

COMPORTAMENTO EROSIVO DE UM SISTEMA PEDOLÓGICO DE UMUARAMA, NOROESTE DO ESTADO DO PARANÁ⁽¹⁾

J. E. CUNHA⁽²⁾, S. S. CASTRO⁽³⁾ & F. X. T. SALOMÃO⁽⁴⁾

RESUMO

O município de Umuarama, noroeste do estado do Paraná, apresenta solos de textura arenosa e média, associados aos arenitos da Formação Caiuá do Cretáceo Superior. Além da fragilidade natural desses solos, o desmatamento, o uso e a ocupação generalizados contribuíram para a intensificação dos processos erosivos. Uma vertente próxima à área urbana foi escolhida para estudo em topossequência, visando à caracterização pedológica macro e micromorfológica, acompanhada de caracterização físico-hídrica dos horizontes pedológicos. Os dados permitiram chegar a algumas conclusões importantes, quanto ao comportamento dos materiais, dos fluxos hídricos e quanto à dinâmica erosiva dos solos, bem como permitiram distinguir os setores inferiores da vertente como os de maior risco à erosão linear.

Termos de indexação: arenito Caiuá, textura arenosa e média, erosão, comportamento físico-hídrico, micromorfologia.

SUMMARY: EROSION BEHAVIOR OF A PEDOLOGICAL SYSTEM OF UMUARAMA, NORTHWEST OF PARANÁ

The town of Umuarama, Northwest of Paraná, presents sandy and medium-textured soil, derived from Cretaceous Caiuá Formation Sandstone. Besides the natural fragility of these soils, deforestation, use and generalized occupation have contributed to the identification of erosive processes. A slope next to the urban area was selected for a topossequence study aiming at a macro and micromorphological pedologic characterization followed by a physico-hydric characterization of the pedologic horizons. The data allowed to reach some important conclusions concerning material behavior, hydric flows, and soil erosion dynamics, making it possible to distinguish slope sections of greater or smaller erosion risks.

Index terms: Caiuá formation sandstone, sandy and medium texture, erosion, physico-hydric behavior, micromorphology.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, submetida à Universidade de São Paulo (SP) em dezembro de 1996. Trabalho financiado pelo CNPq e pelo convênio UEM-DGE/SUCEAM. Recebido para publicação em outubro de 1997 e aprovado em maio de 1999.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá. CEP 87050-900 Maringá (PR). E-mail: mtnobrega@cybertelecom.com.br. FAX (044) 261-4290.

⁽³⁾ Professora do Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo (USP). CEP 05508-900 São Paulo (SP). FAX (011) 818-3159 e do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás. Caixa Postal 131. CEP 74001-970 Goiânia (GO). E-mail: selma@iesa.ufg.br. Fax (062) 821-1170.

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Geologia Geral, Universidade Federal do Mato Grosso - ICET. CEP 78060-900 Cuiabá (MT). E-mail: salmig@zaz.com.br.

INTRODUÇÃO

A região noroeste do estado do Paraná sofreu desmatamento generalizado, sobretudo a partir da década de 50, que reduziu a floresta pluvial subtropical, então dominante, a cerca de 7% (Derpsch, 1991), expondo a cobertura pedológica. Inicialmente, foi estabelecida a cultura do café, o qual foi erradicado na década de 70, sendo substituído amplamente por pastagens, com exceção dos terrenos com solos mais férteis, associados às rochas básicas, como nos arredores de Londrina. Umuarama é uma das cidades que floresceram nesse período e que sofreram esse processo. Situada num suave ressalto topográfico divisor de águas local, chamado de platô de Umuarama, dissecado pelas cabeceiras de drenagem dos rios Piava, Xambrê e ribeirão Pinhalzinho, afluentes dos rios Ivaí, ao norte, e Piava, ao sul, caracteriza-se pelo domínio de solos de textura arenosa e média associados à ocorrência de arenitos da Formação Caiuá, do Cretáceo Superior, com grande suscetibilidade aos processos erosivos (Bigarella & Mazuchowski, 1985), principalmente sob a forma de sulcos, ravinas e voçorocas que, segundo Kronen (1990), em 93% dos casos, ocorrem em vertentes de até 10% de declive, contrastando com 6% que ocorrem em vertentes entre 10 e 15% de declive e 1% entre 15 e 25%.

Nóbrega et al. (1992), ao desenvolverem estudos temáticos visando ao mapeamento geológico-geotécnico para subsidiar o planejamento urbano, relacionaram essa forte incidência erosiva com os compartimentos topográficos e pedológicos (compartimentos morfopedológicos) onde ocorrem, atribuindo-a à dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas, associada à fragilidade natural e à distribuição dos solos presentes, sem, contudo, avançarem mais na interpretação, em função do objetivo e da escala adotados no seu trabalho (1/25.000). Esses autores identificaram, na área, quatro compartimentos principais e perfeitamente distinguíveis na paisagem: o topo do interflúvio, onde se localiza a cidade de Umuarama, mais alto e mais estável, e três compartimentos menores que o circundam, mais dissecados, embutidos, correspondentes às sub-bacias dos referidos rios, mais suscetíveis à erosão e já apresentando vários focos, alguns deles muito próximos à área de expansão urbana. Eles atribuíram a origem dos processos erosivos nesses locais ao fato de a urbanização ter desconsiderado a natureza arenosa dos materiais e à concentração de drenagem em superfície, decorrente, inúmeras vezes, de arruamentos inacabados e concordantes com a declividade, de falta de disciplinamento das águas pluviais e do lençol freático pouco profundo, de terraplenagens para loteamentos, da exposição e abandono de áreas de empréstimo de materiais e de grandes construções, etc.

