

Fatores responsáveis pela dinâmica dos movimentos de massa do solo em um sistema pedológico de Umuarama-PR

Important factors for the dynamism of the mass movements of soil un a pedologic system of Umuarama-PR

José Edézio da Cunha^{1(*)}
Maria Teresa de Nóbrega²
Selma Simões de Castro³

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido no município de Umuarama, noroeste do Estado do Paraná, no compartimento geomorfológico do rio Xambê, situado ao sudoeste do referido município. Apresenta vertentes curtas, cortadas por patamares, onde são comuns problemas de erosão, associados ao escoamento das águas pluviais, que promovem movimentos de massa do solo (deslizamentos, desmoronamentos), principalmente nas rupturas de declives. Em virtude dessa problemática, o estudo tem como objetivo identificar os fatores responsáveis pelos movimentos de massa de solo, existentes nesse compartimento geomorfológico, por meio dos resultados macro e micromorfológicos e físico-hídricos, obtidos ao longo de uma sucessão lateral de solos, representativa das vertentes e dos interflúvios da área, denominada de topossequência São José, constituída de dois conjuntos distintos de solos separados por uma ruptura de declive côncava, bem marcada. Esses dois sistemas pedológicos distribuídos, respectivamente à montante e à jusante da ruptura de declive, apresentam funcionamentos hídricos diferenciados e intimamente associados à declividade e forma da vertente, bem como à geometria e propriedades morfológicas dos horizontes dos solos dispostos vertical e lateralmente ao longo da topossequência, onde a referida ruptura também separa processos pedogenéticos distintos, justamente onde há a ocorrência de movimentos de massa de solo.

Palavras-chave: erosão; ruptura de declive; físico-hídrico.

-
- 1 Dr.; Geógrafo; Professor Associado do Centro de Ciências Humanas, Educação e Letras e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE, *Campus* Marechal Cândido Rondon; Endereço: Rua Pernambuco, 1777, Centro, CEP: 85.960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil; E-mail: edeziocunha@hotmail.com (*) Autor para correspondência
 - 2 Dra.; Geógrafa; Professora do Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá, UEM; Endereço: Avenida Colombo, 5790, Bloco J12, CEP: 87.020-900, Maringá, Paraná, Brasil; E-mail: mtnobrega@uol.com.br
 - 3 Dra.; Geógrafa; Professora do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiânia, *Campus* II, Samambaia; Integrante do Comitê de Avaliação em Ciências Ambientais; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; Endereço: Caixa Postal: 131, CEP: 74.001-970, Goiânia, Goiás, Brasil; E-mail: selma@iesa.br

Recebido para publicação em 30/12/2013 e aceito em 05/02/2015

Ambiência Guarapuava (PR) v.11 n.1 p. 197 - 214 Jan./Abr. 2015 ISSN 1808 - 0251
DOI:10.5935/ambiencia.2015.01.12

Abstract

This work was developed in the county of Umuarama, in the northwest of the state of Paraná, in the morphologic compartment of Xambré river. It presents short hill slopes, cut by baselines, where problems of erosion are common, associated with stormwater runoff, which generate soil mass movements (landslides), mainly on slope breaks. In view of the above, the study aims to identify the factors responsible for the soil mass movements, existing in the geomorphological compartment, through the macro and micromorphological results and the physical-hydrical results, obtained during a lateral sequential of soils, representative of the hill slopes and of the interflaves of the area, called São José toposequence, which is made up of two distinct sets of soils, divided by a distinctive concave slope break. These two distributed pedological systems, respectively upstream and downstream of the slope break, present different water resource management and are closely associated with the slope gradient and the slope shape as well as with the geometry and the morphological properties of soil horizons presented vertical and laterally along the toposequence, where the slope break also dissociates distinct pedogenetical processes, precisely where there is the occurrence of soil mass movements.

Key words: erosion; slope break; physical-hydrical results.

Introdução

Estudos voltados para a compreensão da organização e funcionamento dos sistemas pedológicos vêm sendo indicados como importantes para a análise da evolução pedomorfológica e dinâmica atual das vertentes.

Visando contribuir com essa discussão, Bigarella e Mazuchowski (1985) lembram que, além dos processos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) os movimentos de massa de solo (reptação, solifluxão e deslizamentos), por mobilizarem, em bloco, volumes consideráveis de material, podem ser considerados responsáveis pela dinâmica de vertentes.

De acordo com Cunha et al. (1999), a reptação é um movimento dificilmente perceptível na superfície, que pode ser denunciado pela vegetação, alinhamentos de cercas e muros e seu principal agente

causador é a gravidade. Já a solifluxão é um deslocamento que afeta uma massa de solo, com excedente de umidade (lama), deslocada de um embasamento mais estável. Para esses autores existem diferentes tipos de solifluxão: a laminar que desenvolve sobre o conjunto da vertente e toma a forma de uma lente de lama descendente, pouco espessa – variam de 0,50 a 2,00 metros; a subcutânea que cria bossas na superfície susceptíveis de se rasgarem, deixando escapar a lama fluente e a denominada de terracete, onde o movimento se decompõe em pequenos deslizamentos escalonados, expressos em “bancos” descontínuos de altura e largura decimétricos. A solifluxão pode, juntamente com o pisoteio do gado, formar sulcos iniciais, local em que o escoamento superficial se concentra, acelerando a erosão do tipo ravinamento.

Corroborando para essa discussão, Anderson e Burt (1990) destacam que

o escoamento superficial ocorre nos horizontes pedológicos considerados mais permeáveis (superficiais), reduzindo-se nos horizontes menos permeáveis (subsuperficiais) e no substrato rochoso. Esses autores apresentam três formas de escoamento subsuperficial que aceleram a drenagem e, conseqüentemente, a erosão. A primeira delas é através dos macroporos (com dimensões maiores que os de capilaridade); a segunda pelos dutos ou “pipings” (maiores que os macroporos) e a terceira pela matriz do solo (película de água ao redor do mineral). Assim, conforme menciona Salomão (1994), o estudo do dinamismo dos fluxos hídricos superficiais e/ou subsuperficiais ajuda no entendimento dos processos erosivos, em especial naqueles que correlacionam conhecimentos pedológicos e geomorfológicos.

De acordo com Cunha et al. (1999), no município de Umuarama, o uso intensivo e inadequado dos solos, a partir do desmatamento, desencadeou e/ou acelerou processos erosivos lineares (sulcos, ravinas, voçorocas) e de movimentos de massa de solo (deslizamentos, escorregamentos) ligados à solifluxão. Para esses autores, esses processos estão relacionados à circulação da água pluvial, sobretudo aquela relativa ao escoamento superficial e subsuperficial.

