

# MINERALOGIA, QUÍMICA E MICROMORFOLOGIA DE SOLOS DE UMA MICROBACIA NOS TABULEIROS COSTEIROS DO ESPÍRITO SANTO<sup>1</sup>

MARIZA NASCIMENTO DUARTE<sup>2</sup>, NILTON CURI<sup>3</sup>, DANIEL VIDAL PÉREZ<sup>4</sup>,  
NESTOR KÄMPF<sup>5</sup> e MARIE ELISABETH CHRISTINE CLAESSEN<sup>6</sup>

RESUMO - Solos dos tabuleiros costeiros do Estado do Espírito Santo foram estudados, com o objetivo de investigar e inter-relacionar suas características mineralógicas, químicas e micromorfológicas e fornecer subsídios para a reconstrução do ambiente pedogenético. Onze perfis de solos foram descritos, coletados e caracterizados analiticamente. Em amostras de perfis selecionados, determinou-se o Fe extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio. Determinou-se também o Fe menos cristalino pelo oxalato ácido de amônio e o Si amorfo pelo NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>. Nas amostras de mosqueados e nódulos determinou-se a proporção de hematita e goethita e a substituição em Al na goethita. Análises mineralógicas foram realizadas por métodos óticos, difratometria de raios X e análise térmica diferencial. De amostras indeformadas dos horizontes subsuperficiais foram confeccionadas lâminas delgadas para análise micromorfológica. Constatou-se que o ambiente pedogenético atual está propiciando a estabilização da caulinita e formação de goethita, removendo a hematita e possivelmente sendo responsável pelo amarelecimento (xantização) dos horizontes superficiais. O processo de segregação de ferro é evidenciado pelo seu acúmulo nos nódulos e mosqueados em relação à matriz do solo, provavelmente por difusão, sendo a fonte a matriz. Os nódulos e mosqueados vermelhos estão em processo de destruição e não de formação. As gotículas de ferro, que com frequência ocorrem no interior dos nódulos e concreções, constituem uma etapa do processo de formação ou destruição dessas estruturas.

Termos para indexação: Podzólico Amarelo, óxidos de ferro, características micromorfológicas dos solos, pedogênese.

## MINERALOGY, CHEMISTRY AND MICROMORPHOLOGY OF SOILS OF A SMALL WATERSHED IN THE COSTAL PLAINS OF ESPÍRITO SANTO STATE, BRAZIL

ABSTRACT - Soils of the coastal plains of the Espírito Santo state, Brazil, were studied with the objective of investigating and interrelating their mineralogical, chemical and micromorphological characteristics and to furnish subsidies for the pedogenetic environment reconstruction. Eleven soil profiles were described, collected and analysed. Less crystalline Fe by acid ammonium oxalate and amorphous Si by NaOH 0.5 mol L<sup>-1</sup> were also determined. On mottles and nodules samples the proportion of hematite and goethite and Al substitution in goethite were analysed. Mineralogical analyses were performed through optical methods, X-ray diffraction and differential thermal analysis. From undisturbed samples of subsuperficial horizons thin sections were prepared for micromorphological analysis. It was found that the present pedogenetic environment is favoring kaolinite stabilization and goethite formation, removing hematite and being probably responsible for the yellowing (xanthization) of superficial horizons. The process of iron segregation is evidenced by its accumulation in nodules and mottles in relation to soil matrix, probably by diffusion, the source being the matrix. The red nodules and mottles are in process of destruction instead of formation. The iron droplets which frequently occur in the interior of nodules and concretions constitute a stage of the process of development of these structures.

Index terms: yellow latosol, iron oxides, soil micromorphological features, soil genesis.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 14 de julho de 1999.

Trabalho financiado pela Empresa Aracruz Celulose S.A.

<sup>2</sup> Geóloga, M.Sc., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPq), Rua Jardim Botânico 1.024, CEP 22460-000, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: mariza@cnpq.embrapa.br

<sup>3</sup> Eng. Agrôn., Ph.D., Dep. de Ciência do Solo, Universidade

Federal de Lavras (UFLA), Caixa Postal 37, CEP 37200-000, Lavras, MG.

<sup>4</sup> Eng. Agrôn., M.Sc., Embrapa-CNPq.

<sup>5</sup> Eng. Agrôn., Ph.D., Dep. Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Caixa Postal 776, CEP 90001-970, Porto Alegre, RS.

<sup>6</sup> Bioquímica, M.Sc., Embrapa-CNPq.

## INTRODUÇÃO

Os solos objeto deste trabalho têm grande importância econômica, graças principalmente à sua localização e às suas características físicas e topográficas. Alguns estudos envolvendo principalmente a gênese desses solos têm sido realizados, como os trabalhos de Jacomine (1974), Anjos (1985) e Fonseca (1986) nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, além de Lucas et al. (1984), Chauvel et al. (1987) e Silva (1989) na Amazônia.

Os solos dos tabuleiros costeiros são principalmente podzólicos e latossolos amarelos que apresentam características muito particulares, dentre elas, o baixo teor de Fe e a presença de horizonte subsuperficial coeso. As características desses solos são tão específicas que exercem forte influência no Sistema Brasileiro de Classificação, ora em desenvolvimento, o qual praticamente condiciona as classes Latossolo e Podzólico amarelos aos tabuleiros costeiros. Porém, existe carência de estudos mais detalhados para subsidiar tal sistema de classificação, bem como práticas de uso e manejo destes solos.

Os teores de Fe disperso na matriz desses solos normalmente variam entre 20 e 100 g kg<sup>-1</sup>, chegando a menos que 10 g kg<sup>-1</sup> naqueles com insuficiência de drenagem. Apesar desses baixos teores, a ocorrência de horizontes com concreções e/ou mosqueados é bastante freqüente. Batista & Santos (1995) atribuíram as várias gerações de feições ferruginosas observadas em um Podzólico de tabuleiro no litoral do Estado do Piauí, a mudanças no regime hídrico do solo, e sugerem a ocorrência de um processo atual de plintitização.

De acordo com Kämpf et al. (1988), os óxidos de ferro representam um dos melhores indicadores ambientais no perfil de solo. Portanto, as características destes minerais no perfil são fundamentais na reconstrução da gênese do solo.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de investigar e inter-relacionar as características mineralógicas, químicas e micromorfológicas dos solos de uma microbacia nos tabuleiros costeiros do Estado do Espírito Santo e fornecer subsídios para a reconstrução do ambiente pedogenético.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Geologia

Ao longo de grande parte da costa brasileira, existe um pacote de sedimentos continentais, denominado de Formação Barreiras, que se estende desde o Estado do Rio de Janeiro até a desembocadura do Rio Amazonas. De acordo com Suguio et al. (1985), a deposição desses sedimentos se deu no período terciário, sob um clima árido ou semi-árido e terminou durante o pleistoceno, com uma mudança para um clima quente e úmido. Nas regiões Sudeste e Nordeste, esta fase foi marcada por uma grande transgressão marinha que erodiu a parte externa do pacote sedimentar, construindo falésias que podem hoje ser encontradas em alguns locais próximos à linha da costa. Durante a fase regressiva posterior, o clima voltou a adquirir características de aridez, o que favoreceu, segundo Amador (1982) e Suguio et al. (1985), o retrabalhamento superficial dos sedimentos, dando origem a uma cobertura coluvial que capeia a formação Barreiras em toda a sua extensão nos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. O clima seco, sujeito a chuvas concentradas e torrenciais, e a escassez de vegetação, permitiram, ainda, a escavação dos vales, dando forma ao relevo de tabuleiros atualmente encontrado e fornecendo material para a sedimentação da planície costeira (Suguio et al., 1982, 1985; Vilas Boas et al., 1985). O posterior estabelecimento do clima quente e úmido, foi, segundo Vilas Boas et al. (1985), a última mudança climática de grande porte de que se tem registro durante o quaternário, o que significa que, nos últimos 120.000 anos, as condições climáticas tornaram-se bastante próximas das atuais. As alterações climáticas posteriores são, de acordo com Suguio et al. (1982), de pequena amplitude, e estão associadas aos eventos transgressivos e regressivos de pequeno porte, que, durante o holoceno, formaram a planície costeira.

