

RELAÇÕES MATERIAL DE ORIGEM / SOLO E PEDOGÊNESE EM UMA SEQÜÊNCIA DE SOLOS PREDOMINANTEMENTE ARGILOSOS E LATOSSÓLICOS SOBRE PSAMITOS NA DEPRESSÃO PERIFÉRICA PAULISTA⁽¹⁾

P. VIDAL-TORRADO⁽²⁾ & I. F. LEPSCH⁽³⁾

RESUMO

Na região da Depressão Periférica Paulista, estudaram-se os solos em uma encosta representativa das baixas colinas com relevo suave ondulado e lançantes longos do baixo vale do rio Piracicaba. Após intensas observações de campo, foram amostrados cinco pedons, assentados em rochas psamíticas da formação Itararé (Carbonífero-Permiano). Quatro apresentaram características latossólicas e textura argilosa e um, interposto na porção superior da meia encosta, textura média e B textural. Com observações de campo, estratigráficas, macro e micromorfológicas e da mineralogia da argila, concluiu-se que grande parte do material de origem dos pedons Latossólicos argilosos proveio do retrabalhamento de um sedimento neoceno-zóico argiloso, previamente bastante intemperizado, com remanescentes semelhantes, hoje ocupando preferencialmente as superfícies cimeiras locais, e sem aparente filiação com as rochas psamíticas subjacentes. Deduziu-se que as características latossólicas dos solos da meia encosta e do sopé foram herdadas de idêntico material. No terço inferior da encosta, ocorreu um Bt, relativamente pouco espesso, interpretado como produto de transformação do transportado B_w, principalmente por mecanismos de argiluviação que coalescem os antigos microagregados tipicamente Latossólicos. O mais provável material de origem do Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico textura média/argilosa no terço superior da meia encosta, foi considerado como derivado, em grande parte, de sedimento correlativo a um antigo e elevado depósito aluvial correspondente a um nível de terraço do rio Piracicaba, hoje quase totalmente reafeiçoado.

Termos de indexação: transição entre horizontes B Latossólico/B textural, material retrabalhado pré-intemperizado, depósitos de encosta, relações solo-paisagem, formação Itararé.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP, Piracicaba (SP), em junho de 1994. Projeto financiado pela FAPESP. Trabalho apresentado no 16º Congresso Mundial de Solos, Montpellier, agosto de 1998. Recebido para publicação em novembro de 1996 e aprovado em dezembro de 1998.

⁽²⁾ Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: pablo@carpa.ciagri.usp.br

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

SUMMARY: *SOIL/PARENT MATERIAL RELATIONS AND PEDOGENESIS ON A SLOPE DOMINATED BY CLAYEY OXIDIC SOILS OVER SANDSTONE AT THE S. PAULO STATE PERIPHERAL DEPRESSION, SOUTHEASTERN BRAZIL*

A slope with a soil sequence over sandy Perm-Carboniferous sediments from the Itararé Formation with clayey oxidic soils was studied. This area is representative of the low hills with smooth relief of the low valley from the Piracicaba river. The area is located in the Piracicaba municipality about 22° 47'S & 47° 35'W within São Paulo State Peripheral Depression. The sequence comprises a clayey Dark-Red Latosol (Rhododox), on the hill top transitioning downwards to a Dark-Red Latosolic-Podzolic Intergrade (Rhodic Kandiodox). At the upper backslope site there is an inclusion of a medium textured Red-Yellow Podzolic soil (Typic Hapludult). From general field observations plus the study of the local stratigraphy, macro and micromorphology and clay mineralogy of the six sampled pedons, it was concluded that the hypothetical soil material of the clayey soils is not all related to the underlying sediments. Evidences are for a strongly pre-weathered reworked parent material carried down from a clayey Neo-Cenozoic deposit whose similar remnants are under a nearby higher, almost flat, main interfluvial surface. The oxic microaggregate characteristics of the backslope and footslope pedons were interpreted as inherited mostly from a similar parent material. On the lower upper third backslope there is a transition from an oxic like horizon to a kandic (argillic) one mainly due to clay leaching over oxic microaggregates. This apparently produced coalescence of the older transported microaggregates. The hypothetical parent material of the Podzolic (Ultisol) median textured soil was interpreted as inherited from an old, now eroded, level of a river terrace alluvium from the Piracicaba river.

Index terms: transition oxic/kandic horizon, reworked parent material, slope deposits, soil landscape relationships, Itararé Formation.

INTRODUÇÃO

Registram-se discussões sobre a natureza alóctone ou autóctone atribuída a muitos dos materiais dos quais, presumivelmente, os latossolos originaram-se. A maioria desses solos situa-se sobre velhas e estáveis superfícies geomórficas (Buol et al., 1980). Muitos consideram que as suas características são resultado de uma pedogênese policíclica, iniciada em sedimentos situados relativamente próximos de suas fontes e depositados depois de previamente intemperizados (Stoops, 1989, 1997; Santos et al., 1989; Muggler, 1998). Outros consideram esses materiais provenientes da profunda alteração de material similar ao imediatamente subjacente (Millot, 1977), com ocorrências de remanejamentos localizados e grandemente influenciados por remontes verticais causados pela biopedoturbação (Eschenbrenner, 1996), sem que tenha havido necessariamente um tempo relativamente longo de formação do solum (Miklós, 1992).

Na Depressão Periférica Paulista, particularmente da zona do médio Tietê, sob condições tropicais úmidas, onde se situa Piracicaba, solos com características latossólicas predominam em superfícies aplainadas situadas nas porções mais elevadas da paisagem (Lepsch & Buol, 1976; Oliveira

& Prado, 1986). Nas superfícies mais recentes, e principalmente nas que gradam diretamente para os baixos terraços e planícies de inundação, dominam os solos com B textural, predominante da classe dos Podzólicos Vermelho-Amarelos (Vidal-Torrado, 1994). Tanto os Latossolos como os solos com B textural dessa região são freqüentemente derivados de vários e diferenciados sedimentos da Bacia do Paraná, também incluindo materiais provenientes de rochas intrusivas básicas correlatas à formação Serra Geral, geralmente referidos como "sedimentos neocenozóicos".

A evolução geomórfica dessa região tem sido descrita e interpretada com base nas observações de cascalheiras fluviais (que podem indicar níveis de antigos terraços), vestígios de pedimentos, rampas de colúvio e terraços atuais, feições estas normalmente referidas a uma morfogênese afetada pela alternância de pretéritos climas semi-áridos e úmidos (Penteado, 1968; Vidal-Torrado, 1994; Melo, 1995).

Para esclarecer as relações material de origem/solo e elucidar processos pedogenéticos atuais, estudaram-se os solos de uma encosta, representativa das baixas colinas do rio Piracicaba (Figuras 1 e 2), representados por solos argilosos com características latossólicas, assentados diretamente sobre rochas de natureza psamítica, o que pressupõe uma aparente incoerência genética entre a rocha

subjacente e o solo. Para tanto, fez-se um cuidadoso exame de campo, incluindo seus arredores, e estudaram-se em mais detalhes materiais de solo, coletados em horizontes expostos em trincheiras estrategicamente localizadas, a macro e micromorfologia, a mineralogia da fração argila, a estratigrafia local, com várias análises, relacionadas com tamanho de partícula para fins de elucidação de aspectos estratigráficos.

CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

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, estando a maior parte incluída no distrito de Tupi (Piracicaba). Situa-se entre as latitudes 22°42' e 23°45' e entre as longitudes 47°30' e 47°32'. Geomorfologicamente, insere-se na Zona do Médio Tietê da província da Depressão Periférica Paulista (Almeida, 1964), perto das margens do rio Piracicaba. O relevo local é suave ondulado a ondulado, com algumas pequenas

escarpas e está representado na figura 1, por meio de bloco diagrama geral da área.

