
ASPECTOS GEOMORFOPEDOLÓGICOS DE UMA VERTENTE EM ÁREA DE BASALTO NO MUNICÍPIO DE GUARAPUAVA - PR

Prof. Dr. Edivaldo Lopes Thomaz

Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste– UNICENTRO
Rua Simeão Camargo Varela de Sá 03, Cx. Postal 3010, CEP 85.040-430, Guarapuava (PR) - Brasil
Tel.: (42) 36298117 - thomaz@unicentro.br

RESUMO

A escultura da topografia da região de Guarapuava está subordinada aos estratos das rochas eruptivas. O objetivo deste ensaio foi caracterizar alguns aspectos geomorfológicos, hidrológicos e pedológicos de uma vertente representativa esculpida em rocha basáltica na bacia do Rio Guabiroba (Guarapuava). A partir da caracterização geomorfológica buscou-se, também, entender qualitativamente as inter-relações atuais entre: formas, materiais e processos, que resulta num todo contínuo formado pelo sistema vertente. Concluiu-se que as características geomorfológicas e hidrológicas foram variáveis ao longo da vertente. Já que, a vertente analisada apresenta setores bem definidos (degraus) que marcam os níveis litológicos (estrato) das rochas eruptivas básicas. Essa estruturação cria descontinuidade na energia potencial e hidráulica no sistema vertente, por extensão, influencia no arranjo das formas, dos materiais e dos processos. Essas características devem ser consideradas quando de sua ocupação para fins agropecuários, visto que cada setor apresenta dinâmica e aptidão distinta.

Palavras-chave: basalto, vertente, solo, processo.

ABSTRACT

The Guarapuava region topography is subordinated due to eruptives rocks stratus. This essay sought to characterize some geomorphologic, hydrologic and pedologic aspects; regarding to a representative hillslope sculptured on the basaltic rock. Also, it was attempted to understand qualitatively the actual inter-relations between: forms, materials and processes, which result on the hillslope system. The study area is located at the Guabiroba watershed (Guarapuava). The geomorphopedologic and hydrologic characteristics were variable throughout the hillslope. The hillslope displays well-defined sectors (steps) that correspond to the basaltic rocks levels (stratus). These characteristics create discontinuity on the potential and hydraulic energy throughout hillslope system; consequently, it reflects on the forms, materials and processes arrangement. These characteristics must be considered what time of land occupation for agricultural proposal; since each sector display dynamics and distinct land use capacity.

Key words: basaltic, hillslope, soil, process.

Introdução

O Terceiro Planalto Paranaense apresenta-se como região levemente ondulada com chapadas e vertentes pouco inclinadas, sendo freqüente nesse planalto, a presença de “mesas”. A escultura da topografia dessa região está estritamente subordinada aos níveis das rochas eruptivas. As camadas de basalto deram lugar a plataformas estruturais que regulam a progressão da erosão. Dessa forma, a estrutura geológica desempenha papel importante sobre a ação erosiva dos leitos fluviais. As variações litológicas e as linhas de fraqueza estão associadas a freqüentes rupturas de gradientes, ao longo dos perfis longitudinais dos rios (BIGARELLA, *et al*, 1994, p.77)

O basalto (categoria genérica de rocha ígnea efusiva) rocha predominante na área de estudo possui estrutura litológica e composição granulométrica (textural), dependente do processo de resfriamento das lavas, haja vista ser uma rocha formada sobre a superfície da terra. Assim, a rapidez no resfriamento cria uma rocha, em geral, com textura microcristalina. Além disso, há presença de planos de fratura seguindo o contato das camadas de lavas superpostas (sub-horizontal) (GERRARD, 1988).

As rochas ígneas têm ainda como características a formação de uma rede de juntas (fraturas) de origem e padrão diverso, isto é, podem envolver a massa de rocha (local, regional) ou está mais restrita a estrutura da própria rocha (granulometria e composição química da rocha). Nesta última situação, a rede é denominada de micro-fraturas (GERRARD, 1988, SELBY, 1993).

No sistema morfogenético tropical úmido, os processos predominantes são intemperismo químico, movimento de massa e escoamento superficial (RITTER, 1978 citado por GERRARD, 1988, p. 8).

Douglas (1978) indica que, genericamente, a evolução do relevo em ambiente tropical ocorre pela combinação de avalanche, deslizamento, colapso de material e fluxo de terra principalmente nas vertentes declivosas. Em contrapartida, nas vertentes menos declivosas, ocorre erosão em lençol, rastejo (*creep*), fluxo lateral em subsuperfície, resultando em ação mecânica de transporte de material fino (eluviação) e transporte de material em solução (íons). No entanto, boa parte dos processos de evolução das vertentes em meio tropical e subtropical passa inicialmente pelo intemperismo.

A faixa intertropical com predomínio de intemperismo químico delimita, em seu interior, uma ampla zona denominada de *monossilitização*, onde o argilomineral mais comum é a caulinita (THOMAS, 1994). No entanto, essa zona morfogenética se estende no Brasil para além do limite tropical até a latitude 30° Sul (MELFI e PEDRO, 1977; THOMAS, 1994).

A evolução da maioria das vertentes é o resultado da interação contínua entre o desenvolvimento da forma da vertente, do desenvolvimento do solo e da cobertura do regolito (GERRARD, 1993, p. 64). Explicitamente, verifica-se a inter-relação entre: forma, material e processo. Esses elementos são centrais nos estudos geomorfológicos, que por sua vez, têm no sistema vertente sua maior expressão.

O conceito *catena* formulado por Milne (1935) citado por Gerrard (1993) reconhece que os processos geomorfológicos são os principais diferenciadores dos solos ao longo de uma topossequência. Igualmente, o modelo *nine land unit-surface model* proposto por Dalrymple *et al.* (1968) em McCaig (1985), aponta os processos pedo-geomorfológicos predominante em cada setor de vertente. Esses processos indicam em quais setores predominam a mobilização de material, transporte de material ou redeposição de material. A partir desse balanço ocorre a diferenciação dos materiais do alto ao final da vertente. Por exemplo, em setores planos de topo predomina o processo pedogenético e o movimento vertical da água, já setores mais declivosos favorecem o transporte de sedimento em detrimento do processo pedogenético, somado a uma preferência de movimento lateral de água subsuperficial, enquanto que no sopé de vertente ocorrem processos agradacionais, movimento subsuperficial de água com possibilidades de ocorrência de áreas de saturação.

Dessa forma, o objetivo deste ensaio foi caracterizar os aspectos geomorfológicos, hidrológicos e pedológicos de uma vertente representativa esculpida em rocha basáltica na bacia do Rio Guabiroba (alto curso do Rio Jordão) (Figura 1). A partir da caracterização geomorfopedológica buscou-se, também, entender qualitativamente as inter-relações atuais entre: formas, materiais e processos, que resulta num todo contínuo configurado pelo sistema vertente.

Material e Método

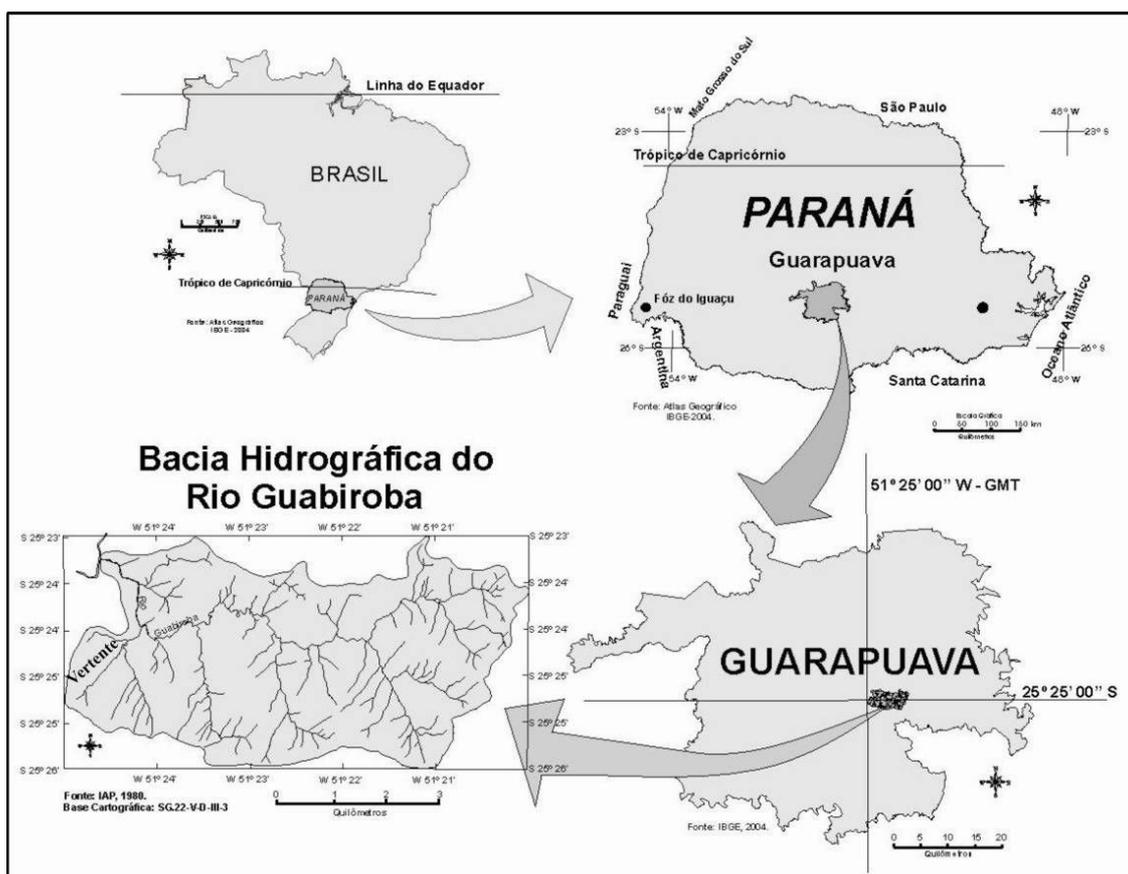
Caracterização das Unidades Geomorfopedológicas

Por meio de fotografias aéreas, carta topográfica e controle de campo delimitaram-se as formas de relevo como: topo, setor retilíneo, setor convexo, patamar e terraço fluvial. A vertente caracterizada é representativa no âmbito da bacia do Rio Guabiroba (alto curso do Rio Jordão). As unidades geomorfopedológicas são a junções das formas de relevo, declividades e de tipos de materiais predominantes (solos) destacando, sobretudo, suas características físicas (THOMAZ, 2005a).