Os depósitos dos tabuleiros costeiros na região de Vitória-Nova Almeida, próxima ao município de Aracruz, Estado do Espírito Santo, estão, segundo Amador (1982), relacionados com a fase final da deposição da formação Barreiras. Este autor descreve um pacote de material argilo-arenoso, mal selecionado, com cerca de 50 m de espessura, que jaz em discordância erosiva sobre o embasamento cristalino. Relata, ainda, que é constituído por grãos de quartzo subarredondados, cimentados por uma matriz argiloferruginosa castanho-avermelhada, cujo argilomineral predominante é a caulinita. É comum a presença de estratos laterizados vermelho-escuros a lilás, com até 4,0 m de espessura, ocorrendo em vários níveis de sedimentação. Esses estratos têm, de acordo com este mesmo autor, caráter tanto diagenético como pós-diagenético.

Os solos que se desenvolveram a partir dos sedimentos Barreiras são genericamente denominados solos de tabuleiros. Predominam podzólicos e latossolos amarelos que têm um material de origem pré-intemperizado, retrabalhado e que comprovadamente sofreu a influência de mudanças climáticas durante a pedogênese.

### Meio físico

Os solos amostrados localizam-se em área de propriedade da Empresa Aracruz Celulose, município de Aracruz, a 30 km da costa do Estado do Espírito Santo. São solos desenvolvidos a partir de um colúvio pleistocênico, que é uma camada argilo-arenosa, de aproximadamente 8 m de espessura, que capeia a unidade superior da formação Barreiras naquela região (Amador, 1982).

O relevo compreende tabuleiros de topos aplainados e vales achatados e estreitos, situados a 40 m de altitude. O clima da região é Aw segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 23°C, e a precipitação, de 1.400 mm/ano.

A região, originalmente coberta por floresta tropical subperenifólia, tem sido utilizada há 21 anos para o plantio de eucalipto.

Os solos das áreas bem drenadas do topo do tabuleiro e das encostas são podzólicos amarelos que transitam para podzóis hidromórficos no fundo dos vales. Os solos imperfeitamente drenados das áreas abaciaadas do topo do tabuleiro são plintossolos.

A posição dos perfis em relação à topografia do tabuleiro está representada na Fig. 1. Os perfis bem drenados, tanto do topo do tabuleiro (P21 e P25) quanto na encosta

(P29), apresentam petroplintita a partir de 160 a 170 cm de profundidade. O perfil 26, situado em uma porção abaciada do tabuleiro, é imperfeitamente drenado, e apresenta mosqueados vermelhos a partir dos 30 cm de profundidade. O perfil da encosta apresenta grandes concreções de natureza predominantemente oxidíca (matações, calhaus e cascalhos) desde a superfície do solo, e seus primeiros 150 cm apresentam características de material movimentado, por causa da grande declividade da encosta (40%).

As descrições morfológicas e os dados analíticos dos perfis encontram-se nas Tabelas 1 e 2, com exceção do P25, cujas características morfológicas e analíticas são bastante semelhantes ao P21.

### Métodos

Onze perfis foram descritos e amostrados de acordo com Lemos & Santos (1982), distribuídos de forma a representar a área bem drenada e imperfeitamente drenada da parte central do tabuleiro, a parte próxima à borda, a encosta e o vale. Dada a semelhança de características tanto morfológicas quanto analíticas, três perfis foram selecionados para as análises de Fe, Si e micromorfológicas. Coletaram-se, então, amostras da matriz dos solos e dos nódulos e mosqueados nos perfis selecionados, além de amostras indeformadas, para análise micromorfológica.

Após separação granulométrica (Embrapa, 1979), a fração argila foi desferrificada (Mehra & Jackson, 1960) e analisada por difração de raios X (DRX) (radiação  $\text{CuK}\alpha$ ) e análise térmica diferencial (ATD). Nos mosqueados e nódulos dos perfis 26 e 29, respectivamente, as capas amarelas foram manualmente separadas dos núcleos ver-

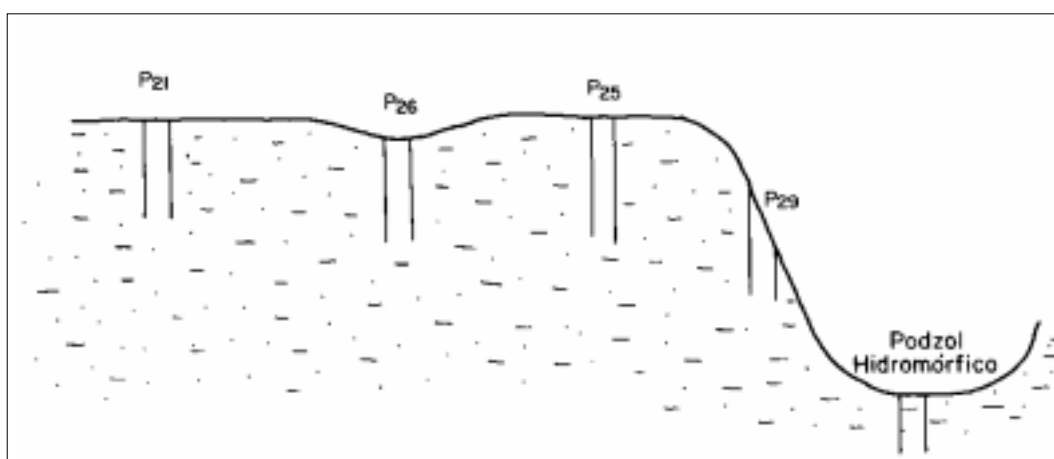


FIG. 1. Posição esquemática dos perfis (P) de solos no tabuleiro.

TABELA 1. Características morfológicas dos solos<sup>1</sup>.