A geologia regional é formada por rochas sedimentares do grupo Tubarão, formações Itararé (Carbonífero-Permiano; CPI) e Tatuí (Permiano; Ptt) (IPT, 1981; Souza Filho, 1986) além de uma cobertura neocenozóica (CC).

A vegetação original, floresta mesófila semidecídua, hoje está restrita a pequenos e alterados remanescentes, localizados preferencialmente nos vales escarpados. Na maior parte desta área, planta-se a cana-de-açúcar. O clima, segundo Köppen, é do tipo *Cwa*, isto é, mesotérmico úmido subtropical de inverno seco, sendo a temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C (Comissão..., 1960). O regime térmico dos solos é o hipertérmico e o hídrico é údico, para a maioria dos solos (Oliveira et al., 1976).

O relevo ao norte da região em pauta é de colinas com encostas longas e inclinações direcionadas ao rio Piracicaba (Figura 2). Essa feição geomórfica difere do restante da paisagem local, mas é representativa das encostas contíguas, situadas na margem oposta do rio.

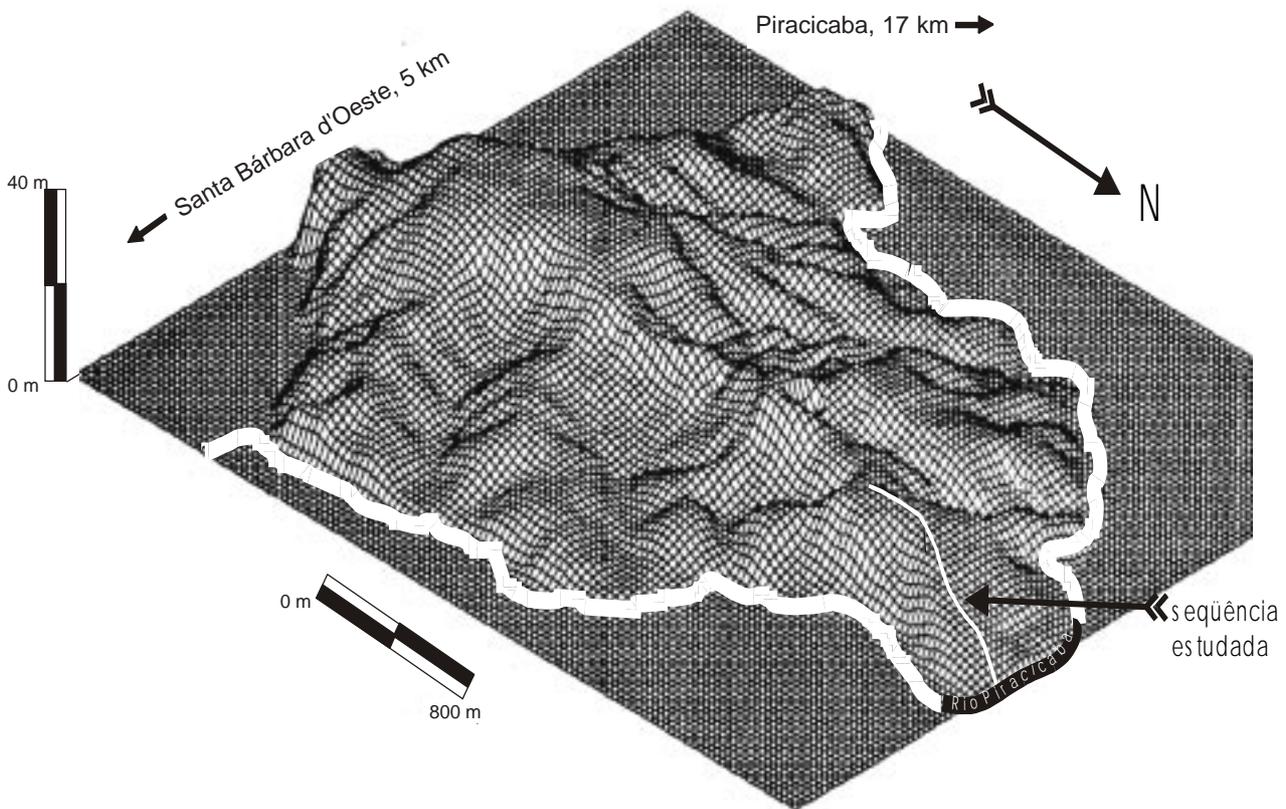


Figura 1. Bloco diagrama geral da área com localização da sequência estudada. A escala vertical foi exagerada para melhor visualização das formas do relevo que é suavemente ondulado a ondulado.

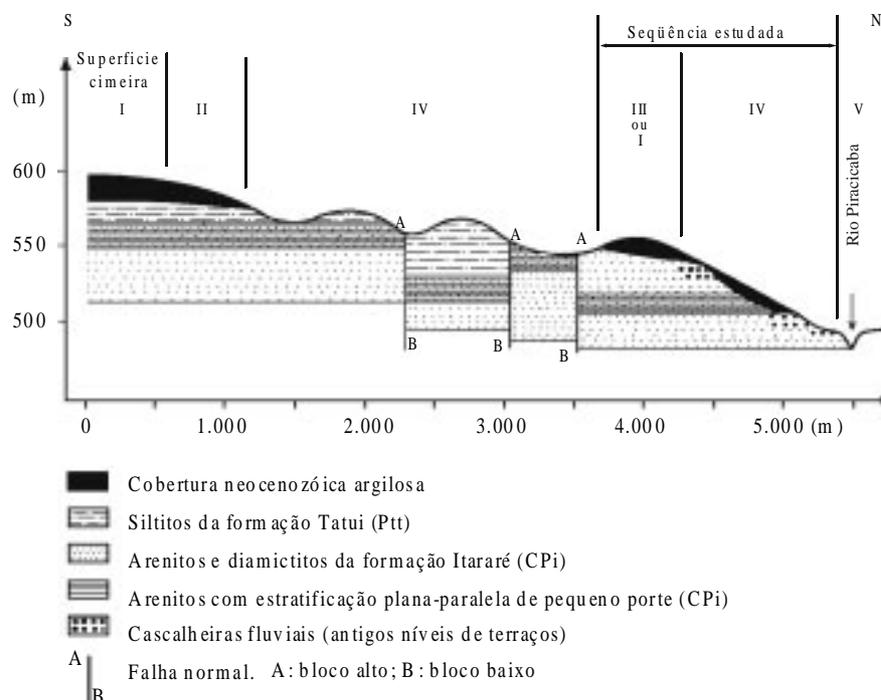


Figura 2. Seção transversal da área de estudo, localizando os solos estudados, a litologia e as superfícies geomórficas (Vidal Torrado, 1994). I, II, III, IV e V, sendo I a mais antiga e V a mais recente.

MATERIAL E MÉTODOS

A litologia foi verificada em detalhes, nos frequentes afloramentos de rocha, voçorocas e estradas próximas. As falhas geológicas e a inferência dos rejeitos foram identificadas, observando o tipo de afloramentos rochosos. Essas feições foram mapeadas por fotointerpretação em escala 1:25.000 para o entorno da área estudada e estão apresentadas em trabalho complementar (Vidal Torrado et al., 1999).

No contexto fisiográfico supracitado, estudou-se uma seqüência de solos numa encosta suavemente inclinada, com 1.600 m de comprimento, seguindo o divisor secundário entre afluentes do rio Piracicaba (Figura 1) e apresenta quatro segmentos distintos, nos quais foram abertas cinco trincheiras: topo (P1), ombro (P2), meia encosta (P3 e P4) e sopé (P5) - (Figura 3).