De posse da carta clinográfica e das formas de relevo, foram realizados trabalhos de campo, para verificar os materiais predominantes em cada unidade geomorfopedológica. Para identificar os materiais analisaram-se trincheiras naturais (corte em estradas), trincheiras escavadas para avaliações geomorfológicas do solo, ensaios com penetrômetro de bolso e retiradas de amostras indeformadas (densidade e porosidade). Empregou-se, ainda, tradagem e análise físico-química do solo, como será detalhado adiante.

Os processos geomorfológicos foram observados em campo por meio de caminhamentos sistemáticos realizados durante os anos de 2002 a 2004. As inspeções de campo foram realizadas em todas as estações do ano, em períodos chuvosos e secos.

A caracterização geomorfopedológica seguiu parte da proposta de Lepsch et al. (1991) contidas no Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Segundo os autores, a proposta enquadra-se numa abordagem de classificação técnica-interpretativa, em que, os solos são avaliados a partir de interesse prático e específico (LEPSCH et al. 1991, p. 17). Portanto, as avaliações aqui apresentadas privilegiaram uma análise de cunho técnico-interpretativa em detrimento de uma abordagem taxonômica pautada em processos genéticos, isso no que se refere à cobertura superficial dos materiais.



Fonte: THOMAZ e ROSS, 2006, p. 25.

Figura 1 – Localização da área de estudo (Vertente: indica o local da unidade geomorfopedológica).

Desse modo, seguindo as unidades geomorfopedológicas (setores de vertente), foram feitas 3 trincheiras privilegiando a disposição do declive, isto é, procurou-se fazer uma pequena catena em cada compartimento (figura 1 e 2). Assim, três trincheiras foram escavadas em cada compartimento. A dimensão média de cada trincheira foi de 0,80m a 1 m de largura e profundidade variando de 0,25 a 1,20 m (de acordo com a possibilidade local). Utilizou-se trado para verificar a profundidade e a variação dos horizontes dentro da unidade. O perfil foi descrito em suas características mais elementares (profundidade, pedregosidade, cor, resistência, densidade, porosidade e granulometria).

Análise Física do Solo: densidade aparente, porosidade total e resistência

Avaliou-se a densidade e porosidade total do solo em cada um dos compartimentos, sendo que para se retirar às amostras indeformadas, foram utilizados anéis volumétricos com 95,5 cm³. As coletas foram

feitas nas seguintes profundidades: 0 - 10 cm; 20 -30 cm e 40 - 50 cm de profundidade. Em cada profundidade e trincheira, foram retiradas 3 amostras, de modo que, em cada unidade fossem coletadas no mínimo 9 amostras. No laboratório as amostras foram preparadas e levadas para secar em estufa a 105°C por 24 horas, sendo mensuradas em seguida a densidade aparente e a porosidade total (EMBRAPA, 1997).

Foi utilizado um penetrômetro de bolso, para verificação da resistência do solo (THOMAZ e ROSS, 2003). Igualmente, a trincheira foi subdividida em três profundidades: 0 - 10 cm, 20 – 30 cm e 40 - 50 cm. Tal procedimento buscou correspondência mínima com os horizontes diagnósticos do solo. Em seguida, registrou-se a resistência ao acaso em cada profundidade, de modo que, em cada profundidade, somando-se as três trincheiras fossem obtidas no mínimo 31 amostras.

Monitoramento de umidade do solo

O monitoramento da umidade do solo foi realizado em cada unidade geomorfopedológica (topo, vertente retilínea, patamar, vertente convexa e terraço fluvial, Figura 2), por meio de um conjunto de tensiômetros distribuídos nas profundidades de 25, 50, 80 e 100 cm. Todavia, nem todas as unidades tiveram tensiômetros nas 4 profundidades. O registro da umidade foi feito a cada 5 ou 10 dias de acordo com a pluviosidade. O monitoramento foi realizado entre setembro de 2002 a março de 2004.

Os tensiômetros utilizados são formados por blocos de gesso, que foram previamente acondicionados dentro do solo. Após a instalação, foi possível determinar/avaliar o déficit de água. O modelo de tensiômetro utilizado foi o KS-D1. O aparelho mede a umidade, a partir da resistência elétrica do solo (OHMS), entretanto, apresenta a leitura direta variando de 4,0 que corresponde a 15 Bars até 99,0 que equivale a 0,1 Bars. Por outro lado, o aparelho (manual) permite que a leitura direta no visor digital seja transformada em porcentagem (%), indicando a retirada de água no solo.

Análise granulométrica e fertilidade do solo

A análise granulométrica (argila, silte e areia), foi feita em cada compartimento de vertente. As amostras foram coletadas, de acordo com a profundidade de cada perfil avaliado. A partir das trincheiras, já descritas, coletaram-se várias sub-amostras (5 a 7). Posteriormente, elas foram homogeneizadas, retirando-se uma amostra em torno de 200g para análise. As análises foram realizadas no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

A análise de fertilidade do solo foi realizada, em cada unidade geomorfopedológica. As amostras foram coletadas entre 0 – 30 cm de profundidade, por meio de trado. Coletaram-se várias sub-amostras (5 a 7). Posteriormente, elas foram homogeneizadas, retirando-se uma amostra em torno de 400g para análise. As análises foram realizadas no Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

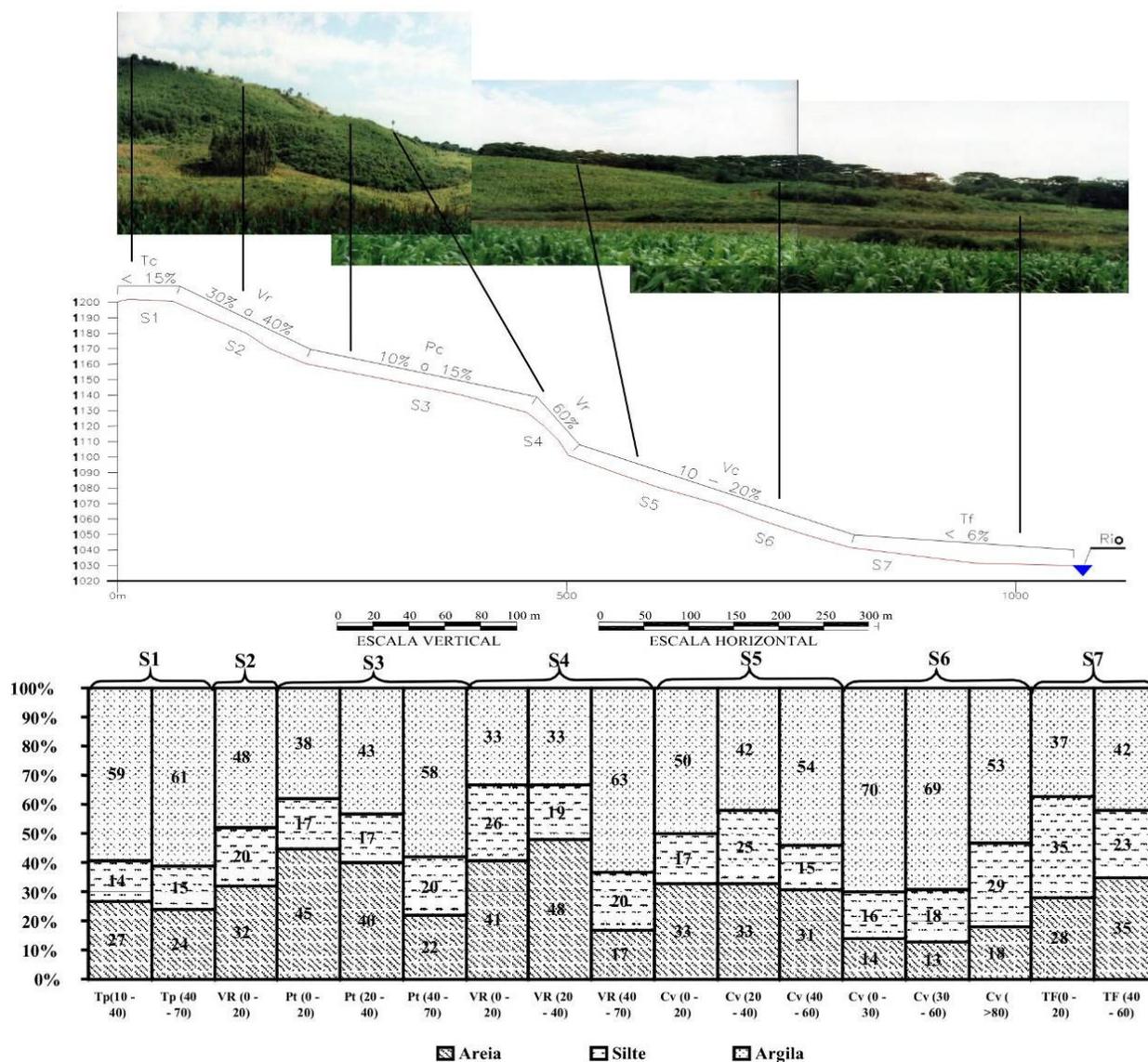
Além das análises descritas anteriormente o reconhecimento dos solos na vertente baseou-se em revisão da literatura, acerca da caracterização e evolução pedogeológica (MELFI e PEDRO, 1977, 1978).