Hori- zonte	Profun- didade (cm)	Cor úmida (Munsell)	Mosqueado/concreções	Textura <sup>2</sup>	Transição
Podzólico Amarelo álico - P21					
Ap	0-15	10YR 4/3	-	Fr.-arg.-arenosa	Clara e plana
BA	15-35	10YR 5/4	-	Arg.-arenosa	Difusa e plana
Bt1	35-72	10YR 5/5	-	Arg.-arenosa	Gradual e plana
Bt2	72-116	10YR 5/6	Concreções de Fe poucas	Arg.-arenosa	Gradual e plana
BC	116-160	7,5YR 5/8	Concreções de Fe comuns <sup>3</sup>	Argilosa	Clara e ondulada
2Cc1	160-180	5YR 5/6	Concreções de Fe abundantes	Muito argilosa	Irregular
2Cc2	180-204	5YR5/7	Concreções de Fe abundantes	Argilosa	Irregular
2Cc3	204-256	5YR 5/7	Concreções de Fe comuns	Argilosa	Irregular
2C4	256-276	-	Concreções de Fe poucas	Argilosa	Irregular
2Cc5	276-300	-	-	Argilosa	-
Plintossolo álico - P26					
Ap	0-20	10YR 4/2	-	Fr.-arg.-arenosa	Clara e plana
AB	20-35	10YR 6/2	Mosqueado pouco pequeno distinto (7,5YR 5/6)	Arg.-arenosa	Gradual e plana
BAG	35-45	10YR 6/2	Mosqueado comum pequeno distinto (7,5YR 5/6)	Arg.-arenosa	Difusa e plana
Bg1	45-70	10YR 6/2	Mosqueado comum pequeno distinto (7,5YR 5/6)	Arg.-arenosa	Gradual e plana
Bg2	70-102	10YR 6/2	Mosqueado comum pequeno distinto (7,5YR 5/6) e pouco pequeno proeminente (5YR 5/6)	Arg.-arenosa	Gradual e ondulada
Bfg	102-139	10YR 6/2	Mosqueado comum médio distinto (7,5YR 5/6) e comum médio proeminente (5YR 5/6)	Argilosa	Difusa e plana
BCgf1	139-171	10YR 6/2	Mosqueado comum grande distinto (7,5YR 5/6) e comum grande proeminente (5YR 5/8)	Argilosa	-
BCgf2	171-230	-	Mosqueado pouco grande distinto (7,5YR 5/6) e pouco grande proeminente (5YR 5/8)	Arg.-arenosa	-
BCgf3	230-290	10YR 6/2	Mosqueado pouco grande distinto (7,5YR 5/6) e pouco grande proeminente (5YR 5/8)	Arg.-arenosa	-
C/Rf	290-310	-	-	Fr.-arg.-arenosa	-
Podzólico Amarelo álico petroplíntico moderadamente rochoso <sup>4</sup> - P29					
Ac	0-12	5YR 4/3	-	Fr.-arenosa	Clara e ondulada
ABc	12-22	7,5YR 4/6	-	Fr.-arg.-arenosa	Gradual e ondulada
BAc	22-44	7,5YR 4/6	-	Arg.-arenosa	Gradual e ondulada
Btc	44-66	7,5YR 5/6	Mosqueado pouco	Argilosa	Gradual e plana
Btc1	66-97	Variegada	Mosqueado comum	Muito argilosa	Gradual e plana
BCcf	97-127	Variegada	Mosqueado comum	Argilosa	Gradual e ondulada
Ccf	127-151	Variegada	Mosqueado comum	Argilosa	Irregular
2Crf1	151-193	Variegada	Mosqueado comum	Argilosa	Irregular
2Crf2	193-290	-	Mosqueado comum	Arg.-arenosa	Clara e ondulada
2Crf3	290-320	-	Mosqueado comum	Fr.-arg.-arenosa	-

<sup>1</sup> A estrutura nos horizontes A dos três perfis é moderada média/grande granular e a partir dos horizontes BA é maciça moderada coesa *in situ*; a consistência seca e úmida dos horizontes A é macia e solta, respectivamente, e a partir dos horizontes BA é ligeiramente dura e friável, respectivamente.

<sup>2</sup> arg.: argilo; fr.: franco.

<sup>3</sup> Presença de concreções ferruginosas arredondadas.

<sup>4</sup> Fase relativa à rochiosidade, visando subdivisão desta classe de solo, para fornecer subsídios para o uso e manejo.

melhos, visando à identificação de goethita e hematita, à determinação da proporção desses minerais e à estimativa da substituição em Al na goethita (Schulze, 1984). Para isso, os óxidos de ferro foram concentrados por tratamento com NaOH 5M (Norrish & Taylor, 1961; Kämpf & Schwertmann, 1982) e analisados por DRX, radiação FeK $\alpha$ . A mineralogia das frações grosseiras foi obtida por método ótico, utilizando-se microscópio estereoscópico.

Determinações de Fe extraído pelo ataque sulfúrico (Fe<sub>s</sub>) (Embrapa, 1979), pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fe<sub>d</sub>) (Mehra & Jackson, 1960) e pelo oxalato ácido de amônio (uma extração) (Fe<sub>o</sub>) (Schwertmann, 1964) foram feitas em todos os perfis. O Fe<sub>d</sub> foi dosado por espectrofotometria de absorção atômica, após uma ou duas extrações, conforme o descolorimento do material, que é indicador de remoção dos compostos de Fe. Assim, nas

TABELA 2. Análises físicas e químicas de caracterização dos solos.