Os perfis de solo foram descritos de acordo com Lemos & Santos (1996), com algumas adaptações para a descrição dos agregados dos solos. Foram coletadas amostras para caracterização química, física e mineralógica. Sempre que necessário, recorreu-se à prospeção com o trado para observações e coletas a profundidades maiores que 2 m.

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneiras de malha de 2 mm (terra fina seca ao ar - TFSA), as quais foram submetidas às seguintes análises:

- Granulometria: Após agitação horizontal por 16 h, determinou-se o teor de argila e silte pelo método do densímetro, utilizando-se, como dispersante, solução que continha hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio (Camargo et al., 1986). A areia foi pesada e posteriormente fracionada por peneiramento nas classes: areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina.
- Análise química: Determinaram-se pH em H₂O, matéria orgânica, cátions trocáveis (Ca, Mg, K, Al) e acidez potencial (H + Al) de acordo com Raij et al. (1987).
- Mineralogia da fração argila: determinada em amostras selecionadas do horizonte B.

O preparo e os tratamentos das amostras para mineralogia foram feitos de acordo com Jackson (1969). Após eliminação da matéria orgânica e dos óxidos de ferro livres, a argila (< 0,2 µm) foi separada; subamostras foram saturadas com K⁺ ou com Mg²⁺, e irradiadas com raios-X em difratômetro, com tubo de cobre e filtro de níquel, no intervalo de 3 a 32° 2θ. As subamostras saturadas com K⁺ foram irradiadas na temperatura ambiente e após aquecimento a 350 e 550°C. As saturadas com Mg²⁺ foram irradiadas na temperatura ambiente, antes e após solvatação com etileno-glicol.

Amostras indeformadas orientadas, após secagem em estufa a 40°C, foram impregnadas com resina de

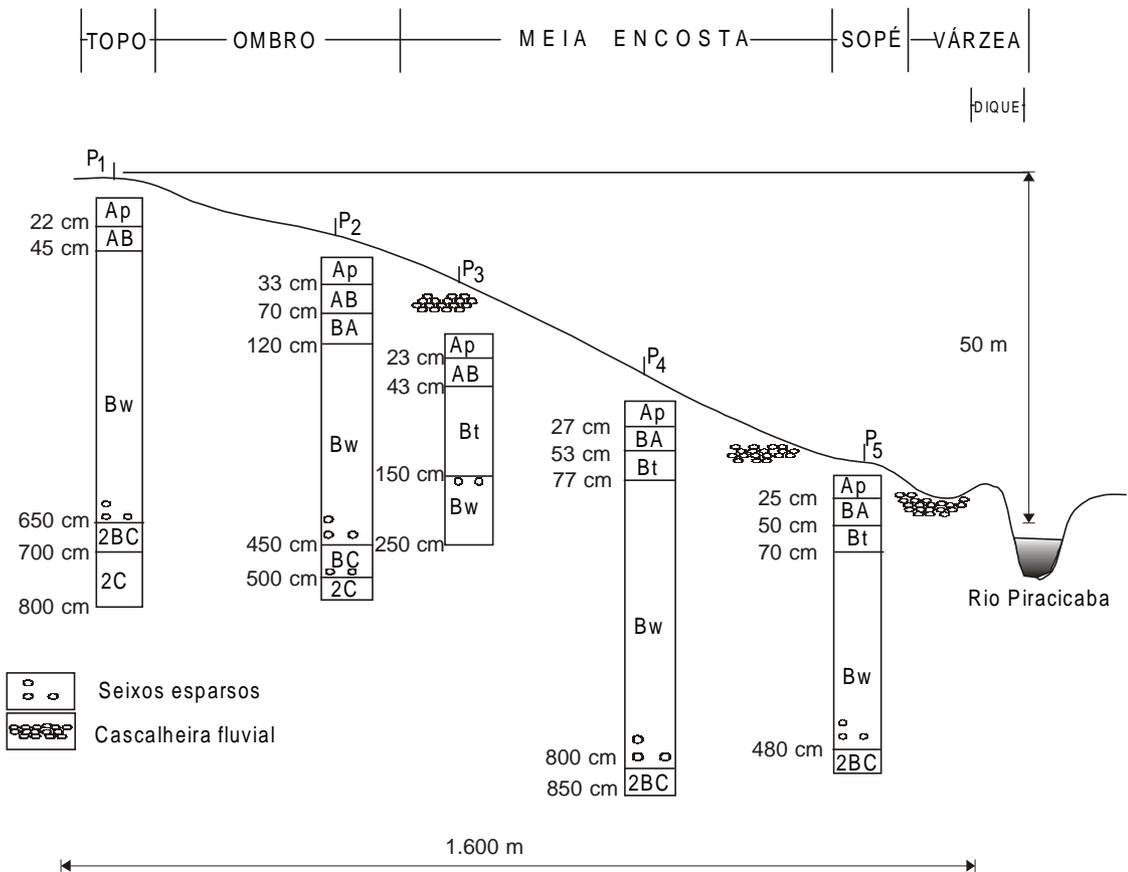


Figura 3. Representação esquemática da seqüência de solos estudada. P1: Latossolo Vermelho-Escuro álico textura muito argilosa; P2: Latossolo Vermelho-Escuro álico textura argilosa; P3: Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico álico textura média; P4 e P5: Podzólico Vermelho-Escuro Latossólico álico textura média/argilosa.

poliéster para a confecção de seções delgadas (Castro, 1985), nas quais foram feitas as descrições micromorfológicas baseadas em Brewer (1976) com adaptações para a descrição da trama do solo (Stoops & Jongerijs, 1975; Brewer & Sleeman, 1988).

RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Morfologia, dados analíticos e aspectos estratigráficos

O pedon P1 (topo da vertente) é um Latossolo Vermelho-Escuro álico (LE) textura muito argilosa (quadro 1) e apresenta um horizonte BA com agregados subangulares de grau moderado a fraco, sobrepondo-se ao horizonte Bw com agregados granulares muito pequenos de grau forte (microagregados) e é semelhante nesse aspecto a todos os demais LE antes descritos por Vidal-Torrado (1994), para a superfície de cimeira mais próxima.

Neste local, foi feita uma tradagem até 800 cm, onde, a 650 cm, foi encontrada uma camada de seixos de quartzo, com diâmetro em geral inferior a 1 cm, abaixo da qual se encontra um material alterado com pontuações de rocha semidecomposta de cor esbranquiçada ou amarelada. (horizonte 2CR). Estas aumentam gradativamente até se tornarem a fase dominante da mistura com os já alterados argilitos vermelhos. A continuação da rocha subjacente pouco alterada aparece em um corte de uma área vizinha, de empréstimo de terra, descrita como um diamictito da formação Irati (Carbonífero-Permiano: CPi). O padrão da distribuição em profundidade das areias diferencia-se logo abaixo da camada de pedras (Quadro 1).

