam e aumentam a velocidade – erosão é função de volume e velocidade. Quanto maior o volume maior a erosão. Quanto maior a velocidade maior a erosão. Maiores volumes e maiores velocidades tem maiores capacidades tanto de erodar (soltar) como também de transportar; inclusive transportar materiais mais grossos e mais pesados.

O estudo dos processos erosivos caracteriza-se principalmente no entendimento da dinâmica da água oriunda das chuvas. O vento altera o ângulo das gotas das chuvas, tornando-as mais ou menos erosivas; também interfere na

evaporação, uma vez que, quanto mais encharcado estiver o solo, maior é a susceptibilidade à erosão. De acordo com Bigarella & Mazuchowski (1985), as areias finas podem ser arremessadas cerca de 150 cm com o impacto das gotas de chuva.

A temperatura, segundo Galetti (1985), influi diretamente na evaporação e transpiração, visto que estes fenômenos alteram a quantidade de água no solo, favorecendo ou dificultando a absorção, ou seja, propiciando fluxos superficiais.

Existem barreiras naturais para as águas oriundas das precipitações, sendo o ar e os vegetais os principais entraves que reduzem a energia potencial da água sobre a superfície (BORGES, 2009).

Um fator de muita relevância na diminuição dos processos erosivos em determinados casos é a cobertura do solo, visto que algumas plantas, tais como gramíneas bem desenvolvidas cobrem totalmente a superfície do solo, amarrando as partículas através de suas raízes facilitando a absorção de água, diminuindo o escoamento superficial. Considerando a cobertura do solo associado com parâmetros topográficos, clima, características do solo e uso do solo, abordando as causas antrópicas, cita-se que a retirada da cobertura vegetal é um fator limitante para o desencadeamento dos processos erosivos (GUERRA, 1994).

De acordo com Guerra (1994), os fatores relacionados à cobertura vegetal podem influenciar os processos erosivos de várias maneiras: através dos efeitos espaciais da cobertura vegetal, dos efeitos na energia cinética da chuva e do papel da vegetação na formação de húmus, que afeta a estabilidade e teor de agregados. A vegetação ainda tem a capacidade de retardar a concentração do escoamento, bem como reduzir a velocidade através da frenagem da água (BIGARELLA *et. al.*, 1996).

Em concordância com Morgan (1986), apud Guerra (1994), a cobertura vegetal do solo reduz a quantidade de energia que chega a superfície durante uma precipitação, evitando assim o selamento do solo (crostas). A cobertura vegetal tem um papel importante também na infiltração de água no solo devido às raízes dos vegetais ali presentes.



A densidade da cobertura vegetal é um fator importante na remoção de sedimentos, no escoamento superficial e na perda de solo. A porcentagem da cobertura vegetal pode reduzir até mesmo os efeitos dos fatores erosivos naturais (GUERRA, 1994).

Segundo Gurnell & Gregory (1981) e Burt, Crabtree & Fielder (1981) citados por Bigarella *et al.* (1996) a infiltração na parte superior dos solos de uma área rica em vegetação é favorecida pelas atividades da fauna perfuradora e das raízes vegetais que contribuem para o aumento da permeabilidade do solo, aumentando o volume dos macroporos, bem como favorecendo a formação de canais tubiformes (*piping*).

Bigarella *et al.* (1996), também explica que a capacidade de infiltração de um determinado solo varia durante o decorrer da chuva, sendo que no início a infiltração é rápida diminuindo com o transcorrer do tempo até tornar-se constante. Pisani (2003) aponta que a retenção de uma grande quantidade de água precipitada por todos os componentes da camada vegetal reduz a quantidade de água ao atingir o solo, uma vez que este volume retido varia de acordo com a composição da vegetação e o volume precipitado.

Esse processo resulta das relações de interdependência dos mecanismos de entrada na superfície do solo, de estocagem dentro do solo e de transmissão de umidade do solo (COELHO NETTO, 1994). Após estes processos, logo se dá a infiltração na zona de maior permeabilidade, podendo chegar a maiores profundidades, com armazenamento da umidade no solo e fluxo de subsuperfície, onde o excedente, ou o que não foi infiltrado, fica armazenado em depressões superficiais, sendo que parte é evaporada, e outra escoada na superfície, podendo integrar o fluxo fluvial (CASSETI, 2005).

Pode-se afirmar que a resistência do solo aumenta proporcionalmente a resistência radicular por ele coberto. Evidencia-se que o sistema radicular, mesmo depois da vegetação retirada, continua a dar resistência durante algum tempo, até que esteja totalmente deteriorado. É importante levantar historicamente a retirada da vegetação, pois um solo descoberto pode continuar estável por apresentar um sistema radicular medianamente ativo. A perda de resistência radicular não pode ser

observada superficialmente, por isso devem-se fazer trincheiras com o intuito de facilitar a constatação (PISANI, 2003).

A cobertura vegetal além de influenciar diretamente a queda da chuva sobre o solo, também de forma direta atua na produção de matéria orgânica. Além disso, as raízes ramificam-se no solo, ajudando na formação de agregados. Estas raízes ao se decompor produzem húmus, material indispensável no aumento da estabilidade de agregados (GUERRA, 1994).

É importante salientar, que nem sempre a vegetação atua no sentido de redução erosiva das gotas, uma vez que pode ocorrer ravinamento na base das árvores, devido o escoamento de água pelo tronco, também devido à coalescências de água nas folhas largas das árvores, que podem ocasionar a erosão por *splash* ao redor das copas (GUERRA, 1994).

Grande parte dos materiais que se encontram na superfície e subsuperfície do terreno, formando o solo, estão sujeitos a processos intempéricos. Em condições normais, ou seja, sem considerável erosão, o desgaste da superfície é compensado pela contínua decomposição das rochas, mantendo o perfil do solo (BIGARELLA & MAZUCHOWSKI, 1985).

### 1.3. DINÂMICA DA ÁGUA EM SUBSUPERFÍCIE

Para facilitar o entendimento do comportamento da água no solo, deve-se levar em consideração que essa água não é pura e que está submetida a forças diversas, geralmente interdependentes, sendo essas forças geradas pela gravidade, capilaridade e pelos fenômenos de interfaces, se manifestando muito ou pouco, em função das variações rápidas das condições físicas do meio, tornando dinâmicas as relações água/solo (CUNHA, 2006).

A dinâmica da água no solo revela uma relação de vários fatores que controlam os componentes hídricos, entre eles estão o clima, propriedades físicas do solo, sistema radicular, macro e micro fauna e uso do solo (BEZERRA, 2006).

A mudança do comportamento hídrico é responsável pela movimentação e seleção das partículas do solo ao longo da vertente, acumulando residualmente as frações mais grosseiras nos setores altos e nos horizontes superficiais das vertentes. Já as frações mais finas são frequentemente encontradas nas médias e baixas vertentes e nos horizontes subsuperficiais (CUNHA, 2006).

Luiz (2003) ressalta que no ciclo hidrológico (Figura 1), parte da água que chega à superfície da terra vinda da atmosfera é infiltrada no solo e se estabelece no meio poroso; outra parte desse volume tem a finalidade de suprir as necessidades hídricas dos vegetais. Entretanto, a maior parte do volume infiltrado dá seqüência na percolação, processo pelo qual a água circula pela subsuperfície, sem que esta tenha necessariamente um fluxo descendente, caracterizando a drenagem vertical e drenagem horizontal (NOGUEIRA, 2008).



Figura 1 - Ciclo hidrológico

A drenagem vertical ocorre no interior do solo em condições de regimes hídricos variáveis, dependendo da organização da cobertura pedológica e da distribuição das águas pluviais. A drenagem vertical imediata depende da macroporosidade e só se desenvolve em solos úmidos, já a drenagem ocorrida na microporosidade é naturalmente mais lenta e tem maior progressão com a frente de umectação (CUNHA, 2006).

De acordo com o mesmo autor, esse tipo de drenagem pode ser a base da distinção dos perfis do solo, uma vez que através da movimentação vertical da água, a textura do solo pode tornar-se mais ou menos arenosa, levando assim a ocorrência da perda de estabilidade, o que favorece a ocorrência da erodibilidade.

Quando a água preenche todos os poros no interior do solo, constitui a zona saturada ou lençol de água (COELHO NETTO, 1994). Durante eventos pluviais e em determinados tipos de solos, as condições de fluxos saturados tem curta duração, só se estabelecendo quando a quantidade de água adicionada ao sistema é exatamente igual ou maior que a capacidade que o solo tem em receber água (KIRKBY, 1978; THOMAS, 1994).

A saturação atingindo a superfície do solo, não permitindo mais o processo de infiltração, faz com que a zona de saturação se expanda em direções laterais fazendo com que a água acabe emergindo como fluxo de retorno na base da encosta (SOUZA, 2003). A lentidão de circulação da água na base do perfil, quando a drenagem se desenvolve sem ruptura, leva a formação de um lençol (CUNHA, 2006).

A zona saturada pode estar em contato com a atmosfera através de poros abertos no solo ou estar confinada sob formações superficiais ou geológicas impermeáveis, sendo que o limite superior da zona saturada denomina-se nível freático (LUIZ, 2003). De acordo com a mesma autora, o movimento da água no meio poroso do solo ocorre em virtude da diferença de carga hidráulica, no sentido do decréscimo da carga, ou seja, do maior potencial total para o menor potencial total. Essa água, que percola sob ação da gravidade, é chamada de gravitativa.

Cunha (2006) afirma que o sistema só funciona quando a evacuação do setor de jusante ocorre permanentemente através de fontes na base das vertentes, ou pela continuação interna do lençol. Esse tipo de escoamento é evidenciado após um longo período de saturação dos horizontes profundos e o seu funcionamento continua após o fim das chuvas, com prolongamento do escoamento no setor jusante, variando o nível superior do lençol de acordo com os períodos de precipitação.

À medida que o fornecimento de água se interrompe ou se atenua, ocorre então a entrada de ar no sistema, configurando assim uma zona vadosa ou de aeração, caracterizada pela percolação não saturada do fluxo (COSTA, 1975). Após a passagem da água gravitativa, o solo terá se tornado úmido, contendo ar nos macroporos e água nos microporos.

O fluxo de água em materiais não saturado se faz de forma diferenciada daquele em material saturado, pois nesse material todos os poros podem transmitir água, visto que nas condições de não saturação, somente os poros menores contêm água quando o teor de umidade é baixo, porém nesses poros menores, as tensões de adsorção e capilaridade são mais atuantes e formam uma barreira ao deslocamento da água orientado pela gravidade (LUIZ, 2003).

A força capilar retém a água no solo em seus espaços porosos, e esta é responsável pelo rebaixamento e elevação do nível de água através dos condutos capilares, visto que a força de retenção desempenhada pela capilaridade é forte o suficiente para vencer a gravidade. Porém, esta força não é intensa a ponto de impedir que as raízes dos vegetais extraiam a água (GAVANDE, 1972).

A formação de zonas saturadas e fluxos subsuperficiais dependem de vários fatores, entre eles estão textura, estrutura, profundidade; geometria da encosta (comprimento, declividade, forma) e das características do evento pluviométrico (LUIZ, 2003).

Segundo Whipkey & Kirkby (1978), os fluxos subsuperficiais laterais rasos e zonas saturadas podem se desenvolver devido a vários fatores, tais como:

- Textura do solo: solos com textura mais grossa tendem a ter maior circulação de água, diminuindo assim o processo de saturação, uma vez que este processo vai depender do contato com horizontes apresentando textura diferente. Em determinados casos, pode ocorrer a saturação do material mais fino, passando a ser uma camada de impedimento à passagem da água que se movimenta no material grosso acima, no qual, em encostas, devido a gravidade acaba por gerar um fluxo subsuperficial no solo (SOUZA, 2003).

Teoricamente solos de textura arenosa, sempre vão apresentar maior quantidade de macroporos e menor capacidade de retenção de água, tendo em vista que o arranjo do espaço poroso pode ser mais aberto e mais conectado, o que dificulta a existência da força capilar entre as partículas. Já em um solo de textura argilosa, quase sempre apresenta maior microporosidade e uma maior capacidade de retenção de água devido ao arranjo do espaço poroso, normalmente mais fechado e sem conexão, com maior facilidade de armazenamento de água devido à força de capilaridade, justificada pela proximidade das partículas (CUNHA, 2006).

- Estrutura do solo: a composição do solo condiciona a existência de poros maiores e poros menores entre os agregados, sendo que estes últimos são função da distribuição textural. A diferenciação das direções dos poros entre os agregados tem fundamental importância na circulação da água, uma vez que em estruturas granulares a água se movimenta em todas as direções, já em solos com estrutura prismática, o movimento da água se dá verticalmente, e em solos com estruturas laminares, o fluxo será horizontal (KNAPP, 1978).

- Forma da encosta: é um fator determinante e também condicionante na manutenção de zonas saturadas, visto que encostas côncavas ou convexas tendem a ter um diferente comportamento do que diz respeito à circulação da água, tanto superficialmente como subsuperficialmente, inibindo ou favorecendo a formação de zonas saturadas.

- Declividade: é um fator que tem relação direta com a velocidade de escoamento da água na encosta. A água precipitada em encostas mais inclinadas, tende por força da gravidade, adquirir velocidades maiores, e quanto maior a velocidade, menor o tempo de contato da água com o solo, conseqüentemente, menor será a taxa de infiltração (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

- Clima e precipitação: a intensidade e a duração da precipitação é um fator determinante na circulação subsuperficial. O clima também desempenha controle direto na infiltração e percolação da água no solo, visto que este determina os regimes térmicos e pluviométricos; ambos regimes interferem no teor de umidade do solo, uma vez que esta tem relação direta com o potencial matricial do solo

(NOGUEIRA, 2008). A encosta pode ter todos os fatores condicionantes para que ocorra a saturação, contudo, sem eventos chuvosos nada ocorre.

Os movimentos da água no solo são determinantes nas transformações contínuas e nas organizações pedológicas em todos os pontos da vertente, através dos processos de eluviação e iluviação (CUNHA, 2006).

Segundo o mesmo autor, o escoamento subsuperficial que mais se manifesta ao longo das vertentes é o lençol descendente, sendo que em regime saturado, é facilmente observado com o auxílio de piezômetros.

A caracterização do comportamento hídrico dos solos é feita tanto no campo, por meio de medidas diretas do estado da água superficial e subsuperficial, quanto em laboratório, em particular análises como, determinação qualitativa e quantitativa das porosidades, retenção de água, entre outras (QUEIROZ NETO, 2002).

No que diz respeito a utilização de piezômetros, importantes pesquisadores, tais como Wolle & Carvalho (1989), Montgomery *et al.* (1997), Luiz (2003), aderiram à utilização desses equipamentos em suas pesquisas, obtendo resultados consideráveis.

A compreensão da dinâmica hídrica ao longo das encostas se tornou extremamente importante frente aos estudos de morfogênese e pedogênese. Essas perspectivas mostram que os sistemas em desequilíbrio podem apresentar-se em fases de evolução hierarquizadas no tempo e no espaço, desde os sistemas que ainda estão no início até os que estão em fase final de reorganização (CUNHA, 1996).

#### 1.4. EROSÃO EM TÚNEIS

Segundo Guerra (1994), em determinadas encostas, durante uma precipitação pode haver movimento lateral de água sob condições de saturação. Uma exacerbada diminuição da permeabilidade em subsuperfície pode fazer aumentar o escoamento subsuperficial durante ou após o término da chuva. O

escoamento de subsuperfície pode carrear quantidades variáveis de grãos de solo, partículas de argila e colóides, além de material em solução iônica (CASSETI, 2005).

De acordo com Zaslavsky & Sinai (1981), um dos efeitos notáveis do escoamento subsuperficial é provocar a acumulação de umidade no sopé das encostas e nas partes côncavas do terreno, podendo influir até mesmo sobre a saturação dos fluxos superficiais.

É preciso haver um forte gradiente hidráulico que proporcione o escoamento em subsuperfície, bem como o transporte de material dissolvido. Esse processo é acelerado pelo acréscimo da permeabilidade, aumentando a circulação de água.

A circulação interna de água em determinados tipos de solo pode levar a ocorrência da formação de túneis. Os túneis ou dutos são canais abertos em subsuperfície, com diâmetro que varia de poucos centímetros até vários metros, onde através deles ocorre o carreamento de minerais em subsuperfície (GUERRA, 1994). Segundo Augustin & Aranha (2006) o transporte desse material ocorre através da movimentação de sólidos e de componentes dissolvidos em rotas preferenciais. O desenvolvimento desses canais na subsuperfície pode levar à formação de uma rede de fluxos, que são interligados uns aos outros.

Os túneis estão geralmente relacionados às diferenças texturais (CORRÊA, 2006), como também podem ser relacionados pela dissolução química de certos componentes minerais encontrados no manto de intemperismo (CASSETI, 2005).

De acordo com o mesmo autor, as diferenças nos perfis pedológicos verticais e laterais são oriundas de processos de transformações, tendo como principal agente a água atuando subsuperficialmente, fazendo a dissolução dos minerais.

Para Guerra (1994) a produção e o transporte de sedimentos ao longo dos dutos são claramente visíveis nos leques aluviais que se formam na saída destes dutos, sendo que a produção de sedimento está intimamente associada à circulação de água dentro dos dutos, no qual representam uma função direta desses fluxos.

Swanson *et. al.* (1989) afirma que o desenvolvimento dos túneis ou dutos, envolve três estágios: 1) eluviação lateral de argilas; 2) ampliação de um duto



subsuperficial no qual o fluxo concentrado erode suas paredes; 3) aumento do túnel até o ponto em que ocorre o colapso do teto. Esse processo ocorre de forma descontínua da superfície do solo localizada acima do teto do túnel, dando origem a cavidades circulares ou estruturas abatimento.