Hori- zonte	Granulometria				Grau de flo- culação (%)	C orgânico (g kg <sup>-1</sup> )	Complexo sortivo							V (%)	pH		Ataque por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				Si NaOH 0,5N
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			Ca + Mg	K	Na	S	Al	H	T		Água	KCl	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	
----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----				----- (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) -----							----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----										
Podzólico Amarelo álico - P21																					
Ap	600	140	50	210	52	8,1	7	0,5	0,3	7,8	6	26	38,8	20	4,8	4,1	78	80	34	13,1	-
BA	430	160	50	360	11	4,6	13	0,3	0,3	13,6	0	16	29,6	47	5,0	4,2	134	131	55	17,6	22,3
Bt1	410	130	60	400	2	3,2	11	0,2	0,3	11,5	0	14	25,5	44	5,0	4,1	131	151	50	16,8	-
Bt2	350	120	40	490	100	2,8	5	0,1	0,2	5,3	6	15	26,3	19	5,1	4,1	178	180	55	17,8	37,9
BC	300	100	40	560	100	2,8	5	0,1	0,3	5,4	6	16	27,4	18	5,4	4,4	200	290	58	18,6	-
2Cc1	230	80	40	650	100	2,0	5	0,1	0,3	5,4	2	16	23,4	22	4,9	4,1	247	237	80	19,8	-
2Cc2	250	70	100	580	100	1,9	3	0,1	0,3	3,4	2	15	20,4	15	4,8	4,1	237	241	71	19,4	-
2Cc3	320	60	60	560	57	1,2	3	0,1	0,2	3,3	2	16	21,3	14	4,8	4,1	232	213	65	19,7	-
2C4	320	70	30	580	100	1,2	3	0,1	0,3	3,4	2	14	19,4	16	4,5	4,3	203	213	48	19,5	-
2Cc5	340	90	50	520	100	1,0	3	0,1	0,2	3,3	2	11	16,3	19	4,7	4,3	158	206	75	19,2	-
Plintossolo álico - P26																					
Ap	440	180	90	290	31	18,1	17	0,7	0,6	18,3	14	51	83,3	22	4,6	4,0	125	104	160	19,5	-
AB	340	200	100	360	22	11,8	5	0,4	0,4	5,8	22	30	57,8	10	4,5	3,9	163	141	150	25,5	31,7
B <sub>Ag</sub>	290	180	110	420	9	5,7	5	0,2	0,4	5,6	20	20	45,6	13	4,3	4,0	184	168	230	27,7	-
B <sub>g1</sub>	300	170	90	440	81	3,1	5	0,1	0,5	5,6	20	12	37,6	16	4,3	3,9	172	168	190	25,9	-
B <sub>g2</sub>	290	150	100	460	100	2,9	5	0,1	0,4	5,5	17	10	32,5	16	4,4	3,9	200	179	240	26,5	29,1
B <sub>fg</sub>	300	130	90	480	100	1,7	5	0,1	0,4	5,5	8	10	23,5	22	4,4	4,0	174	196	270	23,9	-
BC <sub>gf1</sub>	270	130	120	480	100	1,1	5	0,1	0,4	5,5	8	10	23,5	22	4,4	4,0	220	202	270	26,0	-
BC <sub>gf2</sub>	290	140	150	420	100	1,0	5	0,1	0,3	5,4	8	10	23,4	22	4,3	4,0	236	203	230	20,2	-
BC <sub>gf3</sub>	350	120	100	430	100	0,7	3	0,1	0,3	3,4	10	8	21,4	14	4,2	3,9	248	189	210	17,1	-
C/R <sub>f</sub>	470	110	90	330	100	0,8	3	0,1	0,3	3,4	14	4	21,4	14	4,2	3,9	253	203	200	13,0	-
Podzólico Amarelo álico petroplântico moderadamente rochoso - P29																					
Ac	610	150	80	160	37	18,9	29	3,2	0,4	32,6	1	57	90,6	36	4,6	3,8	75	59	25	8,1	-
ABc	410	160	100	330	24	13,7	9	2,0	0,3	11,3	7	51	69,3	16	4,6	3,8	134	122	37	14,3	-
B <sub>Ac</sub>	280	170	100	450	7	7,9	4	1,2	0,3	5,5	8	35	48,5	10	4,5	3,9	169	167	42	17,7	-
B <sub>tc</sub>	250	140	70	540	100	4,8	5	1,0	0,3	6,3	8	25	39,3	15	4,1	3,9	192	184	60	19,8	-
B <sub>tc1</sub>	200	80	90	630	100	3,6	3	0,6	0,3	3,9	8	26	37,9	10	4,8	4,1	252	228	60	21,7	21,6
BC <sub>cf</sub>	350	70	60	520	100	2,0	1	0,2	0,3	1,5	8	18	27,5	4	4,8	4,0	207	204	45	17,6	-
C <sub>cf</sub>	350	90	70	490	100	1,8	2	0,1	0,4	2,5	9	15	26,5	14	4,8	4,1	197	190	36	16,6	-
2C <sub>rf1</sub>	320	100	70	510	100	1,7	3	0,2	0,6	3,8	9	17	29,8	13	4,0	3,6	182	193	35	17,0	-
2C <sub>rf2</sub>	390	70	60	480	100	1,2	1	0,1	0,5	1,6	11	20	32,6	6	4,3	4,1	187	194	32	11,9	-
2C <sub>rf3</sub>	600	90	50	260	100	0,9	4	0,1	0,5	4,6	8	15	27,6	18	4,6	4,2	118	124	99	11,1	22,6

amostras de mosqueado dos horizontes Cc1 e 2Cc5 do P21 e horizontes BCcf e Crf3 do P29 foram conduzidas duas extrações sucessivas, e nas demais, apenas uma extração.

A determinação da sílica amorfa (Jackson, 1973) foi feita em amostras selecionadas dos perfis 21, 26 e 29. O Si foi dosado por espectrofotometria de absorção atômica.

Análises micromorfológicas foram realizadas em lâminas delgadas de 11 cm x 7 cm, confeccionadas a partir da impregnação a vácuo, com resina de poliéster (Fitzpatrick, 1984), de amostras indeformadas dos perfis 21, 26 e 29. Nas descrições das lâminas foi utilizada a terminologia de Brewer (1976), adaptada por Lima et al. (1985).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Características gerais dos solos

Uma das características morfológicas mais marcantes nos solos bem drenados é a variação da cor em profundidade. Os podzólicos do topo do tabuleiro têm matriz 10YR até 150 cm de profundida-

de, quando passam para 5YR após uma transição difusa. As feições decorrentes do processo de segregação do Fe ocorrem a partir de 160 cm de profundidade, e são constituídas por nódulos irregulares e mosqueados, alongados verticalmente até os 280 cm, quando tornam-se horizontais (Fig. 2a). Os nódulos são vermelho-violáceos, têm cerca de 10 cm de comprimento e apresentam um fino recobrimento amarelo. Tornam-se progressivamente menos endurecidos em profundidade, e são substituídos por volumes ferruginosos macios. Nos podzólicos localizados na área mais interna do tabuleiro, ocorre uma linha de cascalhos de concreções ferruginosas arredondadas entre a porção superior amarela dos perfis e a porção inferior vermelha. Trata-se de nódulos de natureza predominantemente oxidíca, arredondados, que se encontram esparsos ao longo da porção amarela dos perfis, desde a superfície. Nos perfis localizados próximo à borda do tabuleiro, a linha de seixos desaparece, permanecendo os nódulos alongados. Nos podzólicos localizados na encosta do tabuleiro, além das feições de natureza predominantemente

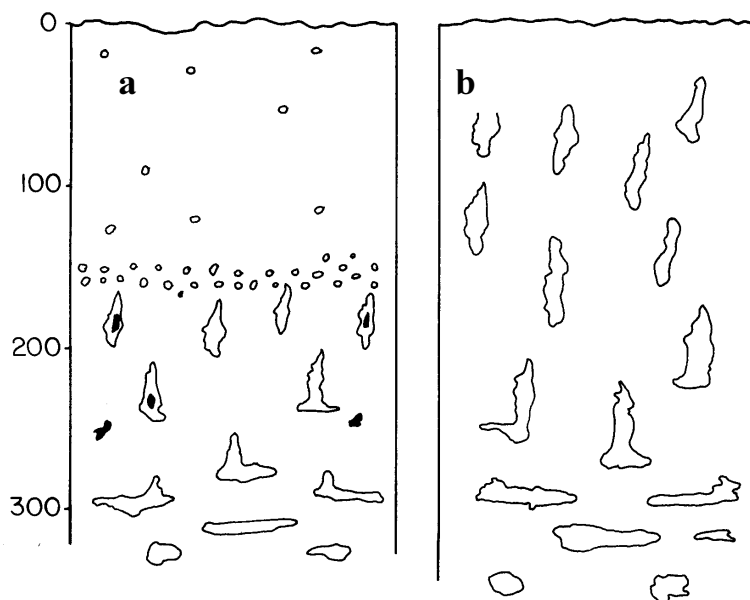


FIG. 2. Esquema da distribuição das feições decorrentes do processo de segregação do ferro ao longo dos perfis: a) nos podzólicos do topo do tabuleiro e da encosta; b) no plintossolo (○ : nódulos arredondados; ■ : nódulos irregulares; ≡ : mosqueados).

oxídica, observam-se zonas de acumulação de caulinita, irregulares e completamente brancas, as quais variam de 2 cm a 10 cm. Nahon (1991) relata que essas zonas brancas são constituídas de uma caulinita secundária, formada a partir da reprecipitação de sílica e alumina durante o processo de laterização.