Cabe destacar ainda que o sítio urbano de Umuarama situa-se no topo de um pequeno platô, divisor de águas das bacias de drenagem dos ribeirões Piava (afluente do rio Ivaí) e Pinhalzinho (afluente do rio Piquiri) e do rio Xambrê. De acordo com Nóbrega et al. (1992), esses eixos de drenagem são responsáveis pela intensa dissecação do platô e desenvolveram quatro compartimentos topográficos, representados pelo topo e por três áreas dissecadas que o circundam,

correspondentes às referidas bacias que o contornam e drenam.

Os dois primeiros compartimentos, dos ribeirões Pinhalzinho e Piava, apresentam colinas convexas ou convexo-côncavas amplas e médias, com declives da ordem de 10%, com Latossolo Vermelho Amarelo nos topos e Argissolo Vermelho Amarelo nas médias vertentes, onde predominam processos erosivos lineares (CUNHA et al., 1999). Sua origem e dinâmica está relacionada ao escoamento superficial concentrado e subsuperficial, associado aos fenômenos de “pipings”, similares aos descritos pelo IPT (1991), Queiroz Neto et al. (1993) e Salomão (1994).

O terceiro compartimento, o do rio Xambrê, entretanto, apresenta-se diferente dos anteriores pela presença de vertentes curtas e declivosas (20%), convexo-côncavas, às vezes até retilíneas no segmento superior ou inferior, com patamares no segmento médio, onde o substrato rochoso, no caso arenítico, encontra-se a pouca profundidade (ao redor de 50 cm ou menos) e que frequentemente separa as vertentes em dois conjuntos pedológicos distintos: um superior, onde ocorre o solo Neossolo Litólico e outro inferior, onde ocorre o solo Argissolo Vermelho Amarelo, sucedido por Gleissolo no sopé, próximo ao eixo de drenagem (NAKASHIMA et al., 1993).

Em virtude do exposto, o presente trabalho tem como objetivo identificar os fatores responsáveis pelos movimentos de massa de solo, existentes no compartimento Xambrê, por meio dos resultados macro e micromorfológicos e físico-hídricos, obtidos ao longo de uma sucessão lateral de solos, representativa das vertentes e dos interflúvios da área, aqui denominada de topossequência São José, constituída de dois conjuntos

distintos de solos separados por uma ruptura de declive côncava, bem marcada.

Materiais e Métodos

A pesquisa fundamentou-se nos pressupostos arrolados por Ruellan e Dosso (1993), inspirados nos trabalhos anteriores de Delvigne (1964), Bocquier (1973), Chauvel (1977) e Boulet et al. (1982), que lhes permitiram compreender a cobertura pedológica como um *continuum* sobre a crosta terrestre emersa, apenas interrompida por afloramentos rochosos ou corpos líquidos, organizada em quatro níveis embutidos um no outro, desde o microscópico até o da paisagem, tais como organizações elementares (agregados), assembleias (conjuntos de agregados), horizontes e sistemas pedológicos.

No exame micromorfológico, foram considerados plasma, como a fração granulométrica argila; esqueleto, como as frações granulométricas areia e silte; poros, como volumes visíveis, sem plasma ou esqueleto, de circulação de ar e/ou solução; fundo matricial, como o arranjo espacial desses três componentes, formando padrões de distribuição relativa (STOOPS; JONGERIUS, 1975); estrutura plásmica, como orientação e/ou redistribuição de plasma; e feições pedológicas, como concentração de certos constituintes (BREWER, 1976).

Com o exposto e considerando a Análise Bidimensional da Cobertura Pedológica (BOULET et al., 1982), base teórica e metodológica desta pesquisa, desenvolveram-se as seguintes etapas:

1. seleção da área topográfica e pedológica representativa do compartimento geomorfológico

do rio Xambrê, por meio do exame das cartas temáticas utilizadas e produzidas por Nóbrega et al. (1992), do exame das fotos aéreas 1:25.000 (ITCF, 1980) e de caminhamentos para reconhecimento expedito em campo;

2. escolha da vertente representativa e do eixo topográfico de maior declive para realização do levantamento topográfico do eixo, com auxílio de bússola, clinômetro, metro e trena;
3. realização de sondagens sistemáticas com trado manual, tipo holandês, ao longo do transecto, acompanhadas de coleta de amostras de solo dos horizontes e identificação de feições pedológicas quanto à cor e textura, armazenadas em pedocomparadores, permitindo a reconstituição vertical e lateral dos horizontes, por aproximação geométrica;
4. abertura de três trincheiras (perfil 1, 2 e 3) representativas da geometria dos horizontes e dos segmentos superior, médio e inferior da vertente para a descrição macromorfológica (SANTOS et al., 2005);
5. coleta de amostras: - para os ensaios físico-hídricos foram coletadas amostras indeformadas perpendiculares de cada horizonte, em aberturas subsequentes em profundidade ao lado da parede das trincheiras, com auxílio de cilindros contendo anéis volumétricos de 300 cm³ (BLAKE;

HARTGE, 1986); - para o estudo micromorfológico foram coletadas amostras indeformadas em monólitos (BREWER, 1976) de 9x13x4 cm, esculpidos nas paredes das trincheiras, em cada horizonte do perfil de solo;

6. caracterização física (granulometria e argila natural, através do método da pipeta), descritas em Camargo et al. (1986). A densidade de partículas foi realizada com o método do picnômetro (EMBRAPA, 1979);
7. estabelecimento da condutividade hidráulica saturada e retenção em água, conforme proposto por Blake e Hartge (1986), nas amostras indeformadas coletadas em cilindros e anéis, bem como de densidade do solo, segundo Danielson e Sutherland (1986);
8. impregnação e fabricação de lâminas delgadas, a partir das amostras indeformadas coletadas nos monólitos (CASTRO, 1985);
9. descrição micromorfológica das lâminas delgadas com auxílio de microscópio óptico polarizante (tipo petrográfico), com equipamento fotográfico acoplado, conforme instruções e terminologias propostas por Brewer (1964) e Stoops e Jonguerius (1975), compilados por Castro (1989).