Tendo em vista a necessidade de melhor entender o comportamento atual dos solos com maior detalhe

e os fatores que envolvem sua maior ou menor fragilidade diante da erosão, estudou-se uma topossequência representativa dos três compartimentos mais suscetíveis à erosão do sítio urbano de Umuarama, no caso o do ribeirão Pinhalzinho, disposta perpendicularmente ao seu afluente Córrego Longe.

Os estudos foram realizados com o objetivo de caracterizar os horizontes pedológicos e analisar o arranjo espacial de seus materiais, vertical e lateralmente ao longo da vertente, com vistas em compreender o comportamento das organizações elementares (microestruturas), da macroporosidade e da condutividade hidráulica saturada, com o apoio de outras análises de rotina em laboratório. Foram obtidos, assim, elementos significativos para a compreensão da dinâmica atual da vertente e para a identificação do tipo de suscetibilidade que esta apresenta em todos os seus segmentos.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na região noroeste do estado do Paraná, próximo à cidade de Umuarama, junto às cabeceiras do Córrego Longe. Segundo a classificação de Köppen (1948), apresenta clima do tipo subtropical úmido mesotérmico Cfa, com meses quentes de verão e raras geadas de inverno, tendência à concentração de chuvas no verão, sem estação seca definida, onde a média de temperatura dos meses mais quentes é superior a 22°C e dos meses mais frios é inferior a 18°C, com pluviosidade média anual de 1.500 mm; os meses mais chuvosos vão de outubro a janeiro, com médias mensais de 130 a 175 mm, sendo os meses de julho e agosto os menos chuvosos, com médias entre 55 e 86 mm (Paraná, 1987).

Os solos distribuem-se do topo à base das vertentes em Latossolo Vermelho-Escuro textura média, Podzólico Vermelho-Amarelo textura superficial arenosa, Areias Quartzosas e, ou, Glei Pouco Húmico. Subsistem manchas de cultura de café nos topos, algumas áreas de mata residual nas nascentes ou ao longo de algumas drenagens mais distantes da área urbana e, nas vertentes menos declivosas, cultivam-se algodão, soja e pastagens.

A topossequência estudada localiza-se na cabeceira de drenagem do Córrego Longe, afluente do ribeirão Pinhalzinho, na proximidade de área de expansão urbana, caracterizada por habitações para população carente, cujo traçado viário sobre terra apresenta eixos concordantes com o declive, numerosos sulcos, falta de rebaixamento do lençol freático e de galerias pluviais, cujo escoamento drena diretamente para uma voçoroca situada na base da vertente em continuidade ao córrego (reativação de cabeceiras de drenagem), justamente em área mapeada por Nóbrega et al. (1992) como zona de instabilidade declarada.

O método empregado nos trabalhos de campo baseou-se na proposta de Boulet et al. (1982), conhecida como análise bidimensional da cobertura pedológica.

A topografia do eixo principal da vertente que serviu de base para o levantamento da topossequência foi avaliada com clinômetro, bússola e mira. Inicialmente, os horizontes pedológicos ao longo do transeito foram investigados por sondagens a trado, do topo até o fundo do vale, o que permitiu, numa primeira aproximação, o entendimento da sucessão vertical e lateral dos horizontes pedológicos. Posteriormente, foram abertas seis trincheiras representativas dessas sucessões, nas quais foi realizada a descrição morfológica detalhada dos horizontes e transições, de acordo com Lemos & Santos (1985), com destaque para as feições pedológicas ligadas à circulação hídrica, tais como: canais provocados por raízes e, ou, animais, bandas onduladas (lamelas), nódulos ferruginosos (glébulas), etc.

Nesses horizontes, coletaram-se amostras deformadas de modo convencional para as análises de granulometria e argila natural, conforme descrito em Camargo et al. (1986). Foram também coletadas amostras indeformadas para ensaios de laboratório, conforme descrito em Blake & Hartge (1986), com vistas em avaliar a condutividade hidráulica saturada e retenção de água, com amostrador de cilindros de 300 mL com três anéis volumétricos de 100 cm³ (três repetições), as quais foram submetidas a tensões de 1, 20, 40, 60, 80 e 100 cm de água, utilizando funis de placa porosa e tensões de 200, 300, 500, 1.000, 3.000, 5.000 e 15.000 cm de água (para o cálculo da macro e microporosidade, respectivamente); a densidade do solo, estabelecida a partir da relação entre massa seca (a 105°C por 24 h) dos sólidos/volume (Blake & Hartge, 1986); a densidade de partículas, determinada pelo método do picnômetro (EMBRAPA, 1979), e a porosidade total, obtida pela soma da macro e microporosidade calculadas a partir da curva de retenção de água.

Coletaram-se, ainda, amostras indeformadas em caixas de papel-cartão (13 x 9 x 4 cm) para a impregnação e confecção de lâminas delgadas de solos e estudo micromorfológico, conforme indicado em Castro (1989a). Além dos horizontes pedológicos, coletaram-se amostras nas transições entre os horizontes e nas feições pedológicas marcantes, objetivando esclarecer hipóteses sobre a dinâmica e evolução dos fenômenos erosivos levantados em campo. As amostras foram impregnadas com solução de resina de poliéster, monômero de estireno e catalisador peroxol, e as lâminas foram fabricadas, convencionalmente, como lâminas petrográficas, na espessura aproximada de 30 micra, sem lamínulas.