O pedon P2 situa-se logo após uma ligeira assentada do relevo na parte superior da meia encosta (Figura 3), o que sugere um antigo e reafeiçoado pedimento. É um Latossolo Vermelho-Escuro álico de textura argilosa. Esse solo tem areias com padrão de distribuição diverso em relação ao P1, com pequena quantidade de areia muito grossa

Quadro 1. Atributos de cor, granulométricos e químicos dos cinco pedons amostrados

Horizonte	Profundidade	Cor	pH	M.O.	S	CTC ₇	V	m	Areia						Silte	Argila
									MG	G	M	F	MF	Total		
	cm	Munsell	H ₂ O	g kg ⁻¹	mmol _c kg ⁻¹	— % —	g kg ⁻¹									
Pedon 1: Latossolo Vermelho-Escuro muito argiloso																
Ap	0-22	2,5YR 3/3	3,8	26	4	139	3	89	0	20	60	120	100	300	120	580
AB	22-45	2,5YR 3/4	3,7	18	5	155	3	84	0	10	80	140	80	310	100	590
BA	45-110	2,5YR 3/4	4,0	24	7	157	4	79	0	20	60	150	60	290	100	610
Bw1	110-150	2,5YR 3/5	3,9	16	5	126	4	81	0	10	60	160	60	290	110	600
Bw2	150-200	2,5YR 3/6	4,2	10	2	49	4	82	0	10	50	170	60	290	120	590
Bw3	200-350	2,5YR 3/6	4,3	8	3	35	9	47	0	10	50	150	80	290	130	580
Bw4	350-500	2,5YR 3/6	4,5	7	3	35	10	60	0	10	50	140	140	340	220	430
Bw5	500-650	2,5YR 4/6	4,6	7	3	38	7	75	0	10	60	170	70	310	250	440
2BC	650-700	2,5YR 4/7	4,6	7	3	34	9	77	10	20	70	220	70	390	240	370
2C1	700-750	—	4,4	6	3	37	8	77	0	20	60	180	150	410	240	350
2C2	750-800	—	4,5	6	3	37	8	82	0	20	70	210	90	390	220	390
Pedon 2: Latossolo Vermelho-Escuro argiloso																
Ap	0-33	5YR 3/3	3,5	20	8	96	8	75	10	30	80	250	100	470	180	350
AB	33-70	3,5YR 4/4	3,9	14	5	77	6	81	10	20	80	180	140	430	160	410
BA	70-120	3,5YR 4/6	3,7	12	4	84	5	83	10	20	80	240	100	450	130	420
Bw1	120-150	3,5YR 4/6	4,0	10	4	62	6	80	10	20	50	240	150	470	150	380
Bw2	150-200	2,5YR 4/6	4,2	7	2	33	6	75	10	20	50	220	130	430	170	400
Bw3	200-250	2,5YR 4/7	4,4	7	2	27	7	67	10	20	40	200	120	390	170	440
Bw4	250-400	2,5YR 4/7	4,2	7	3	30	9	64	10	20	50	210	120	400	220	387
BC	400-450	—	4,3	7	3	31	10	77	10	30	80	190	120	430	240	330
Pedon 3: Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico textura média																
Ap	0-23	7,5YR 3/3	4,0	14	16	50	32	30	40	50	220	320	90	720	120	160
AB	23-45	7,5YR 4/4	4,7	11	15	43	35	21	20	40	220	320	100	700	100	200
Bt1	45-90	5YR 4/6	4,1	9	8	42	19	53	20	30	180	280	110	620	120	260
Bt2	90-150	5YR 4/8	4,4	7	9	34	26	47	20	40	140	280	160	640	100	260
Bw1	150-200	5YR 4/8	4,0	7	6	34	18	60	60	70	200	290	100	720	80	200
Bw2	200-250	5YR 4/8	4,2	6	6	31	19	60	50	50	170	260	110	640	80	280
Pedon 4: Podzólico Vermelho-Escuro Latossólico textura média/argilosa																
Ap	0-27	5YR 3/3	4,0	21	18	70	26	36	10	20	150	310	90	580	120	300
BA	27-53	2,5YR 3/6	4,4	12	17	59	29	32	10	20	90	260	90	470	130	400
Bt	53-77	2,5YR 3/5	4,1	14	13	60	22	46	10	20	110	260	90	490	100	410
Bw1	77-150	2,5YR 4/6	4,1	10	7	54	13	68	10	30	140	270	80	530	90	380
Bw2	150-400	2,5YR 4/8	4,3	7	3	29	12	62	10	20	94	287	117	523	107	370
Bw3	400-650	2,5YR 5/8	4,1	6	3	32	10	76	10	20	80	265	110	470	165	365
Bw4	650-700	2,5YR 5/8	4,2	6	4	34	13	75	10	20	120	180	120	450	150	400
Bw5	700-800	2,5YR 5/8	4,4	6	3	41	8	84	10	20	60	220	75	430	150	420
2BC	800-850	2,5YR 6/8	4,4	6	3	45	7	85	20	80	160	150	50	550	100	350
Pedon 5: Podzólico Vermelho-Escuro Latossólico textura média/argilosa																
Ap	0-25	5YR 3/4	3,7	12	5	63	8	82	10	20	170	310	70	580	100	300
BA	25-50	2,5YR 4/4	3,4	11	3	112	3	92	0	20	100	260	90	470	120	430
Bt	50-70	2,5YR 4/5	3,6	8	5	114	4	86	10	20	90	250	100	470	70	460
Bw1	70-150	2,5YR 4/6	4,2	8	11	45	24	35	10	20	70	230	110	440	90	470
Bw2	150-250	2,5YR 4/6	4,0	7	4	42	10	72	0	20	70	210	100	400	115	485
Bw3	250-350	2,5YR 4/7	5,0	6	5	37	12	70	10	10	75	275	85	455	90	455
Bw4	350-480	2,5YR 4/6	5,7	6	4	46	10	78	0	10	85	250	80	425	130	445
2BC	480-520	2,5YR 5/8	5,8	7	4	139	3	90	0	10	40	130	90	270	240	490

Abreviações: MG, muito grossa; G, grossa; M, média; F, fina; MF, muito fina; M.O., Matéria orgânica; S, soma de bases trocáveis (Na⁺ + K⁺ + Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺); V, saturação por bases; m, saturação por alumínio.

em todas as camadas, enquanto em P1 não foi encontrada a areia muito grossa, a não ser a partir de 350 cm de profundidade (Quadro 1). O horizonte BA tem uma estrutura de agregados do tipo blocos subangulares, médios de grau moderado até 120 cm; a partir daí, observa-se um horizonte com morfologia característica de Bw. Nesse horizonte, a cerosidade é moderada a fraca de ocorrência comum em diferentes faces dos agregados, o que no campo revela ser um horizonte Bt. Alguns seixos de quartzo com cerca de 1 cm de diâmetro foram coletados com o trado a uma profundidade de 330 cm, tornando a ocorrer próximo ao contato com o horizonte C, que é amarelado e de textura média.

O P3 muito difere dos demais, principalmente pela textura, que é média (sem ultrapassar os 280 g kg⁻¹ de argila em toda sua espessura), contra os 400 a 500 g kg⁻¹ de argila nos horizontes B do P2, P4 e P5. Situa-se na meia encosta, onde foi detectada uma camada de seixos de natureza e tamanho diversos (quartzito, quartzo, arenito e sílex, variando de 1 a 2 cm de diâmetro), iniciando-se a 150 cm, sendo intransponível ao trado a 250 cm. Tal camada poderia ser um vestígio da base de um antigo pavimento detrítico, uma relíquia do substrato rochoso (Cp_i) ou, mais provavelmente e de acordo com descrições de outros locais similares (Penteado, 1968), um vestígio de um antigo nível de terraço do rio Piracicaba. Este pedon tem seqüência de horizontes A, AB, Bt e Bw, aumentando a argila de 160 g kg⁻¹ no A para 260 g kg⁻¹ no Bt (Quadro 1), decidindo-se classificar o solo como Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico.

O P4 e o P5 são Podzólicos Vermelho-Escuros Latossólicos álicos textura média/argilosa similares em morfologia e características químicas (Quadro 1), com seqüência de horizontes A, BA, Bt e Bw. São profundos (as tradagens atingiram 750 cm, para P4, e 480 cm, para P5, antes de atingirem o saprólito do Cp_i - diamictito ou arenito). O P4 situa-se no terço inferior da meia encosta e o P5 no sopé. Entre estes dois ocorre uma cascalheira, de aproximadamente 400 cm de espessura, mais bem observada em uma voçoroca existente em um carreador paralelo à seqüência em estudo. Tal cascalheira tem conformação típica de depósito fluvial, com seus seixos imbricados na posição horizontal ou subhorizontal, devendo ser o remanescente local de um antigo nível de base do rio Piracicaba, situado 15 a 20 m acima do atual leito. O Bt tem agregados de grau moderado, do tipo blocos subangulares e também prismas, ambos de tamanho variável de 3 a 5 cm. O Bw é friável com agregados centimétricos de grau fraco que se desfazem em grânulos muito pequenos. A cerosidade varia de moderada a comum no Bt e é fraca e comum no Bw.