Resultados e Discussão

A área de estudo situa-se a sudoeste do município de Umarama (Figura 1), no compartimento geomorfológico

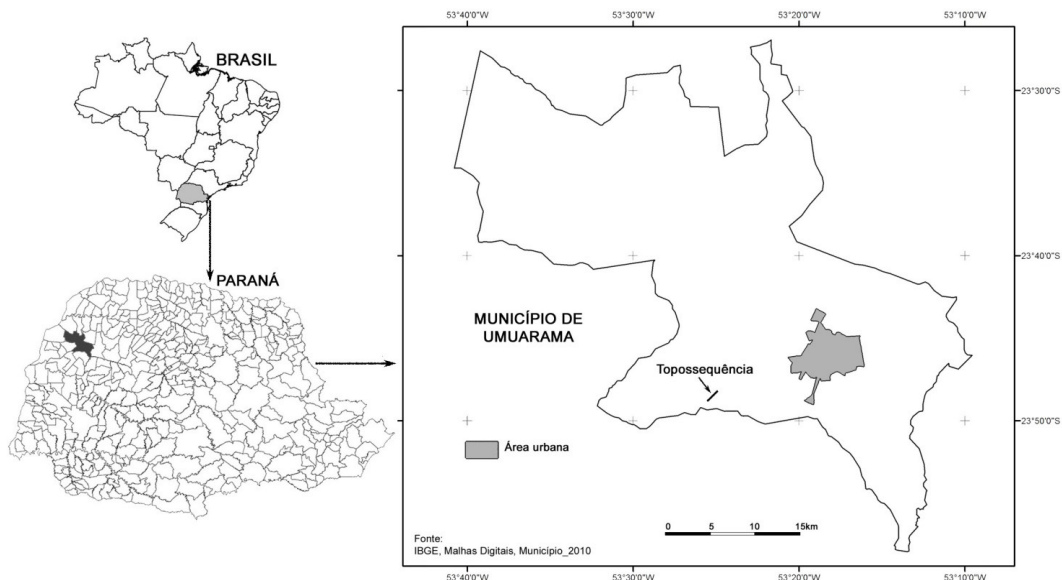
denominado de Xambrê. Nessa área, observou-se a presença de vertentes curtas de forma convexo-côncavas, marcadas por rupturas de declives nas médias vertentes de formas côncavas.

A vertente escolhida como representativa do compartimento do Xambrê para o estudo detalhado dos solos situa-se na fazenda São José. Nessa vertente foram identificados dois conjuntos pedológicos distintos: um à montante da ruptura, convexo, com apenas 3% de declividade, constituído por solo Neossolo Litólico ocupado por pastagem; e outro à jusante da ruptura, côncavo, com 15% de declividade, constituído de solo Argissolo Vermelho Amarelo, seguido de Gleissolo (Figura 2), ocupados por pastagem e invadidos por mata ciliar. Na ruptura côncava, com 20% de declive, ocorre o solo Neossolo Litólico, ainda menos espesso que o material do segmento à montante, correspondendo, praticamente, à rocha alterada sotoposta a um estreito e descontínuo horizonte A.

No segmento convexo-côncavo (montante da ruptura), onde predominam os Neossolos Litólicos, é frequente a ocorrência de sulcos que iniciam, na proximidade do topo e se prolongam até a ruptura.

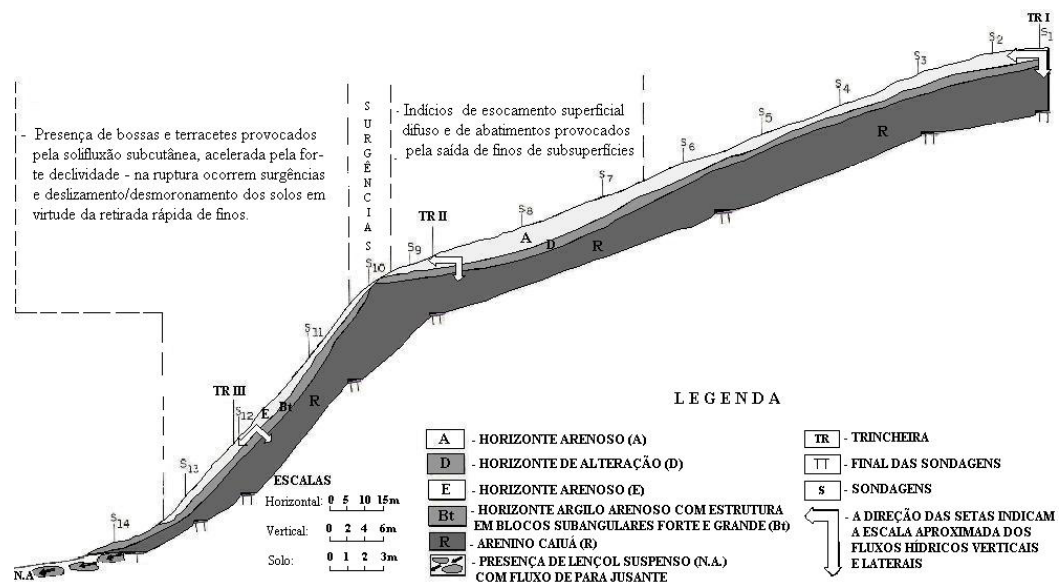
Na ruptura côncava de declive e seu entorno à jusante, é generalizada a presença de pequenas depressões (bossas) e terracetes associadas a fenômenos de "piping" na subsuperfície, situados no contato entre o horizonte A e horizonte D (rocha alterada); as surgências de água são comuns, bem como a ocorrência de cicatrizes de truncamentos erosivos anteriores, testemunhos dos deslizamentos e escorregamentos, do tipo solifluxão, associados à constante saturação hídrica do material.

Figura 1 - Localização da topossequência de solos São José no município de Umuarama, Paraná



Fonte: IBGE (2010).

Figura 2 - Detalhe da topossequência de solos São José com a distribuição espacial dos horizontes pedológicos e da direção preferencial dos fluxos hídricos, vertical e lateralmente, ao longo da vertente



Fonte: Autores (2013).

No segmento côncavo à jusante da ruptura ocorre o solo Argissolo Vermelho Amarelo. Nas proximidades do sopé, nota-se, também, a presença de depósitos colúvio-aluviais hidromorfizados dispostos sobre o arenito alterado, constituído de materiais provenientes dos deslizamentos misturados aos sedimentos depositados pela drenagem - classificado como Gleissolo.

O segmento à montante foi denominado de conjunto pedológico Litólico e à jusante de conjunto pedológico Argissolo-Gleissolo. O sopé da vertente, onde ocorre o solo Gleissolo, não foi descrito e nem amostrado. A toposeqüência apresentando os dois conjuntos pedológicos em *continuum* foi denominada de São José em homenagem ao nome da fazenda.

Características macro e micromorfológicas e físico-hídricas

O sistema pedológico de montante constituído pelo solo Neossolo Litólico, apresenta horizontes concordantes em espessura e forma com a vertente atual (Figura 2).

O horizonte superficial A, inicia com 50 cm (perfil 1) de espessura, aumenta lateralmente para jusante até 70 cm (perfil 2) e desaparece logo em seguida na ruptura. Apresenta cor bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4), textura arenosa, estrutura granular de grãos simples, consistência não plástica e não pegajosa, poros tubulares pequenos e alguns poucos maiores de origem biológica e/ou de raízes decompostas. Esse horizonte apresenta-se, gradualmente, cada vez mais claro para jusante, indicando a perda lateral, devido à saída de finos (argila e silte), observado em campo nas surgências ("pipings"), junto à parede da ruptura

côncava de declive e confirmada nos dados granulométricos (Tabela 1).

