

PEDOGÊNESE EM UMA SEQUÊNCIA LATOSSOLO-PODZÓLICO NA BORDA DE UM PLATÔ NA DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA⁽¹⁾

P. VIDAL-TORRADO⁽²⁾, I. F. LEPSCH⁽³⁾, S. S. CASTRO⁽⁴⁾ & M. COOPER⁽²⁾

RESUMO

Estudou-se uma seqüência de solos (Latosolo Vermelho-Escuro álico textura muito argilosa → Podzólico Vermelho-Escuro distrófico textura argilosa/muito argilosa → Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico abrupto textura média/argilosa), situados na borda de um platô, que representa a superfície mais antiga e dominante da paisagem regional e de boa parte do médio/baixo Vale do rio Piracicaba, em Piracicaba (SP). Foram amostrados e descritos morfologicamente sete perfis de solos em trincheiras nos diferentes segmentos da vertente (topo, ombro, meia encosta e sopé). A configuração lateral dos horizontes foi observada por meio de tradagens. Análises mineralógicas, químicas e granulométricas foram feitas em amostras selecionadas dos horizontes. Nas amostras indeformadas dos horizontes e das transições entre estes, foram feitas a descrição e a análise micromorfológica para apoiar a interpretação da pedogênese. Os Latossolos muito argilosos do topo plano foram interpretados como formados a partir de um sedimento argiloso neoceno-zóico que recobriu o platô, e os Podzólicos como resultantes de transformação pedológica lateral dos Latossolos com contribuição de siltitos da formação Tatuí (Ptt). A gênese dos microagregados dos Latossolos do topo é complexa, mas dois processos ficaram mais evidentes: o da microestruturação geoquímica e o da zoogenética. A transição lateral Bw-Bt foi atribuída ao adensamento em subsuperfície do manto latossólico, em seqüência do rebaixamento e convexização da superfície topográfica original durante o Quaternário e da influência crescente para jusante da ação mecânica do fluxo lateral de água. Posteriormente, mecanismos de argiluviação e de degradação de argilas por hidromorfismo temporário no topo do Bt completam a transformação do Bw em Bt e deste em E, respectivamente.

Termos de indexação: microagregados, adensamento de agregados, degradação do horizonte Bt, relações solo-paisagem, micromorfologia.

⁽¹⁾ Trabalho apresentado no XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Viçosa (MG), 1995. Parte da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor à ESALQ/USP. Projeto financiado pela FAPESP. Recebido para publicação em setembro de 1998 e aprovado em agosto de 1999.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo – ESALQ/USP. Caixa Postal 09, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: pablo@carpa.ciagri.usp.br e mcooper@carpa.ciagri.usp.

⁽³⁾ Professor do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia. Caixa Postal 593, CEP 38400-902 Uberlândia (MG). E-mail: Igo@ufu.br.

⁽⁴⁾ Professor do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Caixa Postal 131, Campus II. CEP 74001-970 Goiânia (GO). E-mail: selma@iesa.ufg.br.

SUMMARY: *PEDOGENESIS OF AN OXISOL-ULTISOL-ALFISOL SEQUENCE ON THE BORDER OF A PLATEAU AT THE PAULISTA PERIPHERICAL DEPRESSION IN BRAZIL*

A soil sequence (Oxisol → Ultisol → Alfisol) was studied on the border of a plateau, which is the oldest regional surface near the Piracicaba river valley (southeastern Brazil). Seven pits were identified, sampled and morphologically described under the different segments of the sequence (end of summit, shoulder, backslope and footslope). A bi-dimensional sketch of the soil horizons was drawn. Undeformed soil samples were taken for micromorphological studies, and mineralogical, chemical and granulometric analyses were performed. The very clayey Oxisols of the flat summit are developed on a neo-cenozoic cover and the Ultisols resulted from a lateral pedologic Latosol transformation gradually receiving at the end of the backslope a contribution from fresh siltites (Tatuí formation, Permian). The genesis of the top Oxisol microaggregates is complex, but two processes became evident: the geochemical microstructure and the zoogenetics. The Bw → Bt transition was attributed to the subsurface densification of the microaggregates due to the levelling and convexity of the original surface and to the lateral water flow's growing influence downstream. Further mechanisms of argilluviation and clay destruction of the Bt horizon top by temporary hydromorphism will complete the transformation of Bw into Bt and of the latter into E, respectively.

Index terms: microaggregates, natural aggregate densification, argillic horizon degradation, soil geomorphology, soil micromorphology.

INTRODUÇÃO

Morfologicamente os Latossolos são peculiares por apresentarem horizonte B, onde a maior parte do plasma está contido em agregados granulares muito pequenos, também denominados microagregados. A gênese desses microagregados tem sido objeto de vários estudos que, em geral, admitem a possibilidade de origem diversa (Stoops, 1983). Em trabalho de revisão sobre a micromorfologia de oxissolos, Stoops & Buol (1985) distinguem cinco tipos de microagregados com pedogênese distinta: *estruturais* (ou de trama) (Beaudou et al., 1972; Muller, 1977), *zoogenéticos* (Eschenbrenner, 1986), *reliquiais* (Stoops, 1967), de origem *geoquímica* (Chauvel et al., 1978) e *complexos* (Muller, 1977).

A formação do horizonte B textural (Camargo et al., 1987) ou horizonte argílico (EUA, 1975), entretanto, ainda é alvo de discussões que não permitem uma compreensão clara, pois, na maior parte das vezes, há uma associação de processos, o que é mais comum na natureza. Fedoroff & Eswaran (1985) apresentaram uma lista de possibilidades ao estudar micromorfologicamente as argilas dos horizontes Bt.

Os processos considerados mais importantes e que levam à formação deste horizonte e do conseqüente gradiente textural são, resumidamente:

a argiluviação, mais conhecido e aceito pela maioria dos autores, resultante da migração das argilas da camada superficial; a ferrólise, mecanismo de destruição das argilas dos horizontes superficiais por hidromorfismo temporário, que pode ser acompanhado da argiluviação; o adensamento, menos conhecido que os dois processos citados, resultante de deformações plásticas, causado por ciclos de umedecimento e secamento, freqüentemente associado à argiluviação, além de outros menos conhecidos: a *herança litológica* (litodependência) e o *coluvionamento*.

Moniz (1996), em revisão sobre esse assunto, reafirma sua posição (Moniz & Buol, 1982), admitindo o adensamento como o principal processo de formação do horizonte Bt, ainda que a argiluviação também possa ocorrer. Para ele a argiluviação atua de forma secundária ou apenas coadjuvante. Há, no entanto, autores que admitem até mesmo uma origem *complexa* para a gênese dos Bt, quando um ou mais processos se interagem.

A transição lateral de Latossolos para Podzólicos de montante para jusante nas vertentes é uma das mais freqüentes na paisagem tropical. No Brasil, diversos trabalhos abordaram esta questão, como os de Lepsch & Buol (1976); Lepsch et al. (1977); Queiroz Neto et al. (1980); Moniz & Buol (1982); Castro (1989); Miklós (1992); Vidal-Torrado & Lepsch (1993).

O que se destaca, no entanto, é o componente adicional e da maior importância segundo os autores, que é a instalação de fluxos hídricos laterais, em decorrência de novas condições hidrológicas. Estas seriam produzidas pelo rebaixamento do relevo em consequência do aprofundamento do nível de base, pelo menos desde que se instalaram os climas tropicais úmidos com estação seca definida, durante o Quaternário. Apenas uma exceção caberia, que é a do truncamento erosivo dos Latossolos do topo, com subsequente exposição do substrato que evoluiria para Bt.