Para tanto se verifica as condições básicas para a formação desse tipo de erosão, pois de acordo com Dietrich & Dunne (1993), estes fenômenos estão relacionados às fraturas de tensão, rede de raízes de plantas ou cavidade de animais. Para Thomas (1994), os túneis estão associados a contrastes texturais que reduzem a permeabilidade a uma dada profundidade do solo e à presença de uma zona do solo potencialmente dispersiva. Já para Augustin & Aranha (2006) a ocorrência de dutos está associada a fatores como; gradiente hidráulico elevado, presença de íons solúveis no solo e ocorrência de períodos de seca prolongados, favorecendo a ocorrência de fissuras.

Uma vez formados, os túneis são responsáveis por diversos mecanismos de erosão que eventualmente evoluem para canais em superfície.

Muitas vezes, a ação das águas subsuperficiais apresenta-se no tronco do processo de evolução das voçorocas, podendo se originar a partir dos túneis, também evoluindo a partir de ravinas, quando estas alcançam o lençol freático. As águas subterrâneas denotam uma capacidade erosiva permanente, maior ou menor em virtude da recarga sazonal dos lençóis freáticos, podendo ocasionar pontos de abatimento no terreno, provocando também a concentração em superfície das águas das chuvas (CUNHA, 1996).

De acordo com Heede (1971), Zaborski (1972), Morgan (1986) *apud* Guerra (1994) existem inúmeros estudos que comprovam a formação de voçorocas oriundas através do desenvolvimento desses fluxos subsuperficiais.

O surgimento das voçorocas geralmente ocorre com o colapso do teto dos túneis e o alargamento dos mesmos por escoamento e por movimentos de massa, de modo que a ação combinada desses processos aumenta consideravelmente as forças envolvidas na escavação e expansão das paredes do canal (AUGUSTIN & ARANHA, 2006).

Segundo Charman (1970), o desenvolvimento desses processos erosivos ocorre onde a textura e a permeabilidade dos solos variam bastante de acordo com a profundidade.

Augustin & Aranha (2006) destacam que a ocorrência da evolução dos túneis, está apontada para o fato de que o surgimento das voçorocas pode envolver processos mais complexos que aqueles resultantes apenas de evolução da incisão de um canal causada pela enxurrada que, após atingir certa profundidade, se transformaria em um canal permanente.

## **2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO**

O município de Guarapuava localiza-se na porção Centro-Sul do Estado do Paraná, a 21° 21' de latitude Sul e 51° 30' de longitude Oeste, no Terceiro Planalto Paranaense ou Planalto de Guarapuava (MAACK, 2002). As altitudes no município variam de 940 metros em sua porção Oeste a 1300 metros no reverso da escarpa da Esperança (Leste). Encontra-se a 1120 metros do nível do mar.

Apresenta relevo moderadamente sinuoso, com capões e mata galeria, além de campos limpos. Assenta-se sobre rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, deste modo, predominam localmente litotipos ácidos do tipo Chapecó, como os latitos, quartzo-latitos, riodacitos e dacitos, basaltos toleíticos e os andesitos (TRATZ, 2009).

Existe predominância de latossolos brunos eutróficos, distróficos e alumínicos. Fazem-se presentes na região, embora em menor quantidade, os cambissolos hálicos e eutróficos, associados aos neo-solos flúvicos distróficos que compõe as planícies hidromórficas (EMBRAPA, 1979).

A porção central do Terceiro Planalto tem o predomínio do clima típico subtropical (clima Cfb) segundo a classificação de Köppen, onde no verão as temperaturas dificilmente superam os 35°C e no inverno as temperaturas mínimas podem chegar a -8°C. As temperaturas médias encontram-se entre 12,6°C a 20,8°C, sendo que no inverno, elas variam entre 10,2°C a 12,9°C, enquanto as médias de verão situam-se em torno de 20°C (IAPAR, 2006).

Todo o Estado do Paraná está sujeito a geadas, principalmente as regiões mais elevadas, onde são registradas 15 ou mais geadas por ano devido a atuação da Mpa (Massa Polar Atlântica) mais intensa nos meses mais frios (BINDA *et al.*, 2009). A temperatura na região está relacionada à atuação de dois sistemas, o intertropical (primavera e verão) e o extratropical (inverno) (THOMAZ e VESTENA, 2003).

O clima de Guarapuava pode ser caracterizado por subtropical mesotérmico-úmido, sem estação seca, com verões frescos e inverno moderado. A pluviosidade se apresenta bem distribuída, com precipitações médias mensais acima de 100 mm; a média anual fica em torno de 1961 mm, proporcionando variações extremas estimáveis (VESTENA & THOMAS, 2003).

Os fatores que influenciam o clima são a altitude consideravelmente elevada (>1.065m) e a continentalidade. A precipitação média anual da região está entre 1800 a 2000 mm, com médias mensais variando entre 130 a 160 mm (TRATZ, 2009). De acordo com Thomaz e Vestena (2003) o mês mais seco é agosto com 97 mm, e os meses mais chuvosos são: outubro com 202,3 mm, janeiro com 201,9 mm e dezembro com 200,00 mm. Maack (2002), Thomaz & Vestena, (2003), apresentam em seus trabalhos, dados indicativos que mostram não há estação seca definida no município de Guarapuava, sendo a pluviosidade bem definida com médias mensais acima de 100 mm registradas nos meses de outubro e janeiro. Os meses mais secos são Julho e Agosto.

Segundo dados do IAPAR (2006), o ano mais chuvoso foi 1983 quando a precipitação foi de 3.168,4mm, e o ano mais seco foi 1985, quando a precipitação foi de 1262,4mm. A pluviosidade total do ano de 2010 totalizou 1639,2 mm, sendo que o mês mais chuvoso foi Dezembro atingindo 271,8 mm, e o mês mais seco foi Setembro, com apenas 18,6 mm precipitados (Quadro 1).

Em 25 de Abril de 2010 foi registrado o maior índice pluviométrico, sendo que durante as 24 horas deste dia foram registrados 87,6mm de precipitação.

DIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	2.2	24.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	28.4	0.0	7.3
3	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	2.8	0.0	20.8
4	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	0.0	5.0	0.0	7.4	0.0	38.6
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.8	0.0	13.4	0.0	20.2	0.0	41.8
6	4.3	0.8	5.2	10.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	17.8	25.4
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	30.6	0.0	0.0
8	0.0	3.0	0.6	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	6.8
9	0.0	6.2	2.4	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	3.0	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	9.6	0.0
11	20.4	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.2
12	10.6	3.2	0.0	0.0	3.8	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2
13	19.0	15.0	0.0	0.0	1.0	0.0	24.2	10.6	0.0	0.0	0.0	42.3
14	42.8	8.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	10.4
15	0.0	2.4	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	0.0	0.0
16	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	33.4	0.0	0.0	31.6	7.0	2.6
17	0.0	20.6	0.0	0.0	10.6	0.0	40.4	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0
18	0.8	8.4	0.0	0.0	32.0	0.0	2.2	0.0	0.2	4.4	1.8	2.0
19	30.6	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	4.4	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0
21	34.2	0.0	0.6	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2
22	0.3	2.8	12.8	0.0	0.0	22.6	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	0.0
23	20.8	4.8	0.4	74.4	0.0	0.0	21.0	0.0	3.4	3.2	4.0	5.0
24	4.2	0.2	28.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1	6.2	0.6	0.0
25	4.0	5.8	12.2	87.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.4	2.6
26	0.0	0.0	14.8	27.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1	1.8	1.8	0.0
27	15.4	0.0	13.8	31.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2	1.8	0.0	0.0
28	4.4	0.7	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.8	4.3
29	7.0	_____	15.0	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3
30	0.0	_____	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.2	0.9	0.0
31	0.0	_____	0.0	_____	4.2	_____	0.0	0.0	_____	_____	17.6	_____
TOT	237.6	133.1	131.2	242.6	65.8	66.2	129.4	38.0	18.6	200.6	104.3	271.8

Quadro 1 - Índices pluviométricos do ano de 2010.

A encosta estudada encontra-se as margens do Rio das Pombas, na Bacia do Rio das Pedras, Terceiro Planalto Paranaense, com morfologia marcada por blocos planálticos dissecados pela drenagem, bem como por áreas altas e planas (Figura 1). Estas constituem os platôs de Guarapuava, Entre Rios e Três Pinheiros (TRATZ, 2009).

De acordo com Tratz (2009), a bacia do Rio das Pedras está inserida geologicamente na unidade litoestratigráfica de basalto tabular maciço e geomorfologicamente na unidade de planalto dissecado, proporcionando ampla densidade de falhas e fraturas, que são usadas pela rede de drenagem configurando vales em forma de “v”. Por estar situada próxima da Escarpa da Esperança, a área de estudo apresenta relevo dissecado a moderadamente dissecado (Figura 2). Morfologicamente a encosta é caracterizada por perfil retilíneo-convexo, embora sua base se encerre com uma ruptura de declive, constitui o terraço do rio das Pombas (SILVA *et al.*, 2007). A encosta intitulada de Rio das Pombas encontra-se a 25 km do trevo principal de acesso do município de Guarapuava.



Figura 2 - Localização da área de estudo.

Org.: Wellington B. Silva

Quanto ao uso do solo da encosta, por se localizar em uma bacia leiteira do Município de Guarapuava, as porções alta e média são ocupadas por pastagens, destinadas a animais na produção de leite. Somente a baixa encosta apresenta mata secundária composta por árvores de médio porte com troncos finos e com baixo desenvolvimento foliar, forrada por gramíneas e plantas rasteiras, sendo algumas típicas de solos encharcados. Nota-se rápida decomposição de matéria orgânica no local e presença de uma fina camada de serrapilheira. Na porção da baixa encosta é que se desenvolve o sistema de túneis (Figura 3).



Figura 3 - Túnel localizado na porção baixa da encosta.



### 3. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi desenvolvida procurando compreender as implicações da relação solo versus relevo na instalação e evolução de túneis. A metodologia utilizada para a efetivação desta pesquisa subdividiu-se em quatro fases, sendo estas observadas no organograma representado pela (Figura 4).

Foram realizados levantamentos bibliográficos sobre o assunto abordado que serviram para a obtenção das bases conceituais e metodológicas, juntamente com os trabalhos de campo, que objetivaram a geração de dados para a realização da pesquisa.

Por se tratar de uma pesquisa que exigiu inúmeros trabalhos de campos para levantamento dos dados, algumas destas etapas do trabalho aconteceram concomitantemente.

Para os aspectos físicos, foram elaborados mapas temáticos (localização dos piezômetros, localização das sondagens, mapa do perímetro e uso de solo), perfis, gráficos e tabelas explicativas que acompanharam as respectivas descrições realizadas em campo.

A análise da cobertura pedológica seguiu alguns pressupostos teóricos e metodológicos sugeridos por Boulet *et al.* (1982), onde esta teve como objetivo demonstrar as diferenças laterais e verticais dos solos na área de estudo.

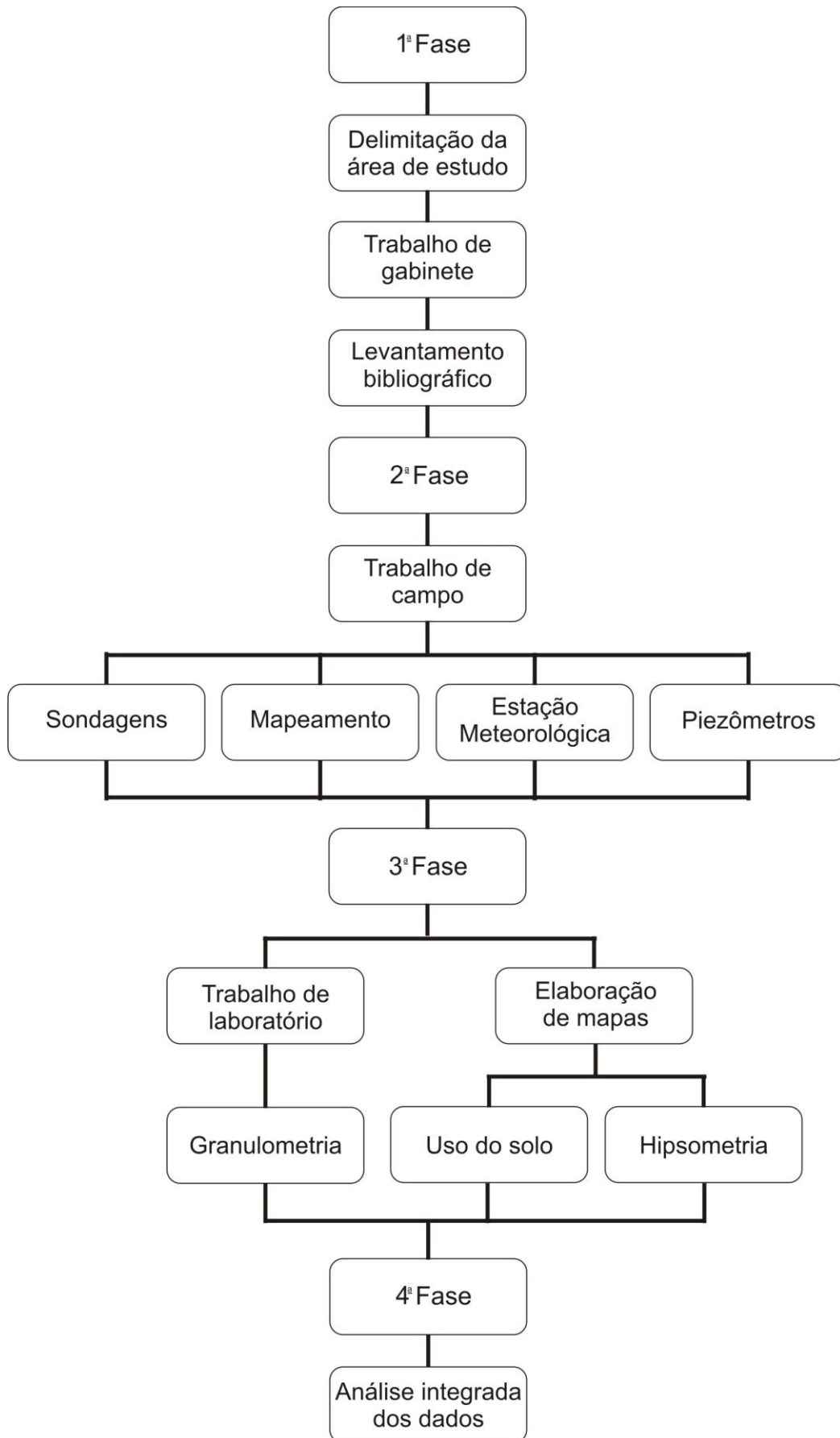


Figura 4 - Organograma metodológico aplicado na pesquisa.



### 3.1. TRABALHOS DE CAMPO

Inicialmente foi instalada uma estação meteorológica na área de estudo, para a coleta de dados sobre a precipitação. Após esta instalação, realizou-se então o levantamento topográfico da encosta, acompanhado pelo levantamento pedológico da área, onde foram realizadas tradagens, com a finalidade de coletar material para as posteriores análises em laboratório e representação dos perfis. Depois de concluída esta etapa, na mesma área foram instalados os piezômetros, com a finalidade de medir a variação do freático no interior do solo, visando assim, o conhecimento da dinâmica hidrológica do setor estudado da encosta e a possível ocorrência de zonas saturadas e fluxos subsuperficiais.

#### 3.1.1. Instalação da estação meteorológica

A estação meteorológica *Nexus Weather Station*, pertencente ao Laboratório de Geologia da Universidade Estadual do Centro Oeste, foi instalada na área de estudo para obtenção de dados referentes principalmente a pluviosidade (Figura 5). Esta referida estação foi montada durante a segunda quinzena do mês de Fevereiro, sendo que o período de monitoramento ocorreu do dia 1º de Março de 2010 até o dia 30 de Setembro de 2010.



Figura 5 - Estação meteorológica Nexus Weather Station.

Estas informações serviram para associar os dados sobre circulação de água no solo com os dados referentes às precipitações.

### 3.1.2. Levantamento topográfico

Tomando por base o trabalho de Pietrobelli (2005), o levantamento topográfico se deu pela delimitação da área estudada e pela locação das sondagens e dos piezômetros, para que estes fossem representados cartograficamente em mapas. Alguns dos equipamentos utilizados nesta etapa da pesquisa foram cedidos pela empresa Uniflora Engenharia.

Para o levantamento topográfico foram utilizados: Estação Total Leica TPS 400, GPS Pro-XR e Nível Óptico Leica NA-820 para a determinação do desnível, além de outros materiais como trena, bússola e balizas.

### 3.1.3. Levantamento pedológico

Após a demarcação dos locais onde seriam realizadas as sondagens, iniciou-se então o levantamento pedológico com o auxílio de trado holandês, fornecido pelo Laboratório de Geologia da Universidade Estadual do Centro Oeste. Foram elaboradas 14 sondagens no solo, onde destas foram retiradas 56 amostras deformadas para análise granulométrica.

As amostras retiradas pesavam aproximadamente 150 gr, sendo coletadas a cada 22 cm de profundidade. Após coletadas, estas eram acomodadas em pedocomparadores e em pacotes plásticos devidamente identificados para posterior análise granulométrica.

As sondagens (tradagens) foram realizadas em todos os pontos da encosta (alta, média e baixa), sendo que a maior concentração destas sondagens se deu no setor baixo da encosta (Figura 6), visto que já tínhamos conhecimento que a ocorrência dos túneis só se dava nessa porção. Por se tratar de uma área que o solo é pouco espesso, todas as tradagens atingiram a rocha.

Esta etapa do trabalho serviu para o conhecimento prévio dos sistemas pedológicos que compõem a área, obtido com a descrição das seguintes características macromorfológicas: textura, estrutura, consistência, transição e cor. Para a descrição das cores das amostras, utilizou-se a Tabela de *Munsell Color Soil Chart*, também fornecida pelo Laboratório de Geologia da Universidade Estadual do Centro Oeste. A descrição das demais características baseou-se no manual de descrição e coleta de solo no campo, da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, e algumas sugestões propostas por Lemos e Santos (2003).