As descrições micromorfológicas valorizaram o reconhecimento dos constituintes e de seus arranjos (estruturas de base), a porosidade e as feições pedológicas, de acordo com Stoops & Jongerius (1975) e Brewer (1976), compilados por Castro (1989a).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A topossequência estudada apresenta declividade de 3,5%, perfil topográfico convexo regular com rebaixamento no terço inferior associado a espessamento do horizonte arenoso muito claro superficial, sobreposto diretamente à rocha alterada; termina junto a uma voçoroca, cuja evolução mais recente expôs, por reentalhamento do córrego, esse espesso pacote arenoso e a rocha alterada.

Apresenta sistema pedológico cuja sequência de solos é constituída por Latossolo Vermelho-Escuro no topo, passando lateral e gradualmente a Podzólico Vermelho-Amarelo do terço médio ao terço médio inferior e a jusante, as Areias Quartzosas. Lateralmente, a topossequência apresenta esses horizontes superpostos e justapostos (Figura 1).

O Latossolo do topo apresenta horizonte superficial (A) com aproximadamente 30 cm de espessura, cor bruno-avermelhada (2,5YR 4/4), textura arenosa, estrutura maciça em grãos simples, muito friável, não-plástico e não-pegajoso, com poros tubulares milimétricos, canais de 3 a 4 mm distribuídos aleatoriamente, alguns preenchidos por matéria orgânica, com transição gradual e plana para o horizonte subsuperficial (Bw), de espessura total não verificada, de cor Vermelho-Escura a bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 a 3/6), estrutura maciça porosa, com tendência a subangular média (fraca no topo do horizonte e mais forte em profundidade), ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, poros tubulares, canais de atividade biológica, distribuídos aleatoriamente. Este solo, embora já apresente gradiente textural entre os horizontes A e B, tem nesse último feições morfológicas tipicamente latossólicas, razão pela qual foi aqui mantida a denominação de Latossolo Vermelho-Escuro.

Para jusante, do terço médio ao inferior, o horizonte A torna-se mais claro, mais lavado e menos espesso e destaca-se a ocorrência de diferenciação textural nos perfis verticais, marcada por aumento gradativo de contraste nesse sentido, correspondente ao aparecimento dos horizontes E e Bt do Podzólico Vermelho-Amarelo. O horizonte Bt tem em média 60 cm de espessura, nasce em forma de cunha e se desenvolve embutido no horizonte Bw, constituindo geometria lenticular alongada, cujo limite superior é paralelo com a topografia atual da vertente, é bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4), apresenta variação lateral para jusante de textura franco-arenosa a franco-argilo-arenosa e de estrutura em blocos subangulares, pequena, de fraca a forte resistência, com cerosidade incipiente, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, grande porosidade fissural e tubular, poucas raízes, pouca atividade biológica, com transição gradual para o horizonte Bw tanto supra como subjacente.

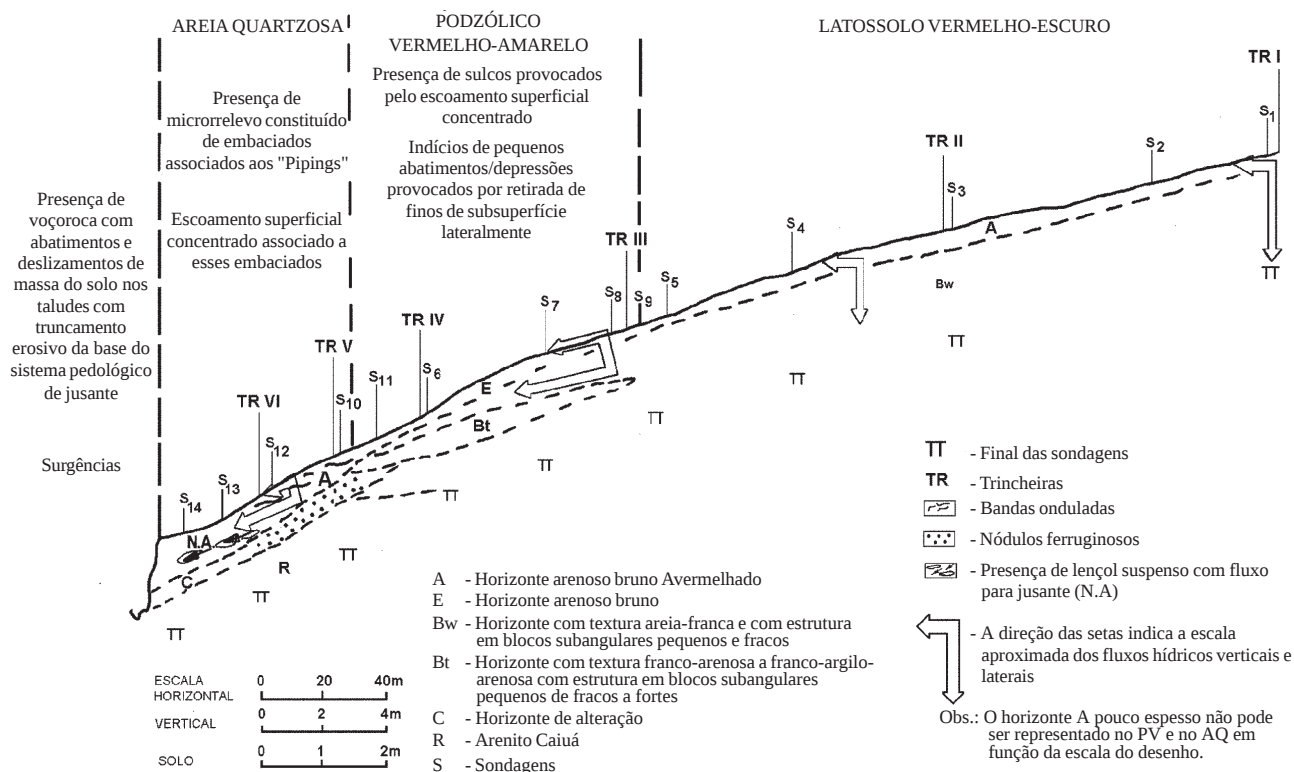


Figura 1. Representação esquemática da distribuição dos solos, dos fluxos hídricos e setores de risco à erosão da Topossequência Córrego Longe, Umuarama (PR).