Nos plintossolos, uma matriz 10YR estende-se ao longo de todo o perfil. A partir dos 30 cm de profundidade, as descrições de campo indicam a ocorrência de plintitas e mosqueados de matiz 7,5YR e 5YR, orientados verticalmente até cerca de 300 cm, quando também tornam-se horizontais (Fig. 2b). A mudança na orientação das feições de Fe parece indicar o sentido preferencial no movimento da água nesses solos. Até a profundidade de 300 cm, o movimento vertical deve ser mais intenso na estação úmida. A partir desta profundidade, mesmo nos solos das áreas abaciadas, o movimento horizontal deve predominar, inclusive na estação seca.

### Mineralogia e química

A mineralogia dos solos é bastante semelhante, e praticamente não sofre alterações entre os perfis. A composição mineralógica das frações grosseiras é

amplamente dominada por quartzo, associado a traços de rutilo, zircão, turmalina, leucoxênio e ilmenita. Esses grãos encontram-se distribuídos aleatoriamente em um plasma caulinitico (cerca de 85% de caulinita), com contribuições de gibbsita (cerca de 5%) e pequenas quantidades de quartzo, anatásio, VHE (vermiculita com hidróxido nas entrecamadas) e mica (Tabela 3 e Fig. 4). A goethita é o óxido de ferro predominante, tanto nos horizontes superficiais amarelos, como nos horizontes subsuperficiais vermelhos. A associação quartzo-caulinita-goethita é, segundo Tardy & Nahon (1985), a paragênese mineralógica típica em solos amarelos ou vermelhos, submetidos permanentemente a condições tropicais úmidas.

Esta composição mineralógica e a evolução geoquímica por ela demonstrada devem-se, em parte, ao próprio material de origem, que é um sedimento essencialmente constituído de quartzo e caulinita (Amador, 1982). Parte da caulinita, entretanto, deve ser pedogenética, como conseqüência do processo de formação dos nódulos de hematita. As zonas de concentração de caulinita, que ocorrem principalmente no perfil da encosta do tabuleiro (P29), são semelhantes às descritas por Nahon (1991), em arenito-argiloso laterizado. Para este autor, a quantidade de prótons liberados durante a hidrólise do  $Fe^{3+}$ , na pre-

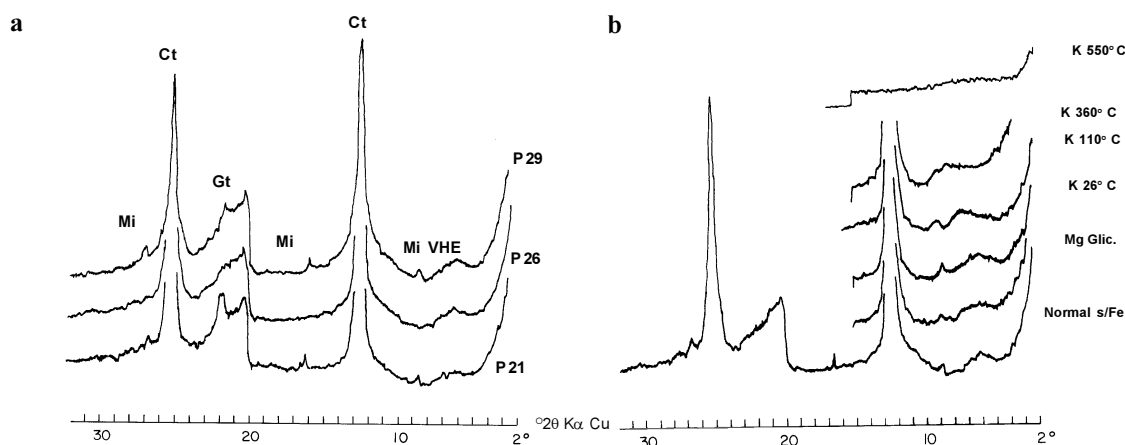


FIG. 3. Difratoformas de raios X da fração argila dos horizontes B dos perfis 21, 26 e 29: a) argila com ferro:VHE: vermiculita com hidróxi nas entrecamadas; Mi: mica; Ct: caulinita; Gt: goethita; b) tratamentos para identificação da VHE do horizonte B do P21: Normal s/Fe: argila tratada com DCB; Mg Glic: saturada com magnésio e solvatada com etileno glicol; K 25, 110, 350 e 550°C: saturada com potássio e aquecida às temperaturas citadas.

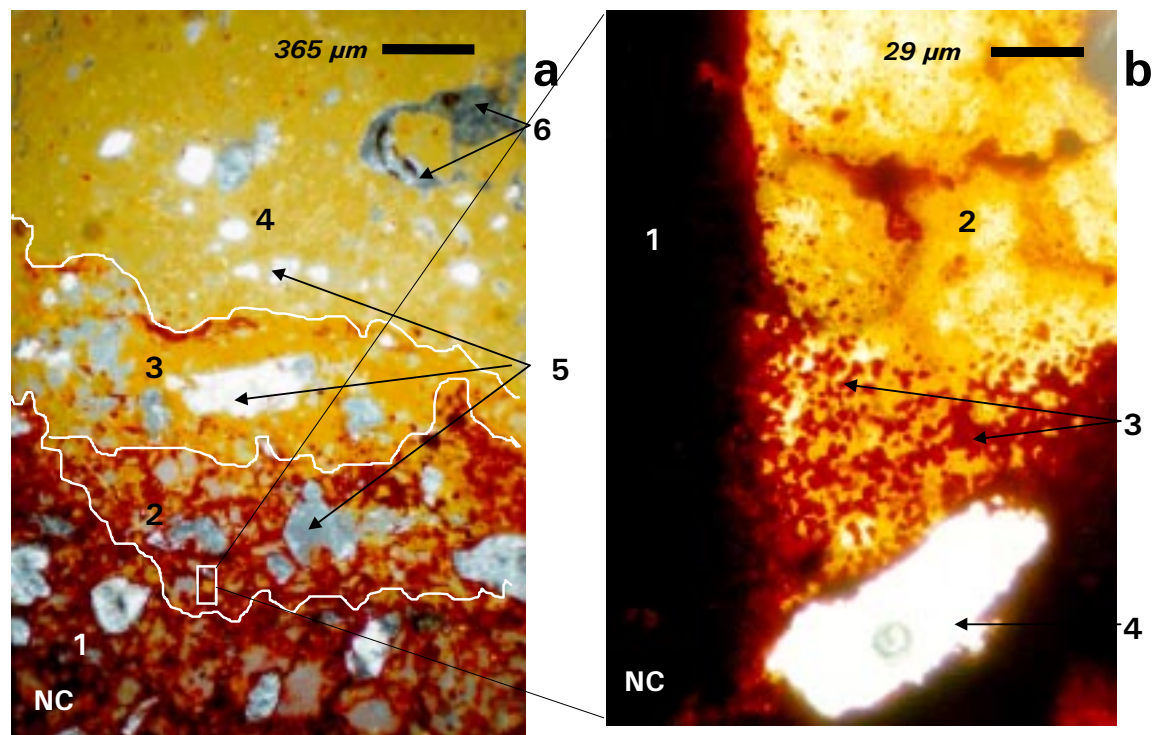
cipitação da hematita como nódulo, é suficientemente alta para provocar a dissolução dos cristais da caulinita que ele chama de primária. A sílica e parte da alumina liberadas nessa dissolução migrariam (por difusão) para zonas de maior porosidade da matriz, reprecipitando e formando uma nova geração de caulinita.