A transição desse horizonte para o subjacente acontece por interpenetração (aspecto similar a interdigitação) em toda sua extensão, como verificado nos perfis 1 e 2.

Em termos micromorfológicos, esse horizonte (A) apresenta 10% de plasma (Figura 3). Sua cor varia em profundidade de vermelho amarelado a vermelho escuro, com pontuações pretas, residuais da matéria orgânica e da presença de carvão mineral. Encontra-se distribuído homogeneamente nos dois perfis desse setor da vertente (Figura 2).

O esqueleto constitui até 60% (Figura 3) do fundo matricial. É quartzoso, fino (areia fina e silte) com formas arredondadas e subarredondadas, que condicionam a porosidade (30%) de empilhamento comum, normalmente aberta e fortemente comunicante entre si. Devido à baixa percentagem de plasma, ocorrem alguns pedotúbulos, parcialmente preenchidos por esqueletos, quase sempre mais grosseiros (areia grossa), geralmente revestidos por fina película de plasma.

Predomina a distribuição relativa quitônica (fina película de plasma ao redor do esqueleto) e com menor intensidade a gefúrica (pontes de plasma ligando os grãos do esqueleto), além de poucos setores do tipo enáulica ou microagregada (pequenos agregados de plasma dissociados do esqueleto), particularmente na transição desse horizonte (a 50 cm de profundidade) para o subjacente de alteração (horizonte D - Figura 2). De forma geral, nesse horizonte não foram verificados agregados, exceto da faixa de transição, onde aparecem setores de estrutura enáulica (microagregada).

Tabela 1 - Atributos físicos dos perfis de solos da topossequência São José, Umuarama-PR

Hori- zonte	Prof. coleta (cm)	Argila (%)	Silte Fino (%)	Silte Grosso (%)	Areia Fina (%)	Areia Grossa (%)	Argila Nat. (%)	Grau Floc. (%)	Densi- dade Solo (kg dm ⁻³)	Densi- dade Partícu- las (kg dm ⁻³)	Porosidade Total calculada (%)
Perfil 1 – Neossolo Litólico											
A	10	3,47	4,02	4,77	83,17	4,57	1,89	45	1,44	2,50	42,40
A	30	3,60	3,72	6,05	82,44	4,19	2,12	41	1,69	2,48	31,86
D	50	8,65	6,25	7,18	75,65	2,27	6,06	29	1,63	2,43	32,93
R	100	4,05	6,37	10,09	79,80	2,69	3,71	8	1,65	2,36	30,09
Perfil 2 – Argissolo Vermelho Amarelo											
A/E	10	4,67	2,62	3,82	77,11	11,78	1,62	65	1,36	2,77	50,91
E	20	5,25	3,57	3,77	75,07	12,34	1,73	67	1,36	2,77	50,91
Bt	40	5,32	3,55	3,04	80,63	74,6	2,36	55	1,68	2,38	29,42
R	75	5,27	5,05	5,14	75,40	9,14	2,48	52	1,65	2,36	30,09
Perfil 3 – Argissolo Vermelho Amarelo											
A/E	5	8,50	4,90	5,10	73,22	8,28	3,67	56	1,36	2,77	50,91
E	20	6,80	4,80	7,01	76,74	4,65	3,97	41	1,36	2,77	50,91
Bt	50	13,07	5,67	6,44	70,37	4,45	6,28	52	1,56	2,53	38,34

Fonte: Autores (2013).

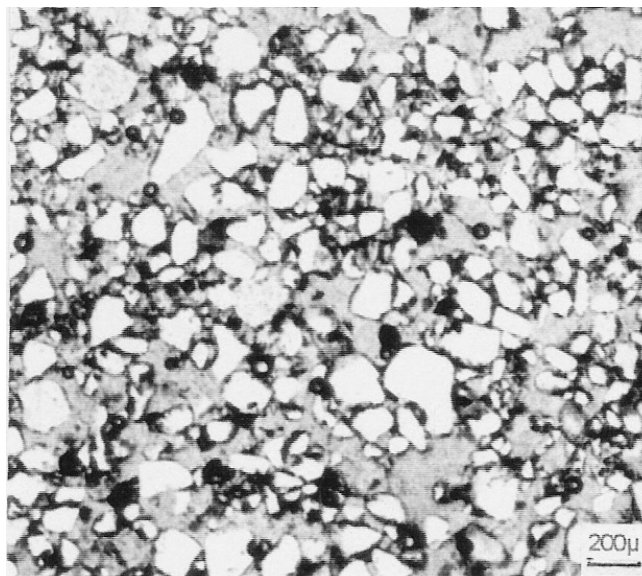
O horizonte subjacente de alteração (D) apresenta, em média, 50 cm de espessura, cores variadas, principalmente nas proximidades da faixa de transição para o horizonte A, devido à maior ação da pedogênese. Cerca de 50% do material aparece na cor bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4), enquanto que os outros 50% são representados pelas cores bruno forte (7,5YR 5/8) e tons arroxeados (próximo do arenito Caiuá menos alterado). A textura é predominantemente argilo-arenosa. A estrutura é de blocos subangulares grandes de moderado desenvolvimento, enquanto que a consistência é plástica e pegajosa. Predomina a porosidade de empilhamento simples embora tenha alguns do tipo fissural e tubular. A transição para o arenito Caiuá ocorre por interpenetração.

Os 40% de plasma (Figura 4) desse horizonte apresenta variações de cor. Passa de tons de vermelho vivo a vermelho amarelado, respectivamente do topo para a base, além de plasma vermelho escuro ao longo das fissuras.

Nesse horizonte, as pontuações em preto (residuais da matéria orgânica e do carvão mineral) reduzem em profundidade.

O esqueleto predominantemente quartzoso, subarredondado e/ou subangular constitui, em média, 40% do fundo matricial do horizonte. Apresenta-se cimentado pelo plasma, condicionando porosidade média de 20% (Figura 4), geralmente sem comunicação, principalmente do meio para a base do horizonte. Ocorrem estruturas porfíricas associadas às estratificações do arenito e do arranjo dos grãos do esqueleto, muito próximos uns dos outros. Foram encontrados, ainda neste horizonte, raros poros cavitários, sempre sem comunicação no plano da lâmina, além de alguns pedotúbulos. A estrutura plásmica é predominantemente asséptica. Nas poucas zonas com estrutura quitônica e gefúrica verificadas no topo do horizonte, onde é frequente a redução das frações finas (silte e argila), ocorrem separações ao redor do esqueleto do tipo esqueléticas.