Foram consultados, também, os seguintes estudos: 1) carta de aptidão do solo da bacia do Rio das Pedras (Análise do Plano de Gestão e Manejo do Manancial do Rio das Pedras, Guarapuava – PR); 2) Levantamento expedito e aptidão dos solos da microbacia do rio Lajeado e caracterização climática do alto curso do Rio Jordão (EMBRAPA, 1999). 3) Levantamento de reconhecimento dos solos da região Centro-Oeste (Sul) do estado do Paraná (EMBRAPA, 1984); 4) Levantamento de reconhecimento dos solos da região Centro-Oeste (Sul) do estado do Paraná (MENDES e CASTRO, 1984).

Caracterização das Unidades Geomorfopedológicas

Devido à escala de detalhe em que foi avaliada a vertente, considerou-se que, em certa medida, cada setor de vertente compõe uma unidade de terra, haja vista, terem sido feitos caminhamentos e

observações sistemáticas em cada setor e não apenas sondagem pontual. Assim, serão apresentadas as características gerais de cada setor de vertente como declividade, descrição do material, profundidade, granulometria, pedregosidade, capacidade de suporte, densidade global, porosidade total, fertilidade, umidade etc. Por fim, com base nas avaliações e observações sistemáticas, serão formuladas conjecturas acerca dos processos operantes na vertente (caracterização e funcionalidade) (Figura 2).



Fonte: Instituto Agrônomo do Paraná (2004) (análise granulométrica)

Figura 2 – Unidades geomorfopedológicas e composição granulométrica, de acordo com o setor de vertente e a profundidade da sondagem. S de 1 a 7 indica o local de sondagem (S). Setores de vertente: Tp (Topo); VR (Vertente Retilínea); Pt (Patamar); Cv (Convexa) e TF (Terraço Fluvial). Números entre parênteses indicam a profundidade da amostra. Criação e organização THOMAZ, E. L. (2004)

Setor de Topo (S1)

Esse setor apresenta forma plana (meseta) com declividade inferior a 15% (Figura 2). Nos topos mais extensos, é comum a presença de depressões úmidas que dão origem a nascentes. O solo é pouco profundo, em média inferior a 0,50 m, além disso, possui fragmento de rocha no horizonte (15 a 50% do volume). Observou-se, ainda, nessa unidade a presença freqüente (3 a 30 m) de matacões (>30 cm). No entanto, nos setores de borda do topo em que marca a transição para o setor de vertente retilíneo, a pedregosidade se torna mais freqüente (1 a 3 m) devido a maior dissecação.

Não foi identificado processo erosivo nessa unidade (laminar ou sulco). A permeabilidade (inferência) é rápida ao longo do perfil, no entanto a presença de fragmentos de rocha no horizonte do solo, bem como a pouca profundidade aliado ao contato litóide/lítico resulta em baixa capacidade de armazenamento de água. O material possui textura argilosa (>50%) e a presença da fração areia é acima de 20% (Figura 2). No quadro 1 verifica-se um resumo das características dos perfis de cada unidade.

Setor Retilíneo (S2)

Esse setor apresenta comprimento aproximado de 110 m e declive constante em torno de 40%. Na parte superior (vertente acima), faz limite com o setor de topo e na inferior (vertente abaixo), faz transição com o setor de patamar (Figura 2). O solo, nessa unidade, é extremamente raso (<0,25 m) com um horizonte superficial orgânico seguido de material intemperizado em meio a fragmentos de rocha assentado predominante por contato lítico.

A superfície do solo é recoberta por fragmentos grosseiros de rocha (2,0 a 200 mm) em quantidade aproximada de 50%. Além disso, há abundância de matacões (>30 cm) somado a afloramentos rochosos. A permeabilidade do topo do solo é rápida (inferência), contudo a pouca profundidade resulta em saturação dessa camada, especialmente, em eventos chuvosos prolongados. Constatou-se processo erosivo laminar (escoamento difuso/concentrado) significativo com exposição de raízes e formação de micro-cone de dejeção (muito freqüente).

Apesar da textura argilosa, as características, anteriormente arroladas resultam em baixa capacidade de retenção de água. No quadro 1 verifica-se o resumo das características de um perfil nessa unidade.

Setor de Patamar (S3)

Este setor é marcado por transição de compartimento retilíneo tanto na parte superior quanto na parte inferior. Entretanto, a transição, na parte superior, ocorre de modo gradativo, enquanto na parte inferior a transição ocorre de modo abrupto (Figura 2). O patamar possui comprimento aproximado de 80 m, e é ligeiramente convexo (fluxo divergente) nas laterais, devido à dissecação provocada por escoamento superficial em canal intermitente (à direita) e efêmero (à esquerda).

Observou-se, sobre a superfície do solo, a presença de fragmentos rochosos e matacões, bem como no horizonte do solo, porém, em proporção inferior aos setores retilíneos e convexo (S5). No entanto, na transição superior, há presença maior desses materiais, devido, ao transporte (movimento gravitacional) proveniente do setor retilíneo, principalmente fragmentos rochosos (2,0 a 200 mm) e matacões. Por outro lado, na transição inferior, ocorre a presença de matacões, blocos (esparços) e afloramento rochoso.

A declividade predominante é em torno de 15%. O solo dessa unidade é moderadamente profundo (<1,0 m), possui permeabilidade rápida (inferência) nas camadas iniciais 0 a 40 cm devido à estrutura do horizonte (raízes, fissuras, fragmentos grosseiros etc.). A partir dessa profundidade, a permeabilidade é moderada (>40 cm), pois a estrutura passa a ser maciça (micro-granular) e não ocorre presença de elementos como citado nas camadas anteriores. A capacidade de armazenamento de água é moderada, devido à estrutura do perfil e da pouca profundidade do solo. Não se verificou processo erosivo (laminar e sulco).

Quadro 1 – Descrição sumária dos perfis de solos

SETOR DE VERTENTE	
Profundidade	S1 (Setor de Topo)
0 – 10 cm	Horizonte orgânico escuro com muitas raízes. Abundante em fissuras e canais (Poroso). Material seco e horizonte solto. (5YR 3/2)
10 – 40 cm	Horizonte avermelhado, consistente, plástico, com presença de grânulos. (5YR 3/3)
40 – 70 cm	Horizonte avermelhado, com presença abundante de fragmentos de rocha, deixando essa camada mais solta (menos consistente) que a anterior. A coloração e a granulometria se mantêm semelhantes em ambas as camadas, diferenciando-se apenas nas dimensões e quantidade de fragmentos no interior do horizonte. Esse comportamento se repete por toda a unidade em profundidades variadas (contato litóide e lítico). (5YR 3/4)
Profundidade	S2 (Setor Retilíneo)
0 – 5 cm	Horizonte orgânico escuro, presença de uma fina e irregular camada de serrapilheira. Abundância de raízes envolvendo grânulos e fragmentos. A superfície dessa unidade é recoberta por grânulos, seixos e calhaus. Encontra-se extenso afloramento de rocha. (5YR 3/1)
5 – 20 cm	Frente de intemperismo interdigitado entre blocos de rocha. Contudo, ocorre pouco material intemperizado (cor avermelhada). Esse comportamento se repete por toda a unidade em profundidades variadas. Porém não excede os 40 cm de profundidade o contato predominante é lítico. (5YR 2.5/2)
Profundidade	S3 (Setor de Patamar)
0 – 10 cm	Horizonte orgânico escuro com presença abundante de raízes. Abundante em fissuras e canais (Poroso). Solo recoberto predominantemente por grânulos e seixos, mas em quantidade inferior as unidades (S2, S4 e S5). Serrapilheira esparsa. (5YR 3/3)
10 – 20 cm	Horizonte escuro com fragmentos angulosos de diversas frações. Abundante em fissuras e canais (Poroso). (5YR 3/3)
20 – 40 cm	Horizonte avermelhado com presença abundante de grânulos e cascalho no perfil do solo. (7.5YR 3/4)
40 – 70 cm	Horizonte avermelhado, bem drenado, com material intemperizado (B latossólico), estrutura micro-granular, material úmido muito plástico. (5YR 4/6)
> 70 cm	Contato litóide de com frente de intemperismo interdigitado entre as fissuras das rochas.
Profundidade	S4 (Setor Retilíneo)
0 – 20 cm	Horizonte orgânico escuro com presença abundante de raízes. A superfície do solo é recoberta com grânulos, cascalho, matacões e blocos. Serrapilheira esparsa. (5YR 3/2)
20 – 40 cm	Horizonte avermelhado com presença de cascalho no meio de material intemperizado. (5YR 4/4)
40 – 70 cm	Horizonte avermelhado sem presença de cascalho no horizonte. Frente de intemperismo irregular (interdigitado) entre as fissuras das rochas. Esse comportamento se repete por toda a unidade em profundidades variadas. Contudo, não excede os 70 cm, com contato litóide e lítico. Material úmido muito plástico. (5YR 4/6)
Profundidade	S5 (Setor Convexo)
0 – 15 cm	Horizonte orgânico (escuro) abundante em raízes. No interior desse horizonte, a malha de raízes retém em seu interior cascalho de diversas formas e tamanho. A superfície do solo nessa unidade é recoberta por grânulos, seixos, calhaus, matacões/blocos e afloramento de rocha. (5YR 3/3)
15 – 30 cm	Horizonte avermelhado com presença de cascalho no horizonte. Frente de intemperismo irregular (interdigitado) entre as fissuras das rochas. Material úmido muito plástico. (7.5YR 4/4)
30 – 60 cm	Horizonte avermelhado sem presença de cascalho no horizonte. Frente de intemperismo irregular (interdigitado) entre as fissuras das rochas. Material úmido muito plástico. Esse comportamento se repete por toda a unidade com profundidade variando entre 20 a 30 cm e 50 a 60 cm, com contato litóide e lítico. (7.5YR 4/6)
Profundidade	S6 (Setor Convexo)
0 – 15 cm	Horizonte mais escurecido com presença abundante de raízes. Horizonte mecanizado (“Ap1”). Transição gradual para camada mais avermelhada. Abundante em fissuras e canais (Poroso). Restos culturais esparsos recobrimdo o solo. (10YR 4/3)
15 – 30 cm	Faixa de transição entre a camada anterior e uma camada mais homogênea com matiz avermelhada. Horizonte de mecanização (“Ap2”). Presença abundante de raízes com grande atividade biológica e translocação de materiais das camadas superiores (pedotúbulos). Abundante em fissuras e canais (Poroso). (7.5YR 4/4)
30 – 80 cm	Horizonte B latossólico, estrutura micro-granular bem desenvolvida, estrutura maciça. Matiz avermelhado bem drenado. Atividade biológica (pedotúbulos) e presença de raízes (presente), porém tende a diminuir com o aumento da profundidade. Material úmido muito plástico. (5YR 4/6)
70 – 80 cm	Presença de linha com grânulos e nódulos de forma irregular em pequena quantidade, porém freqüentes nas 4 paredes da trincheira. Material úmido muito plástico. (5YR 4/6)
> 80 cm	Presença de blocos arredondado de rocha sã com dimensão superior a > 30 cm. Acima dessa profundidade (100 cm) rocha em decomposição (Horizonte C).
Profundidade	S7 (Setor de Terraço Fluvial)
0 – 8 cm	Horizonte orgânico com presença de serrapilheira. Raízes em abundância. Abundante em fissuras e canais (Poroso). (7.5YR 3/2)
8 – 40 cm	Matiz avermelhada indicando mosqueamento fraco. Presença de poucos grânulos no horizonte do solo. Identificado a existência de carvão no perfil do solo. Presença de fissuras e canais (Poroso). (7.5YR 4/2)
> 40 cm	Cor mais acinzentada, indicando presença do lençol freático (mosqueamento forte). A transição do limite anterior é gradual. Existência de nódulos concrecionários no horizonte. Afloramento de água subsuperficial. (Gley 1 5/10Y)