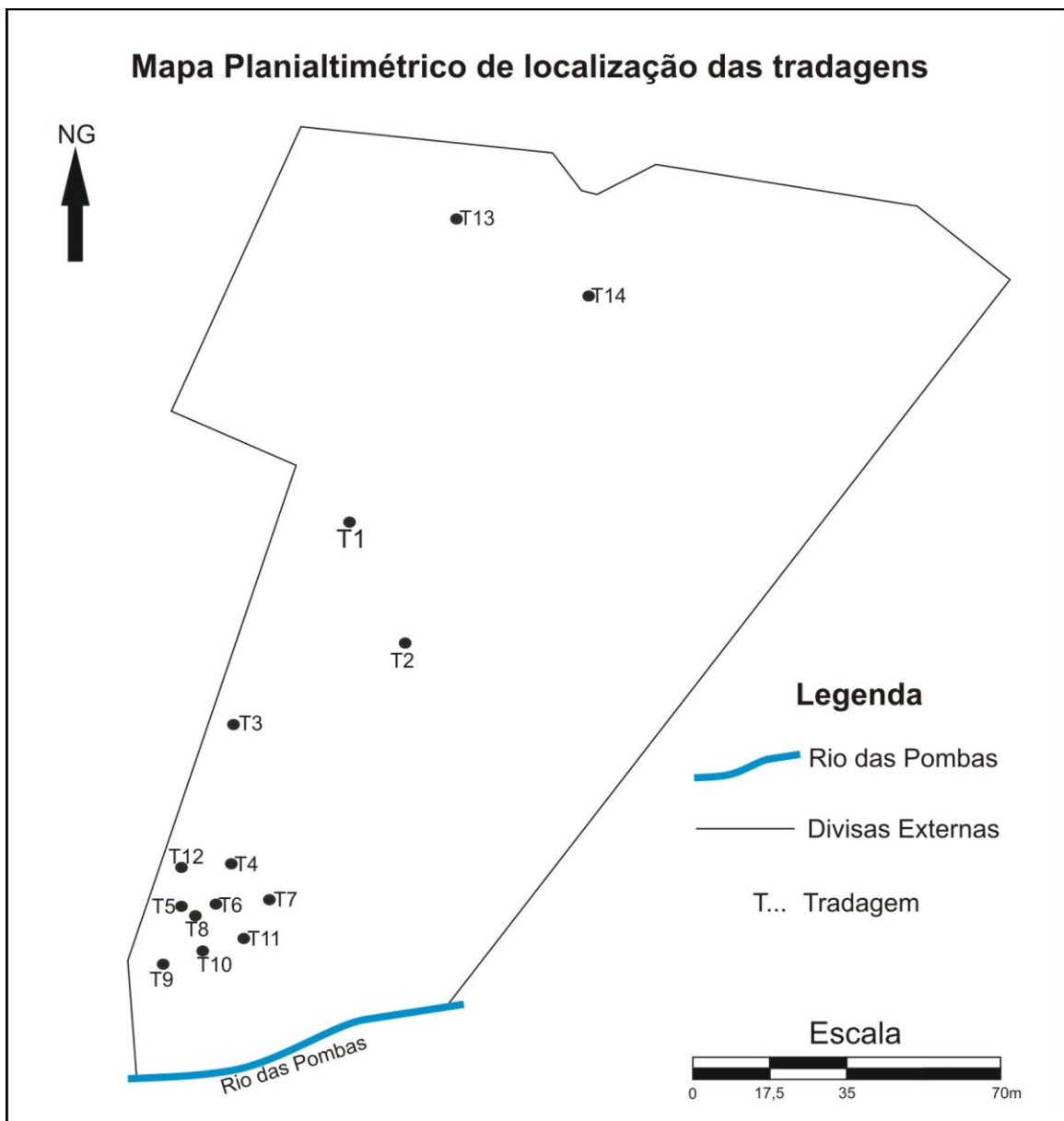


Figura 6 - Localização das sondagens (tradagens).

Como as análises de granulometria realizadas no laboratório evidenciaram basicamente quatro classes granulométricas, a denominação utilizada para as unidades pedológicas foi baseada principalmente nas cores dos materiais estudados, propostos por Paisani (1998).

Dessa forma, através da análise dos perfis, foram identificadas então dez unidades de solo, onde a terminologia empregada para a descrição das mesmas foi: unidade argilo arenosa marrom escura, unidade argilo arenosa marrom amarelada escura, unidade argilo arenosa marrom amarelada, unidade areno argilosa marrom acinzentada muito escura, unidade areno argilosa marrom amarelada escura, unidade areno argilosa marrom amarelada, unidade argilo siltica arenosa marrom acinzentada muito escura, unidade argilo siltica arenosa marrom, unidade argilo siltica arenosa marrom amarelada, e unidade arenosa marrom acinzentada muito escura.

#### 3.1.4. Instalação e monitoramento dos piezômetros

Com o intuito de conhecer e monitorar a oscilação vertical, e a circulação da água em subsuperfície foram instalados 16 piezômetros ao longo da encosta, aproveitando as sondagens realizadas para a retirada das amostras deformadas (Figura 7). Apenas dois dos dezesseis piezômetros não foram instalados nos locais das sondagens, sendo estes instalados em pontos abaixo da área com hidromorfia, com a finalidade de auxiliar no reconhecimento da altura piezométrica da água.

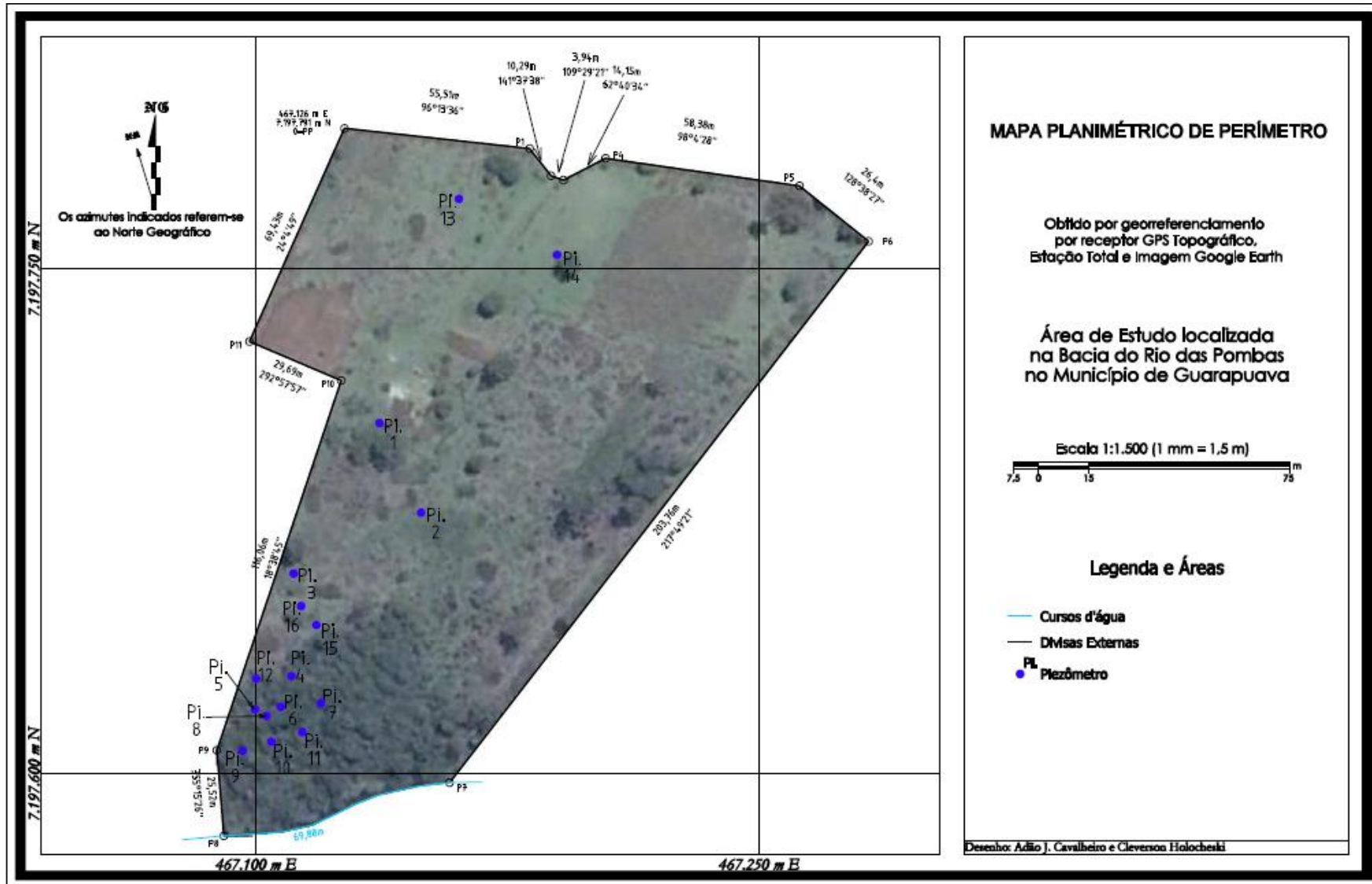


Figura 7 - Mapa de perímetro e a localização dos piezômetros.

Para a instalação dos piezômetros o diâmetro das sondagens foi aumentado, para que além do cano, coubesse ao seu redor uma camada de aproximadamente 7cm de brita e areia, com a finalidade de filtrar , ou melhor, impedir que as ranhuras fossem obstruídas pelo solo desprendido das paredes das tradagens.

Os piezômetros foram confeccionados com canos de PVC de bitola  $\frac{3}{4}$ , onde na parte inferior desses canos foram efetuadas ranhuras de aproximadamente 1 mm de espessura por 3 cm de comprimento na diagonal, para que a água infiltre dentro do cano, indicando assim o nível piezométrico do solo (Figura 8).



Figura 8 - Confeção dos piezômetros.

Como ressalta Luiz (2003), sabe-se que o instrumento utilizado não é tão sensível para a medição do potencial piezométrico quanto um piezômetro eletrônico, no entanto, diante do seu baixo custo e das vantagens de instalação, as medidas tomadas mostraram dados interessantes a respeito do comportamento do nível do freático na encosta durante o período monitorado (Figura 9).





Figura 9 - Piezômetro utilizado na pesquisa.

As medições dos níveis piezométricos foram realizadas no mesmo período que ocorreram monitoramento da pluviosidade (1º de Março de 2010 até o dia 30 de Setembro de 2010). Estas medições eram realizadas todos os dias no período da tarde, com auxílio de réguas escalonadas, sendo que cada piezômetro possuía uma régua permanente no seu interior. Dessa forma, o nível piezométrico não é alterado no momento da medição. Os resultados fornecidos pelos piezômetros foram transcritos em formulário específico para análise.

## 3.2. TRABALHOS DE GABINETE

### 3.2.1. Produção do material cartográfico

As representações das sondagens de solo, mapas de localização da área, de uso de solo e de localização dos piezômetros foram elaborados através do *software Bentley MicroStation V8*. Já os gráficos foram elaborados através do *software Grapher* e *Corel Draw X5*. As imagens de satélites utilizadas como auxílio na confecção dos mapas foram retiradas do Programa *Google Earth*.

### 3.3. TRABALHOS DE LABORATÓRIO

Todas as análises realizadas nessa pesquisa foram desenvolvidas no Laboratório de Geomorfologia da Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO), no município de Guarapuava.

#### 3.3.1. Análise granulométrica

Foram efetuadas 56 análises granulométricas. A metodologia empregada foi proposta pela EMBRAPA (1979), onde os sedimentos grossos foram separados via peneiramento e os finos por via úmida, onde posterior a esse processo foi realizada as pipetagens.

Inicialmente, as amostras foram levadas a estufa onde permaneceram por volta de 24 horas numa temperatura constante de 65°C. Após a secagem do material foi realizada a desagregação mecânica em gral de porcelana com auxílio de um pistilo também de porcelana, porém recoberto por borracha, de forma a evitar a destruição ou alteração dos grãos individuais. Depois de moídas as amostras retirou-se 50g para o processo de peneiramento. As amostras foram lançadas sobre um conjunto de peneiras sobrepostas de 2,36mm; 1,75mm; 1,0mm; 0,500mm; 0,250mm e 0,125mm, sendo agitadas em um peneirador eletromecânico por 15 minutos. O material retido em cada peneira foi pesado e o resultado anotado em formulário próprio. O material retido na cuba instalada na base do conjunto de peneiras foi pesado e depositado em um copo plástico (300 ml), onde foram adicionados 50 ml de Peróxido de Hidrogênio ( $H_2O_2$ ) a 3% para queima do material orgânico; este material permaneceu em repouso durante 24 horas. Depois de realizado este processo, acrescentou-se 25 ml de Hidróxido de Sódio (NaOH) a 5% e 25ml de água destilada e seguindo as recomendações esse material foi agitado por aproximadamente 10 min com auxílio de um bastão de vidro para posterior repouso por mais 16 h. Após esse processo o material foi transferido para uma peneira com abertura de 0,053mm e separado por via úmida com 1000 ml de água destilada.



O material residual recolhido na peneira foi transferido para uma placa de Petri (areia muito fina) e levado para secagem numa temperatura de 65°C, para posterior pesagem. O material fino que passou pela malha da peneira de 0,053 mm foi acondicionado em uma proveta de 1000 ml, para que se realizasse o processo de pipetagem.

Obedecendo a Lei de Stokes, no que diz respeito a velocidade de decantação, o material contido na proveta foi agitado por 60 segundos; a primeira pipetagem foi realizada com 58 segundos a uma profundidade de 20 cm (silte grosso), sendo coletados 50 ml; a segunda pipetagem foi realizada com 2 minutos e 52 segundos a uma profundidade de 10 cm (silte médio) sendo coletados 50 ml; a terceira pipetagem foi realizada aos 6 minutos e 44 segundos a uma profundidade de 10 cm (silte fino), sendo coletado 50 ml, e a última pipetagem foi realizada aos 30 minutos após agitada, a uma profundidade de 10 cm (argila), sendo também coletados 50 ml. O material coletado foi acondicionado em becker's e levado a estufa para secagem a 85°C. Na realização dos processos descritos acima, as dependências do laboratório onde foram realizadas as pipetagens estava climatizada a uma temperatura de 20 °C.

Depois de secas, as amostras foram pesadas e seus valores transcritos em formulário próprio. Estes valores posteriormente foram repassados a uma planilha do *software Microsoft Excel*.

Este *software*, previamente programado para a função requerida, efetua os cálculos de frequência simples e acumulada de cada porção, fornecendo assim gráficos da distribuição granulométrica de cada amostra.

Com os valores quantitativos obtidos a partir da planilha eletrônica fornecida pelo *software Microsoft Excel*, foram confeccionados para cada amostra trabalhada, diagramas triangulares de classificação de sedimentos (Figura 10), segundo Shepard (1954), modificado por Bigarella (1966).

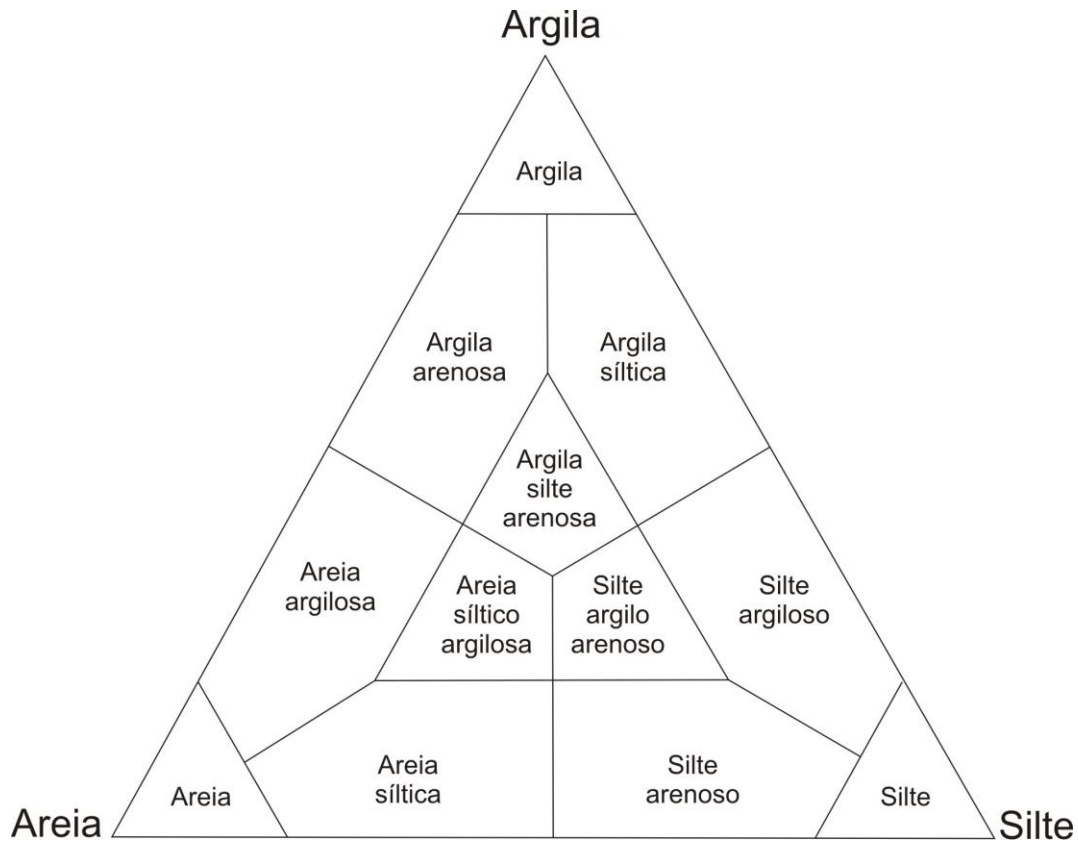


Figura 10 - Diagrama triangular de classificação de sedimentos de acordo com a granulometria (Segundo Shepard 1954, modificado por Bigarella, 1966).

Os valores obtidos dos percentuais das diferentes frações são lançados no triângulo textural, e pela intersecção de três frações (argila, silte e areia) têm-se a classe textural.