Na Depressão Periférica Paulista, ocorre uma dominância de Latossolos nos topos planos e amplos do relevo de colinas da Zona do Médio Tietê, domínio onde se insere a região de Piracicaba. A superfície geomórfica correlata a esses topos, situados em cotas entre 600 e 700 m acima do nível do mar, foi identificada por diversos geomorfólogos como sendo parte de um grande pediplano que se estabeleceu ao redor de 1 a 1,5 milhão de anos atrás e recebeu o nome de superfície Rio Claro (Penteado, 1968).

Nas bordas dos remanescentes desse pediplano, os Latossolos transicionam para solos com B textural. Essa transição deve ser resultado da instalação de uma nova hidrologia e da exposição de materiais geológicos mais frescos, resultando numa complexa pedogênese, envolvendo, provavelmente, boa parte da dinâmica descrita anteriormente. Buscando esclarecer tal pedogênese, estudou-se uma seqüência Latossolo Vermelho-Escuro álico textura muito argilosa → Podzólico Vermelho-Escuro álico ou distrófico textura argilosa/muito argilosa → Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico abrupto textura média/argilosa.

MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada situa-se no limite entre os municípios de Piracicaba e Santa Bárbara d'Oeste, no centro-leste do estado de São Paulo, entre as latitudes 22°42' e 23°45' S e as longitudes 47°30' e 47°32' W. Geomorfologicamente, está situada na Zona do Médio Tietê, na província da Depressão Periférica Paulista (Almeida, 1964), às margens do rio Piracicaba. O relevo local é formado por platôs dissecados, normalmente com escarpas nas bordas, seguidos de vales com relevo suave ondulado.

A litologia do local é constituída principalmente por siltitos permianos, com conteúdo variável de carbonatos, da formação Tatuí (Ptt), membro superior do Grupo Tubarão (IPT, 1981). A vegetação original, floresta mesófila semidecídua, está presente em pequenos remanescentes localizados nas escarpas. O uso atual da terra é com plantio de cana-de-açúcar. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, isto é, mesotérmico úmido

subtropical de inverno seco (Comissão..., 1960). As médias anuais de temperatura e a precipitação pluviométrica, obtidas de uma série de dados de 81 anos fornecida pelo Departamento de Física e Agrometeorologia da ESALQ/USP, são de 21,5°C e 1.270 mm, respectivamente. A média de temperatura do mês mais frio é de 17,4°C e do mês mais quente 24,6°C. O regime térmico dos solos é hipertérmico (Oliveira et al., 1976).

O detalhamento maior da geologia e da geomorfologia da área foi descrito em trabalho complementar (Vidal-Torrado et al., 1999). A seqüência estudada localiza-se na parte mais elevada da paisagem regional, sendo constituída por um topo quase plano, seguido de um ombro, meia encosta e um sopé que grada para uma escarpa, que, por sua vez, está ligada às partes mais baixas do vale (Figura 1). Como se procura compreender a pedogênese e as alterações laterais dos Latossolos do topo, a seqüência foi interrompida no primeiro sopé, limitando-se, assim, à borda do platô.

Sete perfis de solos foram descritos e amostrados em trincheiras ao longo da seqüência. Nos solos mais profundos, a seqüência vertical de horizontes foi avaliada por meio de tradagens profundas e de descrições morfológicas e coletas feitas num poço em escavação de 10 m de profundidade na posição mais elevada da seqüência (Perfil P1). Após as descrições morfológicas dos perfis, foram coletadas amostras deformadas de cada horizonte para análise química e granulométrica de rotina. Em horizontes e em transições entre horizontes selecionados dos perfis, coletaram-se amostras indeformadas e orientadas para a análise micromorfológica. Também foi elaborada uma figura bidimensional da geometria lateral dos horizontes, seguindo os procedimentos de campo recomendados por Boulet (1988).

A granulometria foi determinada, utilizando-se hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio (Camargo et al., 1986) como dispersantes. Os teores de silte e argila foram determinados pelo método do densímetro e a fração areia por peneiramento. As análises químicas foram feitas de acordo com Raij et al. (1987). Os solos foram classificados de acordo com Camargo et al. (1987).

As amostras indeformadas e orientadas foram impregnadas com resina de poliéster (Castro, 1985), a partir das quais foram confeccionadas seções delgadas para análise micromorfológica, utilizando os critérios estabelecidos por Brewer (1976), com adaptações para a descrição da trama do solo, segundo Stoops & Jongerius (1975); Brewer & Sleeman (1988). Para as fotomicrografias, empregou-se um fotomicroscópio Zeiss.

Em amostras selecionadas do horizonte B dos solos, foi determinada a composição mineralógica da fração argila. O preparo e os tratamentos das amostras seguiram o método de Jackson (1969). Após eliminação da matéria orgânica e dos óxidos de ferro,

a fração argila ($< 2 \mu\text{m}$) foi separada por sifonagem. Subamostras foram saturadas com K^+ ou com Mg^{2+} e foram irradiadas com raios-X por meio de difratômetro Rigaku, com tubo de Cu e filtro de Ni, no intervalo 2θ de 3 a 32° . As subamostras saturadas com K^+ foram irradiadas na temperatura ambiente após aquecimento a 350 e 550°C . As saturadas com Mg^{2+} foram irradiadas na temperatura ambiente em duas etapas, antes e depois de solvatação com etileno-glicol, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seqüência estudada situa-se na passagem entre as duas superfícies mais antigas identificadas na área por Vidal-Torrado et al. (1999). A seqüência foi repartida em diversos segmentos, a saber: topo, ombro, meia encosta e sopé. A partir do sopé, segue-se uma escarpa que liga o platô ao vale dissecado pelo rio Piracicaba (Figura 1).

Morfologia e classificação dos perfis

A figura 1 representa a configuração lateral dos horizontes dos solos e seus respectivos atributos morfológicos estão indicados no quadro 1.

Os perfis localizados no topo P1, P2, P3 e P4 foram classificados como Latossolo Vermelho-Escuro textura muito argilosa. Na profundidade de 80 a 100 cm, inicia-se um horizonte B latossólico (Bw) muito espesso, com forte microagregação. Nesses quatro perfis, entre o horizonte Ap e o Bw, ocorre um horizonte BA com blocos subangulares com tamanho de 2 a 5 cm, de consistência friável e cerosidade moderada e comum, concentrada principalmente nas paredes dos agregados. A atividade biológica é muito evidente tanto no horizonte B como no horizonte BA, sendo comum a presença de crotovinas (preenchidas por material solto granular) e pedotúbulos.