Figura 3 - Fotomicrografia do horizonte arenoso superficial (A) da trincheira I de cor vermelho-escuro a amarelado com microagregados (organo-minerais) em preto, derivados da matéria orgânica, poros de empilhamento simples e complexo fracamente comunicante (Luz Natural)



Fonte: Autores (213).

O processo de deferrificação e ou de transformação do plasma está associado às paredes dos poros cavitários ou irregulares, maiores, onde o plasma é vermelho. Esse mesmo processo de deferrificação também foi encontrado em canais de raízes decompostas e em algumas fissuras formadas, principalmente, no contato entre o horizonte de alteração (D) e o arenito Caiuá, parcialmente preenchidas por grãos limpos de esqueleto, quase sempre revestidos por fina película de plasmas.

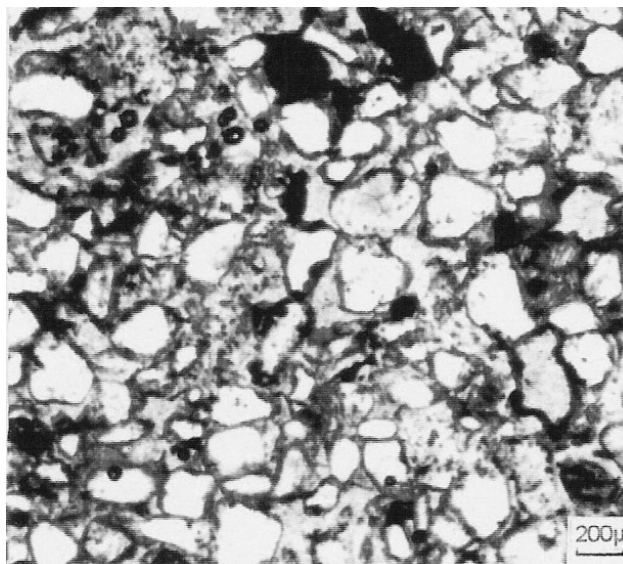
Nas bordas das fissuras, são frequentes as concentrações de plasma preto, isóptico, constituído de hidróxidos de ferro e matéria orgânica. Nesses casos, o plasma encontra-se, na sua quase totalidade, na cor vermelha escura, nas zonas onde a estrutura é porfírica, passando a tons mais claros (vermelho-amarelado) nas proximidades da rocha menos alterada.

No conjunto de elementos do fundo matricial encontram-se distribuídos de forma homogênea, diferente dos horizontes A/E, E e Bt, onde os processos de distribuição e redistribuição de plasma (silte e argila) e até de esqueleto (areias finas e médias) são mais perceptíveis.

O topo desse conjunto pedológico (perfil 1) apresenta, no geral, fraca condutividade hidráulica saturada, iniciando com 58,79 mm/h, no horizonte superficial (A), passando para 19,04 mm/h no horizonte de alteração (D) – (Tabela 2). Lateralmente, nas proximidades da ruptura de declive (perfil 2), a condutividade hidráulica saturada é ainda mais reduzida, passando de 8,69 mm/h na superfície (horizonte A) para 2,48 mm/h na subsuperfície (horizonte Bt) – (Tabela 2).

Esses valores confirmam que há redução da condutividade hidráulica saturada, tanto no sentido vertical como lateral (para

Figura 4 - Fotomicrografia do horizonte de alteração (D) da trincheira I com plasma vermelho vivo e amarelado com microagregados (organo-minerais) em preto, com poros fracamente comunicantes (Luz Natural)



Fonte: Autores (213).

jusante), seja entre os horizontes como ao longo deles, da ordem de cerca de 70% (perfil 1) e 25% (perfil 2) na vertical, e lateral de cerca de 85% (tanto do horizonte superficial como do subsuperficial).

A redução da condutividade hidráulica saturada do horizonte superficial para o subsuperficial pode ser justificada, tanto pela baixa ou quase nula comunicação entre os poros, como pela estrutura porfírica que cimenta os grãos do esqueleto, nas zonas com pontes de plasma entre os grãos, agrupando-os em forma de agregados, dificulta o que a infiltração de água inter e intra-agregados, favorecendo, assim os fluxos hídricos laterais no horizonte superficial arenoso, devido à maior percentagem de macroporosidade, quase sempre comunicante, respectivamente confirmada pela descrição micromorfológica dos horizontes D e A dos dois perfis.

Essas condições permitiram demonstrar, ainda, bloqueio da circulação hídrica vertical, justificada, nesse ponto, também pela maior declividade, que condiciona um ambiente de rápida saída de água e de finos, confirmado pelos dados de granulometria e grau de dispersão de argila (Tabela 1).

Essa redução da condutividade hidráulica saturada, próxima da ruptura de declive em solo pouco profundo, pode ser explicada pela organização estrutural, principalmente no que se refere à forma (blocos subangulares), dimensão (blocos grandes) e resistência (moderada) do horizonte de alteração, conforme as observações de campo.

Na superfície exposta da ruptura de declive, foi observada grande quantidade de material fino carreado em superfície e dentro dos tubos (“pipings”), particularmente na transição do horizonte superficial arenoso para o horizonte subsuperficial de

Tabela 2 - Dados de porosidade total com a distribuição dos macros e microporos e da condutividade hidráulica saturada dos perfis de solos da topossequência São José, Umuarama-PR

Horizonte	Profundidade coleta (cm)	Porosidade Total (%)	Distribuição dos poros (%)		Condutividade hidráulica saturada (mm/h)
			> 30 μ	< 30 μ	
Perfil 1 – Neossolo Litólico					
A	10	42,40	30,70	11,77	58,79
D	50	32,93	21,54	11,56	19,04
Perfil 2 – Argissolo Vermelho Amarelo					
A/E	10	29,47	16,20	13,27	8,69
Bt	40	30,18	13,03	17,15	2,48
Perfil 3 – Argissolo Vermelho Amarelo					
A/E	5	50,91	33,92	16,66	26,91
Bt	50	38,53	21,68	16,85	18,48

Fonte: Autores (213).

alteração, revelando a mobilidade lateral dessa fração, como foi confirmado nos dados granulométricos (Tabela 1).

A diminuição da densidade do solo para o horizonte superficial com a relativa constância da densidade de partículas evidencia a exposição de finos com concentração residual da fração areia nos perfis 1 e 2, embora seja menos constatada nesta última (Tabela 1).

Diante do exposto, pode-se dizer que a redução da condutividade vertical e lateralmente do perfil 1 para o perfil 2, pode ser relacionada à redução da porosidade total, bem como, da macroporosidade (Tabela 2) e do arranjo do sistema poroso do horizonte de alteração que, neste setor, encontra-se mais fechado, praticamente sem conexão entre os poros, advindos das macro e microestruturas presentes.