Ressalta-se que a utilização do triângulo textural é simples, porém apresenta o inconveniente de demandar bastante tempo para a determinação da classe textural, principalmente quando se trabalha com uma quantidade elevada de amostras.

#### **4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Considerando o levantamento topográfico (Figura 11), a encosta estudada apresenta 2,28 hectares, dos quais 1,67 hectares são ocupados por pastagem para alimentação de bovinos e ovinos. A área com floresta nativa em estágio médio ou avançado possui 0,38 hectares; a área ocupada por afloramentos rochosos abrange 0,02 hectares e a área ocupada por banhado corresponde a 0,17 hectares; lamina d'água (açude) ocupa 0,04 hectares.

Como já citado anteriormente, a área apresenta relevo dissecado a moderadamente dissecado. Morfologicamente a encosta é caracterizada por perfil retilíneo-convexo; sua base encerra em ruptura de declive, já constituindo o terraço do rio das Pombas. A porção mais elevada da área apresenta 1106 metros de altitude, e a mais baixa apresenta 1076 metros de altitude (Figura 12).

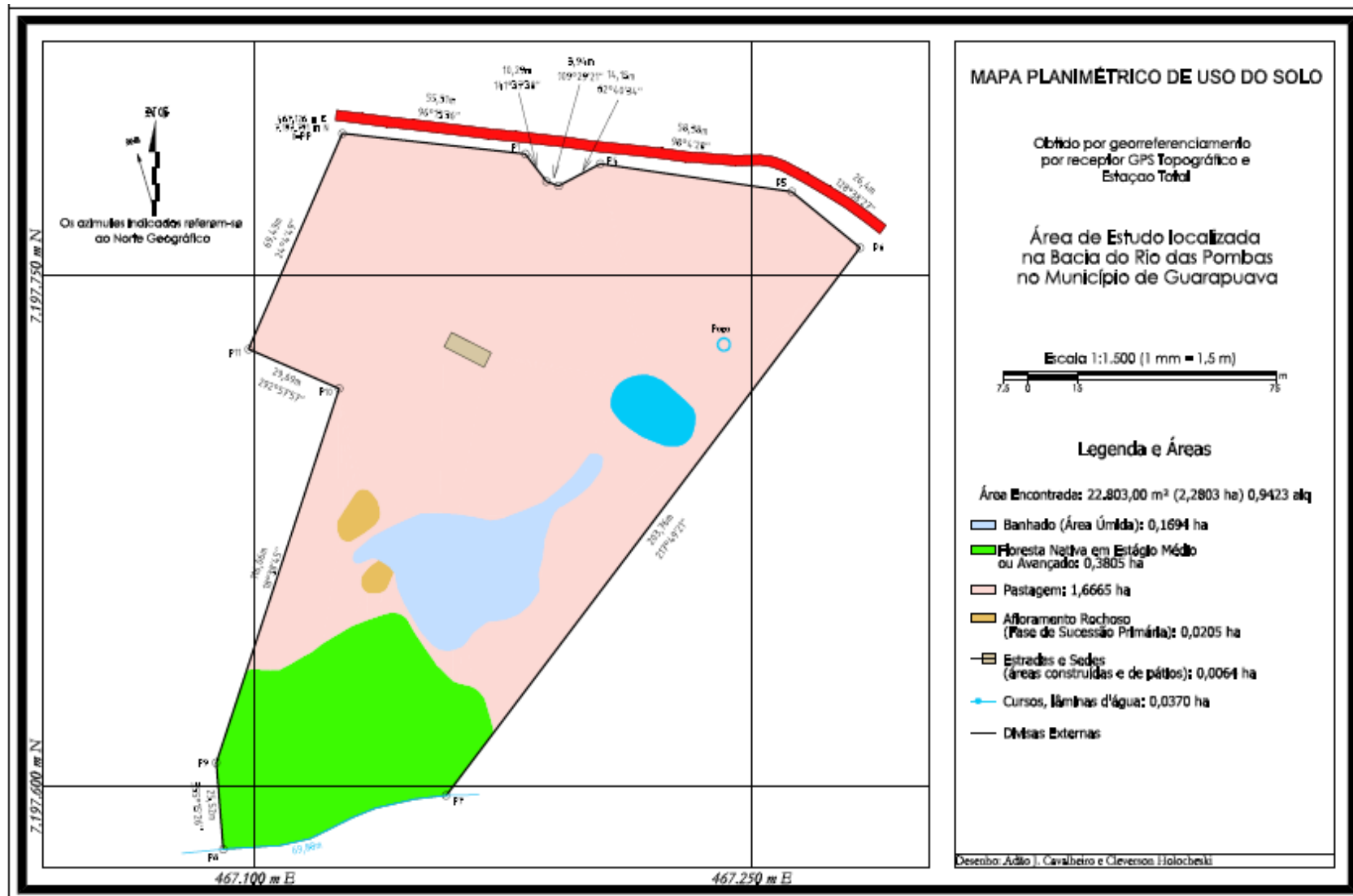


Figura 11 - Mapa planimétrico de uso do solo.

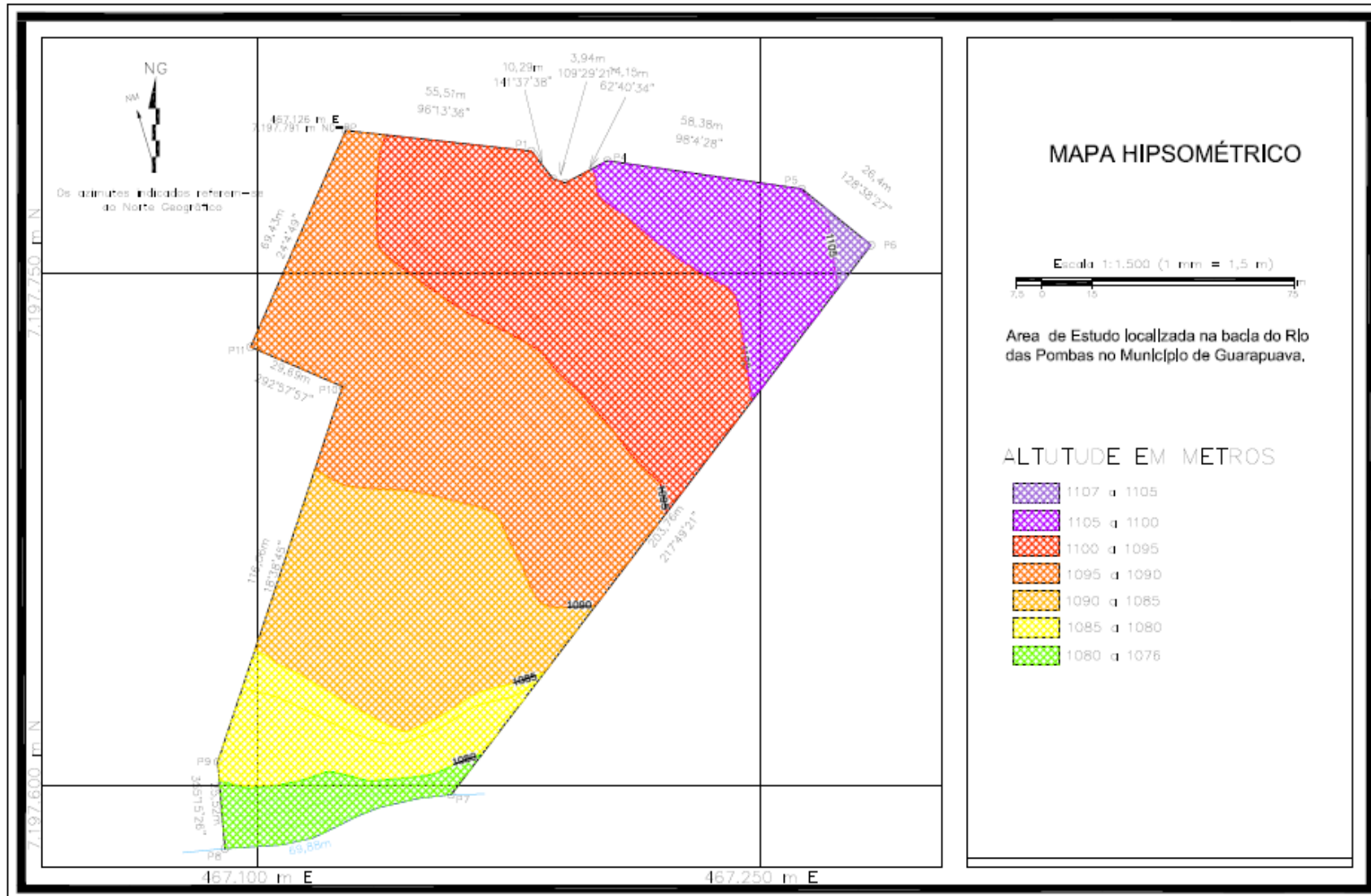


Figura 12 - Mapa hipsométrico da área estudada.

#### 4.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS SETORES DA ENCOSTA

Para facilitar o entendimento do leitor, as descrições da encosta Rio das Pombas serão subdivididas e apresentadas em três itens; alta encosta, média encosta e baixa encosta.

Adotando os pressupostos teóricos e metodológicos propostos por Boulet *et al.* (1982), estas descrições vão de encontro ao entendimento da organização pedológica (diferenças laterais e verticais) e de suas relações com a topografia e os fluxos hidrológicos, ou seja, serão abordadas as implicações da relação solo versus relevo na instalação e evolução dos túneis.

#### 4.2. ALTA ENCOSTA

Tendo altitude variando de 1107 m a 1093 m, essa porção da encosta é ocupada por pastagem destinada ao manejo e alimentação de bovinos e ovinos. Esta parcela da encosta é cortada por uma estrada rural.

Nesse setor encontra-se um açude, (Figura 13) abastecido pela água do lençol freático. Desse açude, independente da estação, sendo ela seca ou chuvosa, a água é escoada constantemente para as porções menos elevadas da encosta.



Figura 13 - Açude localizado na alta encosta.

Na alta encosta foram realizadas duas sondagens; a TR 13 com 3,10 m de profundidade de onde foram retiradas 10 amostras indeformadas, e a TR 14, com 2m de profundidade de onde foram retiradas 5 amostras indeformadas. Utilizando as mesmas sondagens, foram instalados dois piezômetros (P13 e P14), para o monitoramento da oscilação do freático frente às precipitações como já difundidos nos estudos realizados por Luiz (2003).

#### 4.2.1. Características macromorfológicas e descrição analítica dos materiais do setor alto da encosta

Conforme ressalta Cunha (1996), as descrições macromorfológicas dos perfis de solo das sondagens serviram de base para compreender a distribuição vertical das unidades de solo, conforme exposto no Quadro 2.

Quadro 2 - Características morfológicas dos perfis obtidos através das sondagens realizadas na alta encosta.

SONDAGEM	PROF. (CM)	COR	TEXTURA	PLASTICIDADE	RAIZES E/OU ATIVIDADE BIOLÓGICA	TRANSIÇÃO	OBSERVAÇÕES
TR 13	0 - 34	10YR 3/3 Marrom escuro	Areno-argilosa	Média	Muitas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	34 - 65	10YR 3/3 Marrom escuro	Areno-argilosa	Média	Poucas raízes	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	65 - 87	10YR 3/6 Marrom escuro amarelado	Areno-argilosa	Média/alta	Inexistentes	Gradual	Levemente mosqueado com alguns grânulos
	87 - 98	10YR 3/6 Marrom escuro amarelado	Argilosa	Alta	Inexistentes	Gradual	Levemente mosqueado com calcedônia alterada
	98 - 120	10YR 3/6 Marrom escuro amarelado	Argilosa	Alta	Inexistentes	Gradual	Levemente mosqueado com calcedônia alterada
	120 - 155	10YR 3/6 Marrom escuro amarelado	Argilosa	Alta	Inexistentes	Gradual	Levemente mosqueado com calcedônia alterada
	155 - 184	10YR 3/6 Marrom escuro amarelado	Argilosa	Alta	Inexistentes	Gradual	Levemente mosqueado com calcedônia alterada



Continuação...

SONDAGEM	PROF. (CM)	COR	TEXTURA	PLASTICIDADE	RAIZES E/OU ATIVIDADE BIOLÓGICA	TRANSIÇÃO	OBSERVAÇÕES
TR 13	184 - 200	10YR 3/6 Marrom escuro amarelado	Argilosa	Alta	Inexistentes	Gradual	Levemente mosqueado com calcedônia alterada
	200 - 260	10YR 3/6 Marrom escuro amarelado	Argilosa	Alta	Inexistentes	Abrupto	Levemente mosqueado com calcedônia alterada
TR 14	0 - 31	10YR 3/3 Marrom escuro	Argilosa	Média	Muitas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	31 - 86	10YR 3/6 Marrom escuro amarelado	Argilosa	Média	Poucas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	86 - 127	10YR 3/6 Marrom escuro amarelado	Argilosa	Alta	Inexistentes	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média/alta
	127 - 155	10YR 3/6 Marrom escuro amarelado	Argilosa	Alta	Inexistentes	Abrupto	Sem mosqueamento e umidade alta
	155 - 200	10YR 5/4 Marrom amarelado	Argilo-arenosa	Alta	Inexistentes	Abrupto	Mosqueado com alta umidade

Através da análise bidimensional realizada, a classe textural de todas as amostras retiradas de ambas as sondagens (TR 13 e TR 14) apresentou-se como argilo arenosa (Figura 14), porém diferenciando-se através de cores.

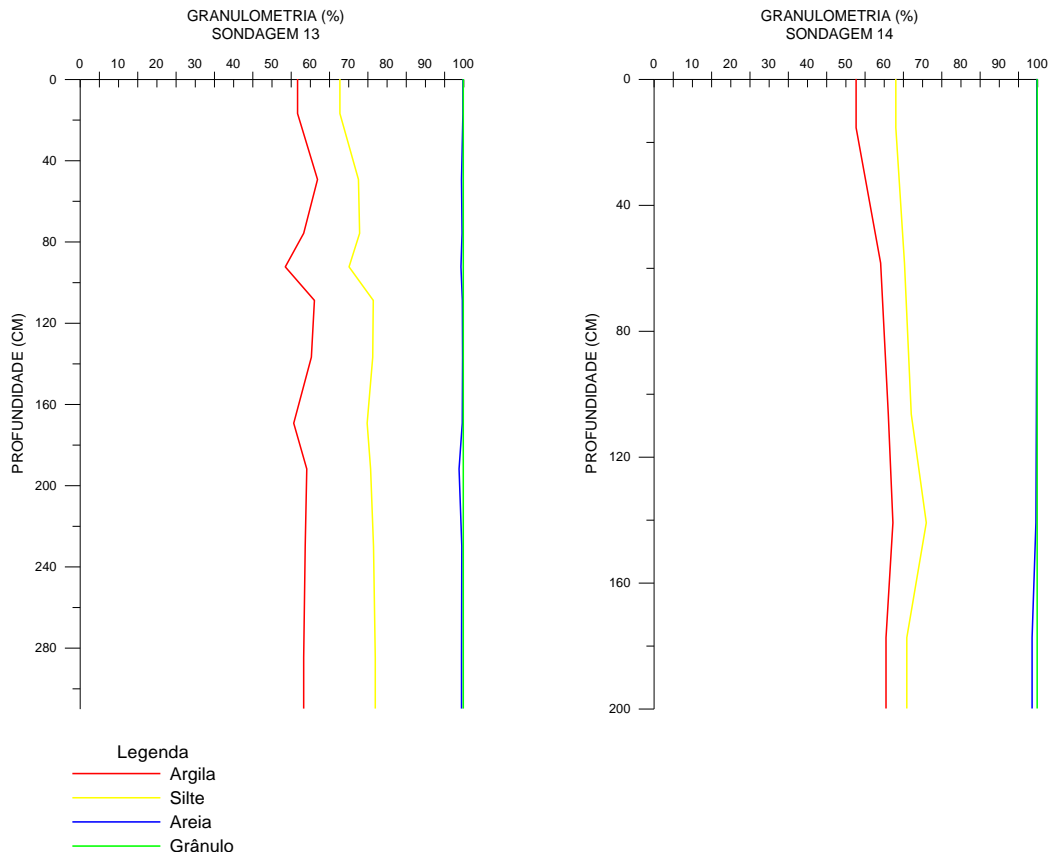


Figura 14 - Variação vertical da granulometria das sondagens TR 13 e TR 14.

Tomando por base as cores desses materiais, como sugerido por Paisani (1998), foram identificadas três unidades de solo, onde a terminologia empregada para a descrição das mesmas foi: unidade argilo arenosa marrom escura (U1), unidade argilo arenosa marrom amarelada escura (U2), e unidade argilo arenosa marrom amarelada (U3) (Figura 15).