A partir do ombro, o perfil P5 foi classificado como Podzólico Vermelho-Escuro. A estrutura do horizonte B passa a apresentar agregados maiores, em forma de blocos subangulares e prismas de tamanho entre 2 e 3 cm, com grau forte de agregação, características essas de horizonte Bt. A cerosidade reveste preferencialmente as paredes verticais e oblíquas dos agregados, sendo descrita como forte e comum. Na profundidade de 120 a 140 cm, aparecem seixos esparsos de quartzo e quartzito, com 1 a 2 cm de diâmetro, juntamente com nódulos argilosos de mesma dimensão. Também neste perfil a atividade biológica é bastante evidente, considerando as de

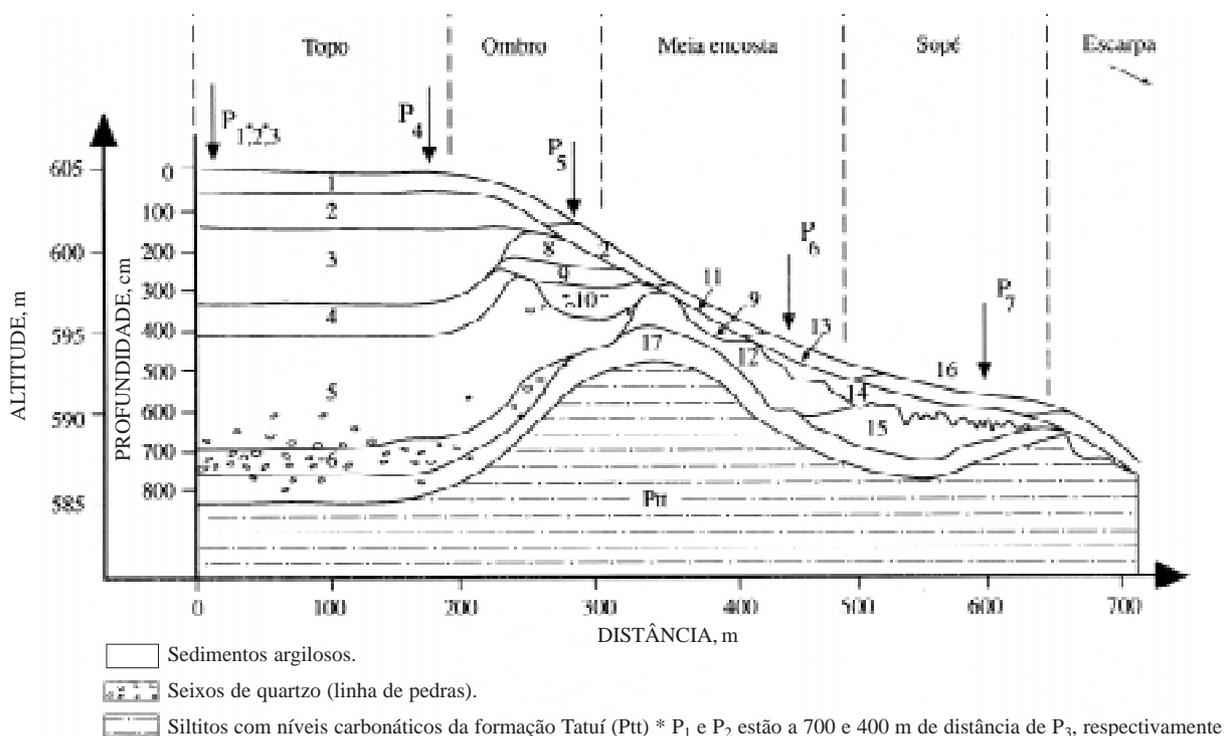


Figura 1. Perfil topográfico da seqüência estudada contendo: delimitação dos segmentos da vertente; posição dos perfis; configuração lateral dos horizontes, da linha de pedras e da rocha subjacente. 1,2,...,17: horizontes do solo (Quadro 1). A transeção escolhida atravessa um remanescente de uma antiga superfície, que é a mais elevada e plana da região. Os perfis de 4 a 7 situam-se na borda do platô. O material inconsolidado neoceno-zóico coincide com o Latossolo (perfis 1 a 4).

Quadro 1. Atributos morfológicos dos principais horizontes observados na figura 1

Número (Figura 1)	Horizonte	Cor úmida	Textura	Estrutura do B	Observações
1	Ap	2,5YR 3/4	muito argilosa		
2	AB, BA	2,5YR 3/5	muito argilosa	subg. méd. mod.	
3	Bw1	2,5YR 3/6	muito argilosa	gran. peq. fte.	Nódulos de argila comuns
4	Bw2	2,5YR 4/8	muito argilosa	gran. peq. fte.	
5	Bw3	2,5YR 4/7	muito argilosa	gran. peq. fte.	Presença de agregados densos e centimétricos
6	2BC	2,5YR 4/7	argila		Seixos de quartzo comuns e presença de fragmentos de siltito alterado
7	Ap	5YR 4/6	argila arenosa		
8	Bt	2,5YR3/4	muito argilosa	subg. + pri. méd. fte.	Cerosidade forte e comum
9	Bt	2,5YR 3,5/6	muito argilosa	subg. + pri. méd. fte.	Cerosidade forte e comum
10	Bt	2,5YR 4/6	muito argilosa	subg. + pri. méd. mod. ou fte.	Cerosidade forte e comum ou moderada e comum
11	Ap	7,5YR 4/5	argila arenosa		
12	Bt	2,5YR 5/8	argila	subg. peq. mod. a fte.	Cerosidade forte abundante
13	Ap	10YR 4/4	franco-argilo arenosa		
14	E	10YR 6/6	franco arenoso		Topografia da transição do E para Bt é irregular
15	Btg	5YR 5/6	muito argilosa	pri. peq a méd. fte.	Mosqueados pequenos e muito pequenos comuns (10YR 6/6, 5YR 5/8 e 5Y 7/1). Superfícies de compressão comuns na parte inferior do horizonte
16	Ap	10YR 4/2	franco-arenosa		
17	BC ou CR	5 a 10YR	argila a franco-argilosa	variável, predominando aspecto maciço	Grau de alteração da rocha variável desde pouco alterada (2CR ou CR) a apenas pequenas pontuações de alteritas (BC)

Abreviações: subg: subangular; pri: prismática; peq: pequena; méd: média; fte: forte; mod: moderado; gran: grande.

galerias biológicas, crotovinas e pedotúbulos observados principalmente no horizonte Bt.

O perfil P6 localiza-se na meia encosta. Trata-se também de Podzólico Vermelho-Escuro, com cerosidade muito evidente no horizonte Bt, formando revestimentos espessos (visto na lupa), em agregados de grau forte e conformação poliédrica (blocos subangulares, principalmente). Preenchimentos biológicos de até 1 cm de diâmetro (pedotúbulos) são nítidos e comuns até 100 cm de profundidade aproximadamente. Em comparação com o perfil anterior (P5), a textura do horizonte Bt é menos argilosa (550 g kg⁻¹ no P6 contra 700 g kg⁻¹ no P5) e a passagem do horizonte A para o Bt é abrupta.

O P7 é o último dos perfis da sequência. Situa-se no sopé e difere bastante em sua morfologia e atributos químicos do demais perfis. Classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo, a cor do horizonte Bt deixa de ter matizes 2,5YR e passa a 7,5YR, com cores brunas e presença de volumes bruno-

esverdeados e bruno-ocre, numa estrutura com agregados prismáticos de 4 a 8 cm de tamanho, com grau forte de agregação. As faces dos agregados do Bt apresentam superfícies lisas e revestimentos contínuos. A transição de E para Bt é abrupta, com mudança textural também abrupta. A textura superficial é média e no Bt é argilosa tendendo a muito argilosa.

Atributos químicos

A saturação por bases (Quadro 2) aumenta gradativamente a partir da ruptura do declive do topo para o ombro, atingindo o valor máximo no sopé (P7). A passagem é de álico no topo (P1, P2, P3 e P4) para distrófico no ombro (P5) e, finalmente, eutrófico na meia encosta e sopé (P6 e P7).

Valores de CTC dos horizontes até 130 cm dos solos do topo (P1 a P4) são superiores aos dos Latossolos, passando a valores aceitáveis para esse grupamento a partir dessa profundidade (Quadro 2).