No terço inferior da vertente, ocorre o espessamento do horizonte (A) arenoso (110 cm), bastante lavado, em virtude da retirada de silte e argila, provocada pelo aumento de drenagem interna, principalmente lateral. Esse horizonte contém feições lamelares superpostas, com 2 a 4 cm de espessura cada, com características similares ao Bt de montante, ao qual estão ligadas por pedúnculos. Bandas similares a estas também foram observadas em Podzólicos por Castro & Curmi (1987) e Castro (1989b), em Marília (SP), e por Salomão (1994) e Santos (1995), em Bauru (SP), dentre outras, os quais as denominaram de bandas onduladas e as interpretaram como residuais, resultantes de degradação associada à hidromorfia do topo do horizonte Bt, testemunhando que este já teria estado mais alto nos perfis. As características do solo desse segmento da vertente levaram a identificá-lo como Areia Quartzosa, embora a presença de bandas onduladas, mais argilosas, sugerissem Podzólico com Bt degradado.

Nesse segmento inferior da vertente, desaparecem os horizontes Bw, E e Bt, e o horizonte A apresenta-se sobreposto diretamente a um horizonte C de geometria lenticular, no início contendo nódulos ferruginosos envolvidos por material de alteração de cor variegada com

evidências de perda de ferro graças à forte hidromorfia, estrutura em blocos subangulares fraca, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, arenoso muito fino, com maior participação de silte, porosidade comum bastante fechada. Para jusante, os nódulos desaparecem progressivamente, permanecendo as demais características. O horizonte C, com ou sem nódulos, está sobreposto ao Arenito Caiuá de cor violácea, de granulação fina a média, arredondada, de seleção moderada a boa, como o descrito por Suguio et al. (1984).

Os resultados gerais da análise granulométrica (Quadro 1) confirmaram as texturas observadas em campo e ainda permitiram constatar que os teores de argila natural são mais elevados nos horizontes A e E, justamente o mais pobre em argila total, bem como na matriz do horizonte C com nódulos e na própria rocha alterada (R). Isto caracteriza esses horizontes como os de remoção mais fácil de argila na topossequência, ao contrário dos horizontes Bw e Bt, que, além disso, apresentam os maiores teores de argila total e estrutura mais desenvolvida, caracterizando-os como potencialmente mais estáveis. A granulometria ainda permite constatar aumento lateral de argila no horizonte Bt dos perfis das trincheiras III e IV, bem como entre os horizontes Bw e Bt dos perfis das trincheiras I, II e III, IV.

Quadro 1. Características físicas dos solos estudados

Horizonte	Profundidade	Granulometria					Argila natural	Grau de flocculação	Densidade	
		Areia grossa	Areia fina	Silte grosso	Silte fino	Argila			Solo	Partículas
cm		dag kg ⁻¹					g kg ⁻¹	%	g cm ⁻³	
Trincheira I - Latossolo Vermelho-Escuro										
A ₁	0-10	13	74	3	3	7	3	58	1,5	2,7
A ₂	10-30	11	74	4	3	8	4	54	1,7	2,7
B/A	30-60	13	71	3	2	11	5	56	1,6	2,7
Bw ₁	60-100	11	68	4	2	15	4	72	1,5	2,7
Bw ₂₁	100-140	10	67	4	2	17	0	99	1,5	2,7
Bw ₂₂	140-160 ⁺	9	67	3	2	19	0	99	1,5	2,7
Trincheira II - Latossolo Vermelho-Escuro										
A ₁	0-10	10	80	3	2	5	1	90	1,6	2,7
A ₂	10-30	10	80	3	2	5	1	88	1,7	2,7
Bw ₁	30-95	7	73	4	1	15	0	99	1,6	2,7
Bw ₂	95-120 ⁺	6	70	5	1	18	0	99	1,5	2,7
Trincheira III - Podzólico Vermelho-Amarelo										
A	0-10	12	78	3	2	5	1	90	1,5	2,7
E	10-50	11	80	4	1	4	1	89	1,6	2,7
Bt	50-125	14	68	3	1	14	0	99	1,6	2,7
Bw	125-160 ⁺	12	69	3	1	15	0	99	1,5	2,7
Trincheira IV - Podzólico Vermelho-Amarelo										
A	0-30	5	83	4	3	5	2	58	1,6	2,7
E	30-70	4	83	6	2	5	3	61	1,5	2,7
Bt ₁	70-105	3	71	5	3	18	3	88	1,5	2,7
Bt ₂	105-150	3	62	5	2	28	0	99	1,5	2,7
Bw	150-180 ⁺	4	68	4	2	22	0	99	1,5	2,7
Trincheira V - Areia Quartzosa										
A ₁	0-30	4	84	5	3	4	2	54	1,6	2,6
A ₂	30-100	4	82	5	3	6	3	45	1,4	2,7
C	100-120	5	56	4	3	32	0	98	1,5	2,6
R	120-170 ⁺	4	67	7	5	17	2	98	1,5	2,7
Trincheira VI - Areia Quartzosa										
A ₁	0-60	4	87	5	5	2	1	63	1,4	2,7
A ₂	60-110	4	87	4	4	3	1	56	1,5	2,7
C	110-130	3	61	4	4	28	3	49	1,5	2,7
R	130-170 ⁺	2	68	10	9	11	4	59	1,5	2,7