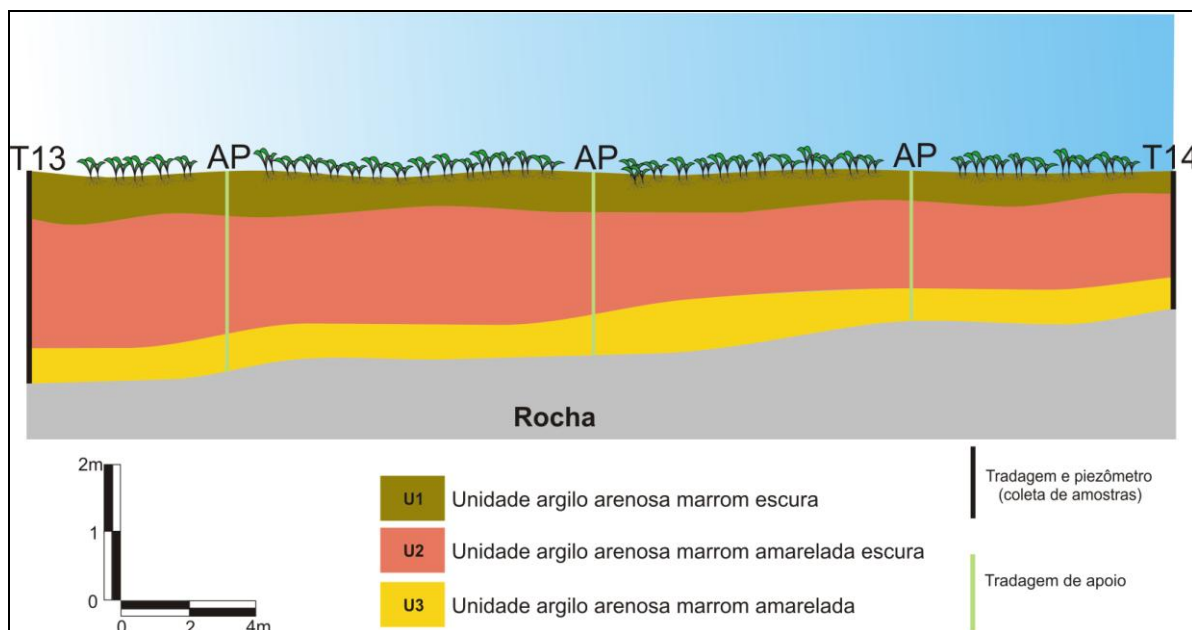


Figura 15 - Toposequência representando as unidades de solo da alta encosta.

A unidade U1 encontra-se na superfície do perfil do solo, sendo a unidade do solo mais escura, comparada às demais (10YR 3/3); a plasticidade é média. Essa estrutura do solo é porosa, onde nota-se atividades biológicas a abundante presença de raízes, principalmente das gramíneas. A consistência desse material é média, uma vez que pressionado quando não úmido se desfaz entre os dedos. Não apresenta mosqueamento e sua transição para o horizonte subjacente em ambas as sondagens é gradual. Notou-se uma leve compactação nessa unidade de solo, resultante do pisoteio do gado. Na sondagem TR 13 a espessura dessa unidade foi de 65 cm, passando para 31cm na sondagem TR 14. Predomina a fração argila nessa unidade, variando de 56,8% a 62% na TR13, e 52,8% na TR14. O teor de silte em ambas as sondagens variou de 10,36% a 11,04%, sendo que as frações de areia alcançaram 32,06% na TR13 e 36,74 na TR14. A porcentagem de grânulos foi menos expressiva comparada às demais frações, variando de 0,1% a 0,46% na TR 13 e 0,1% na TR 14.

A unidade U2 proporciona material úmido, ligeiramente plástico e pegajoso. Predomina a cor marrom amarelado escuro (10YR 3/6), e é quase inexistente a atividade biológica e a presença de raízes nesse horizonte. Em algumas amostras esse material apresentou-se levemente mosqueado, contendo calcedônia alterada. Geralmente esta unidade apresenta-se espessa, onde a transição para o horizonte subjacente é abrupta. Na sondagem TR 13 a espessura desse material chegou a

1,95 m, e na sondagem TR 14 a espessura atingiu 1,24 m. A porcentagem de argila nessa unidade variou de 53,6% a 61,2% na TR 13 e 59,2% a 62,4% na TR14. A fração silte foi a fração mais variante nessa unidade, onde os valores oscilaram de 14,58% a 19,14% na TR13, e de 5,98% a 8,7% na TR14. As areias tiveram a porcentagem de 23,02% a 29,18% na TR13 e de 28,58% a 32,62% na TR 14. O percentual dos grânulos novamente foi pouco expressivo, variando de 0,6% a 1,1% na TR13 e 0,2% a 0,32% na TR14.

A unidade U3 possui plasticidade baixa, apresentando fragmentos de rocha e também de calcedônia, ambas alteradas. Possui cor marrom amarelada (10YR 5/4) onde a umidade varia de média para alta. Esta unidade está em contato direto com a rocha matriz; a presença de raízes e ação biológica é nula. A espessura dessa unidade é inferior a unidade sobrejacente, porém na TR 13 atingiu 50 cm e na TR 14 a espessura foi de 45 cm. O volume de argila em ambas as sondagens tiveram valores semelhantes, onde na TR 13 a porcentagem foi de 59,8% e na TR 14 a porcentagem foi de 60,6%. O silte teve uma relativa variação, onde na TR 13 o percentual foi de 18,66% e na TR 14 foi de 5,42%. As areias variaram de 21,48% na TR 13 para 32,66% na TR14, e os grânulos apresentaram a porcentagem de 0,06% na TR 13 e 1,32% na TR 14, segundo o Quadro 3.

Quadro 3 - Dados referentes a distribuição granulométrica das sondagens TR 13 e TR 14.

Sondagem	Amostra	Prof. (cm)	Argila %	Silte %	Areia %	Grânulos %	Unidade
TR 13	Am 1	0 - 34	56,8	11,04	32,06	0,1	U1
	Am 2	34 - 65	62	10,68	26,86	0,46	U1
	Am 3	65 - 87	58,4	14,58	26,7	0,32	U2
	Am 4	87 - 98	53,6	16,62	29,18	0,60	U2
	Am 5	98 - 120	61,2	15,34	23,22	0,24	U2
	Am 6	120 - 155	60,4	16	23,42	0,18	U2
	Am 7	155 - 184	55,8	19,14	24,8	0,26	U2
	Am 8	184 - 200	59,2	16,64	23,06	1,1	U2
	Am 9	200 - 260	58,8	17,8	23,02	0,38	U2
	Am 10	260 - 310	59,8	18,66	21,48	0,06	U3
TR 14	Am 1	0 - 31	52,8	10,36	36,74	0,1	U1
	Am 2	31 - 86	59,2	6,22	34,5	0,08	U2
	Am 3	86 - 127	61,2	5,98	32,62	0,2	U2
	Am 4	127 - 155	62,4	8,7	28,58	0,32	U2
	Am 5	155 - 200	60,6	5,42	32,66	1,32	U3

#### 4.2.2. Relação entre o comportamento macromorfológico e a circulação hídrica do setor alto da encosta

O equilíbrio entre a infiltração e o escoamento superficial é condicionado, mais precisamente pela textura e estrutura dos solos. Estas características pedológicas condicionam o volume e o tipo de espaço e seu grau de interconexão, conseqüentemente na distribuição dos fluxos verticais e horizontais ao longo da encosta (CUNHA, 1996).

A alta encosta, conforme exposto, apresenta somente uma classe textural, sendo ela argilo arenosa, ou seja, material pouco permeável, o que tende a dificultar o movimento vertical da água no interior do solo, favorecendo os fluxos superficiais.

Nessa respectiva porção, não foi apresentado nenhum registro de fluxos subsuperficiais através dos dois piezômetros instalados (P13 e P14) mesmo em meses que apresentaram índices elevados de pluviosidade, porém é sabido que nessa porção ocorrem fluxos subsuperficiais devido a existência do açude. Tendo em vista que a água que abastece o açude não é superficial, subentende assim que a recarga de água no subsolo se dá por outra direção, a qual não está presente no setor estudado e não coincidindo com a posição dos piezômetros.

#### 4.3. MÉDIA ENCOSTA

Altitude variando de 1093 m a 1086 m, esta porção da encosta é ocupada por pastagem, também destinada ao manejo e alimentação de bovinos e ovinos. Nessa parcela encontram-se alguns afloramentos rochosos, e há também um banhado, abastecido constantemente pela água que escoava do açude através de um dreno (Figura 16) situado a montante da encosta.



Figura 16 - Dreno do açude que abastece o banhado.

A profundidade do solo dessa parcela varia de poucos centímetros chegando até a 1,70 m.

Nessa respectiva porção foram realizadas três sondagens; a TR 1, com 1,70 m de profundidade, de onde foram retiradas 7 amostras, a TR 2 com 72 cm de profundidade, de onde foram retiradas 4 amostras e por último a TR 3, com 58 cm

de profundidade de onde foram coletadas 3 amostras. Aproveitando as sondagens, também foram instalados 3 piezômetros (P1, P2 e P3), para monitoramento das oscilações do freático frente às precipitações.

#### 4.3.1. Características macromorfológicas e descrição analítica dos materiais do setor médio da encosta

Através da análise bidimensional realizada nas 3 sondagens (Figura 17), identificou-se 2 classes texturais, sendo elas areia argilosa na TR 1 e TR 3, e argila siltica arenosa na TR 2, setor este onde encontra-se o banhado. Para diferenciar as unidades de solo, seguiu-se a mesma metodologia utilizada nas demais porções da encosta, levando em consideração as cores dos materiais coletados, sendo assim foram identificadas 6 unidades de solo.

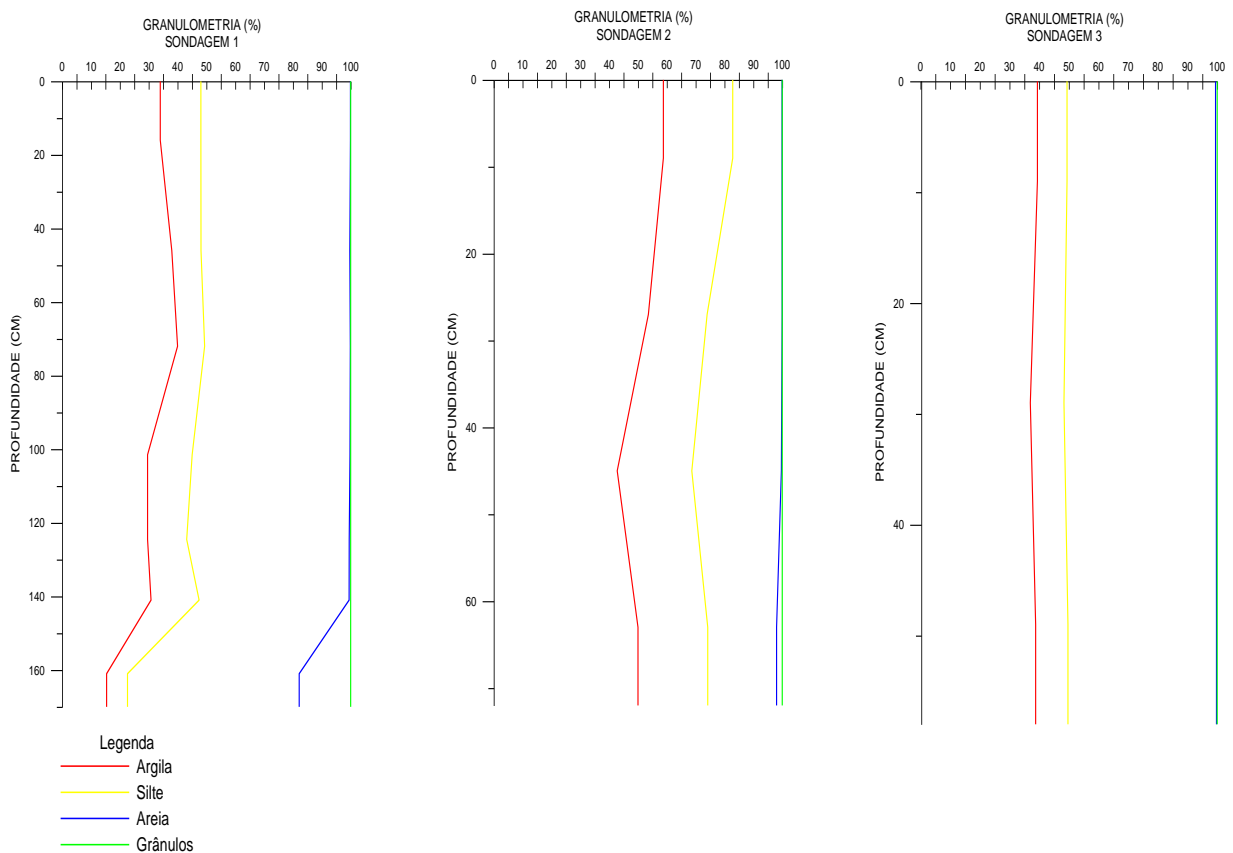


Figura 17 - Variação vertical da granulometria das sondagens TR 1, TR 2 e TR 3.

A terminologia empregada nas denominações das unidades de solo encontradas na média encosta foi; unidade areno argilosa marrom acinzentada muito escura (U4), unidade areno argilosa marrom amarelada escura (U5), unidade areno argilosa marrom amarelada (U6), unidade argilo siltica arenosa marrom acinzentada muito escura (U7), unidade argilo siltica arenosa marrom (U8) e unidade argilo siltica arenosa marrom amarelada (U9).

A caracterização morfológica (Quadro 4) dos perfis de solo serviu de base para a identificação e o conhecimento da distribuição vertical das unidades de solo presentes nessa parcela da encosta (Figura 18).

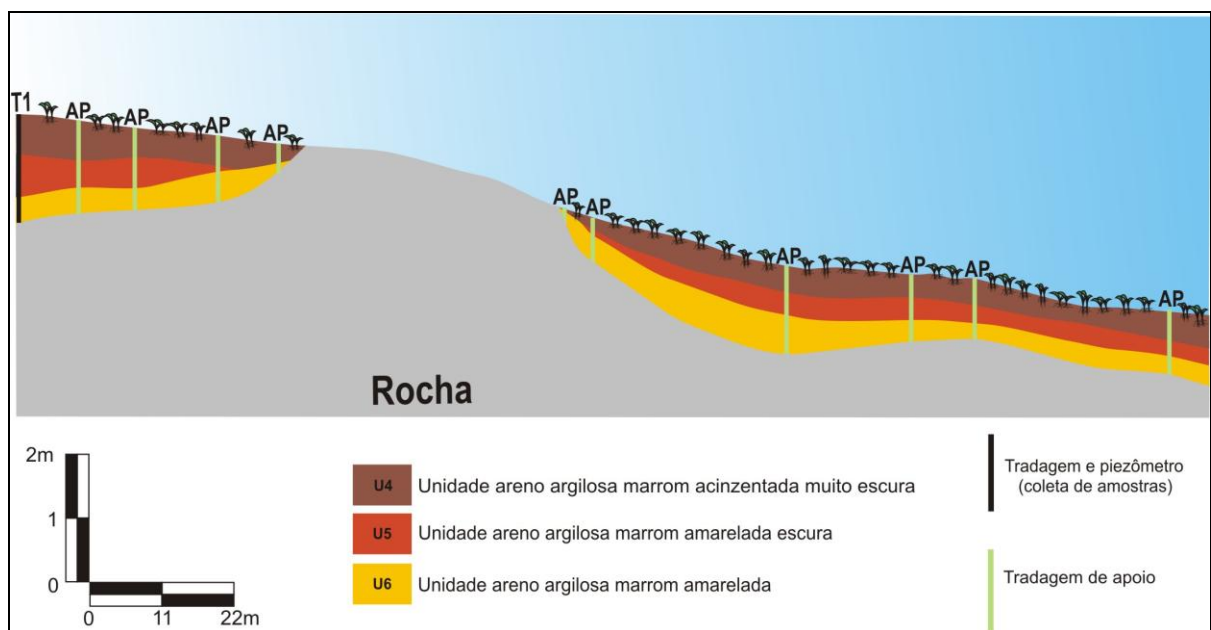


Figura 18 - Toposequência representando parte das unidades de solo da média encosta.



Quadro 4 - Características morfológicas dos perfis obtidos através das sondagens realizadas na média encosta.

Sondagem	Prof. (cm)	Cor	Textura	Plasticidade	Raízes e/ou atividade biológica	Transição	Observação
TR 1	0 - 32	10YR 3/2 - marrom muito escuro acinzentado	Arenosa	Média	Muitas raízes e atividades biológicas	Gradual	Pouco mosqueado
	32 - 60	10YR 3/2 - marrom muito escuro acinzentado	Areno-argilosa	Alta	Poucas raízes e atividades biológicas	Gradual	Umidade média sem mosqueamento
	60 - 84	10YR 3/6 - marrom escuro amarelado	Areno-argilosa	Alta	Poucas raízes	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	84 - 119	10YR 3/6 - marrom escuro amarelado	Areno-argilosa	Média-alta	Poucas raízes	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média/alta
	119 - 130	10YR 3/6 - marrom escuro amarelado	Areno-argilosa	Alta	Inexistentes	Gradual	Sem mosqueamento e umidade alta
	130 - 152	10YR 5/6 - marrom amarelado	Areno-argilosa	Média	Inexistentes	Abrupto	Com mosqueamento e umidade alta
	152 - 170	10YR 5/6 - marrom amarelado	Arenosa	Média	Inexistentes	Abrupto	Com mosqueamento e umidade alta
TR 2	0 - 18	10YR 3/2 - marrom muito escuro acinzentado	Arenosa	Alta	Muitas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade muito alta
	18 - 36	10YR 3/2 - marrom muito escuro acinzentado	Arenosa	Muito alta	Muitas raízes	Gradual	Sem mosqueamento e umidade muito alta
	36 - 54	10YR 4/3 - marrom	Argilo Arenosa	Muito alta	Poucas raízes	Abrupto	Levemente mosqueada e umidade muito alta
	54 - 72	10YR 5/4 - marrom amarelado	Argilo-arenosa	Alta	Inexistentes	Abrupto	Mosqueada com umidade muito alta
TR 3	0 - 18	10YR 3/2- marrom muito escuro acinzentado	Argilo-arenosa	Média	Muitas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	18 - 40	10YR 3/6 - marrom escuro amarelado	Areno-argilosa	Média	Poucas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	40 - 58	10YR 5/6 - marrom amarelado	Argilo-arenosa	Média-alta	Inexistentes	Gradual	Levemente mosqueada e umidade média

A U4 é a unidade de solo mais escura das demais unidades nessa poção da encosta (10YR 3/2), encontrando-se na superfície, sua espessura alcança 60 cm na TR 1 e 18 cm na TR 3. Essa unidade de solo é rica em poros, como também é notória a rica atividade biológica e a presença de raízes. A plasticidade desse material é média/alta, tanto como a sua consistência, ainda se desfazendo entre os dedos se pressionada. Apresenta um leve mosqueamento, sendo sua transição para o horizonte subjacente gradual.