**TABELA 3. Teores de caulinita e gibbsita na fração argila desferrificada, obtidos por análise térmica diferencial.**

Perfil	Caulinita	Gibbsita
	----- (%) -----	
Podzólico Amarelo (topo) - P21	89	5
Plintossolo - P26	81	5
Podzólico Amarelo (encosta) - P29	88	5

A análise da distribuição dos valores do  $Fe_d$  ao longo dos perfis (Tabela 4) leva às seguintes constatações: a concentração de Fe nos nódulos e mosqueados é maior que na matriz; logo, há uma concentração de Fe nessas feições, provavelmente por difusão, sendo a fonte a matriz, o que comprova o processo de segregação de Fe; outra constatação baseia-se no aumento em profundidade dos teores de  $Fe_d$  nos nódulos e mosqueados, o que indica maior quantidade de ferro cristalino nas feições mais profundas, em contraposição às camadas mais superficiais, que têm maior atuação e compostos orgânicos.

Os valores da razão  $Fe_o/Fe_d$  (Tabela 4) dos perfis bem drenados (P21 e P29) não apresentam variações entre os mosqueados e a matriz dos solos, demonstrando, segundo Blume & Schwertmann (1969), que



**FIG. 4.** Micrografias de um nódulo de ferro do solo podzólico (P21, 160 cm de profundidade), a duas magnificações: a) área de contato do nódulo com a matriz do solo: 1 - parte central do nódulo, zona vermelho-escura; 2 - zona de transição vermelho-amarela; 3 - borda do nódulo, recobrimento amarelo; 4 - matriz caulinitica; 5 - grãos de quartzo; 6 - poro. b) detalhe do interior de um vacúolo da zona intermediária vermelho-amarela: 1 - grade da rede vacuolar; 2 - área interna do vacúolo; 3 - gotículas de ferro; 4 - grão de quartzo. NC: nicóis cruzados.



**TABELA 4.** Fe livre ( $Fe_d$ ), Fe oxalato ( $Fe_o$ ), Fe do ataque sulfúrico ( $Fe_s$ ) e relações entre eles, da matriz do solo e da plintita/ptroplintita do Podzólico Amarelo (P21) e Plintossolo (P26) do topo do tabuleiro e do Podzólico Amarelo da encosta (P29).

Horizonte	Profundidade (cm)	Matriz					Mosqueado				
		$Fe_o$	$Fe_d$	$Fe_s$	$Fe_o/Fe_d$	$Fe_d/Fe_s$	$Fe_o$	$Fe_d$	$Fe_s$	$Fe_o/Fe_d$	$Fe_d/Fe_s$
		----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----					----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----				
P21											
Bt2	72-116	0,3	24	55	0,01	0,44	0,3	60	335	0,005	0,18
2Cc1	160-180	0,1	48	62	0,002	0,77	0,2	114	247	0,002	0,46
2Cc	276-300	0,1	38	59	0,003	0,64	0,7	137	238	0,005	0,58
P26											
BCgf1	139-171	0,1	1,0	16	0,10	0,06	0,2	8	23	0,002	0,35
C/Rf	290-310	0,1	0,3	10	0,33	0,03	0,2	19	29	0,01	0,66
P29											
BCcf	97-127	0,3	48	85	0,01	0,55	0,5	110	419	0,005	0,26
2Cr3	290-320	0,1	37	90	0,003	0,40	0,3	118	469	0,003	0,50

os minerais de Fe contidos tanto nos mosqueados quanto na matriz têm grau de cristalinidade semelhante, e portanto devem ter estado sob as mesmas condições de formação. Já no perfil com deficiência de drenagem (P26), os valores da razão  $Fe_o/Fe_d$  são maiores na matriz do solo do que no mosqueado, demonstrando que os minerais de Fe contidos nos mosqueados possuem um grau de cristalinidade superior aos que estão presentes na matriz, provavelmente pelos seus menores conteúdos de C orgânico.

A determinação da proporção de hematita e goethita ( $Gt/(Gt + Hm)$ ) realizada no Podzólico Amarelo, moderadamente rochoso da encosta (P29), mostra que as capas amarelas mais macias dos mosqueados consistem essencialmente de goethita, enquanto os núcleos vermelhos mais endurecidos contêm hematita, além de goethita (Tabela 5). Recobrimentos de goethita em nódulos hematíticos ocorrem, com frequência, nos horizontes superficiais de perfis de intemperismo laterítico. Esse recobrimento é atribuído por Tardy & Nahon (1985) a um processo de degradação secundário, no qual a goethita, que deve conter baixa substituição em Al, é formada a partir da hematita. Nos perfis estudados, observa-se que a proporção de hematita nos núcleos diminui nos horizontes mais superficiais, enquanto a goethita das capas permanece constante.

A estimativa da substituição em Al na goethita não revela diferença substancial entre as amostras dos núcleos vermelhos e das capas amarelas: nos

mosqueados, os valores situam-se na faixa de 17 a 25 moles % de Al; nos nódulos, a substituição na goethita é estimada em 17 moles % de Al. De acordo com Fitzpatrick & Schwertmann (1982), esses valores expressam goethitas formadas sob ambiente ácido, não hidromórfico, e portanto com quantidade suficiente de Al disponível para ser incorporado na estrutura da goethita. A similaridade da substituição em Al nas goethitas das capas amarelas e dos núcleos vermelhos indica que ambas formaram-se no mesmo ambiente (Fitzpatrick & Schwertmann, 1982), sendo, portanto, a mesma goethita primária; não há indicação de neoformação de goethita.

A presença de goethitas primárias, tanto nas capas amarelas quanto nos núcleos vermelhos, e o teor de Fe livre ( $Fe_d$ ) mais elevado nos núcleos vermelhos (Tabela 5) sugerem a remoção seletiva preferencial da hematita, permanecendo a goethita como um resíduo mais resistente. Isto pode significar que, na presente condição, as capas de goethita dos nódulos não são formadas pela reidratação da hematita, como descrito por Tardy & Nahon (1985). Significa, também, que os nódulos e mosqueados vermelhos estariam em processo de dissolução, ao invés de formação.