Quadro 2. Atributos químicos e granulométricos dos solos

Horizonte	Profundidade	Granulometria			pH H ₂ O	C	Al ³⁺	S	CTC	T ⁽¹⁾	m	V
		Areia	Silte	Argila								
	cm	g kg ⁻¹			g kg ⁻¹	mmol _c kg ⁻¹			%			
P1 Latossolo Vermelho-Escuro álico A moderado textura muito argilosa												
Ap	00-25	250	120	630	4,8	24	14	35	144	57	29	24
AB	25-70	150	70	780	4,6	20	26	25	191	129	51	13
Bw1	105-130	180	80	740	4,5	16	23	12	147	101	66	8
Bw2	130-160	180	60	760	4,8	11	13	8	72	30	62	11
Bw3	160-200	180	110	710	4,6	10	10	4	68	32	71	6
Bw4	200-250	220	100	680	5,4	7	2	21	49	26	9	43
Bw5	250-400	253	150	600	5,2	7	2	23	60	48	10	42
Bw6	500-550	200	240	560	4,8	7	10	26	68	65	28	38
Bw7	600-700	310	220	470	4,7	7	10	18	60	61	36	30
2BC	800-900	250	260	490	4,7	7	27	22	110	160	55	20
2C	1000-110	140	390	470	4,5	6	33	5	190	347	87	3
P2 Latossolo Vermelho-Escuro câmbico álico A moderado textura muito argilosa												
Ap	00-30	200	130	670	4,8	24	17	36	145	55	32	25
AB	30-48	130	90	780	4,8	23	17	30	165	79	36	18
BA	48-102	130	70	800	4,5	20	26	18	203	141	59	9
Bw1	102-150	140	110	750	4,6	16	26	14	185	151	65	8
Bw2	150-200	160	110	730	4,7	9	6	30	72	43	17	42
Bw3	200-250	140	150	710	4,9	7	3	31	69	53	9	45
P3 Latossolo Vermelho-Escuro câmbico álico A moderado textura muito argilosa												
Ap	00-20	180	150	670	5,1	26	8	35	123	9	19	28
AB	20-52	80	100	820	4,7	19	21	27	177	112	44	15
BA	52-88	90	110	800	4,5	16	28	14	199	159	67	7
Bw1	88-117	100	100	800	4,5	15	24	11	177	137	69	6
Bw2	117-150	130	110	760	4,7	12	15	8	96	55	65	8
Bw3	150-200	120	190	690	4,7	7	6	24	66	50	20	36
Bw4	200-250	160	150	690	4,9	7	3	29	60	41	9	48
P4 Latossolo Vermelho-Escuro câmbico álico A moderado textura muito argilosa												
Ap	00-20	270	130	600	5,2	31	6	49	129	-	11	38
AB	20-51	70	110	820	5,2	19	8	48	136	62	14	35
BA	51-94	180	80	740	4,5	18	8	14	219	186	67	6
Bw1	94-132	160	110	730	4,5	13	8	9	159	138	76	6
Bw2	132-150	180	130	690	4,6	10	8	9	89	64	67	10
Bw3	150-200	160	140	700	4,8	8	9	24	71	50	27	34
Bw4	200-250	200	110	690	4,9	7	6	30	68	53	17	44
Bw5	400-450	270	180	550	5,2	7	3	20	51	35	13	39
Bw6	600-650	190	260	550	5,1	6	9	23	65	69	28	35
2BC1	650-700	330	250	420	4,9	6	14	21	63	86	40	33
2BC2	750-800	240	230	530	4,7	7	20	29	76	84	41	38
2C	800-850	150	310	540	4,7	7	28	22	102	131	56	22
P5 Latossolo Vermelho-Escuro distrófico Tb A moderado textura argilosa/muito argilosa												
Ap	00-33	410	210	380	5,3	15	6	25	63	-	19	40
Bt1	33-70	180	130	690	5,4	12	4	29	67	19	12	43
2Bt2	70-150	180	120	700	5,1	9	6	20	58	25	23	34
P6 Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico Tb A moderado média/argilosa												
Ap/E	00-33	480	160	360	5,6	14	3	29	51	-	9	57
Bt1	33-77	280	160	560	5,2	10	1	28	56	20	3	50
Bt2	77-110	270	180	550	5,4	7	3	24	49	32	11	50
Bt3	110+	290	160	550	5,2	7	3	26	57	46	10	46
P7 Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico Tb A moderado abrupto média/argilosa												
Ap	00-23	490	290	220	5,0	16	8	21	59	-	28	36
E	23-32	480	300	220	4,9	13	6	22	60	7	21	37
Bt1	32-47	350	220	430	5,4	11	5	54	85	83	8	64
Btg1	47-75	280	180	540	5,2	11	7	66	108	108	10	61
Btg2	75-140	80	300	620	5,3	8	14	48	95	95	23	51

⁽¹⁾ Valores em mmol_c kg⁻¹ de argila, calculado pela expressão T = 1000 (CTC - 4,5 C)/argila.

O cálculo da CTC/100 g de argila com desconto para carbono (valor T) demonstrou que os perfis P2, P3 e P4 devem ser classificados como Latossolos câmbicos (Quadro 2), uma vez que, na parte superior do horizonte B (BA e Bw1), os valores de T superam o limite de 130 mmol_c kg⁻¹ para B latossólico (Camargo et al., 1987).

Possível erro a considerar nestes cálculos é o valor de CTC imputado a cada 1% de C, que é de 45 mmol_c kg⁻¹, e que poderia subestimar a participação dos colóides orgânicos na CTC. Essas considerações e a proximidade encontrada entre o limite admitido de T para o B latossólico e os valores desse parâmetro nos horizontes BA e Bw1 de P2 a P4 (Quadro 2) colocam em caráter condicional a adjetivação "câmbico" nestes três perfis de Latossolo, uma vez que não reúnem outros atributos para assim serem classificados.

Os valores de CTC no horizonte Bt de P7 são o dobro do horizonte B dos demais perfis da seqüência.

Mineralogia da fração argila

Os difratogramas da fração argila dos perfis localizados no topo mostraram mineralogia similar (Figura 2). São solos cauliníticos com presença de gibbsita e de vermiculita com hidróxi entre camadas ou, simplesmente, VHE (Fontes, 1990), esta última em menor proporção. A partir de 8 m de profundidade, na camada de rocha alterada (siltitos do Ptt), atingida pela tradagem profunda realizada no perfil 4, surge um pico ao redor de 1,0 nm correspondente às micas, além da caulinita e pouca gibbsita.

Além da contribuição na CTC pela matéria orgânica humificada, a hipótese sugerida para explicar os valores relativamente elevados de CTC nos horizontes A, AB, BA e Bw1 dos Latossolos é a de que esteja havendo um acúmulo relativo de VHE nessas camadas mais próximas da superfície e, portanto, mais expostas à ação do intemperismo. Nas condições atuais, a VHE seria mais estável do que a caulinita (Karathanasis et al. 1983), acumulando-se