O sistema pedológico de jusante é constituído pelo solo Argissolo Vermelho Amarelo e, como no segmento de montante, também apresenta horizontes concordantes com a topografia atual.

O horizonte superficial (A/E) inicia com 10 cm de espessura. Embora

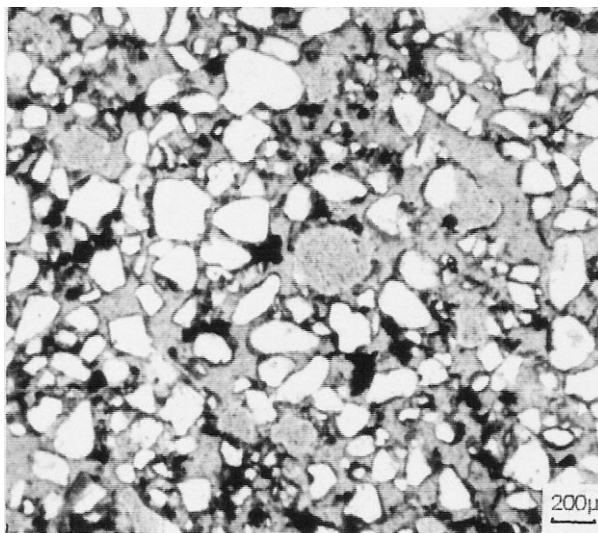
auge para 20 cm no perfil 3, reduz gradualmente para jusante até se misturar com os materiais do setor alagado do terço inferior da vertente (Figura 2). Apresenta cor bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4), textura arenosa, estrutura granular de grãos simples, poros tubulares, aspecto bastante lavado, similar ao horizonte eluvial subjacente, principalmente na base. Essas observações foram confirmadas pelas análises laboratoriais (Tabela 1).

O plasma (10%) desse horizonte (Figura 5) apresenta tons amarelados e alaranjados, com pontuações em preto associado à matéria orgânica e aos restos de fragmentos de carvão. Predomina o esqueleto (50%) fino, envolvido parcialmente por fina película de plasma e porosidade (40% - Figura 5) de empilhamento simples, fortemente comunicante.

A distribuição relativa de grãos simples (mônica) e a frequente redistribuição de matéria nos 20 cm de profundidade, indicam a transição deste horizonte para o E subjacente, apesar da baixa redução da argila (Tabela 1).

No horizonte arenoso (E) de 10 cm de espessura (perfil 3), a diferença morfológica

Figura 5 - Fotomicrografia do horizonte superficial (A/E) da trincheira I com plasma bruno-amarelado envolvendo ou constituindo pontes entre os grãos e microagregados organo-minerais pretos, dissociados. Porosidade de empilhamento simples, fortemente comunicante (Luz Natural)



Fonte: Autores (213).

fundamental em relação ao precedente está relacionada à cor e textura. A primeira com tons mais claros (bruno claro – 7,5YR 6/4) e a segunda (textura ainda mais arenosa), apesar de manter-se na mesma classe textural (arenosa), devido à menor percentagem de argila, tem uma diminuição de finos se comparado com o horizonte A de superfície (Tabela 1). Tais características, tanto do horizonte A como do E, foram interpretadas como de perda crescente para jusante, devido à maior declividade do setor (Figura 2).

Nesse horizonte, o plasma (5% - Figura 6) é amarelado, também com pontuações de preto em razão da matéria orgânica e do carvão, neste caso, em menores percentagens que a montante, já que a diminuição de finos parece ser maior nesse setor topográfico da topossequência. Também predomina o esqueleto fino, mas praticamente sem película

de plasma que, quando presente, é parcial, corroborando a estrutura do tipo mônica. No geral, ocorre verticalmente nesse horizonte, aumento da porosidade de 40% para 50%, que é fortemente comunicante e decréscimo do esqueleto para 45%, também de tamanho fino, sobrando apenas 10% de plasma (Figura 6).

O horizonte subjacente (Bt), também começa menos espesso (20 cm), aumenta até 50 cm no perfil 3 e reduz gradativamente para jusante, até se misturar com o horizonte superficial arenoso do sopé da vertente, onde são encontrados os solos gleissolos, sobre o arenito Caiuá (Figura 2). Apresenta cor bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4), textura argilo-arenosa, estrutura em blocos subangulares, grandes, de moderada resistência, de consistência plástica e pegajosa, poros tubulares, visivelmente

mais fechados que no horizonte E e A, poucas raízes fasciculadas finas e com transição por interpenetração para o arenito Caiuá subjacente.

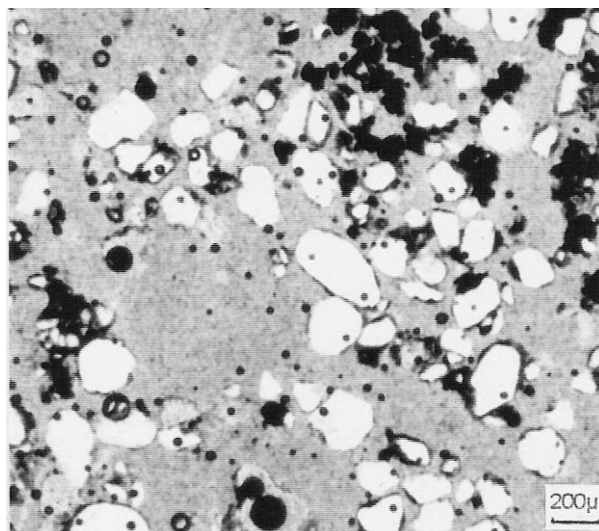
Nesse horizonte, ocorre aumento do plasma (40% - Figura 7) que passa a ter cor bruno escuro, quase preto, isóptico (opacidade devida ao ferro), que se individualiza em microagregados (enáulica), que englobam, às vezes, alguns grãos do esqueleto (porfíricas). Esses microagregados estão, por sua vez, envolvidos por um plasma amarelo, argilassépico, que os soldam entre si e com os grãos do esqueleto (porfíricas também). Predomina o esqueleto fino (40%) – (Figura 7), distribuído homogeneamente na massa de plasma. Esse arranjo plasma/esqueleto gera porosidade (20%) que, embora predominantemente de empilhamento, é menor, mais reduzida que a sobrejacente (A) e com algumas pequenas cavidades e fissuras de fraca comunicação.

O horizonte de alteração (D) apresenta, em média, 50 cm de espessura, cores brunovermelhado-escuro (2,5YR 3/4) e tons arroxeados em profundidade, devido à menor alteração do arenito. Textura argilo-arenosa, com estrutura em blocos subjacentes grandes, de moderado desenvolvimento, consistência plástica e pegajosa. Predomínio da porosidade de empilhamento e alguns poros do tipo fissural, além de poucos poros tubulares milimétricos, raízes fasciculadas e transição por interpenetração para o arenito Caiuá.