No Plintossolo, houve dificuldade para separar os núcleos vermelhos das capas amarelas dos mosqueados, o que resultou em pequena quantidade de amostras. Por isso, e devido também aos baixos teores de Fe na fração argila, tanto nos núcleos vermelhos quanto nas capas amarelas, os resulta-

**TABELA 5. Cor úmida, Fe livre (Fe<sub>d</sub>), relação Gt/(Gt + Hm), substituição em Al na goethita (Gt) dos núcleos vermelhos e capas amarelas dos nódulos e mosqueados do Plintossolo do topo e do Podzólico Amarelo petroplintítico da encosta do tabuleiro.**

Profundidade (cm)	Horizonte <sup>1</sup>	Núcleos vermelhos			Capas amarelas				
		Cor	Fe <sub>d</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	Gt/(Gt + Hm)	Subst. Al Gt (mol %)	Cor	Fe <sub>d</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	Gt/(Gt+Hm)	Subst. Al Gt (mol %)
106	Bg2(mo)	2,5YR 6/4	37,1	0,99	22	10YR 7/4	16,4	1,00	nd <sup>2</sup>
195	Bcgf2(mo)	10R 5,5/5	23,5	0,57	17	10YR 7/3	9,6	1,00	17
280	Bcgf3(mo)	7,5R 6/6	16,0	0,99	nd <sup>2</sup>	10YR 8/4	5,3	1,00	nd <sup>2</sup>
280	Bcgf3(mo)	7,5R 5/6	-	-	20				
Podzólico Amarelo petroplintítico - Encosta (P29)									
110	Bcf (mo)	2,5YR 6/6	37,1	0,77	22	10YR 7/4	23,0	1,00	25
130	Cf (mo)	5YR 6/6	-	0,76	23	10YR 7/4	29,6	1,00	22
140	Cf (no)	7,5R 5/6	-	0,12	17				
140	Cf (no)	7,5R 3/6	-	-	nd <sup>3</sup>				
170	2CrH1 (no)	10R 4,5/6	-	0,10	17				
170	2CrH1 (no)	7,5R 3,5/6	-	-	nd <sup>3</sup>				
200	2CrH1 (mo)	10R 6/7	26,4	0,22	25	10YR 8/4	16,4	1,00	23

<sup>1</sup> mo: mosqueado; no: nódulo.

<sup>2</sup> Não determinado por quantidade insuficiente de amostra.

<sup>3</sup> Não determinado devido à proporção muito pequena de goethita na amostra.

dos da relação Gt/(Gt + Hm) (Tabela 5) serão considerados apenas como tendências. Pela mesma razão, os baixos teores de goethita não permitiram a estimativa da substituição em Al em algumas amostras. O único par de amostras em que se conseguiram resultados demonstrou a ocorrência de goethitas com substituição em Al similares, da ordem de 17 moles % de Al. Isto sugere que, também no Plintossolo, as capas amarelas dos mosqueados podem estar representando o resíduo da remoção seletiva da hematita, ou seja, estaria acontecendo a dissolução dos mosqueados vermelhos da plintita.

Para Schwertmann & Kämpf (1985) e Tardy & Nahon (1985), goethitas com os valores de substituição em Al como os aqui encontrados estão, em geral, associadas à gibbsita. Entretanto, os baixos teores de Fe no material de origem, a baixa permeabilidade dos solos e os valores de sílica amorfa (em torno de 27,5 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 2) contribuem para manter uma atividade de H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> em solução suficiente para estabilizar a caulinita e inibir a formação de gibbsita (Lindsay, 1979), aqui só detectada (5%) pela análise térmica diferencial (Tabela 3). O ajuste face a face das placas de caulinita, não dificultado pelos teores muito baixos de gibbsita, ajuda a explicar a presença de horizonte subsuperficial coeso nestes solos (Resende et al., 1997).

### Micromorfologia

As análises micromorfológicas demonstraram que, nos podzólicos, a petroplintita apresenta características de feição impregnativa complexa (Fedoroff & Eswaran, 1985), apresentando nódulos embebidos em mosqueados com zonas de depleção, onde ferrãs e neoferrãs estão presentes. A pequenas magnificações, observa-se que os nódulos têm uma parte central vermelho-escura, quase negra, que vai clareando em direção às bordas, até tornar-se uma auréola amarela (Fig. 4a). Com magnificações maiores e alta intensidade de luz, observa-se que, nas petroplintitas dos horizontes mais superficiais, o interior dos nódulos é constituído por uma rede vacuolar (*vacuolar network*, Eswaran & Mohan, 1973) de óxidos de ferro em uma matriz caulínica. Gotículas de ferro (*droplets of iron*, Eswaran & Mohan, 1973), com aproximadamente 5 µm de diâme-

tro, ocorrem no interior dos vacúolos, ora cobrindo completamente a matriz, ora apresentando diminuição de intensidade em direção ao interior dos vacúolos (Fig. 4b). Observa-se, ainda, que quanto mais profundo o horizonte, menor quantidade de gotículas de ferro ocorre nos vacúolos, até tornarem-se praticamente ausentes a 300 cm de profundidade. Nesses horizontes mais profundos, observam-se, com frequência, poros do tipo cavidade tomando o lugar da matriz caulínica no interior dos vacúolos, permanecendo as grades da rede como ferrãs ou neoferrãs (Brewer, 1976). Alguns autores, entre eles Schmidt-Lorenz (1964), citados por Eswaran & Mohan (1973), Hamilton (1964), citado por Dijkerman & Miedema (1988), e Batista & Santos (1995) sugerem que a rede vacuolar é formada pela coalescência das gotículas de ferro. Já Eswaran & Mohan (1973), utilizando microscópio eletrônico de varredura, afirmam que as gotículas de ferro são microporos na matriz caulínica preenchidos por cristais de goethita. Entretanto, apesar de mostrarem que a rede vacuolar também é constituída por goethita, esses autores não puderam esclarecer os mecanismos envolvidos na formação dessa estrutura. Tardy & Nahon (1985) relatam que na formação de horizonte concrecionário a caulinita é gradualmente substituída por hematita, e que o máximo desenvolvimento dos nódulos e concreções corresponde ao máximo endurecimento e máxima precipitação de hematita. Esses autores explicam, com argumentos cinéticos (atividade da água e efeito do tamanho dos poros), que é a hematita que é precipitada nos microporos do material caulínico, e não a goethita.

Nos solos estudados, o aumento da quantidade de gotículas de ferro em direção à superfície, e seu total desaparecimento no interior dos vacúolos dos nódulos dos horizontes mais profundos, e o comportamento da relação  $Gt/(Gt + Hm)$  (Tabela 5), que indica um aumento da proporção de goethita em direção à superfície, estão de acordo com a composição predominantemente goethítica da petroplintita, demonstrada por Eswaran & Mohan (1973). A variação em profundidade da quantidade de gotículas de ferro no interior dos nódulos pode significar diferentes etapas do processo de formação ou destruição dessas estruturas.