Outro aspecto observado (inferência) nessa unidade é a associação de solo transportado de montante com horizonte truncado (solo e fragmento rochoso) aliado a camadas pedogeneizadas *in situ*, principalmente, na profundidade acima de 40-70 cm. A textura é argilosa ao longo do perfil, sendo a granulometria semelhante entre 0 a 40 cm. Ao contrário, verifica-se menor quantidade de fração areia, proveniente de material grosseiro a partir dos 40 cm, e, por consequência, o aumento da fração argila atinge 58% (Figura 2). No quadro 1 é apresentado o resumo das características de um perfil nessa unidade.

Setor Retilíneo (S4)

Esse setor tem transição abrupta tanto no setor superior (patamar) como no setor inferior (setor convexo). Ele é curto com aproximadamente 50 m, sendo que a declividade média é de 60%. O solo nessa unidade é raso (<50 cm) com um horizonte superficial orgânico seguido de material intemperizado, em meio a fragmentos de rocha de diferentes frações (15 a 50% do volume). A transição do material intemperizado é predominante por contato litóide e subsidiariamente lítico.

A textura é argilosa, apesar de que na profundidade entre 0 e 40 cm a fração argila responde por 33% e a fração areia representa mais de 40%, resultado da presença da frente de intemperismo. Contudo, na medida em que a frente de intemperismo é mais profunda (40-70 cm), rompendo a camada com material grosseiro a fração argila sobe para 63% e a fração areia cai para 17% (Figura 2).

A permeabilidade (inferência) é rápida, ao longo do perfil, no entanto a presença de fragmentos de rocha nos horizontes do solo (e 50% do volume do solo), bem como a pouca profundidade, aliada ao contato litóide/lítico, resulta em baixa capacidade de armazenamento de água. Constatou-se processo erosivo laminar (escoamento difuso/concentrado) significativo com exposição de raízes e formação de micro-cone de dejeção (muito freqüente).

A superfície do solo é recoberta por fragmentos grosseiros de rocha (2,0 a 200 mm) em torno de 50%. Além disso, há abundância de matacões (>30 cm) com presença freqüente variando de 1 a 3 m de distância. Há, também, blocos maiores 1,0 m de diâmetro, esparsos com freqüência de 1 a 20 m de distância. No quadro 1 verifica-se um resumo das características de um perfil nessa unidade.

Setor Convexo (S5)

Esse setor é o mais longo da vertente em torno de 320 m. No entanto, a unidade é formada por dois setores convexos, um mais dissecado com declividade em torno de 20% (solo mais raso) e outro com declividade inferior a 15% menos dissecado e com solos mais profundos (Figura 2). Dessa forma, o setor mais dissecado segue formando uma faixa que vai desde o limite com o setor retilíneo até o setor de terraço fluvial (lado direito da vertente), enquanto que do lado oposto (esquerdo), o setor é ligeiramente côncavo (deprimido).

Na parte superior, esse setor faz limite de forma abrupta com o setor retilíneo. Nessa transição (côncava), ocorre uma faixa em torno de 30 m de solo mais profundo (<1,0 m), principalmente, devido ao transporte de montante. Posteriormente, no setor mais dissecado, a profundidade do solo é rasa em torno de 50 cm. Além disso, a superfície é extremamente recoberta por material grosseiro (2 a 200 mm), como: matacões e blocos em que ocorre significativo afloramento rochoso.

O material possui textura argilosa e a presença da fração areia se deve ao material da frente de intemperismo (Figura 2). A permeabilidade é rápida no topo do solo (0 – 15 cm) e moderada nas demais profundidades (inferência) devido à estrutura dos horizontes. Apesar disso, o solo tem baixa capacidade de armazenamento de água devido a abundância de fragmentos de rocha nos horizontes, ocupando aproximadamente 50% do volume do solo.

Durante boa parte do monitoramento, essa área esteve recoberta por capoeira com mais de 8 anos em regeneração, assim, não se verificou processo erosivo. Contudo, na primavera de 2003, a área foi incorporada ao sistema produtivo (rodízio de terras) com cultivo de milho. Após esse procedimento, constatou-se processo erosivo laminar (escoamento difuso/concentrado) significativo, com exposição de raízes e formação de micro-cone de dejeção (muito freqüente). No quadro 1 verifica-se um resumo das características de um perfil nessa unidade.

Setor Convexo (S6)

Nesse setor, a declividade é inferior a 15% e o solo varia de profundo (1,0 a 1,5 m) a moderadamente profundo (0,50 a 1,0 m), não foi identificado o tipo de contato solo/rocha. A permeabilidade é rápida, entre 0 a 30 cm, e moderada a partir dessa profundidade (inferência). A capacidade de armazenamento de água é boa.

A textura é muito argilosa em torno de 70% (entre 0 a 80 cm). Contudo, a partir dos 80 cm, a textura é argilosa (53%) aumentando significativamente a fração silte (29%) e areia (18%) devido ao contato com a frente de alteração. Nessa unidade a presença de matações é rara, eles aparecem na transição superior ao setor convexo (S5) e em setores de transição abrupta para o terraço fluvial. Esse foi o perfil em que ficou mais bem caracterizada a diferenciação de horizontes.

Esta unidade é a única mecanizada, haja vista, as condições geomorfopedológicas ora comentadas. Em condições naturais, não se verificou processo erosivo, entretanto, nas áreas mecanizadas, constatou-se existência de erosão em sulco/laminar ocasional induzido pelo uso da terra (mecanização). No quadro 1 verifica-se um resumo das características de um perfil nessa unidade.

Setor de terraço fluvial (S7)

Esta unidade segue formando uma faixa (H^o 130 m) contornando o final da vertente e margeando um canal fluvial de 2ª ordem. A declividade predominante nessa área é inferior a 6% (Figura 2). A textura é argilosa e a permeabilidade no topo (0 – 20 cm) do solo, é moderada e, a partir dessa profundidade, ocorre variação no nível da água subsuperficial dificultando a transmissão de água no perfil.

O limite dessa unidade, em relação ao setor convexo é bem definido no lado direito da vertente. Do outro lado (esquerdo), devido a uma forma mais deprimida a frente de hidromorfia segue para o interior do setor convexo. Esse setor é importante na geração de fluxo saturado. No interior dos horizontes do solo, nessa unidade identificou-se a existência de concreções ferruginosas em forma de faixa seguindo o limite da zona de mosqueamento (oscilação do lençol). Além disso, observou-se a existência de carvão no horizonte do solo resultante de deposição de material proveniente de montante. No quadro 1 verifica-se um resumo das características de um perfil nessa unidade.

Unidades Geomorfopedológicas: características físico-químicas

Densidade aparente, porosidade total e resistência

A fim de melhor caracterizar as descrições macromorfológicas acerca da relação relevo-solo em cada setor, apresentam-se nesta seção os aspectos gerais a respeito dos materiais, notadamente, densidade global, porosidade total, capacidade de suporte e fertilidade.