Entre o P5 e o mais baixo terraço ocorre um nível de cascalheira, semelhante ao existente entre P4 e P5, aflorando na rampa que se segue ao sopé da encosta até o atual terraço do rio (Figuras 2 e 3).

Com isto, foram detectados três diferentes níveis de depósitos seixosos, que devem ser marcas de antigos e mais elevados níveis do rio durante o quaternário.

Micromorfologia

O P1 tem trama grânica (Figura 4a) com a cor do plasma 2,5YR 3/6 no horizonte Bw1 (Quadro 1), e a estrutura do plasma é isótica em todo o perfil. Tal feição é muito semelhante à dos Latossolos da superfície de cimeira local descrita por Vidal-Torrado (1994), onde trama, cor, estrutura plásmica e conformação dos pedes são idênticas. Os grãos também se assemelham aos daqueles solos quanto à sua morfoscopia sendo porém em maior número. Da mesma forma, a atividade da mesofauna é intensa neste solo (Quadro 2).

Solo profundo com baixo gradiente textural, o P2 tem cerca de 400 g kg⁻¹ de argila (Quadro 1), com horizonte B apresentando agregados subangulares moderados a fracos, com porções granulares. Tal padrão de agregação granular é crescente, de cima para baixo, passando a trama de porfírica, com leve tendência granóidica no AB, para porfírica, com forte tendência granóidica e com domínios granóidicos, e finalmente para granóidica, com tendência porfírica e localmente grânica (Figura 4b). O plasma isótico em todo o perfil (Quadro 2) - aliado a essa variação da estrutura em profundidade, paralelamente à diminuição do tamanho dos poros e à total ausência de cutãs, apesar de a cerosidade ter sido descrita no campo - indica ser um Latossolo com horizonte BA adensado, de agregados subangulares. Esta estrutura de agregados em blocos atinge até 150 cm, sem ter ferriargilãs de iluviação, o que parece ser frequente na transição entre os horizontes A e B de muitos Latossolos argilosos de regiões úmidas com estação seca definida. Por outro lado, a textura no P1 e P2 (Quadro 1) é similar, entre 300 e 600 cm de profundidade, a partir daí aparece uma camada de pedras, logo acima do diamictito. Tal fato indica que o colúvio do topo (Figura 2) é formado por dois estratos, ambos vermelhos, microagregados e argilosos, possuindo o inferior mais areia e com menor selecionamento. Isto explicaria os aspectos da granulometria do P2 e a menor seleção de seus grãos (Figura 4b), sendo isto interpretado como uma indicação de que o P2 é, em grande parte, derivado do mesmo estrato inferior existente no sedimento mais superior do topo da encosta.

No P3, apesar da ausência de vestígios de minerais primários facilmente intemperizáveis (como em P1 e P2) nas lâminas estudadas, os grãos diferem dos perfis anteriores, especialmente quanto ao grau de seleção, pois são de quartzo mais grosseiro, em todo o perfil (Quadros 1, 2 e Figura 4c). A gênese do gradiente textural deve estar relacionada com os mecanismos de argiluviação, a qual leva a uma redução da porosidade (Figura 4d), associada possivelmente a perdas diferenciais de argila nos horizontes superficiais. Não foi possível

Quadro 2. Atributos micromorfológicos de horizontes escolhidos dos pedons estudados

Horizonte e Profundidade	Plasma	Grãos	Poros	Trama	Feições
Pedon 1: Latossolo Vermelho-Escuro muito argiloso					
Bw1 (70-79 cm)	45%, isóptico, vermelho escuro	15%, quartzo arred. Grau de sel. mod.	40%, metacavidades, galeria canais e domínio de poros de empilhamento	Grânica-granóidica	agregados granulares com tamanho e forma variável.
Bw2 (130-137 cm)	30%, vermelho-escuro e isóptico.	10%, idem Bw1. Nódulos pretos comuns.	60%, de empilhamento e gde qtde de poros de origem biol.	Grânica c/ domínios grânico-granóidicos.	Agr. granulares c/ tamanho (0,5 a 2 mm) e forma variável (esféricos, ovais e irregulares).
Pedon 2: Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa					
Bw1 (84-92 cm)	40%, vermelho e isóptico	30%, quartzo c/tamanho variável mas c/ domínio de areia fina (pouco selecionado). Esfericidade alta e arredond. variável.	30%, ortocavidades e poros de empilhamento. Numerosas cavidades elipsoidais e circulares.	Porfírica c/ forte tendência granóidica e c/ domínios granóidicos típicos.	Carvão e nódulos pretos comuns.
Bw2 (120-128 cm)	50%, vermelho e isóptico.	35%, idem Bw1. Ocorrência de Turmalina e zircão. Nódulos pretos (areia fina) comuns.	30% nos domínios porfíricos e 50% nos granóidicos. Porosidade de empilhamento maior que no Bw1, c/ algumas ortocavidades e canais.	Granóidica c/ tendência porfírica e localmente grânica.	
Pedon 3: Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico textura média					
Ap (transição A/B; 35-47 cm)	10%, bruno-escuro, isóptico.	60%, quartzo mal selecionado (de areia muito grossa a fina), elevado grau de arredondamento e esfericidade variável.	30%, empilhamento de grãos e algumas ortocavidades.	Gefúrica	
Bt (110-118 cm)	35%, bruno avermelhado, voesquelsépico	45%, idem Ap. zircão, rutilo e turmalina presentes.	20%, ortocavidades e pequenas galerias.	Porfírica, localmente gefúrica.	Ferriargilãs zonados preenchendo total ou parcialmente parte da porosidade. Nódulos pretos muito comuns.
Pedon 4: Podzólico Vermelho-Escuro Latossólico textura média/argilosa					
Bt (64-72 cm)	40%, vermelho-escuro, isóptico, localmente vossépico.	35%, grãos de quartzo c/ grau moderado de seleção, arred. E esfer. Variável. Presença de turmalina e zircão. Sem areia grossa.	25%, ortocavidades, canais e importante porosidade de empilhamento.	Porfírica com tendência granóidica. A 80 cm de profund. passa para porfírica localmente granóidica.	Ferriargilãs vermelho vivo, zonados ou não, muito frequentes em paredes de canais e cavidades, sendo de difusão e de argiluviação.
Bw2 (140-148 cm)	30%, vermelho escuro, isóptico a undúlico.	30%, quartzo, c/ maior grau de seleção; elevado arred. esfer. variável 1 feldspato envolto por argila (microclina)	40%; empilhamento; galerias e metacavidades biológicas comuns.	Granóidica c/ pequenos domínios grânicos e outros porfíricos.	Não há cutans. Poros de origem biológica abundantes.
Pedon 5: Podzólico Vermelho-Escuro Latossólico textura média/argilosa					
Bt (52-60 cm)	30%, bruno avermelhado, c/ tendência geral isótica c/ domínios vomaesquelsépicos. Manchas bruno-amarel. em microagr.	30%, grãos de quartzo; arred., esfer., e grau de sel., maior que nas camadas superiores. Nódulos pretos comuns (ferruginosos)	30%, ortocavidades, canais e metacavidades de origem biológica juntamente com poros de empilhamento nos domínios granóidicos	Porfírica, localmente granóidica	Ferriargilãs vermelhos sobre matriz bruno-avermelhada, associados à porosidade cavitária, sendo em parte de difusão e parte iluviação. 1 pedotúbulo c/ material microagregado.
Bw (95-103 cm)	30%, bruno avermelhado, isóptico com tênue anisotropia. Sem manchas	30%, grãos de quartzo c/ grau moderado de seleção, bem esféricos e arredondados.	40%, de empilhamento c/ galerias biológicas.	Granóidica, localmente porfírica.	Não há ferriargilãs. Ocorre grande contraste com o Bt. Nódulos pretos ferruginosos comuns.