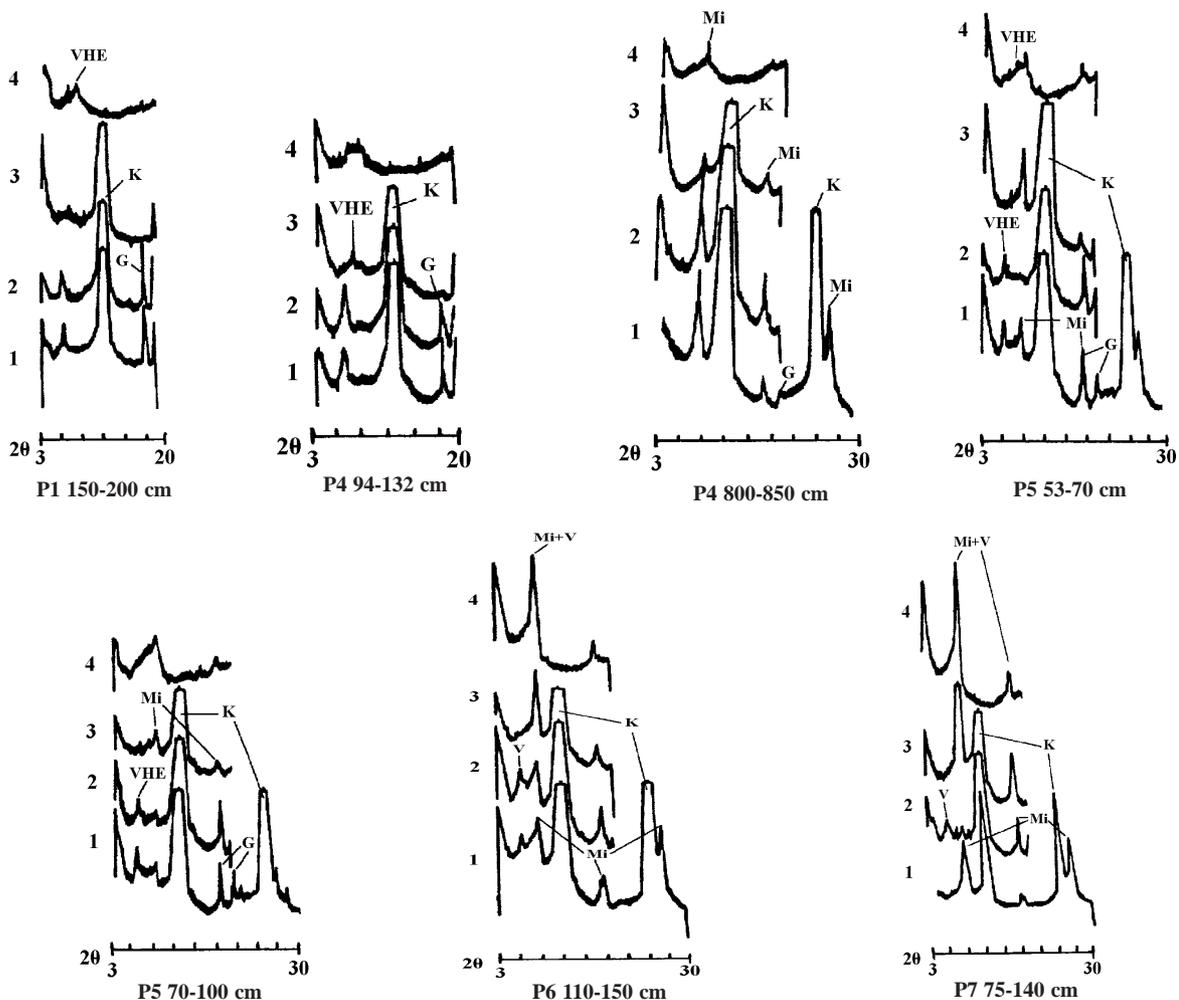


Figura 2. Difratogramas da fração argila dos perfis estudados. Tratamentos: (1) K⁺ 25°C; (2) Mg²⁺ 25°C, glicolada; (3) K⁺, 350°C; (4) K⁺ 550°C. Mi: mica (ilita); V: vermiculita; VHE (vermiculita com hidróxi entrecamadas); K: caulinita; G: gibbsita.

residualmente e aumentando a CTC. Embora se trate de uma aproximação sujeita a erros de estimativa da contribuição da matéria orgânica humificada, a CTC das argilas, descontada a participação da matéria orgânica (valor T) desses perfis (Quadro 2), corrobora tal hipótese e a tendência observada nos difratogramas, pois os valores de T até à profundidade de 120 a 150 cm são excessivos para solos essencialmente cauliniticos, sendo, no entanto, mais adequados à mineralogia 1:1 com participação de VHE.

A partir do perfil 5, a mineralogia modifica-se ligeiramente, com menor participação de VHE e o surgimento de mica secundária no horizonte Bt desse solo. A ocorrência de mica aumenta gradativamente em direção ao sopé, tendo o perfil 7 mineralogia mista entre 2:1 não-expansiva (mica) e 1:1 (caulinita), com pequena participação de gibbsita e de vermiculita.

A participação crescente das micas primárias e secundárias, estas últimas formadas por transformação direta da mica primária, a partir do ombro da vertente em direção ao sopé, foi detectada na fração areia por meio do exame micromorfológico e na fração argila por DRX. Tal fato e a ocorrência de mica somente após 8 m de profundidade no topo da vertente, ao se atingir a alteração do substrato rochoso, apoiam a hipótese de mudança de material de origem a partir da meia encosta da vertente.

Pedogênese

A gênese dos microagregados dos Latossolos (Figuras 3a,b,c,d) parece ser complexa e provavelmente consequência de mais de um processo de formação para que se possa explicar este tipo de agregados, tal como sugerem Stoops & Buol (1985). Nas descrições micromorfológicas (Quadro 3), ficou evidente o processo de microestruturação geoquímica descrita por Beaudou et al. (1972) e depois por Muller (1977), dando origem aos microagregados a partir da microfissuração contínua da trama porfírica do material argiloso de origem (Figuras 3c e 3d). Agregados zoogenéticos, também mencionados, apresentam características descritas por Eschenbrenner (1986) e Miklós (1993). Outros microagregados não atendem aos requisitos que estes autores apresentam para justificar a origem biológica, ressaltando-se a presença de microagregados com esqueleto pouco triado, com partículas superiores a 100 µm, e a forma esférica também comum (micronódulos).

O horizonte BA apresenta agregados poliédricos centimétricos, cuja forma sugere conterem um empacotamento de microagregados (Figura 3b). Esse empacotamento seria favorecido pela maior atividade biológica nos horizontes mais próximos da superfície e pelo maior número de ciclos de umedecimento com saturação e posterior secamento dessa zona, promovendo deformações mecânicas que aumentariam o tamanho dos agregados (Moniz &

Buol, 1982). Por outro lado, no mesmo horizonte, foram descritas zonas de enfraquecimento da estrutura poliédrica, formando microestrias que sugerem a individualização futura do agregado em diversos micronódulos (Quadro 3). Assim, o mecanismo de adensamento do horizonte BA nos Latossolos argilosos estudados parece estar em situação de equilíbrio, não sendo provável que, com o passar do tempo, os agregados aumentem de tamanho e densidade abaixo deste horizonte, pelo menos na posição de topo das vertentes.

A passagem lateral de Bw para Bt no ombro da seqüência parece seguir os seguintes mecanismos: adensamento devido à ação mecânica do fluxo lateral de água (Moniz & Buol, 1982); mudança das condições para o caminamento da água feito de forma concentrada nas paredes dos agregados poliédricos, favorecendo o transporte de argilas no perfil (Castro, 1989) e a coalescência dos microagregados pré-existentes (Figura 3e); argiluviação mais intensa na parte superior do perfil (Quadro 3), com posterior obstrução parcial de porosidade, levando a hidromorfismo temporário que, por sua vez, promove a remoção do ferro e facilita a argiluviação (Lepsch et al., 1977; Queiroz Neto et al., 1981). Na transição entre A e Bt, ocorre coalescência de cavidades (Figura 3f), o que caracteriza depleção tanto mecânica como química (Castro, 1989), incluindo aí mecanismos localizados provavelmente de degradação de argila em condições de hidromorfismo, processo chamado de ferrólise por Brinkman (1969-1970) e descrito em solos com B textural no Brasil por alguns autores como Almeida et al. (1997).