Os materiais tenderam a ter menor densidade no topo do solo e aumentaram significativamente (estatisticamente) com a profundidade. Esse comportamento deu-se de modo inverso ao da porosidade que foi maior no topo do solo e decresceu com a profundidade. Esta análise se refere à variação dentro da trincheira (Tabela 1).

Apesar da significância estatística, não se verificou grande diferenciação dos materiais ao longo da vertente. Haja vista, que na profundidade entre 20 a 30 cm, os materiais de todas as trincheiras foram semelhantes (Tabela 1). No geral, o setor de patamar registrou maior densidade e menor porosidade entre o conjunto avaliado, notadamente, no topo do solo (0 a 10) e no horizonte mais profundo (40 a 50 cm). Uma das possibilidades para essa característica é que nesse setor identificou-se a presença de material transportado do setor de vertente retilínea, causando soterramento de horizonte (adensamento).

Tabela 1 – Densidade global g/cm³, de acordo com o setor de vertente e a profundidade.

Setor de vertente	Uso da terra	Profundidade (cm)		
		0 – 10	20 – 30	40 – 50
Topo (1)	Capoeira	¹ 0,84±0,10 ² aA ³	1,14±0,10bA	1,06±0,09bA
Retilíneo (2)	Capoeira	*	*	*
Patamar (3)	Capoeira	1,11±0,09aB	1,16±0,08aA	1,20±0,08aB
Retilíneo (4)	Capoeira	*	*	*
Convexo (5)	Capoeira/milho	1,09±0,05aB	1,19±0,11aA	1,08±0,08aA
Convexo (6)	Mecanizada/pouso	0,94±0,05aAB	1,11±0,03bA	1,17±0,09bAB
Terraço fluvial (7)	Capoeira	1,01±0,08aB	1,15±0,06bA	1,12±0,08bAB

Nota¹Média de 9 amostras; ²Desvio Padrão; ³Linha e coluna seguida de mesma letra não diferem significativamente pelo *Teste de Tukey* ao nível de 5%. Letra minúscula compara diferença, de acordo com a profundidade dentro da trincheira. Letra maiúscula compara diferenças entre as trincheiras.

(*) Nesse setor, a presença de pedregosidade/rochosidade não permitiu a coleta de amostras. Número entre parênteses indica a posição do setor de acordo com a figura 2.

Dados coletados e trabalhados por THOMAZ, E. L. (2004).

Algumas características físicas dos solos da região de Guarapuava em condições naturais foram levantadas pela Embrapa (1979) e são parâmetros para comparação em relação às mensurações realizadas neste ensaio. Em Latossolo Bruno (A proeminente textura argilosa) a densidade aparente do horizonte A teve média de 0,74 g/cm³ e a porosidade total foi de 73%. No horizonte A em Cambissolo a densidade foi menor 0,61 g/cm³ e porosidade total de 74%. Comparando-se (tabela 1 e 2) apenas a profundidade entre 0 – 10 cm os parâmetros, densidade e porosidade, foram superiores e inferiores respectivamente em comparação com os dados da Embrapa (1979). Tal fato pode indicar remoção do topo do solo ocasionado por processos erosivos.

Tabela 2 – Porosidade total (%), de acordo com o setor de vertente e a profundidade.

Setor de vertente	Uso da terra	Profundidade (cm)		
		0 – 10	20 – 30	40 – 50
Topo (1)	Capoeira	¹ 68,2±3,9 ² aA ³	56,8±2,3bA	60,1±3,3bA
Retilíneo (2)	Capoeira	*	*	*
Patamar (3)	Capoeira	57,9±3,4aB	56,1±2,8aA	54,7±3,2aB
Retilíneo (4)	Capoeira	*	*	*
Convexo (5)	Capoeira/milho	59,0±1,9aB	55,2±4,3aA	55,8±3,5aA
Convexo (6)	Mecanizada/pouso	64,7±1,9aAB	58,3±1,3bA	59,2±2,9bAB
Terraço fluvial (7)	Capoeira	61,8±3,0aB	56,7±2,3bA	57,8±3,2bAB

Nota¹Média de 9 amostras; ²Desvio Padrão; ³Linha e coluna seguida de mesma letra não diferem significativamente pelo *Teste de Tukey* ao nível de 5%. Letra minúscula compara diferença de acordo com a profundidade dentro da trincheira. Letra maiúscula compara diferença entre as trincheiras.

(*) Nesse setor, a presença de pedregosidade/rochosidade não permitiu a coleta de amostras.

Número entre parênteses indica a posição do setor de acordo com a figura 2.

Dados coletados e trabalhados por THOMAZ, E. L. (2004).

A capacidade de suporte de materiais, ao longo da vertente apresentou maior variabilidade do que os parâmetros anteriores (densidade e porosidade) (Tabela 3). Em geral, a resistência dos materiais tendeu a aumentar com a profundidade. Por outro lado, a variação da resistência entre as trincheiras tendeu a ser maior entre 0 a 30 cm, com a formação de três grupos estatísticos distintos (A, B e C), enquanto que na profundidade entre 40 a 50 cm praticamente todos os materiais apresentaram respostas (resistência) semelhantes.

Esse comportamento deveu-se, em grande parte, mais a estrutura dos horizontes (pedregosidade em diferentes graus) do que pelas características dos materiais alterados, pois à medida que o material se torna mais intemperizado (“homogêneo”) e sem presença de pedregosidade, a resistência tende a se equivaler, principalmente, a partir da profundidade acima dos 40 cm.

De maneira semelhante que na análise anterior o patamar, apresentou significativa resistência nas profundidades entre 20 a 30 (2,07 kgf/cm²) e 40 e 50 cm (2,02 kgf/cm²). O setor de terraço fluvial destacou-se por apresentar certa homogeneidade de resistência ao longo do perfil, além disso, dentro do conjunto de trincheiras registrou a maior média (soma das três profundidades) seguido pelo patamar. Ressalta-se que ambas as áreas sofrem processo de deposição de material (agração).

Tabela 3 – Capacidade de suporte (kgf/cm²), de acordo com o setor de vertente e a profundidade.

Setor de vertente	Uso da terra	Profundidade (cm)		
		0 – 10	20 - 30	40 - 50
Topo (1)	Capoeira	¹ 0,96±0,29 ² aAB ³	1,81±0,47bBC	1,61±0,31bA
Retilíneo (2)	Capoeira	*	*	*
Patamar (3)	Capoeira	1,09±0,38aAB	2,07±0,54bC	2,02±0,66bB
Retilíneo (4)	Capoeira	0,83±0,33aA	1,27±0,35bA	1,72±0,68cAB
Convexo (5)	Capoeira/milho	1,19±0,38aB	1,66±0,31bB	1,91±0,36cAB
Convexo (6)	Mecanizada/pousio	1,10±0,51aAB	2,05±0,58bC	1,81±0,41bAB
Terraço fluvial (7)	Capoeira	1,58±0,55aC	1,78±0,39aBC	1,90±0,32aAB

Nota¹Média de 31 amostras; ²Desvio Padrão; ³Linha e coluna seguida de mesma letra não diferem significativamente pelo *Teste de Tukey* ao nível de 5%. Letra minúscula compara diferença dentro da trincheira, letra maiúscula compara diferença entre as trincheiras.

(*) Nesse setor, a presença de pedregosidade/rochosidade não permitiu a coleta de amostras. Número entre parênteses indica a posição do setor de acordo com a figura 2.

Dados coletados e trabalhados por THOMAZ, E. L. (2004).

Dinâmica da umidade nas unidades geomorfopedológicas

O conjunto de tensiômetros foi distribuído seguindo a compartimentação das unidades geomorfopedológicas descritas nas seções anteriores. O monitoramento de umidade na vertente permitiu algumas considerações sobre o comportamento da umidade do solo entre setembro de 2002 a março de 2003. Apesar das várias leituras registradas nesse período optou-se por apresentar de modo qualitativo duas situações distintas, todavia freqüentes ao longo do monitoramento: a) água disponível em todos os setores de vertente quando a chuva foi freqüente (menos espaçada) (Figura 3.a); b) déficit hídrico em período em que a chuva foi mais espaçada (Figura 3.b).