Essas observações revelam que a formação do Bt pode estar filiada à sua evolução por reorganização estrutural, do próprio Bw, aliada a mecanismos físico-hídricos, sem, contudo, envolver adensamento, uma vez que as densidades do solo (Quadro 1) mostraram-se relativamente constantes em todos os horizontes ao longo da topossequência, embora apresentem valores maiores em superfície, nos perfis das trincheiras I e II, atribuídos ao manejo do solo com uso freqüente de maquinário (compactação por “pé de arado”) (Kertzmam, 1996).

Os resultados da condutividade hidráulica saturada, da macro e da microporosidade (Figura 2), bem como a organização do espaço poroso e das

microestruturas observadas na micromorfologia (Quadro 2), revelaram que, no setor do topo, representado pelas trincheiras I e II, ocorre estrutura de base mônica a quitônica (grãos de esqueleto limpo ou envolvidos por uma fina película de plasma) no horizonte A da superfície, com porosidade de empilhamento fortemente comunicante e estruturas plásmicas assépticas, isto é, com orientações pontuais ou em pequenos domínios sem orientação entre si, passando a quitogefúrica (grãos envolvidos e, ou, ligados por pontes de plasma) no horizonte Bw de subsuperfície (Figura 3) com estruturas plásmicas assépticas e com porosidade de empilhamento fortemente comunicante de grãos simples a complexa de microagregados.

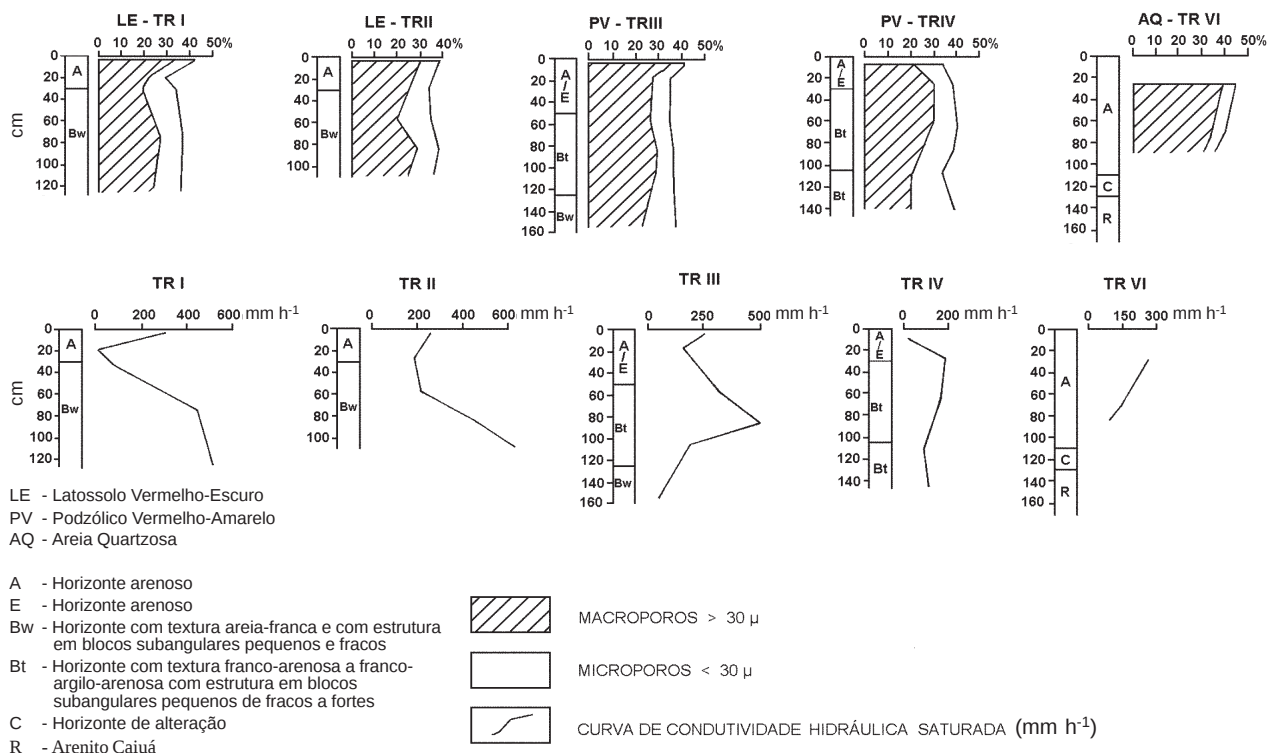


Figura 2. Variação vertical da condutividade hidráulica saturada e da porosidade total (macro e micro) dos solos estudados.

A estrutura mônica e a quitônica foram interpretadas como de perda de partículas finas a partir da estrutura de base quitogefúrica. As estruturas plásmicas assépticas não caracterizam esforços ou tensões importantes (Castro, 1989a), a não ser de pequenas contrações e expansões e a macroporosidade fortemente comunicante assegura maior condutividade hidráulica. Assim, a variação estrutural (macro e micro) e de macroporosidade e a fraca declividade do topo da vertente (Figura 1), característica do Latossolo, favorecem o predomínio do fluxo hídrico vertical, embora a compactação superficial já possa ocasionar pequeno fluxo hídrico lateral na superfície (sobre o horizonte A).