Predomina a fração areia nessa unidade, variando de 51,83% a 51,58% na TR 1, e de 50,06% na TR 3. A fração argila variou de 38% a 34% na TR 1, e 39,4% na TR 3. A fração silte variou de 14,07% a 10,13% na TR 1 e 9,98% na TR 3. Já a fração grânulo variou de 0,29% a 0,08% na TR 1 e 0,56% na TR 3, conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Dados referentes a distribuição granulométrica das sondagens TR 1, TR 2 e TR 3.

Sondagem	Amostra	Prof. (cm)	Argila %	Silte %	Areia %	Grânulos %	Unidade
TR 1	Am 1	0 - 32	34	14,08	51,83	0,09	U4
	Am 2	32 - 60	38	10,13	51,58	0,29	U4
	Am 3	60 - 84	40	9,38	50,5	0,12	U5
	Am 4	84 - 119	29,6	15,46	54,7	0,24	U5
	Am 5	119 -130	29,6	13,56	56,34	0,5	U5
	Am 6	130 -152	30,8	16,66	51,99	0,55	U6
	Am 7	152 -170	15,4	7,23	59,53	17,84	U6
TR 2	Am 1	0 - 18	55,8	24,04	20,1	0,06	U7
	Am 2	18 - 36	53,6	20,36	26,02	0,02	U7
	Am 3	36 - 54	42,8	25,86	31,04	0,30	U8
	Am 4	54 - 72	50	24,18	23,86	1,96	U9
TR 3	Am 1	0 - 18	39,4	9,98	50,06	0,56	U4
	Am 2	18 - 40	37	11,34	51,32	0,34	U5
	Am 3	40 - 58	38,8	10,88	50,06	0,26	U6

A unidade U5 apresenta material úmido, plástico e pouco pegajoso. Predomina a cor marrom amarelado escuro (10YR 3/6). Inexistente a atividade

biológica e a presença de raízes nesse horizonte. Esse material não apresentou mosqueamento a nem calcedônia alterada, como nas demais porções da encosta. A transição para o horizonte subjacente é abrupta (de marrom amarelado escuro para marrom amarelado) e a espessura desse material na TR 1 foi de 70 cm, e na sondagem TR 3 a espessura atingiu somente 22 cm.

No que diz respeito ao percentual granulométrico dessa unidade, a fração areia teve 56,34% a 50,5% na TR 1 e 51,32% na TR 3. A porcentagem de argila nessa unidade variou consideravelmente, de 40% a 29,6% na TR 1 e 37% na TR 3. A fração silte variou de 15,46% a 9,38% na TR 1, e 11,34% na TR 3. O percentual dos grânulos foi pouco expressivo, variando de 0,12% a 0,24% na TR1 e 0,26% na TR 3.

A unidade U6 possui plasticidade média/alta, apresentando mosqueamento e fragmentos de rocha. Possui cor marrom amarelada (10YR 5/6), onde a umidade varia de média para alta. A presença de raízes e a ação biológica são nulas. A espessura dessa unidade na TR 1 atingiu 40 cm e na TR 3 atingiu apenas 18 cm.

A porcentagem de areia na TR 1 variou de 59,53% a 51,99% e na TR 3 o percentual foi de 50,06%. O silte teve uma relativa variação, onde na TR 1 o percentual foi de 16,66% a 7,23% e 10,88% na TR 3. Devido esse material estar em contato direto com a rocha matriz, a fração grânulo apresentou uma grande variação, onde de 0,55% passou para 17,84% na TR 1 e de 0,26% na TR 3. Conseqüentemente a argila variou de 30,8% para 15,4% na TR 1 e 38,8% na TR 3.

A U7 também é uma unidade superficial na média encosta, porém esta unidade é encontrada apenas na área onde localiza-se o banhado (TR 2). Nessa sondagem a espessura do material atingiu 36 cm. É uma unidade de solo rica em argila, apresentando plasticidade alta, muitas raízes e atividades biológicas. A cor é marrom acinzentada muito escura (10YR 3/2). A umidade desse material é muito alta, e sua transição para o horizonte inferior é abrupta. O percentual de argila variou de 55,8% a 53,6%; de areia variou de 26,02% a 20,1%; de silte variou de 24,04% a 20,36%. O percentual de grânulos foi muito baixo variando de 0,06% a 0,02%.

A unidade U8, também rica em argila, proporcionou material excessivamente úmido, plástico e pegajoso. Predomina a cor marrom (10YR 4/3) levemente mosqueado. É quase inexistente a presença de raízes e atividades biológicas nessa unidade. Apresentou apenas 18 cm de espessura onde a transição para a unidade subjacente é abrupta. Nessa unidade a fração areia teve 31,04%; argila teve 42,8%; silte teve 25,86 e a fração grânulos apenas 0,3%.

A unidade U9 possui plasticidade alta, apresentando fragmentos de rocha, devido esse material estar em contato com a rocha. Possui cor marrom amarelada (10YR 5/4) onde a umidade é extremamente alta e a presença de raízes e a ação biológica inexistem. A espessura dessa unidade é de 18 cm, sendo composta por 50% de argila, 24,18% de silte, 23,86% de areia e 1,96% de grânulos.

#### 4.3.2. Relação entre o comportamento macromorfológico e a circulação hídrica do setor médio da encosta

A média encosta, conforme exposto, apresenta duas classes texturais: areia argilosa e argila siltica arenosa, sendo esta segunda, material típico de áreas com hidromorfia, ou seja, áreas alagadiças.

Na porção da encosta onde a classe textural apresenta-se como areia argilosa nota-se uma baixa circulação hídrica subsuperficial, visto que, o P3 não apresentou nenhum registro piezométrico, e o P1 apresentou registros piezométricos apenas do dia 21 de Abril a 1 de Maio (Figura 19), dias estes de intensa precipitação.

Os registros obtidos pelo P1 foram desconsiderados ao entender que, em virtude da precipitação ser de grande volume, porém em um período de tempo muito curto, esta levou a ocorrência de fluxo superficial, sendo que este fluxo por sua vez infiltrou pelas bordas do piezômetro, proporcionando uma distorção na leitura do índice piezométrico.

Tendo em vista estas informações, o escoamento nessa porção da encosta, com exceção à área que corresponde ao banhado, se deu basicamente superficialmente, visto que a topografia retilínea, declividade acentuada, associada

aos afloramentos rochosos, favorecem a baixa infiltração, propiciando assim o escoamento superficial.

Independente do regime pluviométrico, na porção correspondente ao banhado, o P2 registrou cargas piezométricas elevadas, indicando assim que não é apenas a água das precipitações que mantém essa área saturada, e sim a água que escoo do açude localizado a montante da média encosta. A composição granulométrica argilo siltica arenosa associada a baixa declividade, também contribui para a impossibilidade de uma rápida drenagem.

Em resposta as precipitações, o P2 sofreu um retardo, ou seja, um atraso, visto que os índices piezométricos se alteravam apenas um ou dois dias após os eventos pluviométricos. As evidências mais notórias desse retardo no P2 são observadas nos dias 21 de Abril a 1 de Maio, e nos dias 12 a 24 de Julho (Figura 20), dias estes de intensa pluviosidade. Pode-se afirmar que a recarga e a vazão desse setor que compreende o P2 após precipitações são relativamente equilibradas, porém em longo prazo a vazão apresenta-se lenta.



Figura 19 – Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 1) de março a setembro de 2010.



Figura 20 – Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 2) de março a setembro de 2010.

#### 4.4. BAIXA ENCOSTA

Tendo altitude variando de 1086 m a 1075 m, essa porção da encosta é ocupada por mata secundária, composta por árvores de médio porte, com troncos finos e tortuosos, forrada por gramíneas e plantas rasteiras (Figura 21). Nessa porção da encosta é que se encontram os túneis.



Figura 21 - Vegetação composta por árvores de médio porte e gramíneas.

Margeando o Rio das Pombas, são comuns nessa porção afloramentos rochosos, uma vez que o solo nessa parcela é extremamente raso. Esse setor apresenta relevo retilíneo, com rupturas de declive ao longo de sua extensão. Nessa porção realizaram-se 9 sondagens ( TR 4, TR 5, TR 6, TR 7, TR 8, TR 9, TR 10, TR 11 e TR 12) de onde foram retiradas 27 amostras deformadas para análise granulométrica; também foram instalados 11 piezômetros (P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P15 e P16) sendo que apenas 2 desses piezômetros (P15 e P16) foram instalados em perfurações que não foram utilizadas para as sondagens.

Comparada as outras porções da encosta, esta foi a parcela que mais foram realizadas sondagens, uma vez que através destas, observou-se a composição do solo e a profundidade em que a rocha matriz se encontra. Através dos piezômetros

instalados nas mesmas perfurações foi possível identificar o trajeto subsuperficial que a água percorre até chegar ao Rio das Pombas.

#### 4.4.1. Características macromorfológicas e descrição analítica dos materiais do setor baixo da encosta

Através caracterização morfológica (Quadro 6), e da análise bidimensional realizada através das 9 sondagens, identificou-se 2 classes texturais, sendo elas areia argilosa na TR 4, TR 5, TR 6, TR 7, TR 8, TR 10, TR 12, e areia na TR 9 e TR 11, setor este onde o solo é extremamente raso. Diferenciadas as unidades de solo através das cores dos materiais coletados, foram identificadas então 4 unidades de solo.

Tendo a mesma classe granulométrica e as mesmas cores de algumas unidades encontradas na média encosta, repetiu-se então as denominações das unidades de solo para a baixa encosta, salvo apenas a unidade arenosa marrom acinzentada muito escura (U10), unidade esta que encontra-se apenas na baixa encosta. As demais unidades encontradas na baixa encosta foram; unidade areno argilosa marrom acinzentada muito escura (U4), unidade areno argilosa marrom amarelada escura (U5) e unidade areno argilosa marrom amarelada (U6) (Figura 22).

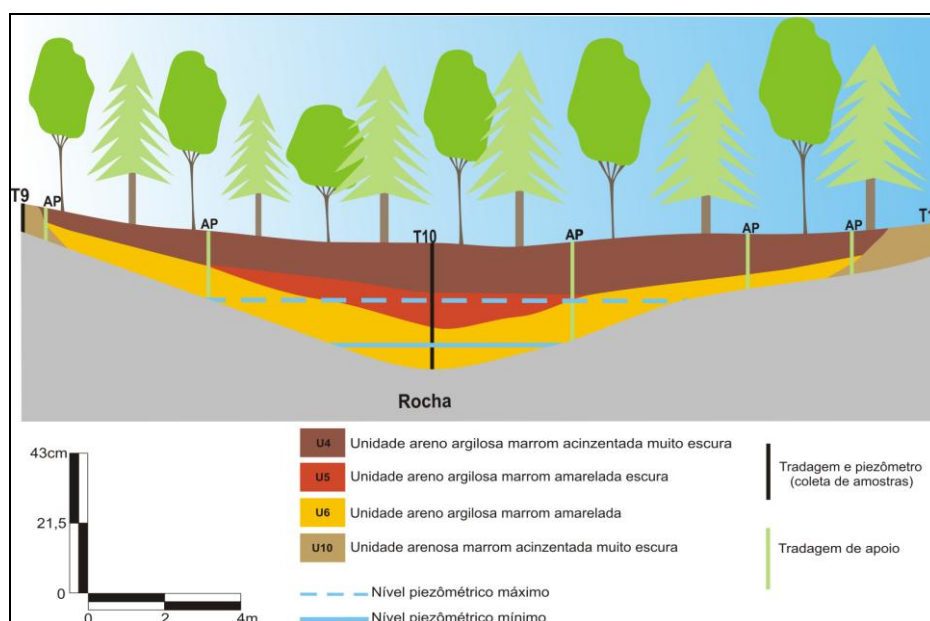


Figura 22 - Toposequência representando as unidades de solo da baixa encosta.



Quadro 6 - Características morfológicas das sondagens TR 4, TR 5, TR 6, TR 7, TR 8, TR 9, TR 10, TR 11 e TR 12.

Sondagem	Prof. (cm)	Cor	Textura	Plasticidade	Raízes e/ou atividade biológica	Transição	Observação
TR 4	0 - 25	10YR3/2 - marrom muito escuro acinzentado	Areno-argilosa	Média	Muitas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	25 - 34	10YR3/2 - marrom muito escuro acinzentado	Areno-argilosa	Média-alta	Poucas raízes	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	34 - 45	10YR 3/4 -marrom escuro amarelado	Siltica-argilosa	Alta	Poucas raízes	Gradual	Sem mosqueamento e umidade alta
	45 - 55	10YR 4/6-marrom escuro amarelado	Areno-argilosa	Alta	Inexistentes	Gradual	Sem mosqueamento e umidade alta
	55 - 80	10YR 5/6 -marrom amarelado	Areno-argilosa	Alta	Inexistentes	Gradual	Pouco mosqueado e umidade alta
	80 - 98	10YR 5/8- marrom amarelado	Areno-argilosa	Média-alta	Inexistentes	Gradual	Apresenta nódulos de ferro
TR 5	0 - 39	10YR 3/2- marrom muito escuro acinzentado	Arenosa	Média- baixa	Muitas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade baixa
	39 - 69	10YR 3/6- marrom escuro amarelado	Areno-argilosa	Média	Poucas raízes	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	69 - 81	10YR 4/6- marrom escuro amarelado	Argilo-arenosa	Média-alta	Poucas raízes	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média/alta
	81 - 102	10YR 5/6- marrom amarelado	Areno-siltosa	Média	Inexistente	Gradual	Sem mosqueamento e umidade alta
	102 - 110	10YR 5/8- marrom amarelado	Areno-siltosa	Média	Inexistente	Gradual	Apresenta nódulos de ferro e umidade alta
TR 6	0 - 14	10YR 3/2- marrom muito escuro acinzentado	Areno-argilosa	Alta	Muitas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	14 - 32	10YR 3/4- marrom escuro amarelado	Areno-argilosa	Alta	Poucas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	32 - 51	10YR 5/6- marrom amarelado	Silte-arenosa	Alta	Poucas raízes	Abrupto	Pouco mosqueado e umidade alta
TR 7	0 - 14	10YR 3/2- marrom muito escuro acinzentado	Arenosa	Média	Muitas raízes e atividades biológicas	Abrupto	Sem mosqueamento e umidade média

Continuação...

Sondagem	Prof. (cm)	Cor	Textura	Plasticidade	Raízes e/ou atividade biológica	Transição	Observação
TR 8	0 - 18	10YR 3/2- marrom muito escuro acinzentado	Arenosa	Média	Muitas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	18 - 32	10YR 3/4- marrom escuro amarelado	Areno-argilosa	Média	Poucas raízes	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média/alta
	32 - 100	10YR 5/6 marrom amarelado	Areno-argilosa	Média	Poucas raízes	Abrupto	Umidade muito alta, perfuração de um túnel
TR 9	0 - 17	10YR 3/2- marrom muito escuro acinzentado	Siltosa	Média	Muitas raízes e atividades biológicas	Abrupto	Pouco mosqueado e umidade média
T10	0 - 28	10YR 3/2- marrom muito escuro acinzentado	Siltica-arenosa	Média/alta	Muitas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	28 - 44	10YR 3/6- marrom escuro amarelado	Siltica-arenosa	Alta	Poucas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média/alta
	44 - 57	10YR 5/4 -marrom amarelado	Siltica-arenosa	Alta	Inexistentes	Abrupto	Sem mosqueamento e umidade alta
	57 - 72	10YR 5/4-marrom amarelado	Arenosa	Alta	Inexistentes	Abrupto	Apresenta fragmentos de carvão e umidade alta
T11	0 - 18	10YR 3/2- marrom muito escuro acinzentado	Siltosa	Baixa	Muitas raízes e atividades biológicas	Abrupto	Mosqueado com umidade média
T12	0 - 26	10YR 3/2- marrom muito escuro acinzentado	Arenosa	Média	Muitas raízes e atividades biológicas	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	26 - 50	10YR 3/4- marrom escuro amarelado	Argilosa	Média/alta	Poucas raízes	Gradual	Sem mosqueamento e umidade média
	50 - 80	10YR 5/4- marrom amarelado	Argilosa	Alta	Inexistentes	Abrupto	Levemente mosqueado com umidade alta

A unidade U4 encontra-se no topo do perfil do solo na baixa encosta, tendo tonalidade escura (10YR 3/2); a plasticidade é média. Essa unidade de solo é porosa, onde nota-se atividades biológicas e a abundante presença de raízes, tanto de gramíneas como das árvores que recobrem essa parcela. A consistência desse material é média, não apresentando mosqueamento e sua transição para o horizonte subjacente é gradual. A espessura dessa unidade variou de 14 cm nas sondagens TR 6 e TR 7 a 39 cm na TR 5.

Predomina a fração areia nessa unidade (Figura 23), variando de 65,62% na TR 4 a 50,96% na TR 8. O teor de argila variou de 39,6% na TR 8 a 25,6% na TR 4. A porcentagem de silte nessa unidade variou de 12,88% na TR 5 a 5,78 na TR 6 sendo que a fração de grânulos oscilou entre 0,88% na TR 6 a 0,02% na TR 12 (Quadro 7).