Abreviações: amarel. = amarelado; sel. = seleção; arred. = arredondamento; qtde = quantidade; esfer. = esfericidade; mod. = moderado; gde = grande; biol. = biológica; agr. = agregados; microagr. = microagregado; feldsp. = feldspatos.

perfurar além dos 250 cm, pois aí a “stoneline” não permitiu o avanço do trado. A ocorrência da “stoneline” e a granulometria deste pedon reforçam as evidências sobre a existência de níveis de terraços mais elevados, sendo o mais evidente, e preservado, o inferior.

O P4 é argiloso, com pequeno gradiente textural (Quadro 1) e seqüência de horizontes A- Bt (trama porfirica com cutãs de argiluviação) - Bw (trama granóidica com plasma isótico) (Quadro 2). Especula-se que o horizonte Bt foi formado por argiluviação, provavelmente a partir de material inicialmente Latossólico, que pode ter sido previamente adensado pela ação deformadora e adensadora dos ciclos sucessivos de umedecimento com saturação e posterior secamento (Moniz & Buol, 1982). A concentração do fluxo d'água nas paredes e cavidades favoreceria a dispersão e eluviação das argilas (Castro, 1989). O maior conteúdo de grãos, em comparação com o pedon 1, apóia a hipótese de mistura do material do topo da seqüência que teria sido erodido, já com características latossólicas, e transportado na forma de fluxo de massa provavelmente durante uma fase semi-árida, misturando-se, conseqüentemente com o alúvio arenoso do elevado terraço do rio (do qual grande parte do pedon 3 originou-se), formando depósitos de tálus que posterior e muito provavelmente poderiam ter sido reentalhados e reafeiçoados por fases morfogênicas sucedentes.

O P5 é um solo profundo (400 cm), com seqüência de horizontes A-Bt-Bw. Algumas características latossólicas aí permanecem (Figura 4e). Todavia, o Bt está bem expresso com gradiente textural maior que em P4. É neste solo que existem as maiores evidências acerca da direção da transformação de material assemelhado a um Bw para um Bt, considerando os indícios de adensamento dos agregados, por ação dos ciclos de umedecimento e secagem, mobilização de ferro e finalmente argiluviação, que coalesce os pequenos agregados, passando a trama de granóidica para porfirica, fazendo com que seja mais aparente este modo de formação do Bt até a espessura de 70 cm (Figura 4f). Neste local, o Bt é mais evidente do que em P4 e isto deve estar associado ao maior número de ciclos de umedecimento com saturação e secagem na posição de sopé da vertente.

Mineralogia da fração argila

A mineralogia de P1, P2, P3 e P4 assemelha-se à dos Latossolos da superfície de cimeira regional (Vidal-Torrado, 1994): caulinítica com gibbsita e “vermiculita com hidroxí entre camadas” (VHE) (Figura 5). O difratograma da amostra do saprólito do diamictito arenoso do CPi, situada logo abaixo do sedimento vermelho de topo, no P1 e a 800 cm de profundidade, mostrou um pico equivalente ao espaçamento basal de 1,0 μm , diagnóstico da mica, mineral não identificado no horizonte B de nenhum dos outros solos em questão, mas presente nos

horizontes 2BC ou 2C. O mesmo ocorreu no P4, onde a amostragem feita a 850 cm atingiu o saprólito e mostrou mica, não sendo constatada a VHE.

Apenas no horizonte B (amostra de 70-150 cm) de P5 foi constatada a presença de mica, em pequena quantidade, somando-se à caulinita, gibbsita e VHE (Figura 5). No saprólito abaixo desse pedon, a 500 cm de profundidade, a argila tem mineralogia caulinítica, acompanhada de mica (ilita?) e, ainda, de pequena quantidade de gibbsita. Essa mineralogia é similar à dos solos derivados dos sedimentos do CPi nas colinas adjacentes à área em estudo (Vidal-Torrado, 1994).

A mineralogia das argilas apóia a idéia de que os solos foram formados por retrabalhamentos sucessivos a partir dos materiais advindos da cobertura argilosa da superfície de cimeira. A presença de VHE nos solos naquela superfície (Vidal-Torrado, 1994) e na seqüência em questão mostra que esse mineral pode ser considerado até como um marcador do material de origem de certos solos Latossólicos. Embora parte da VHE possa ter sido formada a partir da alteração da mica, o que pode ser inferido pela diminuição progressiva de intensidade dos picos diagnósticos de VHE e pelo aumento da intensidade nos horizontes (quando considerados de baixo para cima), isto se verifica somente em horizontes 2BC ou 2C da seqüência ou ainda no pedon situado na parte baixa da vertente (P5) (Figura 5).

De maneira geral, na área estudada, os solos mais intemperizados estão nas superfícies mais antigas (Vidal-Torrado, 1994). Quando isto não ocorre, a exemplo da seqüência estudada, é porque o material de origem dos solos é produto de retrabalhamento do material do pedissedimento da superfície de cimeira, que foi redepositado e reafeiçoado durante a elaboração das superfícies mais recentes.

Relações material de origem/solo e pedogênese

O Latossolo que ocupa a posição de topo (P1) assemelha-se em seus atributos morfológicos e micromorfológicos aos solos antes estudados por Vidal-Torrado (1994) e situados sobre a superfície de cimeira. Difere apenas na quantidade de grãos que possui, tendo mais areia, porém com idêntica morfoscopia.

Como não há ligação direta do terreno entre a superfície de cimeira regional e a parte mais elevada e quase plana da seqüência estudada (Figuras 1 e 2), há duas possíveis origens para o material de partida do pedon 1: a primeira hipótese é que o material de origem desse Latossolo seja similar aos depósitos neocenozóicos (pedissedimento), correspondentes ao pediplano *PdI*, encontrados na Depressão Periférica Paulista por Penteado (1968); a segunda hipótese é a de que, estando assentado sobre diamictitos arenosos da formação Itararé, o Latossolo seria originado a partir de material