A partir do terço médio/superior da vertente (trincheira III) até o terço médio/inferior (trincheira IV), as microestruturas modificam-se. Nesse setor, o horizonte superficial E apresenta-se mais lavado, com estrutura de base mônica, passando a quitogefúrica, no horizonte Bw, e a porfírica (grãos de esqueleto dispersos e cimentados por uma massa de plasma), no horizonte Bt. Essa organização promoveria porosidade mais aberta e com maior conexão entre os poros no horizonte E, passando a mais fechada com menor conexão no Bw e Bt, respectivamente, o que provocaria redução do fluxo hídrico vertical nesse trecho e, conseqüentemente, aumento do fluxo lateral descendente acima do horizonte Bt (lençol suspenso).

No horizonte Bt, o plasma está parcialmente orientado ao redor dos poros (estruturas plásmicas vossépicas) e ao redor dos grãos do esqueleto (estrutura plásmica esquelsépica); ocorrem, também, algumas zonas com domínios não orientados entre si (estrutura plásmica assépica) e microfissuras provocadas por sua expansão e contração; ocorre, ainda, orientação forte e contínua na forma de poucos revestimentos cutânicos nos canais, às vezes estratificados, atribuídos a processos de iluviação (Figura 4). Isto corrobora a observação anterior de que o Bt estaria sendo formado por um rearranjo principalmente estrutural, sem adensamento, associado a mecanismos físico-hídricos ligados à dessecação/reumectação.

A notável redução da macroporosidade (Figura 2) no topo do horizonte Bt e a expressiva diminuição da conexão entre os poros favorecem o fluxo hídrico lateral subsuperficial acima desse horizonte, em detrimento do vertical, que se intensifica e se acumula para jusante. Esse comportamento explicaria a instalação da hidromorfia no topo do horizonte Bt de jusante, responsável pela desestabilização das argilas (dissociação ferro/argila) e sua remoção, causando a concentração residual da areia acima do Bt e do arenito (Castro, 1989b; Salomão, 1994; Santos, 1995). A presença de bandas onduladas encontradas no pacote arenoso a jusante, ainda ligadas ao horizonte Bt por um pedúnculo,

Quadro 2. Características micromorfológicas dominantes de horizontes selecionados dos solos estudados

Horizonte	Plasma	Esqueleto	Poros	Estrutura de base ⁽¹⁾	Estrutura plásmica ⁽²⁾
cm	%				
Trincheira I - Latossolo Vermelho-Escuro					
A1 (0-10)	5	35	60	mônica	assépica
A2 (10-30)	10	30	60	mônica	assépica
Bw ₂₁ (100-140)	35	35	30	quitogefúrica	assépica
Trincheira II - Latossolo Vermelho-Escuro					
A (0-10)	10	70	20	mônica	assépica
Bw ₁ (30-95)	15	50	35	quitogefúrica	assépica
Bw ₂ (95-120)	30	45	20	quitogefúrica	assépica
Trincheira III - Podzólico Vermelho-Amarelo					
A (0-10)	20	40	40	gefúrica	assépica
E (10-50)	15	35	50	mônica	assépica
Bt (50-125)	40	45	15	porfírica	sépica/local vo-esquelsépica
Bw (125-160)	30	55	15	quitogefúrica	sépica/local esquelsépica
Trincheira IV - Podzólico Vermelho-Amarelo					
A (0-30)	5	50	45	mônica	assépica
E (30-70)	5	50	40	mônica	assépica
Bt ₁ (70-105)	30	40	30	porfírica	sépica/local esquelsépica
Bt ₂ (105-150)	40	40	20	porfírica	sépica/local vo-esquelsépica
Bw (150-180)	30	55	15	quitogefúrica	sépica/local esquelsépica
Trincheira V - Areia Quartzosa					
A1 (0-30)	5	50	45	mônica	assépica
A2 (30-100)	10	45	45	mônica	assépica
C (110-130)	30	50	20	porfírica	sépica/local esquelsépica
R (120-170)	30	60	10	porfírica	assépica
Trincheira VI - Areia Quartzosa					
A1 (0-60)	5	50	45	mônica	assépica
A2 (60-110)	10	50	40	mônica	assépica
C (110-130)	25	60	15	porfírica	sépica/local vo-esquelsépica
R (130-170)	25	55	20	porfírica	assépica

⁽¹⁾ Estrutura de base (Stoops & Jongerius, 1975): mônica: partículas de um só grupo de tamanho ou ainda material amorfo; gefúrica: unidades mais grosseiras ligadas por braços ou pontes de material mais fino; quitogefúrica: união da quitônica (partículas minerais rodeadas de material fino ou agregados envolvidos por argila) + gefúrica; porfírica: partículas maiores distribuem-se numa matriz de partículas muito finas. ⁽²⁾ Estrutura plásmica (Brewer, 1976): Assépica: sem separação plásmica, com padrão de extinção pontuado; sépica: extinção em estrias ou separações plásmicas; esquelsépica: plasma orientado ao redor do esqueleto; vo-esquelsépica: plasma orientado ao redor do poro e do esqueleto.