A partir da meia encosta, o remanejamento de materiais de horizontes inferiores para os superiores por ação de organismos, o denominado "remonte biológico" (Eschenbrenner, 1987; Miklós, 1992), seria responsável pela mistura de materiais da cobertura neocenozóica argilosa com os sedimentos dos siltitos do Ptt aos quais, no local, estão diretamente superpostos e constituem o material de origem dos solos, não tendo havido a formação de B latossólico na maior parte deste segmento de vertente. Também aqui a argiluviação e os processos de migração de ferro dominam a pedogênese (Figura 4a), sendo evidente a formação do E às expensas do Bt (Figura 4b e Quadro 3).

No sopé, a pedogênese ocorre sob hidromorfismo de grau moderado e diretamente sobre os siltitos do Ptt, tendo sido o gradiente textural observado formado pela ação conjunta do coluvionamento (Quadro 3) e os processos de argiluviação e de ferrólise (Figuras 4c e 4d). A ferrólise, nestas condições de drenagem, é muito mais evidente que nas transições entre A e Bt da meia encosta.

O incremento gradativo da saturação por bases (V%) (Quadro 2) a partir do terço médio até o sopé deve estar relacionado com o aumento gradual da

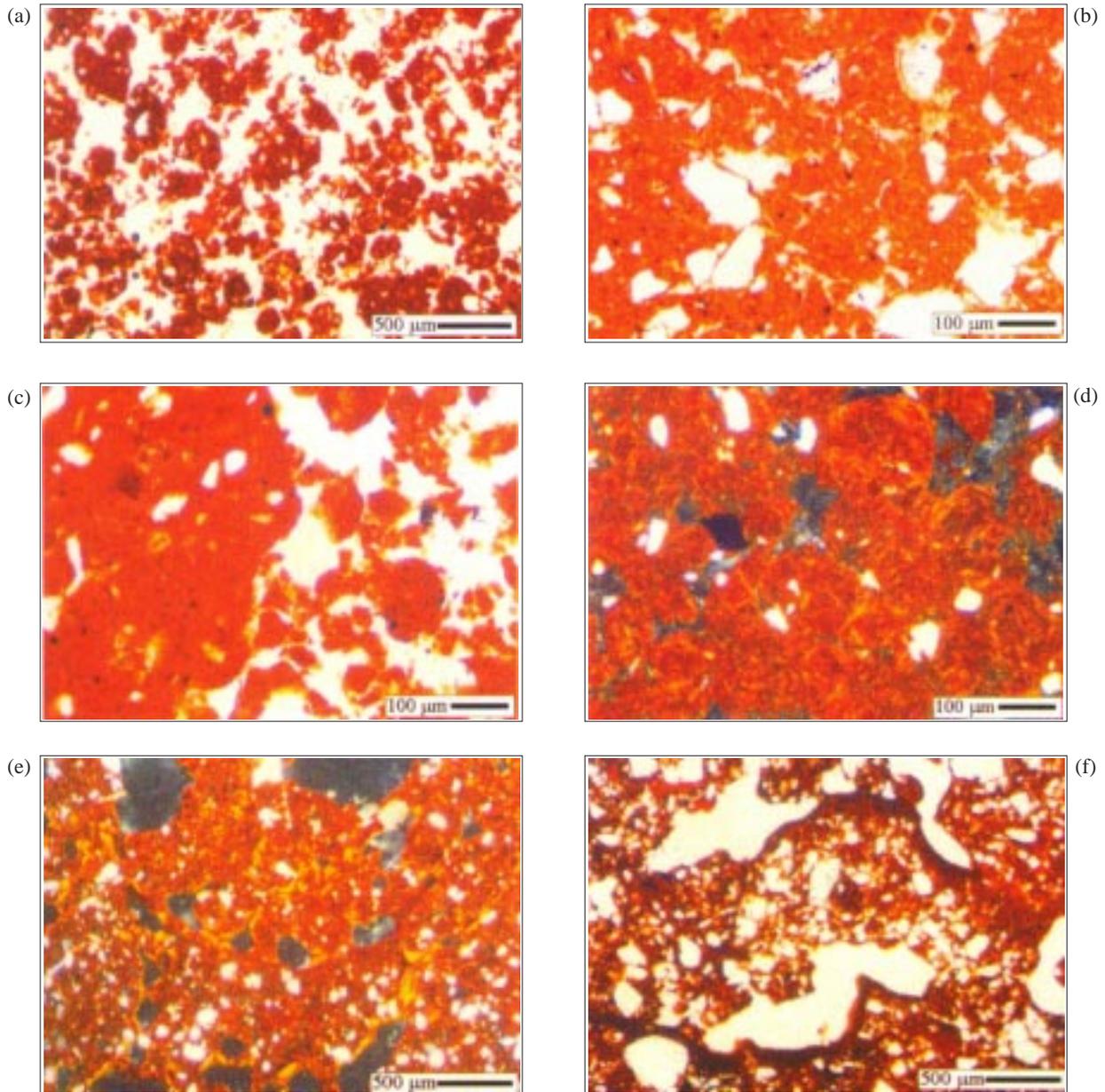


Figura 3. Fotomicrografias dos perfis 1 e 5: (a) horizonte Bw do perfil 1 com trama grânica; (b) horizonte BA (80-90 cm) do perfil 1 com empacotamento de microagregados (trama apórica granódica); (c) fragmentação de agregado centimétrico denso em microagregados no horizonte Bw próximo ao 2BC do perfil 1 (600-610 cm); (d) material porfírico do horizonte Bw do perfil 1 (600-610 cm) com malha de zonas estriadas onde os microagregados se individualizam preferencialmente (nicóis cruzados); (e) trama porfírica com cavidades do horizonte Bt1 (103-110 cm) do perfil 5; distribuição dos ferriargilãs mostra coalescência de microagregados por argiluviação; (f) transição A/Bt do perfil 5; trama porfírica com coalescência de cavidades cujas paredes inferiores estão revestidas por ferrãs de difusão.

contribuição dos siltitos permianos com níveis carbonáticos da formação Tatuí (Ptt), observados no local, como material de origem dos solos do sopé. A formação de agregados prismáticos de grau forte com superfícies de compressão no Bt dos solos do sopé deve-se ao elevado conteúdo de argila associado à

presença significativa de argilas 2:1, lito-herdadas dos siltitos do Ptt. O menor fluxo lixiviante no sopé propicia a manutenção de valores elevados de saturação por bases no horizonte Btg, assim como valores de pH ligeiramente superiores, favorecendo a estabilidade dessa mineralogia mais ativa.