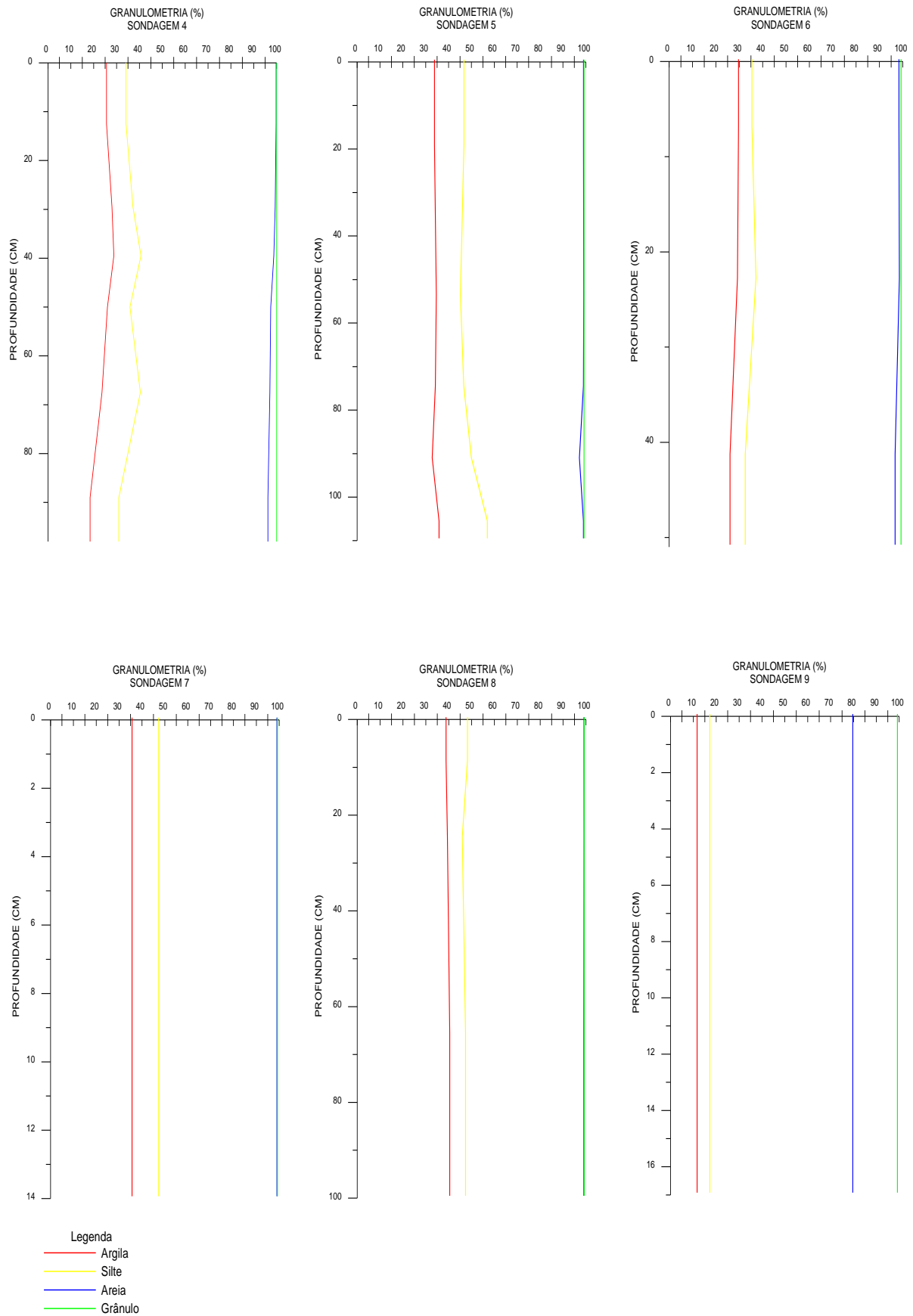


Figura 23 - Variação vertical da granulometria das sondagens TR 4, TR 5, TR 6, TR 7, TR 8 e TR 9.

Quadro 7 - Dados referentes a distribuição granulométrica das sondagens realizadas na baixa encosta.

Sondagem	Amostra	Prof. (cm)	Argila %	Silte %	Areia %	Grânulos %	Unidade
TR 4	Am 1	0 – 25	25,6	8,54	65,62	0,24	U4
	Am 2	25 - 34	28	9,14	62,24	0,62	U4
	Am 3	34 - 45	28,8	11,86	58,1	1,24	U5
	Am 4	45 - 55	26	9,86	61,56	2,58	U5
	Am 5	55 - 80	23,6	16,8	56,66	2,94	U6
	Am 6	80 - 98	18,4	12,6	65,18	3,82	U6
TR 5	Am 1	0 – 39	34,6	12,88	52,3	0,22	U4
	Am 2	39 - 69	35,4	10,54	53,94	0,12	U5
	Am 3	69 - 81	35	12,42	52,3	0,28	U5
	Am 4	81 - 102	33,6	17,14	47,24	2,02	U6
	Am 5	102 - 110	36,6	11,14	51,98	0,28	U6
TR 6	Am 1	0 – 14	30,4	5,78	62,94	0,88	U4
	Am 2	14 - 32	30	7,88	61,44	0,68	U5
	Am 3	32 - 51	26,8	6,5	64,18	2,52	U6
TR 7	Am 1	0 – 14	36,4	11,68	51,7	0,22	U4
TR 8	Am 1	0 -18	39,6	9,38	50,96	0,06	U4
	Am 2	18 - 32	40,2	6,5	53,26	0,04	U5
	Am 3	32 - 100	41,2	6,94	51,72	0,14	U6
TR 9	Am 1	0 – 17	12,4	5,58	62,51	19,51	U10
TR 10	Am 1	0 – 28	33,6	7,81	58,57	0,02	U4
	Am 2	28 - 44	27,6	7,12	65,08	0,2	U5
	Am 3	44 - 57	29,2	10,38	58,6	1,82	U6
	Am 4	57 - 72	25,2	12,24	61,7	0,86	U6
TR 11	Am 1	0 – 18	14	4,84	63,56	17,6	U10
TR 12	Am 1	0 – 26	32	8,82	59,16	0,02	U4
	Am 2	26 - 50	35,8	6,7	57,42	0,08	U5
	Am 3	50 - 80	36	6,12	57,58	0,3	U6

A U5 na baixa encosta proporciona material com umidade variando de média para alta, sendo plástico e pegajoso. Predomina a cor marrom escuro amarelado (10YR 3/4, 3/6 e 4/6), sendo quase inexistentes atividades biológicas, porém a presença de raízes é evidente, uma vez que como já mencionado essa porção da encosta é recoberta por árvores.

Não apresentando mosqueamento, a transição para o horizonte subjacente é gradual e a espessura desse material variou de 42 cm na TR 5 a 14 cm na TR 8. A porcentagem de areia nessa unidade variou de 65,08% na TR 10 a 52,3% na TR 5. A fração argila oscilou entre 40,2% na TR 8 a 26% na TR 4. O percentual de silte nessa unidade variou de 12,42% na TR 5, a 6,5% na TR 8 e percentual de grânulos variou de 2,58% na TR 4 a 0,04% na TR 8.

A U6 na baixa encosta possui cor marrom amarelada (10YR 5/4, 5/6, 5/8), plasticidade média/alta e umidade elevada, proporcionando material pegajoso. A ação biológica é inexistente, porém a presença de raízes das árvores de maior porte é visível. A espessura dessa unidade na baixa encosta variou de 68 cm na TR 8 a 19 cm na TR 6. Em algumas amostras foi possível notar a presença de carvão e nódulos de ferro. Ao fazer a coleta das amostras na TR8, foi observado a ocorrência de um túnel na U6.

Na U6 a porcentagem de areia na baixa encosta variou de 65,18% na TR 4 a 47,24% na TR 5. O percentual de argila oscilou entre 41,2% na TR 8 a 18,4% na TR 4. A fração silte teve uma relativa variação de 17,14% na TR 5 a 6,5% na TR 6 e a fração grânulos variou de 3,82% na TR 4 a 0,14% na TR 8.

A U10 apresenta a cor marrom muito escura acinzentada (10YR 3/2), não plástica, umidade média/baixa, contendo mosqueamento. Atividades biológicas e a presença de raízes são evidentes. Esse material é observado onde a rocha matriz encontra-se próxima da superfície, sendo que a espessura dessa unidade variou de 17 cm na TR 9 a 18 cm na TR 11. Em ambas as sondagens a profundidade foi tão ínfima, que apenas uma amostra por perfil foi coletada.

Notou-se na U10 uma grande diferença das demais unidades no que diz respeito às porcentagens das frações, visto que a fração areia nessa unidade atingiu

62,51% na TR 9 e 63,56% na TR 11 (Figura 24). A fração grânulos, também teve notoriedade, alcançando 19,51% na TR 9 e 17,6% na TR 11. A fração silte variou de 5,58% na TR 9 a 4,84% na TR 11 e a fração argila oscilou entre 12,4% na TR 9 a 17,6% na TR 11.

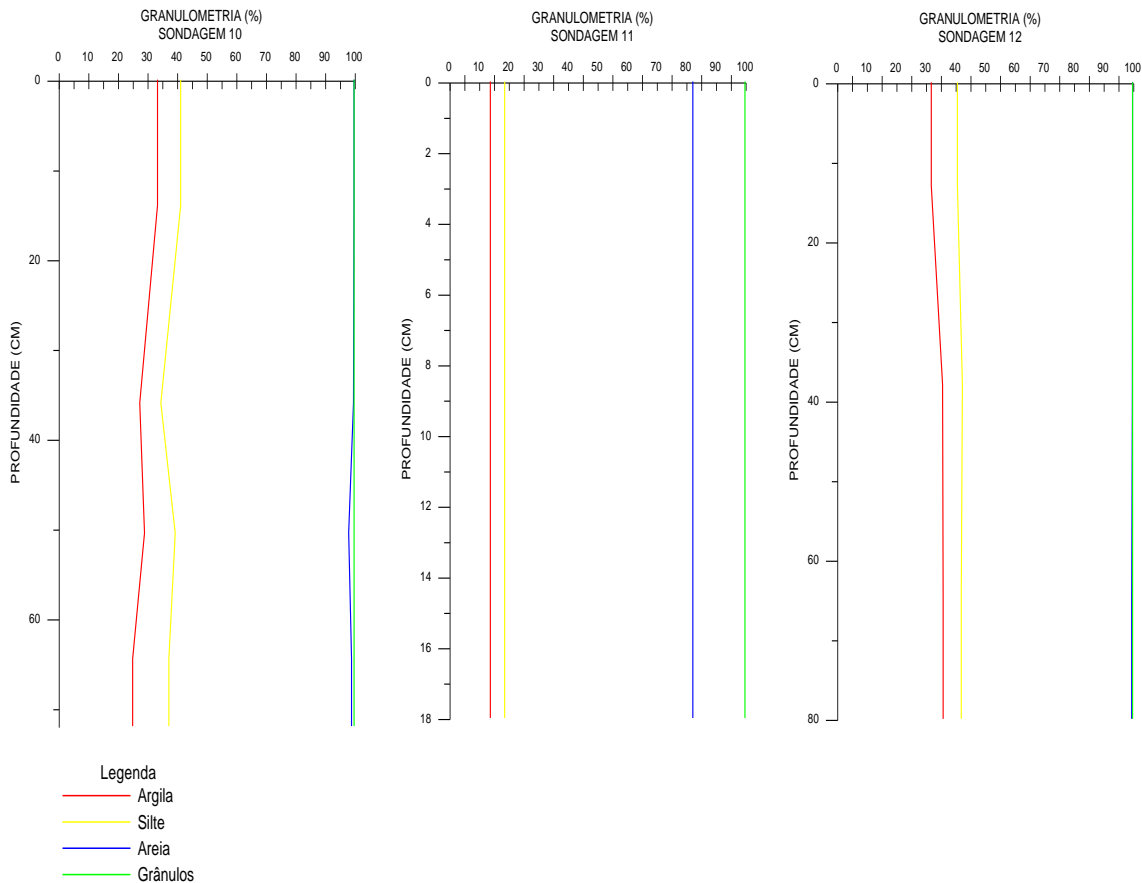


Figura 24 - Variação vertical da granulometria das sondagens TR 10, TR 11 e TR 12.

#### 4.4.2. Relação entre o comportamento macromorfológico e a circulação hídrica do setor baixo da encosta

Como já mencionado, a baixa encosta apresenta duas classes texturais: areia argilosa e areia. No setor onde a classe textural areia é encontrada, nota-se que esse material se apresenta em uma fina camada sobre a rocha, indicando assim a rápida absorção da água e também o rápido escoamento lateral.

Através das sondagens e dos registros piezométricos, foi possível constatar que no setor onde se encontram os túneis, existe uma concavidade que favorece e direciona os fluxos superficiais e subsuperficiais. Dessa forma os fluxos se

concentram na parte em que o solo é mais profundo, forçando a água percorrer caminhos preferenciais, ou seja, pelos túneis.

Os piezômetros P9 e P11, instalados no setor que compreende a unidade areia não registraram nenhuma carga piezométrica no período monitorado; em contrapartida no setor da baixa encosta onde a classe textural é areia argilosa, notou-se uma intensa circulação hídrica subsuperficial, principalmente onde o solo é mais profundo.

Os piezômetros P4, P5, P6, P7, P9 e P11 não apresentaram registros, já os piezômetros P8, P10, P12, P15 e P16 independente do regime pluviométrico apresentaram registros piezométricos em todo o período monitorado.

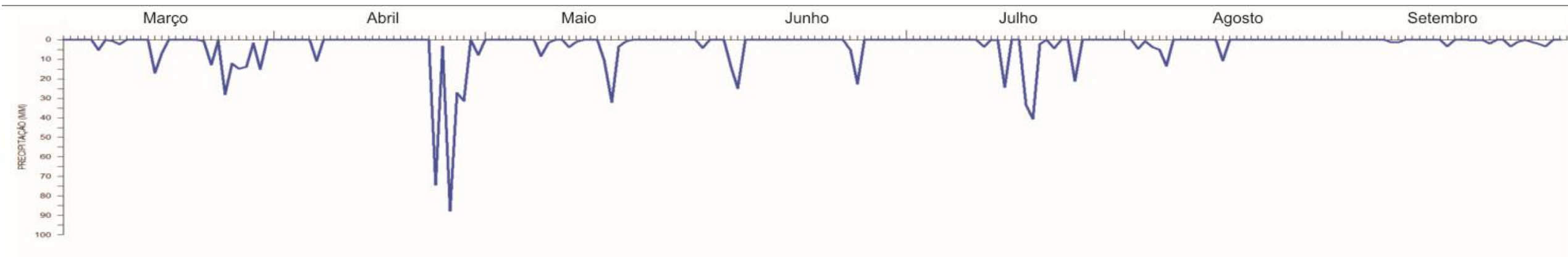
Os piezômetros P8 e P10 mostraram-se estáveis, tanto nas recargas quanto nas vazões (Figuras 25 e 26), sendo que as respostas frente às precipitações foram lentas. Apenas em períodos onde as precipitações tiveram grande magnitude (21 de Abril a 1 de Maio, e 12 a 24 de Julho), é que observou-se uma pequena oscilação no freático mas com retardo de um ou dois dias.

Como os demais piezômetros, o P12 (Figura 27) se mostrou estável, apresentando respostas lentas frente às precipitações. Nota-se um decréscimo do nível piezométrico a partir do dia 16 de agosto.

O P15 devido estar localizado nas proximidades do banhado mostrou uma intensa presença hídrica, visto que em todo o período monitorado a coluna d'água excedeu 50 cm de altura, indicando assim um solo parcialmente saturado com drenagem lenta. Este piezômetro apresentou respostas mais significativas frente a precipitações menos intensas, porém em intervalos maiores de dias, tais como as chuvas ocorridas na segunda quinzena do mês de Julho (Figura 28).

Apresentando uma resposta rápida diante as precipitações, o P16 proporciona uma recarga lenta, porém uma vazão rápida (Figura 29). A composição granulométrica argilo arenosa e a topografia acentuada contribui para que isso ocorra, fazendo com que a água flua rapidamente em direção a pontos mais baixos da encosta.





## Piezômetro 08

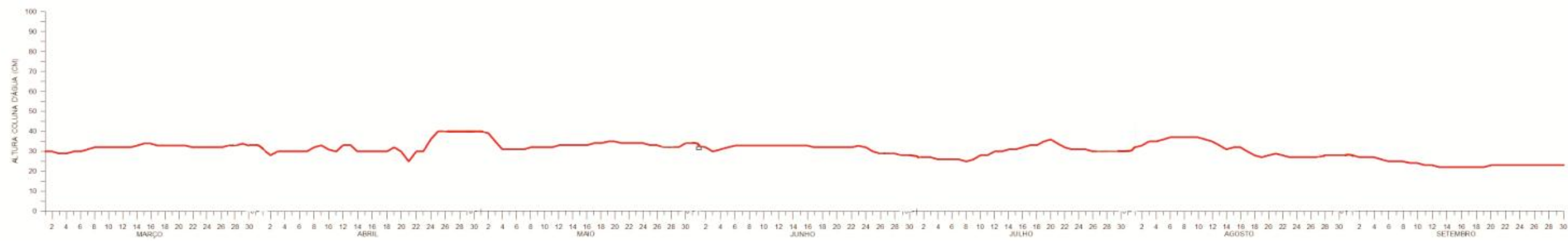


Figura 25 - Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 8) de março a setembro de 2010.



## Piezômetro 10



Figura 26 - Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 10) de março a setembro de 2010.



Figura 27 - Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 12) de março a setembro de 2010.