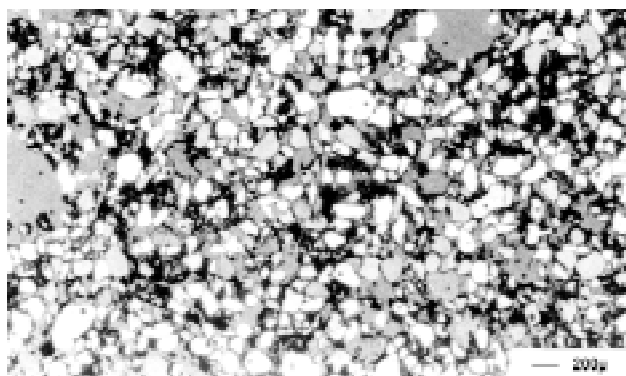


Figura 3. Fotomicrografia da seção delgada mostrando a microestrutura do horizonte Bw₁ do Latossolo Vermelho-Escuro da trincheira II.

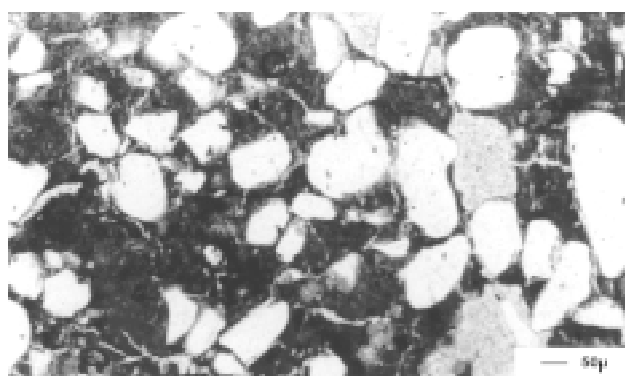


Figura 4. Fotomicrografia da seção delgada mostrando a microestrutura do horizonte Bt do Podzólico Vermelho-Amarelo da trincheira IV.

testemunharia essa dinâmica hídrica e pedogenética, bem como a degradação, lateralmente, do próprio Bt.

Na base do pacote arenoso, aparece também uma faixa de nódulos ferruginosos, cujo núcleo ainda preserva características do Arenito Caiuá, como o observado em campo e nas lâminas delgadas. Esses nódulos apresentam auréola de cor mais amarelada em virtude da forte hidromorfia, causando reidratação e posterior deferificação no seu entorno, num mecanismo de destruição centrípeta (da borda para o centro), principalmente a jusante, já que, na trincheira V, elas são maiores e mais freqüentes que as encontradas na trincheira VI. Essa passagem brusca do horizonte arenoso para esse horizonte de alteração com glêbulas ferruginosas propicia substancial redução da permeabilidade com surgimento de um lençol freático suspenso, aproximadamente a 80 cm de profundidade. O predomínio da circulação hídrica lateral, com retirada de finos em subsuperfície propicia também, neste setor, a formação de pequenas áreas rebaixadas, por subsidência, na superfície do terreno (embaciados).

Assim, parece haver uma relação bastante estreita entre o arranjo dos materiais e sua conseqüente contribuição para a formação do espaço poroso, o qual condiciona o volume e direção dos fluxos hídricos observados nos três principais setores da topossequência.

Considerando o conjunto de resultados, setorizou-se a topossequência Córrego Longe, em termos de suscetibilidade à erosão, em três zonas distintas: zona estável (topo); zona de estabilidade precária (média vertente), e zona de instabilidade potencial (baixa vertente) (Figura 1) conforme a terminologia empregada por Nóbrega et al. (1992), a saber:

- Zona estável, do topo até a média vertente, onde estão presentes dois horizontes pedológicos, o A de superfície e o Bw de subsuperfície, com predomínio da circulação hídrica vertical; os materiais mantêm-se estáveis em termos erosivos, conferindo-lhe condições adequadas à ocupação.
- Zona de estabilidade precária, média vertente, onde aparece o horizonte Bt que dificulta a circulação hídrica vertical e origina um fluxo lateral acima dele, nos materiais suprajacentes (horizontes A e E) que, por serem arenosos, podem ser facilmente mobilizados, propiciando a instalação dos processos erosivos lineares (sulcos e ravinas), tornando-se, portanto, um setor de menor estabilidade para ocupação.
- Zona de instabilidade potencial, do terço inferior até ao sopé da vertente; a facilidade de remoção de finos em subsuperfície promove o espessamento do horizonte superficial, que se torna cada vez mais arenoso a jusante. Por outro lado, abaixo deste horizonte, logo aparece o Arenito Caiuá, tendo entre eles apenas um horizonte estreito de alteração, com redução importante da porosidade.

Assim, além de intensificar a circulação hídrica lateral, surgem condições para a instalação do lençol freático (no nível de alteração). Este lençol promoveria a instalação de fenômenos de "piping", gerando as subsidências na superfície. A presença da voçoroca no sopé cria, por outro lado, situação de desequilíbrio para a vertente, que passa a sofrer os reflexos do seu aprofundamento e alargamento (deslizamentos de parte da vertente e desequilíbrio a montante). Este setor, por essas condições, é o mais instável e, portanto, mais vulnerável aos processos erosivos.

A integração dos dados macro e micromorfológicos, juntamente com a caracterização físico-hídrica dos materiais, além de confirmar as hipóteses levantadas por Nóbrega et al. (1992), possibilitou ainda arrolar algumas sugestões de prevenção e de controle dos processos erosivos:

- (1) Evitar a concentração da água pluvial, principalmente nos setores a jusante das médias vertentes, mesmo as consideradas de fraca declividade. Nesses setores, encontra-se o horizonte Bt, onde a circulação hídrica passa a ser predominantemente lateral, com retirada maior de finos em superfície, propiciando a formação de sulcos.
- (2) Evitar que a concentração das águas pluviais, provenientes de arruamentos e de galerias pluviais, seja despejada diretamente nas áreas mais frágeis das vertentes, como é o caso das cabeceiras de drenagem, onde são freqüentes os solos de textura arenosa.
- (3) Evitar ocupação urbana e, em particular, a construção de conjuntos habitacionais nas áreas de cabeceira de drenagem. O traçado inadequado das ruas e a falta de galerias pluviais podem potencializar a concentração e energia maiores do escoamento pluvial.
- (4) Recuperar, com urgência, a mata ciliar do dreno no terço inferior da vertente.