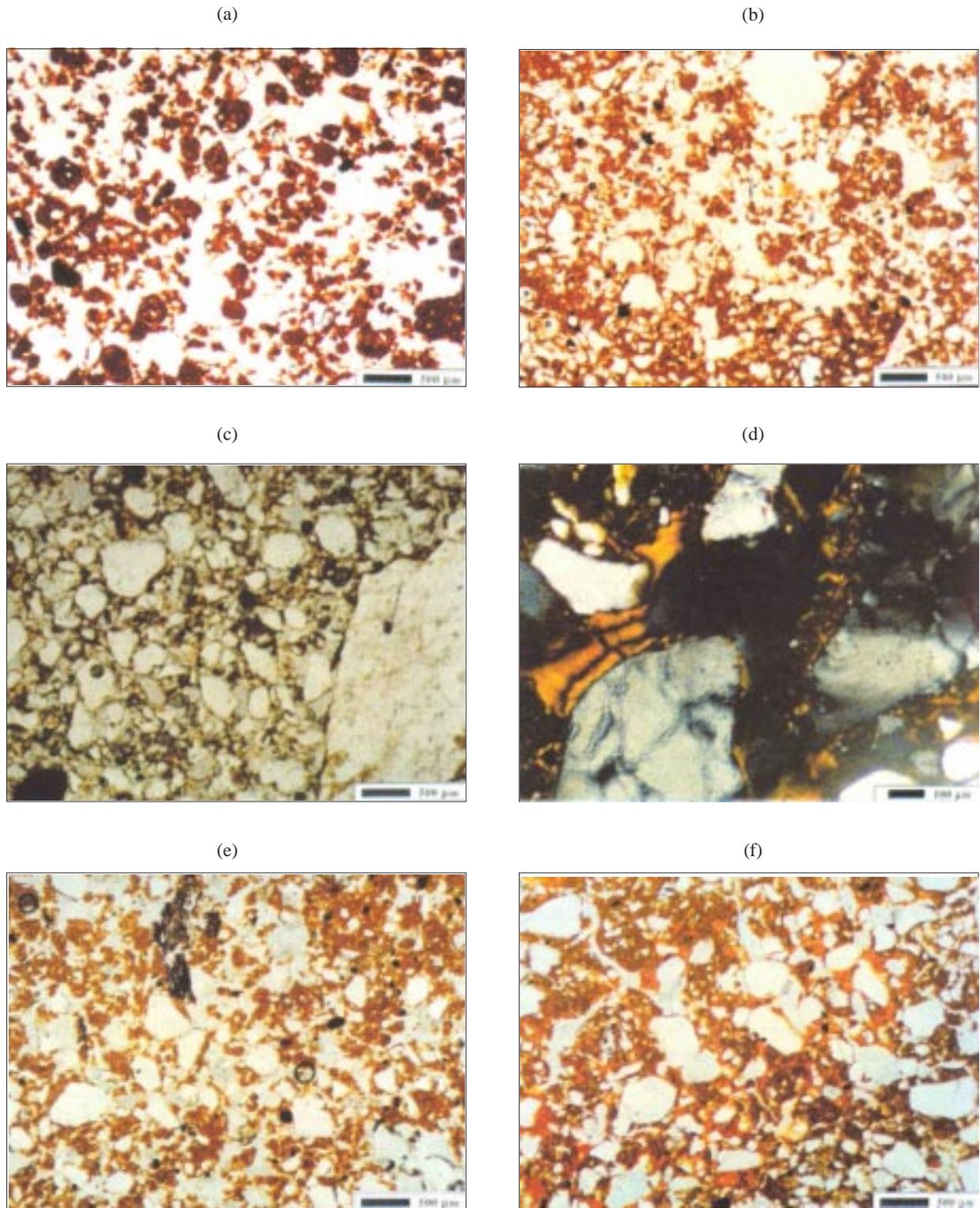


Figura 4. Fotomicrografias de horizontes dos pedons estudados. (a) P1, horizonte Bw (130-137 cm): trama grânica e plasma isótico. (b) P2, horizonte AB: trama porfírica e grãos com grau de seleção inferior ao P1. (c) P3, horizonte A: trama gefúrica e grãos com grau de seleção muito baixo. (d) P3 horizonte Bt (110-118 cm): ferriargilãs de iluviação. (e) P5, horizonte Bw (95-103 cm): trama granóidica, plasma isótico e ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis. (f) P5, horizonte Bt (52-60 cm): trama porfírica formada por coalescência de microagregados interpretada como advinda de argiluviação (Fotomicrografias *a,b,c,e,f* sob luz polarizada em um plano. Fotomicrografia *d* sob nicóis cruzados).

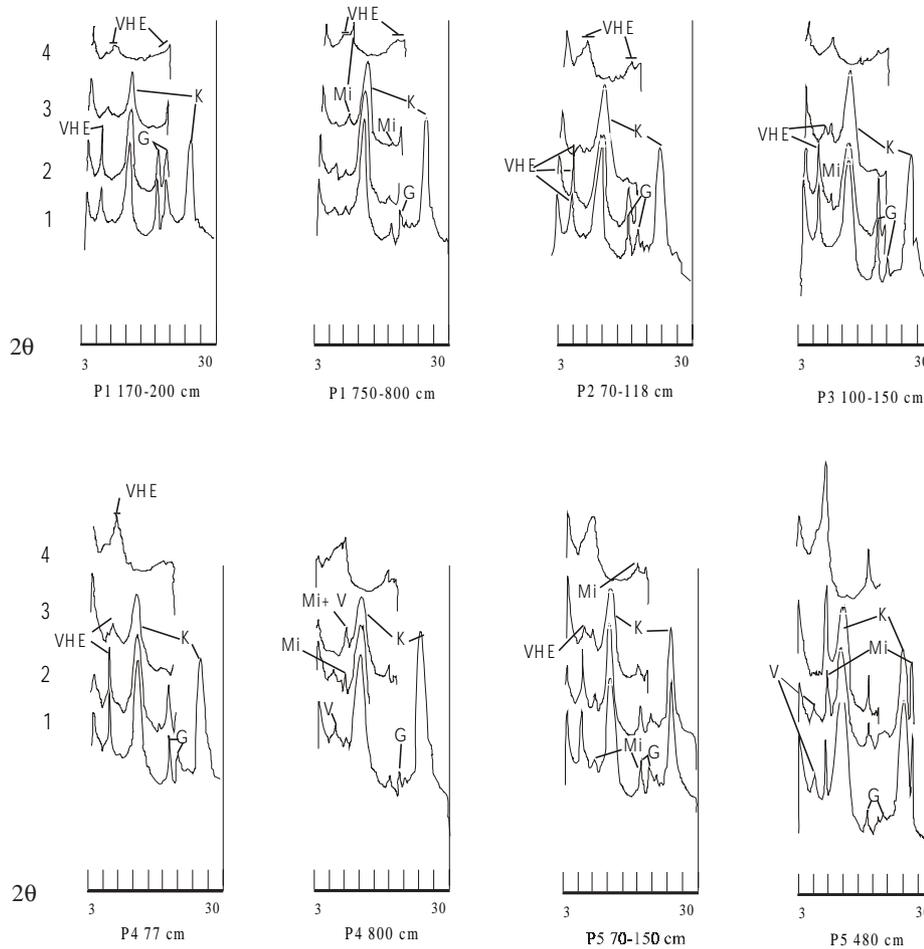


Figura 5. Difratogramas da fração argila de amostras dos horizontes dos pedons estudados. Tratamentos: (1) K⁺ 25°C; (2) Mg²⁺ 25°C, glicolada; (3) K⁺, 350°C; (4) K⁺ 550°C. Mi: mica (ilita); V: vermiculita; VHE (vermiculita com hidróxi entrecamadas); K: caulinita; G: gibbsita.

retrabalhado da superfície de cimeira (cobertura cenozóica). Este, quando depositado, já poderia ter características latossólicas (microagregados, mineralogia caulínica + óxidos, pe.). Neste estudo, não foi possível assegurar qual das duas hipóteses é a mais provável, ficando evidente, porém, que o LE é formado a partir de depósitos neocenozóicos argilosos assentados sobre as rochas psamíticas da formação Itararé. Num bloco baixo de falhamento geológico nas imediações do topo da seqüência estudada, foi constatado um estrato de 2.000 cm de espessura, de arenitos com estratificação cruzada assentados diretamente sobre o diamictito arenoso (Figura 2). Tal feição afasta a possibilidade de o Latossolo muito argiloso ter sido formado por alteração “*in situ*” de rochas do CPI que estão nesse local, as quais contêm teor elevadíssimo de quartzo.

A partir do ombro da vertente, o material inicialmente idêntico a um Bw sofreria um adensamento progressivo de cima para baixo,

provavelmente devido à ação do fluxo lateral de água (Moniz & Buol, 1982), gerando um horizonte B com agregados maiores que os dos Latossolos do topo, mas ainda sem os cutãs de argiluviação necessários para caracterizar um Bt (P2).