Quadro 3. Atributos micromorfológicos dos perfis estudados

Atributo	Perfil			
	P1 e P4 ⁽¹⁾	P5	P6	P7
Estrutura do plasma	Isótico com leve birrefringência no horizonte BA passando a isótico no Bw. Massépico a partir de 2BC.	Vomassépico	Massépico no E e vomassépico no Bt	Massépico no E, vomaesquelsépico no Bt e vomassépico a vomaesquelsépico no Btg
Trama	Apórica-granóidica no BA passando a grânica ou grânica-granóidica no Bw.	Porfírica no A, passando a porfírica com cavidades e canais no Bt e localmente granóidica.	Gefúrica com pequenos domínios porfíricos no E. Porfírica no Bt.	Gefúrica com domínios porfíricos no E. Porfírica fissurada no Bt.
Feições	Pedotúbulos, cavidades e canais elipsoidais indicam bioturbação intensa em todos os horizontes. Cutãs de estresse ocorrem na borda dos agregados poliédricos do BA e no seu interior há uma tendência micronodular, marcada por zonas de maior birrefringência ao redor dos micronódulos (microestrias).	Ferriargilãs abundantes no Bt e ocorrência comum de pápulas na transição A-Bt; halos, ferrãs e descoloração do plasma são frequentes no Bt. Alguns domínios porfíricos são microagregados colaescidos por ferriargilãs.	Concentrações plásmicas, com ferriargilãs e fundo matricial em degradação, esparsas na transição E-Bt (pedorrelíquias do Bt em E). Ferriargilãs abundantes, complexos e microestratificados. Pápulas e poros bloqueados por cutãs são muito frequentes no topo do Bt, assim como ferrãs e a descoloração do plasma. Muitos nódulos ferruginosos incorporados ao fundo matricial no Bt.	Agregados angulares no Bt. Feições de mobilização de ferro (halos, glébulas e cutãs) em todo o perfil, sendo comuns na transição A-E, onde formam recobrimentos horizontais e contínuos, passando a abundantes no Btg. Ferriargilãs comuns nas paredes dos agregados. Os diferentes tipos de cutãs aparecem mesclados nas paredes dos agregados do Btg.
Observações	Grãos de quartzo bem selecionados e arredondados. Na transição Bw-2BC presença de domínios porfíricos com microfissuras em uma trama granóidica.	Coalescência cavitária observada na transição A-Bt. Os grãos são moderadamente selecionados e subarredondados, com ocorrência de mica aumentando no 2Bt2.	Grãos pouco selecionados e de arredondamento variável, com ocorrência comum de mica e feldspatos.	Grãos mal selecionados (de areia muito fina a média), com mica e feldspatos comuns no Btg e raros no Ap e no E. Nos horizontes superficiais, a areia fina tem maior grau de esfericidade e arredondamento do que nos horizontes subsuperficiais

⁽¹⁾ Como os perfis 1, 2, 3 e 4 são equivalentes morfologicamente, optou-se pela escolha dos perfis 1 e 4 para a análise micromorfológica dos Latossolos do topo da seqüência.

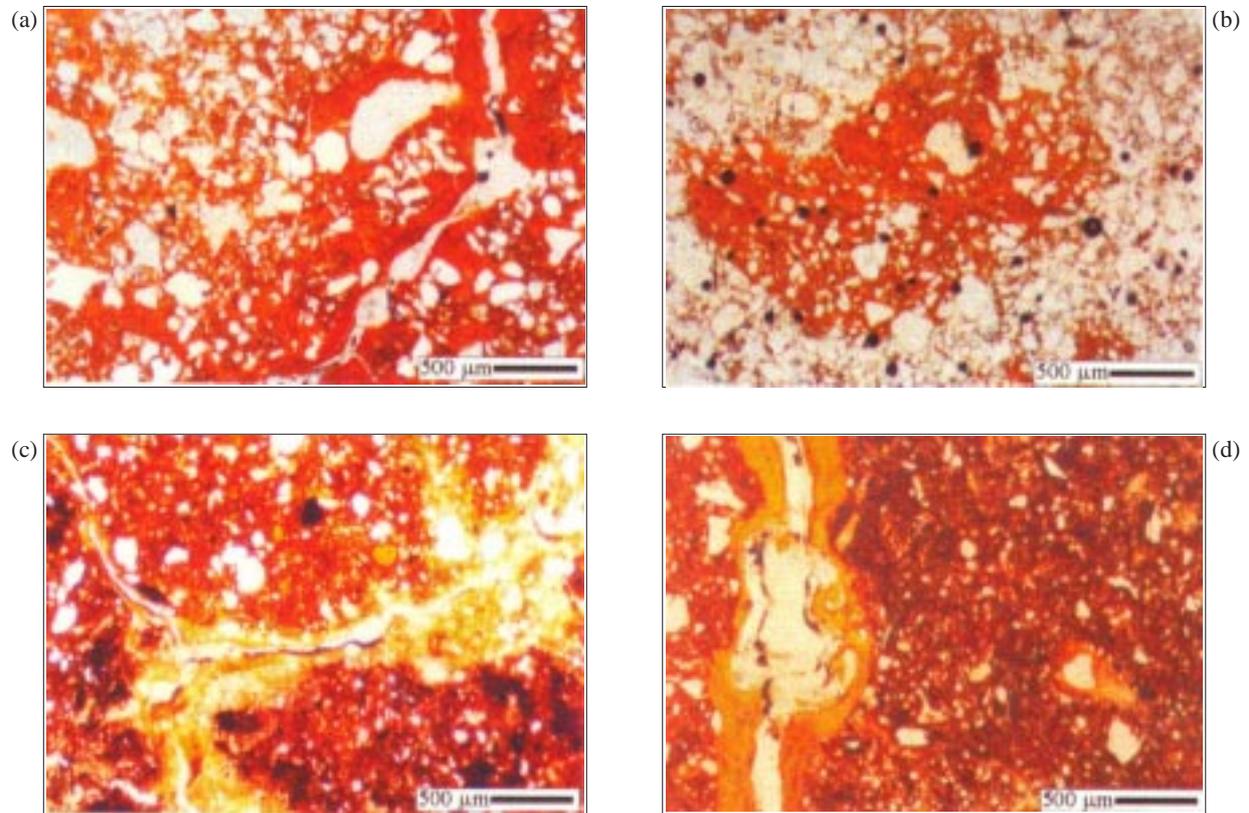


Figura 4. Fotomicrografias dos perfis 6 e 7; (a) perfil 6, horizonte Bt1 (64-75 cm) com trama porfirica, matriz mais amarelada (descolorida), presença de ferriargilãs de iluviação e de ferrãs; (b) perfil 6, transição E-Bt (40-50 cm) com pedorreliquia de Bt em E; (c) perfil 7, horizonte Bt1 (50-60 cm); agregados com tendência angular; cutãs de natureza diversa (difusão, estresse e argiluviação) e abundância de feições de hidromorfismo temporário (halos, ferrãs e nódulos); (e) perfil 7, horizonte Bt2 (75-90 cm) com argilãs de iluviação revestindo um canal.

CONCLUSÕES

1. A gênese dos microagregados dos Latossolos é complexa e deve ter havido mais de um processo de formação que possa explicá-la. É evidente o processo de microestruturação, em que, a partir da microfissuração contínua de um material denso argiloso, individualizam-se os microagregados. Agregados formados pela fauna do solo também foram identificados.

2. A passagem lateral de Bw para Bt parece seguir o seguinte modelo: após o entalhamento da superfície cimeira do platô, a dinâmica da água na vertente mudou, propiciando o adensamento do manto latossólico, devido à ação mecânica do fluxo lateral de água, mudança das condições para o caminhamento da água, que o faz de forma concentrada nas paredes dos agregados poliédricos. Isto favoreceu o transporte de argilas, o que provocou a obstrução gradativa e parcial da porosidade, levando a hidromorfismo temporário, que, por sua vez, promove a remoção do ferro, o que facilita ainda

mais a argiluviação; a argiluviação ainda promove a ligação entre microagregados, favorecendo a formação de agregados maiores; na transição A/Bt, ocorre coalescência cavitária, evidenciando tanto as perdas mecânicas como as químicas (ferrólise), aumentando o gradiente textural. A partir da meia encosta, o material de origem do solo deixa de ser o manto latossólico e passa gradativamente para os siltitos da formação Tatuí, não tendo havido, nessa posição, a formação de B latossólico.