CONCLUSÕES

1. Trata-se de um sistema pedológico de transformação lateral, do tipo eluvial-iluvial, em que: (a) o horizonte Bw do topo transforma-se lateralmente em horizonte E, na superfície, por perda de matéria fina e em Bt, na subsuperfície, por rearranjo estrutural com pouca participação de argila translocada; (b) o horizonte Bt do terço médio da vertente degradar-se-ia por hidromorfia causada por lençol freático suspenso, deixando bandas onduladas como feições residuais, conforme exposto anteriormente; (c) a concentração de nódulos ferruginosos, o espessamento do horizonte superficial arenoso e a alteração do substrato arenítico no terço

inferior seriam conseqüências da forte hidromorfia nessa zona de acumulação dos fluxos.

2. Esse sistema pedológico de transformação lateral diferencia-se de outros similares, por apresentar-se, no conjunto, menos diferenciado, fato que pode estar relacionado com os teores de argila bem menores, o que pode ser atribuído às características granulométricas e mineralógicas dos arenitos da Formação Caiuá.

3. Os resultados analíticos e dos ensaios físico-hídricos, correlacionados com a macro e micromorfologia do sistema, permitiram deduzir os fluxos hídricos, sobretudo laterais descendentes, favorecendo a remoção lateral da fração argila nos horizontes superficiais (A, E) e no topo do horizonte subsuperficial (Bt), sobretudo do terço médio para jusante. Tal dinâmica assemelha-se ao observado por outros autores em sistemas pedológicos similares e condiciona a alta suscetibilidade aos processos erosivos lineares como ravinas, voçorocas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Maria Teresa de Nóbrega e Carlos Roberto Espíndola, pelas sugestões, e à Maria Suzete Casellato, pela revisão do texto.

LITERATURA CITADA

- BIGARELLA, J.J. & MAZUCHOWSKI, J.Z. Visão Integrada da problemática da erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 3., Maringá, 1985. Anais. Maringá, ABGE, ADEA, 1985. 322p.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, H.K. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Part 1: physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, ASA/SSSA, 1986. p.363-375.
- BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soils. 2.ed. New York, KRIEGER R.E., 1976. 482p.
- BOULET, G.R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F.X. & LUCAS, Y. Analyse structurale et pédologie. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et principaux apports à la connaissance des sols. Cah. ORSTOM, ser. Pedol., 19:309-322, 1982.
- 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 Agrônomo de Campinas. Campinas, Instituto Agrônomo, 1986, 94p. (Boletim Técnico, 106)
- CASTRO, S.S. Micromorfologia de solos: pequeno guia para interpretação de lâminas delgadas. São Paulo, IPT-CAPES X COFECUB p/DG-USP, 1989a. 87p. (não publicado)
- CASTRO, S.S. Sistemas de transformação pedológica em Marília. SP: B Latossólicos e B texturais, São Paulo, Universidade de São Paulo/FFLCH, 1989b. 274p. (Tese de Doutorado)
- CASTRO, S.S. & CURMI, P. Bandas onduladas em solos Podzólicos da formação Marília: estruturas de transformação pedológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1987. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1987. p.82.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & RÓPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn, GTZ, 1991. 272p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de Métodos de Análises de Solos. Rio de Janeiro, 1979, 228p.
- KERTZMAN, F.F. Modificações na estrutura e no comportamento de um Latossolo Roxo provocadas pela compactação. São Paulo, Universidade de São Paulo/FFLCH, 1996. 152p. (Tese de Doutorado)
- KÖEPPEN, W. Climatologia. Con un estudio de los climas de la tierra. México, FCE, 1948. p.145-378.
- KRONEN, M. A erosão do solo de 1952 a 1985 e seu controle no Paraná. Londrina, IAPAR, 1990. 53p. (Boletim Técnico, 30)
- LEMOES, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta do solo no campo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 1985. 36p.
- NÓBREGA, M.T.; GASPARETTO, N.V.L. & NAKASHIMA, P. Metodologia para cartografia de Umuarama-PR. B. Geog., 10:5-10, 1992.
- PARANÁ. Secretaria do Estado da Agricultura e do Abastecimento. Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. Atlas do estado do Paraná. Curitiba, 1987. 73p.
- SALOMÃO, F.X.T. Processos erosivos lineares em Bauru, SP: Regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1994. 200p. (Tese de Doutorado)
- SANTOS, L.J.C. Estudo morfopedológico da Toposequência da Esperança, em Bauru, SP: subsídios para a compreensão da gênese, evolução e comportamento atual dos solos, São Paulo, Universidade de São Paulo, 1995. 71p. (Tese de Mestrado)
- STOOPS, G. & JONGERIUS, A. Proposal for a micromorphological classification in soil materials. I. A classification of the related distributions of coarse and fine particles. Geoderma, 13:189-200, 1975.
- SUGUIO, K.; BARCELOS, J.H.; GUEDES, M.G. & VERDIANI, A.C. Canal de Pereira Barreto, local de transição entre os arenitos Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina, R. Inst. Geo., 5:25-37, 1984.