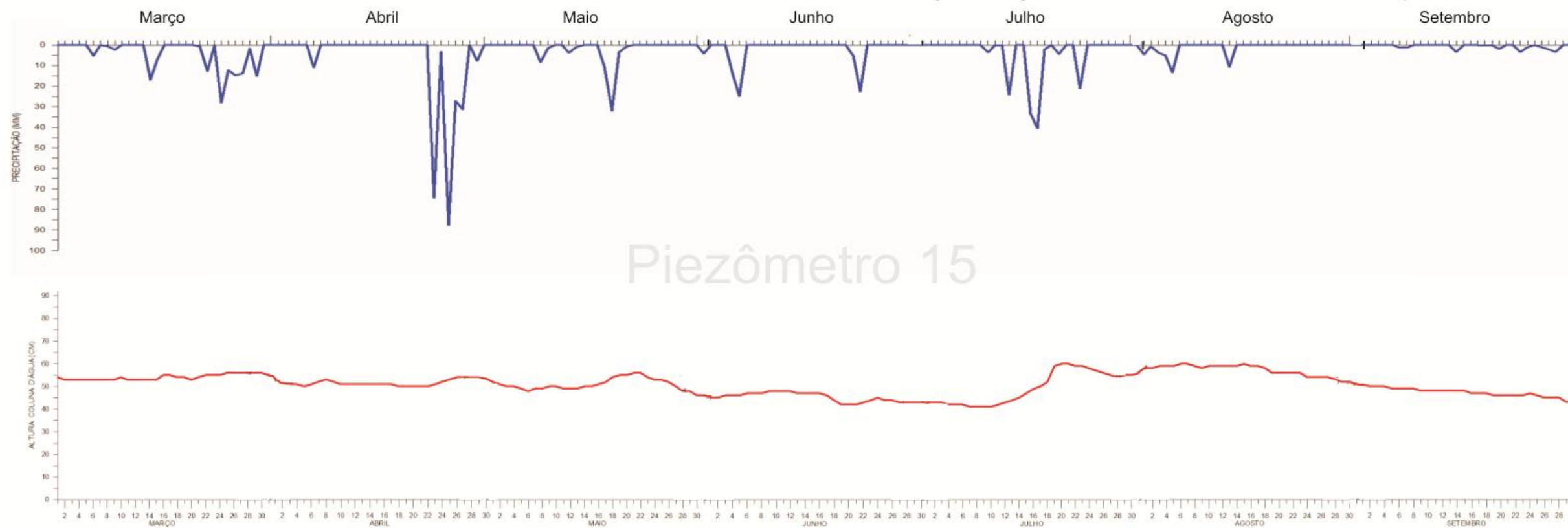


Figura 28 - Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 15) de março a setembro de 2010.

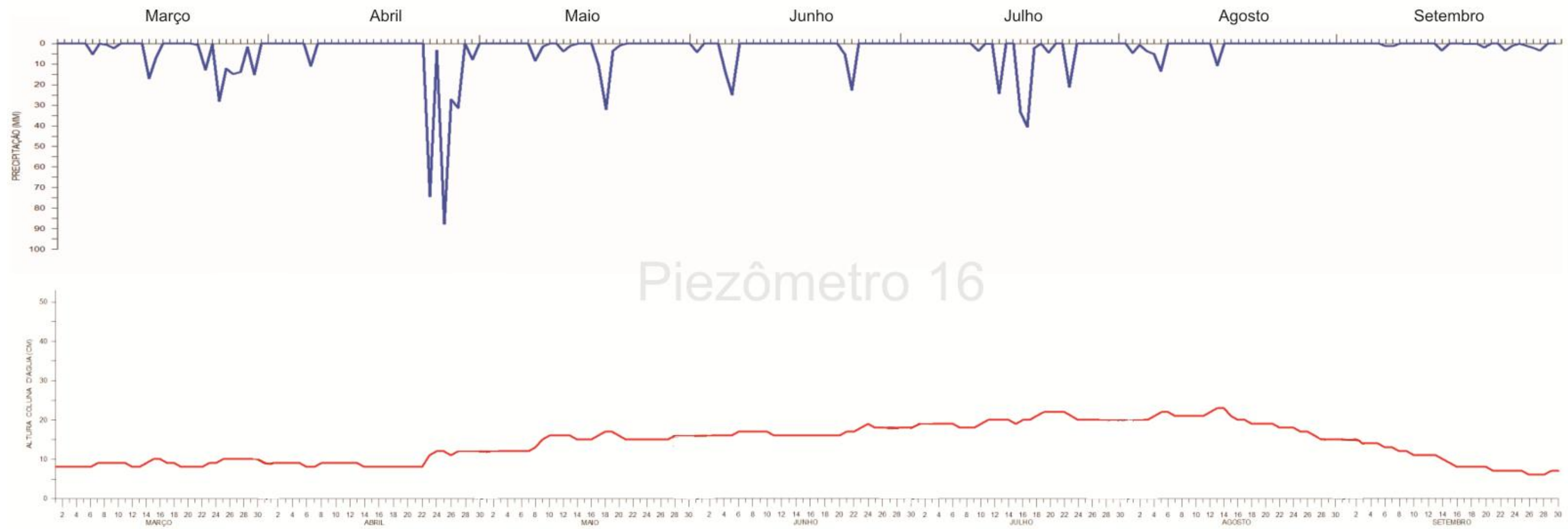


Figura 29 - Registros pluviométricos e altura piezométrica (piezômetro 16) de março a setembro de 2010.

## 5. CONCLUSÃO

As implicações da relação solo versus relevo na instalação e evolução dos túneis na encosta Rio das Pombas dependem de uma série de fatores, tanto de ordem macro-estrutural como de ordem hidrológica.

Para se obter os resultados dessa pesquisa, utilizou-se de ensaios laboratoriais associados diretamente a coleta de dados a campo. Esse conjunto de informações auxiliaram na compreensão da gênese e da evolução dos processos ocorridos na encosta, principalmente no setor baixo.

Ao total, foram instalados 16 piezômetros e realizadas 14 sondagens de onde foram coletadas e analisadas 56 amostras. Através dos materiais coletados, identificaram-se dez unidades de solo, sendo que estas unidades distinguiram-se fundamentalmente pela cor e em alguns casos pela textura.

Na alta encosta a profundidade dos perfis são notoriamente maiores do que nos setores médio e baixo. Constatou-se que a textura é majoritariamente argilo arenosa, o que dificulta o movimento vertical da água no solo.

A circulação hídrica no setor alto ocorre principalmente pela superfície, sendo que não foi apresentado nenhum registro piezométrico através dos dois piezômetros instalados nessa porção. A recarga de água no subsolo que abastece o açude se dá por outra direção, a qual não está presente no setor estudado.

Na média encosta, constatou-se duas classes texturais, sendo uma areia argilosa e outra argilo silte arenosa. Nesta porção da encosta ocorre uma zona com saturação de água, onde a textura dos materiais é argilo silte arenosa, diferenciando-se das áreas contíguas que mostram textura areia argilosa.

No setor onde a classe textural é areia argilosa, não foram observados nenhum registro piezométrico através dos piezômetros instalados. A topografia acentuada associada à presença de afloramentos rochosos dificulta a

infiltração de água no subsolo, fazendo com que a água escoe superficialmente para as porções mais baixas.

A porção hidromórfica onde a classe textural é argila siltica arenosa, apresenta topografia plana e solo com baixa porosidade, o que dificulta a drenagem, mantendo assim índices piezométricos sempre elevados, caracterizando um solo saturado.

O piezômetro instalado nessa porção registrou manutenção das condições hídricas, sem oscilações importantes em todo o período monitorado, sugerindo que além das águas provenientes das precipitações, também recebe fluxos hídricos procedidos das regiões mais altas, ou seja, do açude localizado a montante da encosta.

Seguindo do setor médio para a baixa encosta, observa-se uma ruptura de declive, formando uma concavidade, onde a partir desta, as condições de relevo, estrutura e hidrologia mudam consideravelmente.

Foram identificadas na baixa encosta duas classes texturais, sendo uma areno argilosa e outra arenosa. O material com textura areno argilosa encontra-se onde o solo é mais espesso (região onde os túneis estão instalados), já o material com textura arenosa, encontra-se no setor onde o solo é extremamente raso.

Através da análise dos índices pluviométricos, e da localização dos piezômetros, pode-se afirmar que a maior parte da água que mantém os índices piezométricos nesse referido setor advém do banhado.

Tendo relevo íngreme e o solo apresentando características propícias para circulação subsuperficial de água (presença de túneis), a baixa encosta comparada às demais porções, apresentou uma maior dinâmica hídrica. As leituras piezométricas evidenciaram que os piezômetros da baixa encosta registraram cargas menores do que as observadas no piezômetro da área saturada. Em contrapartida, as oscilações mais importantes foram registradas neste setor indicando recarga e drenagem rápida.

Conclui-se então que a instalação e evolução de erosão em túneis na Encosta Rio das Pombas são favorecidas pelas propriedades físicas da cobertura pedológica, tais como a composição granulométrica, a forma e a topografia da encosta, todos estes aliados principalmente ao fator decisivo que refere-se às condições hidrológicas.

No que diz respeito à evolução do processo erosivo, pode-se afirmar que a drenagem rápida de água em função da presença dos túneis, associada a textura do material encontrado na área, poderá levar um aumento das taxas erosivas, podendo até chegar a se tornar uma voçoroca.

## 6. REFERÊNCIAS

AUGUSTIN, C. H. R. R. & ARANHA, P. R. A. Piping em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia** - Ano 7, nº. 1, 2006.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999.

BEZERRA, J. F. R. **Avaliação de Geotexteis no controle da erosão superficial a partir de uma estação experimental, Fazenda do Glória – MG**. 2006. 104 f. Dissertação (Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. Livro Guia do III Simpósio Nacional de Controle da Erosão. Maringá, 1985.

BIGARELLA, J.J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Ed. UFSC. V. 2, 875 p. 1996.

BINDA, A. L.; MASCARELLO, L. V.; SILVA, W. B. Alterações geomorfológicas no perímetro urbano da cidade de Guarapuava-PR. **Revista Caminhos da Geografia**, Uberlândia, vol. 10, n. 32, p. 78-86, Dez., 2009.

BORGES, P. **A evolução dos processos erosivos na Bacia do Ribeirão Alam Grei - SP: Uma contribuição ao planejamento ambiental**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 121p., 2009.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et pédologie.I. Prise en compte de l' organization bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.**, v. XIX, n.4, p. 309-322., 1982.

CAPRA, F. **A teia da vida**. São Paulo: Cultrix, 1996.

CARVALHO, A. **Solos da região de Marília – Relações entre a pedogênese e a relação do relevo**. Tese de doutorado em Geografia, IGO/USP. São Paulo. 163f., 1976.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em 10 Out. 2009.

CHARMAN, P. E. V. The influence of sodium salts on soils with reference to tunnel erosion in coastal districts. Part II - Grafton Area. **Journal of Soil Conservation Service of New South Wales** 26, 71-86, 1970.

CHAUVEL, A. **Recherches sur la transformation des sols ferralitiques de la zone tropicale à saisons contrastées.** Tese - Université de Strasbourg. Paris. 532 p., 1976.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Eds.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 93-148, 1994.

CORRÊA, L. S. L. **Processos erosivos avançados em São Francisco de Assis – RS: Estudo de Caso.** Dissertação (Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geociências e Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, RS. 112 f., 2006.

COSTA, J. B. **Caracterização e constituição do solo.** Lisboa: Sociedade Tipográfica, 527 p., 1975.

CUNHA, J. E. **Caracterização morfológica (macro e micro) e comportamento físico-hídrico de duas topossequências em Umuarama (PR): Subsídios para avaliação dos processos erosivos.** DG/FFLCH/USP. São Paulo. (Dissertação). 129p., 1996.

CUNHA, J. E. **Funcionamento hídrico e suscetibilidade erosiva de um sistema pedológico constituído por latossolo e argissolo no município de Cidade Gaúcha - PR.** Tese doutorado em Geografia. USP. São Paulo. 175f., 2002.

DIETRICH, W. E.; DUNNE, T. The channel head. In: BEVEN, K.; KIRKBY, M. J. (Ed): **Channel Network Hydrology.** John Willey & Sons Ltd, p.175-219., 1993.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo** (Método 1.17). Rio de Janeiro. 1979.

ESPÍNDOLA, C. R. **Retrospectiva crítica sobre a pedologia:** um repasse bibliográfico. Campinas: Editora da Unicamp, 397 p., 2008.

GALETI, P. A. **Práticas de controle à erosões.** Campinas: [s.n.], 278 p., 1985.

GAVANDE, S. A. **Física de suelos: principios y aplicaciones.** Mexico: Limusa, 351p.,1972.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B da (Orgs.): **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 4ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.149-209., 1994.

HOLOCHESKI, C. **A Relação da vegetação em encosta afetada por erosão em túneis no Rio das Pombas no Município de Guarapuava, Paraná.**



Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual do Centro Oeste. Guarapuava. 29 f., 2008.

IAPAR- **Instituto Agrônômico do Paraná**. Curitiba, 2006.

KIRKBY, M. J. **Hillslope Hydrology**. Great Britain: Wiley-Interscience, 389 p., 1978.

KNAPP, B. J. Infiltration and storage of soil water. In: KIRKBY, M. J. (Ed.). **Hillslope Hidrology**. New York: John Wiley & Sons, p. 43 – 68., 1978.

KÖEPPEN, W. **Climatologia. Com um estúdio de los climas de la tierra**. México. FCE. p82-487., 1948.

LEMOS, R. C. & SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta do solo no campo**. 5º. ed. SBCS. Campinas: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 83p., 2003.

LUIZ, E. L. **Influência da dinâmica hidrológica e das características das formações superficiais nos mecanismos de ruptura das encostas com rochas granitóides de áreas subtropicais São Pedro de Alcântara / SC**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro/ Instituto de Geociências/ Programa de Pós-graduação em Geografia. Rio de Janeiro. 239 f., 2003.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 3. ed. Curitiba, Imprensa Oficial, 2002.

MAGALHÃES, V. L. **Os sistemas pedológicos e a paisagem na bacia da Sanga Clara Marechal Cândido Rondon-Pr**. Dissertação (Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR. 254 f., 2008.

MELO, W. J. Manejo: Aspectos Biológicos. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Eds.) **Solos altamente suscetíveis à erosão**. São Paulo: Jaboticabal, p. 123-146., 1994.

MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E.; TORRES, R.; ANDERSON, S. P.; HEFFNER, J. T.; LOAGUE, K. Hydrologic response of a steep, unchanneled valley to natural and applied rainfall. **Water Resources Research**, vol. 33, n. 1, p. 91 - 109, 1997.

MORESCO, D. M.; CUNHA, E. J. Setorização Morfopedológica e Indicadores de riscos à Erosão. **Revista Geografia**, Londrina, vol. 12, n. 02, p. 97-110, Jul./Dez. 2006.

MUNSELL SOIL COLLOR CHART. Baltimore, **Munsell Collor Company**, Washable Edition, 2000.

NOGUEIRA, M. L. **Dinâmica da água em subsuperfície na bacia do córrego do Quebra, Gouveia, Espinhaço Meridional, Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 157 f., 2008.

NUNES, E. D. & ROMÃO, P. A. Análise da entropia da paisagem como subsídio ao entendimento de processos erosivos na microbacia do córrego Barreiro - Goiânia -GO. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais SINAGEO** (CD), Belo Horizonte, 2008.

PAISANI, J. C. **Descontinuidades hidrológicas, escoamento superficial e desenvolvimento de incisões erosivas em áreas de cabeceiras de drenagem:** estudo de caso na Colônia Quero – Quero, Palmeira (PR). Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 184p.,1998.

PAQUET, H.; CLAUER, N. **Soils and sediment: mineralogy and geochemistry.** 1° ed. Strasbourg: Springer, 1997.

PIETROBELLI, G. **Significado Paleoambiental de depósitos de encosta e de preenchimento de canal no Município de Lapa (PR) no Sul do segundo planalto Paranaense.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 302 f., 2005.

PISANI, M. A. J. Características Naturais e Antrópicas Agravantes nos Processos de Escorregamentos em Encostas Urbanas. **Revista Sinergia,** CEFETSP - São Paulo, vol. 04, n. 2, p. 99-103, 2003.

QUEIROZ NETO, J. P. **Geomorfologia e Pedologia.** Disponível em<[http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geosp/Geosp13/Geosp13\\_Queiroz.htm](http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geosp/Geosp13/Geosp13_Queiroz.htm)> Acesso em: 06 de Julho de 2009.

QUEIROZ NETO, José Pereira. Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia (USP),** v. 15, p. 77-90, 2002.

SHEPARD, F.P. **Nomenclature base on sand-silt-clay ratios.** Journal Sedim. Petrology, v. 24, p. 151-158, 1954.

SILVA, W. B.; HOLOCHESKI, C.; FERREIRA, S. G. Considerações sobre os processos de erosão em túneis presentes em baixa encosta na bacia do Rio das Pombas, Guarapuava (PR). In: **Anais do I Workshop Regional de Geografia e Mudanças Ambientais: Desafios da sociedade do presente o do futuro.** Guarapuava: Unicentro, 2007.

SOUZA, A. P. **Monitoramento da erosão de solos durante eventos pluviométricos: subsídio a compreensão dos processos erosivos em ambiente agrícola serrano.** Dissertação (Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia) – Universidade federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro. 125 f., 2003.

SWANSON, M, L.; KONDOLF, G. M.; BOISON, P. J. An example of rapid gully initiation and extention by subsurface erosion: Coastal San Mateo County, Califórnia. **Geomorphology**, n. 2, p. 393-403, 1989.

THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. London: John Wiley & Sons Ed.Wichester, England, 1994.

THOMAS, MICHAEL F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. Chichester: John Wiley & Sons, 460 p., 1994.

TRATZ, E. B. **As rochas vulcânicas da província magmática do Paraná, suas características de relevo e sua utilização como recurso mineral no município de Guarapuava-PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de Pós-Graduação em Geografia. Florianópolis. 196 f., 2009.

VESTENA, L. R. & THOMAZ, E. L. **Aspectos climáticos de Guarapuava-PR**. Guarapuava: UNICENTRO, 106p., 2003

VIEIRA, L.S. & VIEIRA, M. de N. F. **Manual de morfologia e classificação de solos**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 313 p., 1983.

VITTE, A. C. Considerações sobre a teoria da *etchplanação* e sua aplicação nos estudos das formas de relevo nas regiões tropicais quentes e úmidas. **Revista Terra Livre**, São Paulo, n. 16, p. 11-24, 1º semestre 2003.

WHIPKEY, R.Z. & KIRKBY, M.J. Flow within the soil. In: Kirkby, M.J. (Ed.). **Hillslope Hydrology**. New York: John Wiley e Sons. Flow within the soil, p.121-143., 1978.

WOLLE, C. M.; CARVALHO, C. S. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar - Brasil. **Solos e Rochas**, v. 12, n único, p. 27-36, 1989.

ZASLAVSKY, D.; SINAI, G. Surface Hydrology V- In-surface transient flow. **Journal of Hydraulics Division**, ASCE. Vol. 107, No.HY1, Proc. Paper 15961. p.65-93., 1981.