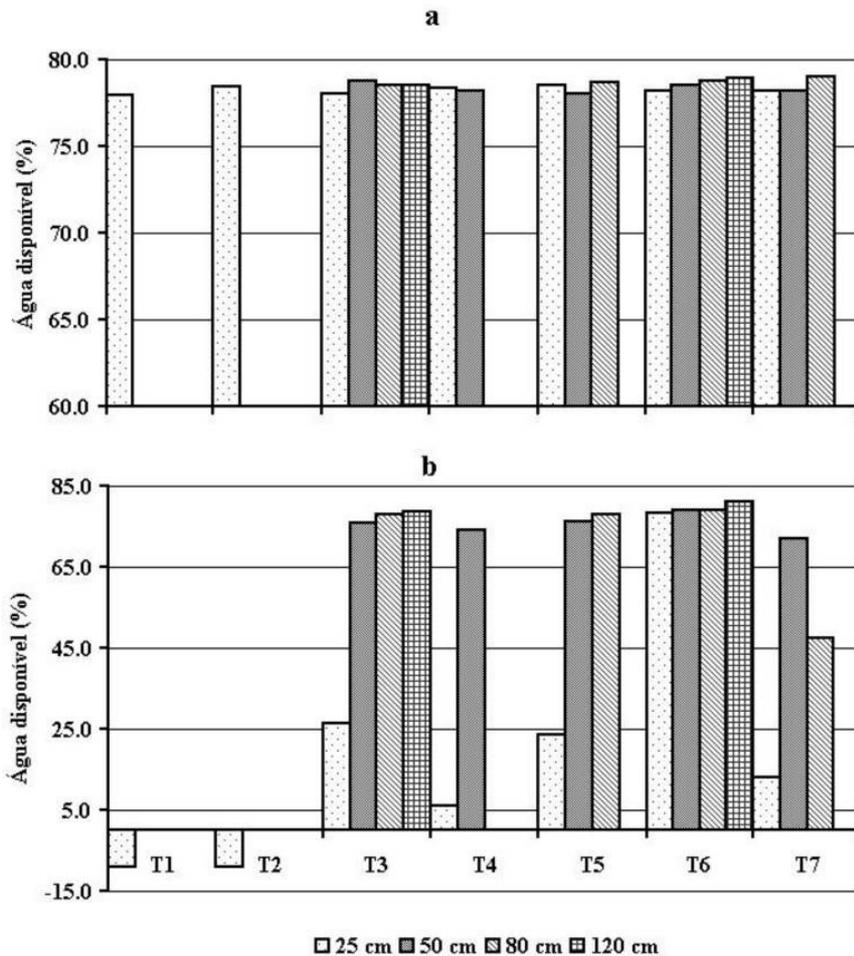
A maior parte das leituras (mais de 80% das leituras) a água disponível permaneceu entre 73% (<0,6 Bar, leitura direta no aparelho 89,0) a 78% (<0,3 Bar, leitura direta no aparelho 96,0). Nessa condição, o solo está em sua capacidade de campo, isto é, em termos agrônômicos, é a amplitude de desenvolvimento da maioria das plantas (informações de acordo com o fabricante).

Na figura 3.a é apresentada a situação em 14/09/2002 registrada após uma chuva de 59,0 mm. Verificou-se equivalência na umidade em todas as profundidades e setores de vertente, sendo que a média de umidade em todas as profundidades e setores de vertente foi de 78,4% de água disponível. Tal condição é semelhante ao comentado acima, isto é, freqüente em mais de 80% das leituras registradas no período.

A figura 3.b indicou a condição em 22/01/2003 em que durante 23 dias ocorreu 32,5 mm de chuva, sendo que em todo o mês de janeiro foi registrado apenas 89,5 mm (veranico). A média histórica de precipitação no mês de janeiro é de 204,1±91,9 (THOMAZ e VESTENA, 2003), portanto, a precipitação em janeiro de 2003 foi 56% menor do que a média histórica. Nessa condição, constatou-se que os horizontes superficiais (aproximadamente 25 cm) dos segmentos de topo (T1) e vertente retilínea (T2) apresentaram pressões negativas (déficit hídrico). O outro setor de vertente retilínea (T4) e o terraço fluvial apresentaram baixa disponibilidade de água 6,2 e 13,2% respectivamente. O segmento de patamar (T3) e vertente convexa (T5) registraram valores em torno de 25% de água disponível. Por fim, o setor de vertente convexa (T6) não registrou redução de umidade significativa em nenhuma das profundidades.

O terraço fluvial (T7) apresentou resposta diferente nas três profundidades: 1) perda de umidade superficial (25 cm); 2) retenção de umidade (72,1%) na profundidade intermediária 50 cm; 3) ligeira

redução de umidade (47,4%) na profundidade de 80 cm. Infere-se que esse comportamento foi por conta do movimento do lençol freático assim, à medida que o topo perde umidade nas maiores profundidades (80 cm), a frente de umidade é rebaixada pelo recuo do lençol freático, formando uma faixa de transição no meio do perfil. Nos períodos de veranicos ou de distribuição espaçadas das chuvas, verificou-se redução significativa no fluxo de nascentes (olho d'água) e canais de primeira e segunda ordem na área de contribuição da vertente.



Fonte: Thomaz, 2007, p.53.

Figura 3 – Umidade do solo nas unidades geomorfopedológicas: a) situação de umidade; b) situação de déficit hídrico.

Em linhas gerais, observou-se que no período monitorado:

1) quando a distribuição da precipitação foi mais freqüente, não ocorreu déficit hídrico em nenhum setor de vertente, pois houve tendência de homogeneização da distribuição de umidade na vertente tanto, vertical como horizontal.

2) quando ocorreram precipitações mais espaçadas ou com baixo volume de chuva alguns setores da vertente tenderam a registrar redução de umidade primeiro do que outros (ex. segmentos de vertente retilínea T2 e T4, topo T1, vertente convexa T5 e terraço fluvial T7). Esse comportamento é devido aos solos serem rasos e apresentarem pedregosidade no interior do horizonte, que aumenta a drenagem e reduz a capacidade de armazenamento de água, à exceção do terraço fluvial.

3) O patamar (T3) apresentou redução superficial de umidade, porém, o espessamento do solo e a menor pedregosidade nas profundidades acima dos 30 cm fizeram com que ele armazenasse mais água.

4) Essa dinâmica foi semelhante no setor de vertente convexa (T6) com Cambissolo, moderadamente profundo com baixa pedregosidade, porém essa unidade foi apresentada maior capacidade de retenção de umidade seguida pelo patamar.

5) o terraço fluvial (T7) apresentou redução de umidade ao longo do perfil (rebaixamento) mais rapidamente do que outros setores, a montante (ex. vertente convexa T6). Essas análises confirmaram a tendência de variabilidade vertical e horizontal da umidade ao longo da vertente.

Aspectos químicos das unidades geomorfopedológicas

A análise química (Tabela 4) indicou variabilidade de fertilidade, de acordo com o setor de vertente (Figura 2). Grosso modo, o teor de matéria orgânica foi alto em todos os setores, notadamente, nos setores retilíneos, topo e patamar. O pH do solo tendeu a ser ácido em toda a vertente, contudo, foi mais ácido no setor convexo (S6) e patamar (S3). A saturação por base (V) foi alta nos dois setores retilíneos (S2 e S4), porém, foi baixo no setor convexo (S6) seguido pelo patamar.

As condições químicas foram melhores nos setores onde os solos eram rasos e apresentavam afloramento da rocha matriz, em meio à frente de intemperismo. Em contrapartida, as condições químicas foram inferiores nos setores onde o solo era mais profundo e com menor pedregosidade. Os solos mais profundos sofrem processos de mobilização de elementos químicos ao longo do perfil, pois o fluxo hidrológico vertical/lateral é mais intenso, ao contrário dos solos rasos em que os elementos químicos não são removidos tão intensamente. Assim, ocorre dessaturação do horizonte (remoção de bases) e, por conseguinte, há enriquecimento relativo de alumínio, induzindo um caráter álico ao longo do perfil.

Tabela 4 – Composição química, de acordo com o setor de vertente na profundidade de 0 a 30 cm.

Setor de vertente	mg/dm ³		cmol _d /dm ³ de solo									%	
	P ¹	C	pH ²	Al	H + Al	Ca ³	Mg ³	K ¹	S ⁴	T ⁵	V ⁶	Al ⁷	
Topo (S1)	3,30	53,29	4,80	0,18	11,08	7,37	2,30	0,35	10,02	21,10	47,48	1,76	
Retilíneo (S2)	5,10	71,75	5,90	0,00	4,58	12,50	3,53	0,61	16,64	21,22	78,41	0,00	
Patamar (S3)	1,10	50,54	4,50	0,83	13,22	6,20	2,42	0,33	8,95	22,17	40,36	8,48	
Retilíneo (S4)	1,30	41,18	5,70	0,00	4,60	10,65	2,59	0,71	13,95	18,55	75,20	0,00	
Convexo (S5)	1,90	37,28	4,80	0,27	8,35	7,42	2,55	0,44	10,41	18,76	55,49	2,52	
Convexo (S6)	0,90	39,85	4,10	4,13	15,16	1,55	1,27	0,18	3,00	18,16	16,51	57,92	
Terraço fluvial (S7)	1,30	41,96	4,90	0,07	8,35	8,02	3,53	0,33	11,88	20,23	58,72	0,58	

Nota: ¹Mehlich; ²Ca Cl₂ 0,001 M; ³KCl M; ⁴Soma de bases; ⁵Capacidade de troca de cátions (CTC); ⁶Saturação por bases; ⁷Saturação por Alumínio. S = sondagem/amostragem de acordo com a Figura 2.

Fonte: Instituto Agrônomo do Paraná (2004).

Org. THOMAZ, E. L. (2004).

À medida que os processos pedogeoquímicos estão mais avançados, a alteração dos minerais é praticamente total (ex. Latossolos), enquanto que nos materiais menos desenvolvidos, como Cambissolos pouco profundos pode-se dizer que tal processo é parcial (pouca evolução), já nos Neossolos (litólicos) esse processo é praticamente inexistente. Melfi e Pedro (1977 e 1978), afirmam que em relação à evolução dos Latossolos, os processos pedogeoquímico se encontram em estágio avançado, com alteração

praticamente total dos minerais, enquanto que no Cambissolo a alteração é incompleta e no Litossolo (Neossolo), a alteração é inexistente ou insignificante.

Outro fato é a ocorrência de dessaturação no perfil devido à substituição de bases (Ca, K, Mg, Na) do meio por troca iônica com o H^+ e Al^{+++} . Polynov (1937), citado por Selby (1993) destaca que alguns íons são mais facilmente removíveis das rochas ou regolito do que outros, em especial, na seguinte ordem: $Ca > Na > Mg > K > Si > Al > Fe$. Assim, devido à mobilidade (solubilidade) dos íons, ocorre gradativamente o enriquecimento relativo por meio da acumulação do Al e Fe no perfil, isto é, as bases vão sendo removidas do meio ficando os íons menos móveis.