3. A passagem de caráter álico no topo para eutrófico no sopé deve-se à contribuição progressiva vertente abaixo dos siltitos carbonáticos da formação Tatuí (Ptt) como material de origem dos solos.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pelo auxílio financeiro para a realização deste trabalho; à família Furlan (Usina Furlan), pelas facilidades concedidas para os

trabalhos de campo; ao Dr. Edvard Elias de Souza Filho (Universidade de Maringá), pela contribuição nos trabalhos geológicos, e ao IPT-DIGEO, por permitir a utilização do fotomicroscópio.

LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, F.F.M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Geologia do estado de São Paulo. São Paulo, Instituto de Geografia e Geologia, 1964. p.167-263. (Boletim, 41)
- ALMEIDA, J.A.; KLAMT, E. & KÄMPF, N. Gênese do contraste textural e da degradação do horizonte B de um Podzólico Vermelho-Amarelo da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 21:221-233, 1997.
- BEAUDOU, A.G.; CHATEZIN, Y.; COLLINET, J. & SALA, G.H. Notes sur la micromorphologie de certains ferralitiques jaunes de region équatoriels d'Afrique. Cah. ORSTOM, Ser. Pedol., 4:357-370, 1972.
- BOULET, R., Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P. & FREITAS, S.S. A responsabilidade social da ciência do solo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.79-90.
- BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soils. New York, Robert E. Krieger, 1976. 482p.
- BREWER, R. & SLEEMAN, J.R. Soil structure and fabric. Adelaide, CSIRO, Division of Soils. 1988. 173p.
- BRINKMAN, R. Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process. Geoderma, 3:199-206, 1969/1970.
- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E. & KAUFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. B. Inf. SBCS, 12:11-33, 1987.
- 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 Agronômico de Campinas. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1986. 94p (Boletim Técnico, 106)
- CASTRO, S.S. Sistemas de transformação pedológica em Marília, SP: B latossólicos e B texturais. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1989. 274p. (Tese de Doutorado)
- CASTRO, S.S. Impregnação de amostras de solo para confecção de lâmina delgada. B. Inf. SBCS, 10:44, 1985.
- CHAUVEL, G.; BOCQUIER, G. & PEDRO, G. La stabilité et la transformation de la microstructure des sols rouges ferralitiques de Casamance (Senegal). Analyse microscopique et donnés experimentales. In: INTERNATIONAL WORK MEETING SOIL MICROMORPHOLOGY, 5., Granada, 1979. Proceedings. Granada, Universidad de Granada, 1978. p.779-813.
- COMISSÃO DE SOLOS - CSS. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, CNEPA, SNPA, 1960. 634p. (Boletim, 12)
- EUA. Soil Survey Staff. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, 1975. v.5. 330p. (Agric. Handb., 436)
- ESCHENBRENNER, V. Contribution des termites a la microagregation des sols tropicaux. Cah. Orstom, Ser. Pedol., 22:397-408, 1986.
- ESCHENBRENNER, V. Les glébules des sols de côte d'Ivoire. Dijon, Université de Bourgogne, 2v. 780p. 1987. (Tese de Doutorado)
- FEDOROFF, N. & ESWARAN, H. Micromorphology of Ultisols. In: SOIL MICROMORPHOLOGY AND SOIL CLASSIFICATION. Proceedings of a symposium sponsored by Division S-5 and S-9 of the Soil Science Society of America. Madison, Soil Science Society of American, 1985. p.145-164.
- FONTES, M.P.F. Vermiculita ou esmectita com hidróxi nas entrecamadas: proposição de nomenclatura. B. Inf. SBCS, 15:24-28, 1990.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. Mapa geológico do estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000. Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo. São Paulo, 1981.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Advanced course. Madison, 1969. 894p.
- KARATHANANIS, A.D.; ADAMS, F. & HAJEK, B.F. Stability relationships in kaolinite, gibbsite and Al-hidroxyinter-layered vermiculite soil systems. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:1247-1251, 1983.
- LEPSCH, I.F. & BUOL, S.W.. Investigations in an oxissol-ultissol toposequence in São Paulo State, Brazil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38:491-496, 1976.
- LEPSCH, I.F.; BUOL, S.W. & DANIELS, R.B. Soil landscape relationships in the occidental plateau of São Paulo, Brazil: II Soil morphology, genesis and classification. Soil Sci. Soc. Am. J., 41:109-115, 1977.
- MIKLÓS, A.A.W. Byodinamique d'une couverture pedologique dans la région de Botucatu, Brésil. Paris, Université Paris VI. 2v. 438p. 1992. (Tese de Doutorado)
- MIKLÓS, A.A.W. Funcionamento biodinâmico da paisagem. Ci. & Amb., 4:75-83, 1993.
- MONIZ, A.C. & BUOL, S.W. Formation of an oxisol-ultisol transition in São Paulo, Brazil: I-Double-water flow model of soil development. Soil Sci. Soc. Am. J., 46:1234-1237, 1982.
- MONIZ, A.C. Evolução de conceitos no estudo da gênese de solos. R. Bras. Ci. Solo, 20:349-362, 1996.
- MULLER, J.P. Microstructuration des structichrons rouges ferralitiques, à l'amont des modelés convexes (Centre-Cameroun). Aspecs morphologiques. Cah. Orstom, Ser. Pedol., 15:239-258, 1977.
- OLIVEIRA, J.B.; ALFONSI, R.R. & PEDRO Jr., M.J. Regimes hídricos e térmicos dos solos do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1976. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.359-362.
- PENTEADO, M.M. Geomorfologia do Setor Centro Ocidental da Depressão Periférica Paulista. Rio Claro, Universidade de São Paulo, 1968. 86p. (Tese de Doutorado)

- QUEIROZ NETO, J.P.; CASTRO, S.S.; FERNANDES BARROS, O.N.; MANFREDINI, S.; PELLERIN, J.; RUELLAN, A. & TOLEDO, G.S. Um estudo de dinâmica de solos: formação e transformação de perfis com horizonte B textural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Salvador, 1980. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1981. p.67.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.A. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 165p.
- STOOPS, G. Le profil d'alteration au Bas-Congo (Kinshasa). As description et as genèse. *Pedologie*, 17:60-105, 1967.
- STOOPS, G. Micromorphology of the oxic horizon. In: BULLOCK, P. & MURPHY, C.P., eds. *Soil micromorphology. Soil genesis*. Berkhamsted, Herts. AB Academic, 1983.v.2. p.419-440.
- STOOPS, G. & JONGERIUS, A. Proposal for a micromorphological classification of soil materials. I. A classification of the related distribuion of fine and coarse particles. *Geoderma*, 13:189-199, 1975.
- STOOPS, G. & BUOL S.W. Micromorphology of Oxisols. In: DOUGLAS, L.A. & THOMPSON, M.L., eds. *Soil micromorphology and soil classification*. Madison, Soil Science Society of American, 1985. p.105-119.
- VIDAL TORRADO, P. & LEPSCH, I.F. Morfogênese dos solos de uma topossequência com transição B latossólico x B textural sobre migmatitos em Mococa (SP). *R. Bras. Ci. Solo*, 17:109-119, 1993.
- VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I.F. & SOUZA FILHO. Relações solos-estratigrafia-geomorfologia em uma área sobre sedimentos paleozóicos em Piracicaba (SP). *R. Bras. Ci. Solo*, 1999. (no prelo)