Esse horizonte apresenta as mesmas características micromorfológicas (distribuição dos componentes) descritas na base do conjunto pedológico de montante da ruptura.

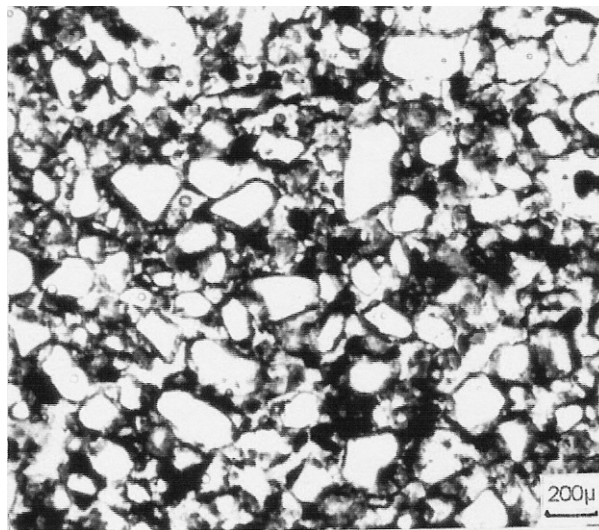
Nesse conjunto pedológico, a condutividade hidráulica saturada máxima é de 26,91 mm/h no horizonte superficial arenoso (A/E), reduzindo para 19,04 mm/h no horizonte Bt e 18,48 mm/h no horizonte Bt (Tabela 2). Esses valores são

Figura 6 - Fotomicrografia do horizonte arenoso (E) com plasma organo-mineral preto, microagregado dissociado do esqueleto (estrutura enáulica), porosidade de empilhamento, fortemente comunicante (Luz Natural).



Fonte: Autores (2013).

Figura 7 - Fotomicrografia do horizonte Bt com plasma amarelado com zonações em preto e amarelo, ambos isóticos mesmo com nicóis cruzados, porosidade de empilhamento simples, fracamente comunicante (Luz Natural)



Fonte: Autores (2013).

comparativamente menores que os verificados na superfície do conjunto pedológico de montante (perfil 1), embora sejam maiores que os dos horizontes de superfície e subsuperfície, respectivamente A/E e Bt do perfil 2. Apresentam, também, amplitude entre os horizontes inferior aqueles, menor de 10%, mas que no, conjunto, indicam baixa condutividade hidráulica saturada no solo argissólico (Tabela 2).

O arranjo do sistema poroso, particularmente do horizonte Bt, devido à redução do grau de conexão entre os poros, como constatado no exame micromorfológico, é um dos grandes responsáveis pela redução vertical da condutividade hidráulica saturada, já que o contraste textural, estrutural e, conseqüentemente, poroso entre este horizonte Bt e o E, é bem marcado, o que pode condicionar maior saturação do horizonte E, proporcionando fácil

remobilização lateral das frações mais finas e cimentantes como a argila e o silte, fato corroborado pelo maior grau de dispersão da argila desse horizonte (Tabela 1).

Os dados de densidades do perfil 3 reproduzem o mesmo comportamento (tendência) já observado no conjunto pedológico de montante, embora a densidade do solo seja globalmente maior, o que se justifica pelos maiores teores de argila, mesmo no horizonte E, quando comparados com as do horizonte A de montante (Tabela 1).

A saída de finos à jusante da ruptura de declive, tanto em superfície como em subsuperfície, respectivamente nos horizontes A/E e E do solo Argissolo Vermelho Amarelo, não poderia ser justificada apenas pela forte declividade, que acelera particularmente os fluxos hídricos subsuperficiais no horizonte E, em virtude da maior percentagem de argila do horizonte Bt subjacente (Tabela

1), considerada de porosidade total menor, com predomínio de microporos. Essa saída é justificada pela transição do horizonte arenoso de superfície (A/E) para o horizonte de subsuperfície (E) evidenciadas nas análises granulométricas, micromorfológicas e físico-hídricas, embora globalmente apresente ainda maior teor dessas frações, quando somadas e comparadas ao conjunto de montante (Tabela 2).

Atualmente, os dois conjuntos pedológicos da topossequência São José parecem evoluir de forma simultânea, condicionados pelas características pedológicas e morfológicas particulares de cada segmento da vertente, os quais parecem, ao mesmo tempo, condicionadores e condicionados pela circulação hídrica.

O conjunto de montante encontra-se em maior equilíbrio com a topografia atual, devido à fraca declividade e predomínio dos fluxos hídricos verticais dentro do horizonte arenoso (A) de superfície no topo.

O aumento dos fluxos hídricos laterais rumo à ruptura de declive, para jusante, quando atinge o horizonte de alteração subjacente, onde há desequilíbrio morfopedológico, devido à erosão remontante que, junto à ruptura separa os dois conjuntos pedológicos, acelera a exportação de finos para o setor de jusante.

O conjunto de jusante encontra-se em reajuste permanente com a evolução da vertente, devido à forte declividade e à presença da ruptura de declive, fatores que, além de impulsionarem a saída dos elementos nos horizontes superficiais, condicionam a direção predominantemente lateral dos fluxos hídricos, também potencializados pela presença do horizonte Bt, que dificulta a infiltração vertical de água no solo, aumentando, assim, o escoamento em

subsuperfície, acima do topo junto à transição com os horizontes A e E, bem como ao fato de receber material proveniente da ruptura, por desmoronado ou deslizado.

A diferenciação textural vertical e lateral ao longo da vertente, o conhecimento da forma e dimensão dos vazios e a quantidade do volume seguido pela determinação da direção dos fluxos hídricos e, conseqüentemente, da redistribuição de matéria dos dois conjuntos pedológicos, observados nas lâminas delgadas e dados físicos, confirmam uma instabilidade diferenciada nos setores topográficos do topo, média e baixa vertente dos dois conjuntos pedológicos da topossequência São José, propiciando, assim, a instalação e evolução de processos erosivos.

Os movimentos de massa do solo do final do conjunto pedológico de montante, na forma de pequenos abaixamentos da superfície e os deslizamentos, seguidos de abatimentos de volumes de solos na ruptura de declive, bem como, os movimentos de solifluxão, bossas e terracetes, bastante generalizados a partir desta ruptura, no conjunto pedológico de jusante, podem ser justificados pelo desequilíbrio morfopedogenético permanente da transição entre os dois conjuntos pedológicos e dos próprios sistemas, devido às características topográficas atuais de evolução da vertente, já que tais desequilíbrios foram explicados pela circulação hídrica (volume e direção dos fluxos) e pela micromorfologia, principalmente no que se refere à estrutura e porosidade. É esse arranjo que condiciona a entrada e percolação da água e, conseqüentemente, da distribuição de matéria interna e externa no sistema pedológico atual, aliados à dispersão da argila e seus baixos teores.