O processo de dessaturação é muito importante na evolução da alteração da cobertura superficial no território brasileiro. Haja vista, que mais de 80% dos solos brasileiros são fortemente dessaturados e apresentam o alumínio no complexo de troca (Saturação por bases $V = < 35\%$). Além disso, nas áreas frias e de maior altitude, onde se desenvolvem as florestas de araucária, o meio é fortemente aluminizado (área de estudo) (MELFI e PEDRO, 1977e 1978).

Conjecturas em Relação aos Processos Geomorfológicos Atuantes na Vertente

Na seção anterior, verificou-se a variabilidade nas características físico-químicas dos materiais tanto em profundidade (vertical) como ao longo da vertente (horizontal/espacial). Dessa forma, infere-se que há uma resposta hidrogeomorfológica espacialmente variável, influenciando, no limiar e no predomínio de processo de acordo com o setor de vertente.

A vertente mensurada possui comprimento aproximado de 1000 m com desnível médio de “0,17 m/m (10°). A vertente está inserida numa sub-bacia com as seguintes características: área 2,53 km²; extensão da rede de drenagem é de 7,27 km, amplitude altimétrica 210 m, densidade de drenagem 2,87, relação de relevo 0,107 (10,7%). Em relação a declividade, 75,6% dos terrenos da sub-bacia estão em declividades $> 12\%$, sendo considerado no conjunto o predomínio de declividades média a média/alta.

Ao observar-se a figura 2 representando o perfil topográfico da vertente constatou-se, a existência de pelo menos 6 compartimentos (topo, setor retilíneo, patamar, setor retilíneo, setor convexo, terraço fluvial) com diferentes graus de transição de um setor para o outro. Contudo, predomina a transição abrupta, fazendo com que a vertente se pareça com uma escada com vários degraus (escalonamento). Entede-se que os domínios (setores) e transições (gradativa/abrupta), em cada setor, representa variação na distribuição de energia potencial e hidráulica ao longo do sistema vertente. Esse aspecto é fundamental para o arranjo da estrutura e funcionalidade do sistema, geomorfológico, hidrológico e pedológico.

Na sequência, apresentar-se-á um conjunto de esquemas, no sentido de caracterizar qualitativamente os processos hidrogeomorfológicos, em cada setor de vertente. Na figura 4.a observa-se o setor de topo. No centro, há uma depressão úmida (*Dale*) com convergência de fluxo superficial e subsuperficial, indicado pelas setas (pequenas). Nessa depressão úmida, ocorre também a divergência de fluxo, indicada pela seta unida (divisor “águas emendadas”), onde surgem duas nascentes uma seguindo para esquerda e outra para direita.

Esse setor possui desnível 0,15 m/m ($< 9^\circ$) nos setores mais deprimidos e na transição para o setor retilíneo. O setor de topo funciona, de certa forma, como um regulador hidrológico, entretanto, devido a pouca profundidade do solo, gera fluxo superficial em canais intermitentes e efêmero, que transfere o fluxo de maneira direta e rápida para o canal fluvial de 2º ordem. O topo, contribui, ainda de forma significativa com fluxo subsuperficial que segue vertente abaixo para o setor retilíneo.

A figura 4.b (setor retilíneo 2) indica local de afloramento rochoso distante em torno de 40 m do setor de topo. Nesse ponto, é gerado importante quantidade de fluxo hortoniano. Dessa forma, ocorre convergência de fluxo subsuperficial vindo da transição do topo e áreas adjacentes do próprio setor retilíneo, que possui solo raso com baixa capacidade de armazenamento de água. Por consequência, o fluxo subsuperficial se soma ao fluxo hortoniano, aumentando a entrada de água disponível vertente abaixo. Essa água escoar em velocidade, devido a pouca rugosidade do material e pela declividade, que nesse setor chega a 0,40 m/m (22°). Isso faz com que o escoamento superficial tenha maior volume e competência

no transporte de material.

Estima-se que, nas áreas com afloramento rochoso, o coeficiente de escoamento é alto. Acrescenta-se que essa característica é comum, nessa unidade, além do mais, a pedregosidade superficial (blocos, matacões, material grosseiro), já comentada, contribui para aumentar o coeficiente de escoamento nessa unidade e em outras que apresentam características semelhantes.

Devido à saturação e a maior entrada de água disponível para o escoamento nas bordas dos afloramentos rochosos (acima e abaixo) é possível a ocorrência de pequenos fluxos de terra, que contribuem, para o aumento da área exposta. A vegetação com características xerofíticas não oferece boa proteção ao solo. Além disso, verificou-se, nesses locais, o tombamento de espécies mais altas (palmeira e vassourinha), aumentando a exposição de rocha, pois essas plantas retêm mecanicamente em suas raízes grande quantidade de solo e material grosseiro.

Na sequência, a figura 4.c (setor retilíneo 4) representa a dinâmica do escoamento difuso/concentrado, um dos processos mais comuns no setor retilíneo. Verifica-se que o fluxo laminar entre a vegetação forma um pequeno cone de dejeção indicando o abandono da carga. As setas indicam o setido do fluxo vertente abaixo e a divergência de fluxos devido ao barramento feito por esse depósito. Constatou-se tal processo por todo o setor retilíneo (S2 e S4). Mesmo assim, não se observou a formação de ravinas em nenhum dos setores.

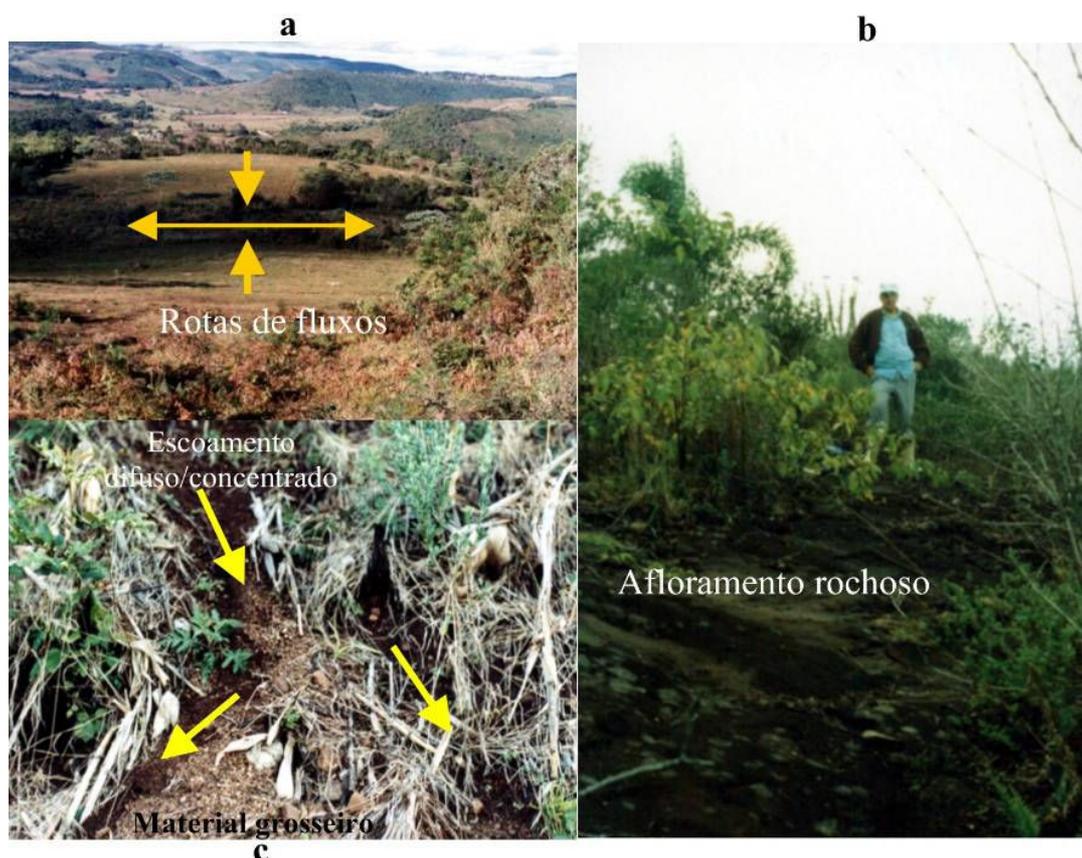


Figura 4 – Esquema de transferência de água e sedimento em vertente: a) depressão úmida sob setor de topo; b) afloramento rochoso em setor retilíneo (S2); c) dinâmica de escoamento superficial difuso e concentrado em setor retilíneo (S4). Foto. THOMAZ, E. L. (a e b) Março, 2004; c) julho, 2003).

Nos dois setores retilíneos o transporte de material ocorre de forma intermitente, seguindo a dinâmica do fluxo laminar. Por outro lado, nesses setores, o movimento gravitacional desempenha papel importante

no transporte, principalmente, de material grosseiro e matacões. O deslocamento é facilitado devido ao arredondamento dos materiais resultado da decomposição esferoidal típico em rochas ígneas (ex. Basalto). Assim, o setor retilíneo (S2) transfere água (superficial e subsuperficial) e material para o patamar (S3) que funciona como barreira “estocando” tais elementos, haja vista esse setor possuir desnível de 0,15 a 0,20 m/m (9° a 12°), bem inferior ao setor anterior. Por sua vez, o setor retilíneo (S4) que é o mais declivoso com desnível de 0,60 m/m (31°) transfere água (subsuperficial) e material para o setor convexo como será visto a seguir.

A figura 5.a a 5.c (lado esquerdo da vertente) representa resposta hidrogeomorfológica complexa, envolvendo vários tipos de fluxo como: escoamento superficial (canal aberto), subsuperficial (pipe), fluxo saturado e fluxo de retorno.