No terço superior da encosta, o P3 aparenta ter sido desenvolvido de material muito diferente dos solos superpostos. Com as observações de campo e de suas características e mais o confronto com a literatura, chegou-se à conclusão de tratar-se de solo desenvolvido de um depósito areno-argiloso correlativo a um nível de terraço elevado do rio Piracicaba, provavelmente P2 ou TP2 de Penteadó (1968). Trata-se de um solo intermediário para Latossolo com textura média e com horizonte Bt ainda que não característico quanto à relação textural (RT = 1,45) mas com cutãs de iluviação que preenchem parte da porosidade (Figura 4d e Quadro 2) e com um horizonte B Latossólico a partir de 150 cm.

Os pedons da meia encosta e sopé da vertente, P4 e P5, respectivamente, derivam-se não só do retrabalhamento da cobertura latossólica de topo, dos depósitos aluviais do elevado nível de terraço, mas também das eventuais alterações residuais dos arenitos do CPi, todos depositados nas sucessivas superfícies de erosão criadas na evolução do vale. Como nas partes altas (cimeiras) da paisagem regional dominam os Latossolos, é muito provável que as características latossólicas (presentes até o sopé da vertente) sejam herdadas dos ciclos pedogenéticos anteriores, podendo, assim, os solos serem considerados como poligenéticos. As investigações mineralógicas confirmam em parte essas afirmações as quais poderiam ser mais bem definidas com observações ultramicroscópicas detalhadas, conforme realizado para outros solos brasileiros (Muggler, 1998).

O aumento gradativo do desenvolvimento do horizonte Bt vertente abaixo a partir do ombro da encosta (P3, P4 e P5) evidencia a influência da dinâmica da água nesses materiais Latossólicos que estariam em desequilíbrio. Por outro lado, a maior espessura do Bt em P3 deve ser devida à facilidade de transladação de argilas em solos de textura mais grosseira (Berg, 1984).

CONCLUSÕES

1. O Latossolo de textura muito argilosa que ocupa as posições de topo e ombro não é derivado das rochas subjacentes da formação Itararé (CPi), mas, sim, de um sedimento argiloso de provável origem pedimentar, provavelmente neocenozóico.

2. Os solos Latossólicos da meia encosta e sopé resultam, em grande parte, do retrabalhamento sucessivo do sedimento neocenozóico argiloso sob a cimeira regional, não tendo também filiação expressiva com as rochas psamíticas subjacentes. As características latossólicas desses solos foram herdadas de material de origem alóctone ou pseudoalóctone.

3. A parte superior do horizonte B Latossólico com microagregados característicos está lateralmente em transformação para um horizonte Bt com agregados em blocos médios até o terço final da encosta. Isto revela formação do B textural principalmente por meio de mecanismos de argiluviação, responsáveis pela coalescência dos antigos microagregados, provavelmente após adensamento provocado pelos alternados ciclos de umedecimento e ressecamento.

4. O material de origem do Podzólico Vermelho-Amarelo de textura média, que se intercala na seqüência com solos argilosos do terço superior da encosta sobre os psamitos, foi interpretado como advindo de depósito correlativo a um remanescente de antigo e mais elevado nível de terraço fluvial do rio Piracicaba.

AGRADECIMENTOS

À família Furlan (Usina Furlan), pelas facilidades concedidas para os trabalhos de campo; à Dra. Selma Simões de Castro, pelas sugestões oferecidas nas discussões micromorfológicas; ao Dr. Edvard Elias de Souza Filho, pela contribuição nos trabalhos geológicos, (principalmente identificação dos estratos e posição de falhas); ao IPT-DIGEO, por permitir a utilização do fotomicroscópio, e à FAPESP, pelo auxílio financeiro para a realização deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, F.F.M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Geologia do estado de São Paulo. São Paulo, Inst. Geograf. e Gel.. 1964. p.167-263 (Boletim, 41)
- BERG, R.C. The origin and early genesis of clay bands in youthful sandy soils along Lake Michigan, USA. *Geoderma*, 32:45-62, 1984.
- BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soils. Huntington, New York, Robert E. Krieger, 1976. 482p.
- BREWER, R. & SLEEMAN, J.R. Soil structure and fabric. Adelaide, CSIRO, Division of Soils., 1988. 173p.
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D. & McKRACKEN, R. Soil Genesis and Classification. Ames, Iowa State Univisity Press. 1980. 360p.
- 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, 1986. 94p. (Boletim técnico, 106)
- CASTRO, S.S. Impregnação de amostras de solo para confecção de lâmina delgada. B. Inf. SBCS, 10:44, 1985.
- 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)
- COMISSÃO DE SOLOS. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, CNEPA, SNPA, 1960. 634p. (Boletim, 12)
- ESCHENBRENNER, V. Termite activity and soil morphology in tropical areas. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, SOLO-SUELO, 96, 13, Águas de Lindóia, 1996. Resumos e Conferências. Águas de Lindóia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 14p. (CD-ROM)
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. Mapa geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000. São Paulo, Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo., 1981.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis. Advanced course. Madison, 1969. 894p.

- LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta do solo no campo. 3.ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 83p.
- LEPSCH, I.F. & BUOL, S.W. Investigations in an oxisol-ultisol toposequence in São Paulo State, Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:491-496, 1976.
- MELO, M.S. A formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenozóica na Depressão Periférica Paulista. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1995. 143p. (Tese de Doutorado)
- MIKLÓS, A.A.W. Byodinamique d'une couverture pedologique dans la région de Botucatu, Brésil. *Université Paris VI, France. 2.v.*, 438p. 1992. (Tese de Doutorado)
- MILLOT, G. Géochimie de la surface et formes du relief. *Présentation. Sci. Géol., Bull.*, 30:229-233, 1977.
- 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.
- MUGGLER, C.C. Polygenetic oxisols on tertiary surfaces, Minas Gerais, Brazil. Soil genesis and landscape development. Wageningen, Wageningen Agricultural University, 1998. 185p. (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, J.B. & PRADO, H. Carta pedológica semidetalhada do estado de São Paulo. Folha de Piracicaba, Escala 1:100.000. Campinas, Instituto Agrônômico e Instituto Geográfico Cartográfico. 1986.
- 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, 1975. 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)
- 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
- SANTOS, M.C.; MERMUT, A.R. & RIBERIO, M.R. Submicroscopy of clay microaggregates in an oxisol from Pernambuco, Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:1895-1901, 1989.
- SOUZA FILHO, E.E. Mapeamento faciológico do Subgrupo Itararé na Quadricula de Campinas (SP). São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 1986. 286p. (Tese de Mestrado)
- STOOPS, G. Relict properties in soils of humid tropical regions with special reference to Central Africa. *Catena Suppl.*, 16:95-106, 1989.
- STOOPS, G. Application of micromorphological methods to the study of soil sequences in the tropics. *Edafologia, ed. especial del 50 aniversario, Ponencias. Soc. Española de Ci. del Suelo, Granada, 1997. p.145-159.*
- STOOPS, G. & JONGERIUS, A. Proposal for a micromorphological classification of soil materials. I. A classification of the related distribution of fine and coarse particles. *Geoderma*, 13:189-199, 1975.
- VIDAL-TORRADO, P. Pedogênese e Morfogênese no distrito de Tupi (Piracicaba, SP). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1994. 212p. (Tese de Doutorado)
- VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I.F. & SOUZA FILHO, E. Relações material de origem-superfícies geomórficas e distribuição dos solos em área de sedimentos paleozóicos no município de Piracicaba (SP). *R. Bras. Ci. Solo*, 1999. (no prelo)