Assim, o estudo na topossequência São José (Figura 2) permitiu identificar, através

do volume e direção dos fluxos hídricos, os processos erosivos de movimento de massa do solo, reafirmando aqueles anteriormente identificados no mapeamento das zonas de riscos por Nóbrega et al. (1992), no município de Umuarama, a saber:

1. Do terço médio até a ruptura de declive são frequentes os abatimentos da superfície do terreno devido à saída de finos de superfície “pipings”, já que a água é impedida de infiltrar pelo horizonte de alteração. Nessas áreas, ocorrem indícios de escoamento superficial. Esse setor da vertente se refere à Zona de Estabilidade Declarada e pode ser ocupada desde que sejam tomadas medidas de controle do escoamento das águas, evitando sua concentração em superfície.
2. Na ruptura de declive, são frequentes os deslizamentos e abatimentos devido à surgência de água com retirada de finos “piping”, associados à gravidade pela forte declividade. Nesse setor, está a Zona de Instabilidade Declarada, considerada não adequada à ocupação, indicada para reflorestamento, para evitar a evolução remontante dos processos erosivos.
3. Da ruptura até o final do horizonte Bt, são frequentes as bossas e os terracetes provocados pela solifluxão subcutânea, acelerada pela forte declividade. Nesse setor, está a Zona de Instabilidade Declarada, considerada não adequada à ocupação, indicada

para reflorestamento para evitar a evolução remontante de processos erosivos.

Considerações finais

1. A toposequência de solos São José mostrou desequilíbrio pedogenético nas condições morfoclimáticas atuais, associado aos truncamentos erosivos, ligados aos movimentos de massa de solo junto à ruptura de declive que promovem evolução regressiva de jusante para montante.

2. A presença do solo Argissolo Vermelho-Amarelo no segmento de jusante, embora em termos de posição topográfica, lembre os já estudados no estado de São Paulo, na verdade se distingue deles. Isso porque, embora a geometria dos horizontes, concordantes com a topografia atual, a presença de truncamento do conjunto de montante e a instalação do conjunto de jusante permitem supor uma inversão pedológica, pois o horizonte mais antigo se sobrepõe ao mais novo.

3. A evolução lateral, como um todo, parcialmente passou a obedecer a uma nova dinâmica. Essa mudança poderia ser associada a um rebaixamento rápido do nível de base local, com o qual tanto a morfogênese como a pedogênese estaria em processo de reajuste. Essas mudanças são consideradas, por vários pesquisadores, como associadas aos movimentos tectônicos, epirogenéticos e/ou climáticos.

4. O uso do solo para pastagem, com conseqüente compactação superficial (pisoteio), não seria recomendável para tal comportamento morfopedogenético atual que condiciona a área como de risco a esse tipo de ocupação.

Referências

ANDERSON, M. G.; BURT, T. P. Subsurface runoff. In: ANDERSON, M. G.; BURT, T. P. (Ed.). **Process studies in hidrology**. Chichester: John Wiley & Sons., 1990. p. 365-400.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 3., 1985, Maringá. [S.I.]. Maringá: ABGE, ADEA, 1985. 332 p.

BLAKE, G. R.; HARTGE, H. K. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Part. 1: physical and mineralogical methods, Madison: ASA/SSSA, 1986. p. 363-375 il.

BOCQUIER, G. **Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad**. Interprétation Biogéodynamique. Thèse Sci. et Mém. ORSTOM, 62, 1973. 350 p.

BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. **Analyse structurale et pédologie I. Prise em compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique**: lês études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance dès sols. Cah. Paris: ORSTOM, ser. Pédol. v. XIX, 4, p.309-322, 1982.

BREWER, R. Classification of plasmic fabric of soil materials. **Soil micromorphology**, p. 95-107, 1964.

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soil**. 2. ed. New York: Robert E. Krieger Publ. Comp., 1976. 482 p.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto de Campinas. **Boletim Técnico 106**. Instituto Agrônômico, 1986. 94p.

CASTRO, S. S. Impregnação de amostras de solo para confecção de lâmina delgada. SBCS. **Boletim Informativo**, Campinas, 1985. 44 p.

CASTRO, S. S. **Micromorfologia de solos**: pequeno guia para descrição de lâminas delgadas. São Paulo: DG-USP/IPT, 1989. 87 p.

CHAUVEL, A. **Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées**. Universidade Estrasburgo, ORSTOM, Trav. et Doc, 62, 1977, 532.

CUNHA, J. E.; CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.943-951, 1999.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, part. 1, 9, p.361-443, 1986.

DELVIGNE, J. **Pédogenéne em zone tropicale**: la formation dès mineraux secondaires em milieu ferralitique. Paris: Mém. ORSTOM, 13, 1964. 177 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979. 1 v. il.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Prevenção da erosão urbana e conservação de recursos hídricos: Projeto piloto de Bauru e Rio Batalha (segunda fase), São Paulo/IPT, **Relatório 29**, 1991.

ITCF. Instituto de Terras, Cartografia e Floresta. **Vôo do município de Umuarama, noroeste do estado do Paraná**, 1980. Escala 1:25.000.

NAKASHIMA, P.; NÓBREGA, M. T.; GASPARETTO, N. V. L. **Carta de solos de Umuarama, Projeto**: mapeamento geológico-geotécnico de Umuarama-PR, DGE-UEM/SUCEAM, Maringá-PR, 1993.

NÓBREGA, M. T.; GASPARETTO, N. V. L. Metodologia para cartografia geotécnica de Umuarama-PR. **Boletim de Geografia de Maringá**, v.10, n.1, p. 5-10, 1992.

QUEIROZ NETO, J. P.; SALOMÃO, F. X. T.; MANFREDINI, S.; SANTANA, M. A. Comportamento hidrodinâmico de solos no Planalto Ocidental Paulista e erosão por escoamento concentrado. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 12., 1993, Sevilha. **Anais...** Sevilha, Salamanca: 1993. 1 CD-ROM.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Paris: Foucher, 1993. 192 p.

SALOMÃO, F. X. T. **Processos erosivos lineares em Bauru-SP**: regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural. 1994. 200f. Tese (Doutorado em Geografia) - FFLCH-DG-USP, São Paulo, 1994.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta do solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

STOOPS, G.; JONGERIUS, A. Proposal for a micromorphological classification of soil materials. I. A classification of the related distributions of fine and coarse particles. **Geoderma**, v.13, n.3, p.189-200, 1975. (a reply. **Geoderma**, v.19, n.3, p. 247-249, 1977).