Figura 5 – Esquema de transferência de água e sedimento na vertente: a) escoamento em canal efêmero e deposição de material em sopé de vertente; b) saída de fluxo subsuperficial (pipe); c) zona de saturação/fluxo de retorno. Foto. THOMAZ, E. L. (a) novembro, 2001; b) julho, 2003; c) novembro, 2001, d) outubro, 2002).

Na figura 5.a, observa-se uma área queimada e semeada com milho (agricultura de toco). Ao centro, verifica-se um canal efêmero formando uma pequena bacia de drenagem que recebe contribuição de fluxo proveniente do topo, do patamar e do setor de vertente retilínea. Dessa forma, devido ao fluxo de montante e ao gradiente hidráulico ao longo do canal (degraus) resulta em forte competência para transporte de material. No final do canal (figura 5.a) ocorre o abandono de carga no setor convexo com desnível médio de 0,20 m/m (12°), entretanto, nesse local, a forma é ligeiramente côncava. A deposição do material forma um cone de dejeção convexizado pela divergência de fluxo e erosão do próprio material depositado.

O material depositado é mal selecionado, formado principalmente por material grosseiro misturado com frações mais finas. Essas características favorecem a formação de camadas, que se distribuem de maneira irregular no sentido horizontal e, em especial, no sentido vertical (anisotropia). Por fim, o fluxo superficial com a diminuição do gradiente faz com que a água se espalhe e escoe por cima do material depositado, voltando a se infiltrar gradativamente à jusante, sendo que nessa transição ocorre temporariamente saturação.

A água infiltrada é, em seguida, transferida por fluxo subsuperficial em forma de tunel por 60 m aproximadamente. A jusante com o aumento da água em subsuperfície, diminuição da permeabilidade do material e, principalmente, devido ao aumento da pressão hidrostática o fluxo subsuperficial rompe à superfície (Figura 5.b) e novamente a água volta a escoar sobre a superfície.

Nesse setor, com o fluxo superficial, somado ao aumento da frente de umidade do terraço fluvial que se expande vertente acima forma um zona saturada gerando fluxo saturado, fluxo de retorno, bem como ampliando a área de precipitação direta (Figura 5.c). Essa área é, periodicamente, saturada influenciando processo de hidromorfia resultando em gradiente entre o setor convexo e o terraço fluvial (0,06 m/m, <4°).

Em geral, a resposta hidrogeomorfológica, ora caracterizada, ocorre principalmente em chuvas com longa duração (chuvas frontais) que causa saturação em áreas do topo (áreas deprimidas) e do solo da vertente retilínea com baixa capacidade de armazenamento de água.

Em análise preliminar, o fluxo superficial deste setor não se enquadra totalmente como resposta hidrológica de canal efêmero, pois ele permanece com água em média por 5 dias ou mais, dependendo da umidade antecedente e das características da chuva (intensidade e duração). Portanto, o canal possui comportamento intermediário entre efêmero e intermitente.

No lado direito da vertente, a organização dos fluxos se assemelha aos anteriormente caracterizados. No entanto, a associação de fluxo subsuperficial (pipe) e fluxo em canal intermitente e perene é bem maior, isto é, o sistema de fluxo é misto, parte é feito em subsuperfície e parte em canal aberto (Figura 6.a e 6.). O canais intermitentes dissecam a vertente convexa transportando materiais finos, grânulos e seixos. Por outro lado, na área de dissecação dos canais (cabeceira) os seixos maiores, matacões e blocos vão ficando isolados devido a retirada dos materiais mais finos. Assim, é possível encontrar ao longo da vertente “cascalheira” por isolamento formada pela fração maior que permanece *in situ* e por depósito composto por material grosseiro transportado por fluxo concentrado.



Figura 6 – Circulação de água na vertente: a) fluxo subsuperficial (pipe) e fluxo superficial (aberto) em canal de intermitente; b) colapso de teto em fluxo subsuperficial (pipe). Foto. THOMAZ, E. L. (Novembro, 2003).

Nos setores onde ocorre o espessamento do solo, especialmente na transição entre o setor retilíneo (S4) e o setor convexo (S5), a transferência de água é feita via fluxo subsuperficial. A jusante, o decréscimo da profundidade e da permeabilidade do solo, somado ao aumento da pressão hidrostática torna o fluxo raso. Deste modo, o fluxo rompe à superfície e vai se tornando gradativamente fluxo em canal aberto efêmero ou intermitente (Figura 6.a e 6.b).

Considerações Finais

As características geomorfopedológicas e hidrológicas foram variáveis ao longo da vertente. Já que, a vertente analisada apresenta uma forma de “escada”, ou seja, os setores bem definidos (degraus) marcam os níveis litológicos (estrato) das rochas eruptivas básicas. Essa estruturação cria descontinuidade na energia potencial e hidráulica no sistema vertente, por extensão, influenciam o arranjo das formas, dos materiais e dos processos.

Portanto, as formas influenciam os processos e vice-versa, uma vez que é possível delimitar domínios onde ocorrem determinados processos. Por exemplo, o fluxo difuso foi verificado em todos os setores, porém é muito significativo nos setores retilíneos. Por outro lado, o fluxo subsuperficial que originam

piping só está presente em locais menos declivosos, sobretudo, no sopé de vertente (setores S5 e S6) onde ocorre o espessamento do solo. Igualmente, o fluxo saturado e de retorno predominam na transição do terraço fluvial e setores de vertentes ligeiramente côncavos.

A dinâmica de sedimento na vertente indica locais de fornecimento de materiais, notadamente os setores retilíneos, enquanto outros são locais de acumulação como: patamar, setores côncavo-convexos (sopé de vertente) e terraço fluvial. Por fim, a dinâmica da vertente deve ser considerada quando de sua ocupação para fins agropecuários, visto que cada setor apresenta aptidão distinta.

Referência Bibliográfica

- BIGARELLA, J. J., BECKER, R. D., SANTO, G. F. **Cárstico estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**: fundamentos geológicos-geográficos, alteração química e física das rochas, relevo e dômico. Florianópolis: EDUFSC, 1994.
- CURI, N., LARACH, J. O. I., KÄMPF, N., MONIZ, A. C., FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: SBCS, 1993.
- DOUGLAS, I. Tropical geomorphology: present problems and future prospects. In: EMBLETON, C., BRUNSDEN, D., JONES, D. K. C. **Geomorphology**: present problems and future prospects. Oxford: Oxford University Press, 1978.
- EMBRAPA. **Centro Nacional em Pesquisa em Floresta. Levantamento expedito e aptidão dos solos da microbacia do Rio Lajeado e caracterização climática do alto curso do rio Jordão**. Colombo-PR, 1999. (mimeografado)
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solos**. – 2 ed. Rio de Janeiro, 1997.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Equipe de pedologia e fertilidade do solo. **Levantamento de reconhecimento dos solos da região centro-oeste (sul) do estado do Paraná**. Rio de Janeiro, 1984.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de reconhecimento dos solos da região centro-sul do estado do Paraná**. Curitiba, 1979. (Informe preliminar)
- GERRARD, A. J. **Rocks and landforms**. London: Unwin Hyman, 1988.
- GERRARD, A. J. **Soil geomorphology**: present dilemmas and future challenges. *Geomorphology*, n. 7, p. 61-84, 1993.
- McCAIG, M. Soil properties and subsurface hydrology. in: RICHARDS, K.S., ARNETT, R. R., ELLIS, S. **Geomorphology and soils**. London: Allen & Unwin, 1985. p. 121-140.
- MELFI, J. A., PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1 – Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**. V. 7, p. 271 – 286, 1977.
- MELFI, J. A., PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 2 – Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. V. 8, p. 11 – 22, 1978.
- MENDES, W., CASTRO, A. F. **Limitações do uso dos solos do Estado do Paraná por suscetibilidade à erosão**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1984.
- SANEPAR. Unidade de Guarapuava. **Plano de gestão e manejo do manancial do Rio das Pedras, Guarapuava – PR**: Guarapuava: SANEPAR, 2002. 62p. (Relatório técnico).
- SELBY, M. J. **Hillslope materials and processes**. Oxford: Oxford University Press, 1993.
- THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics**: a study of weathering and denudation in low latitudes. England: John Wiley & Sons, 1994.
- THOMAZ, E. L. (a) Caracterização do meio físico da bacia do Rio Guabiroba: ensaio empírico-cartográfico como fundamento ao estudo de processos. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, 11. 2005, São Paulo. Relação de Trabalhos. São Paulo: Departamento de Geografia/FFLCH/USP, 2005. p.1616-1631. 1 CD-ROM.

THOMAZ, E. L. (b) **Processos hidrogeomorfológicos e o uso da terra em ambiente subtropical – Guarapuava – PR**. São Paulo, 2005, 297 f. Tese (Doutorado em Ciência, área Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

THOMAZ, E. L. Compartimentos geomorfológicos e produção de milho em agricultura de subsistência, Guarapuava-PR: avaliação exploratória. **Sociedade & Natureza**, 19 (1), 45-54, 2007.

THOMAZ, E. L., ROSS, J. L. S. Processos hidrogeomorfológicos em vertente com solos argilosos rasos em Guarapuava-PR, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 7 (2), 23-38, 2006.

THOMAZ, E. L., ROSS, J. L. S. Avaliação crítica em relação ao uso de penetrômetro de bolso na mensuração da capacidade de suporte de materiais In: **I Seminário de Pesquisa em Geografia Física: Perspectivas da Pesquisa em Geografia Física**. São Paulo: USP, 2003. v.1. p. 195 – 200.

THOMAZ, E. L., VESTENA, L. R. **Aspectos Climáticos de Guarapuava - PR**. Guarapuava: Editora UNICENTRO, 2003.

Trabalho enviado em outubro de 2008

Trabalho aceito em janeiro de 2009