Os fragmentos grosseiros de natureza predominantemente oxidada que ocorrem espaçados nos ho-

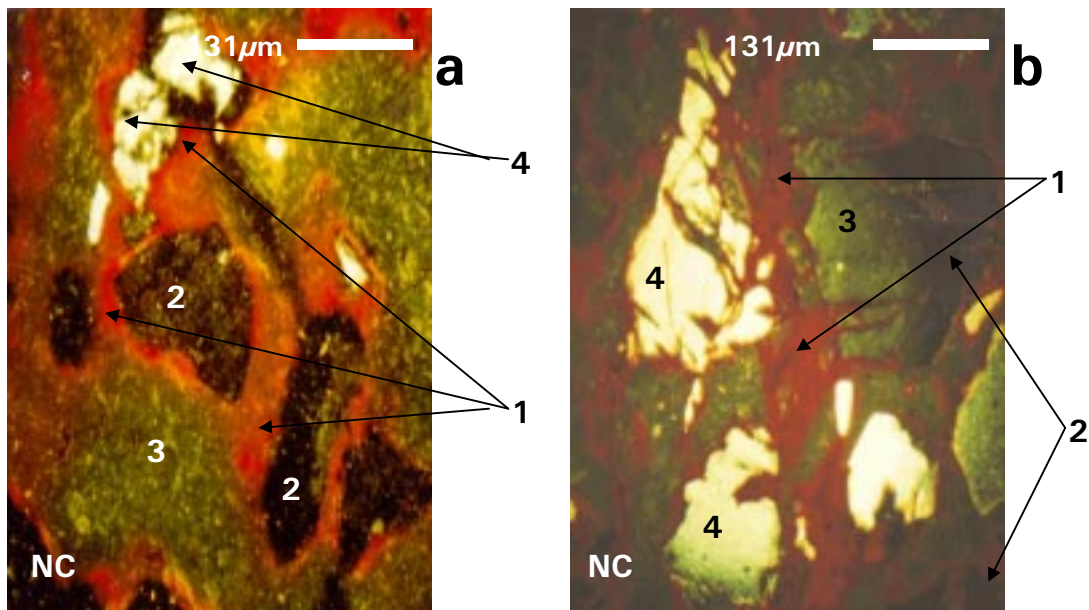
zizontes superficiais e que constituem a linha de pedras dos perfis localizados na área mais interna do tabuleiro, apresentam características semelhantes aos nódulos dos horizontes mais profundos. A diferença está na forma e na transição com a matriz do solo. São subarredondados, têm limites nítidos e, com frequência, apresentam-se envolvidos por cutãs de tensão. A inexistência de indicações mineralógicas de descontinuidade do material de origem e a ausência de linha de pedras nos perfis localizados próximos à borda do tabuleiro sugerem a ocorrência de uma movimentação local do material que constitui os horizontes superficiais.

No Plintossolo não se observa a presença de nódulos. Os mosqueados aparecem nas lâminas delgadas como uma espécie de malha vermelha na matriz acinzentada, aparentando não haver diferença de matriz entre as zonas impregnadas por óxidos de ferro e as zonas não impregnadas. É freqüente a presença de ferrãs e neoferrãs em poros do tipo cavidade. Caracterizam, segundo Fedoroff & Eswaran (1985), um material plíntico impregnativo simples. Nos horizontes superficiais, tanto a malha vermelha como os ferrãs e neoferrãs apresentam transição difusa caracterizada por uma camada externa que vai se amarelado até encontrar a matriz acinzentada (Fig. 5a). Essa camada difusa vai se estreitando em profundidade, desaparecendo completamente em torno dos 300 cm a partir da superfície, quando a transição da malha vermelha para a matriz acinzentada apresenta-se nítida (Fig. 5b).

Essas características comprovam os resultados obtidos nas análises mineralógicas e químicas, evidenciando que as porções vermelhas (hematíticas) das estruturas de Fe estão sendo destruídas, resultando em estruturas residuais amarelas (goethíticas). Isso parece confirmar, ainda, que o processo de dissolução da hematita está ocorrendo tanto nos solos bem drenados, quanto nos imperfeitamente drenados.

### Considerações adicionais

O estudo das características de um solo, apesar de revelar um mecanismo pedológico dominante, reflete, na verdade, toda a história acumulada da gênese e evolução do solo considerado (Rocha & Cerri, 1992). De acordo com Nahon (1991), alterações climáticas suficientemente intensas e prolongadas,



**FIG. 5.** Micrografias de áreas de mosqueado do Plintossolo (P26) a duas profundidades: a) 150 cm de profundidade, presença de ferrões com camada difusa; b) 300 cm de profundidade, ferrões sem camada difusa: 1 - ferrões; 2 - poros; 3 - matriz caulínica; 4 - grãos de quartzo. NC: nicóis cruzados.

modificam a seqüência de desenvolvimento dos perfis lateríticos, destruindo as estruturas de Fe e/ou tornando-as relíquias de sistemas geoquímicos passados. O caráter poligenético desses solos parece evidente em sua característica morfológica mais marcante, que é a bicromia (amarelo sobre vermelho), conseqüência das variações em profundidade da relação  $Gt/(Gt + Hm)$ . Segundo Tardy & Nahon (1985), o principal agente controlador do equilíbrio entre goethita e hematita no solo é a atividade da água: quando a atividade da água é pequena, a hematita torna-se o óxido de ferro predominante; o aumento da atividade da água propicia o aumento na participação da goethita. Os nódulos e mosqueados dos solos estudados apresentam características mineralógicas e micromorfológicas suficientes para que sejam interpretados como relíquias de um regime de umidade do solo diferente do que ocorre hoje, possivelmente sob uma estação seca mais rigorosa.

O aumento, em direção à superfície, da ocorrência das capas residuais goethíticas nos nódulos e mosqueados como conseqüência da dissolução da

hematita, sugere que um processo semelhante a este deu origem aos horizontes superficiais amarelados. Entretanto, não se produziram dados suficientes neste trabalho para confirmar a hipótese de que, em épocas passadas, a hematita distribuía-se homogeneamente por toda a matriz do solo, conferindo aos horizontes superficiais a cor vermelha que hoje ocorre apenas nos horizontes mais profundos, como sugerido por Motta & Kämpf (1992), em Latossolo Vermelho-Amarelo fase cerrado, no Planalto Central do Brasil.

## CONCLUSÕES

1. O ambiente pedogenético atual está propiciando a manutenção da caulinita herdada, a formação de goethita, removendo a hematita e possivelmente sendo responsável pelo amarelecimento (xantização) dos horizontes superficiais.

2. Os nódulos e mosqueados vermelhos que ocorrem nos solos destes tabuleiros costeiros estão em processo de destruição (dissolução), e não de formação.

3. As gotículas de ferro (*iron droplets*) que com frequência ocorrem no interior dos nódulos e concreções dos solos estudados constituem uma fase (etapa) do processo de formação ou destruição dessas estruturas.

#### AGRADECIMENTOS

À Empresa Aracruz Celulose SA, na pessoa do pesquisador Sebastião da Fonseca, que forneceu apoio financeiro e operacional para a execução deste trabalho; ao pesquisador Raphael David dos Santos, da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Solos, pelo apoio no desenvolvimento dos trabalhos de campo.

#### REFERÊNCIAS

- AMADOR, E. da S. O Barreiras pleistocênico no Estado do Espírito Santo e seu relacionamento com depósitos de minerais pesados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. **Anais**. Salvador : Sociedade Brasileira de Geologia, 1982. v.4, p.1462-1472.
- ANJOS, L.H.C. dos. **Caracterização, gênese e classificação de aptidão agrícola de uma seqüência de solos do Terciário na região de Campos, RJ**. Rio de Janeiro : UFRRJ, 1985. 194p. Dissertação de Mestrado.
- BATISTA, M. de A.; SANTOS, M.C. dos. Morfologia e gênese de dois solos com plintita da região Meio-Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.287-296, 1995.
- BLUME, H.P.; SCHWERTMANN, U. Genetic evaluation of the profile distribution of aluminum, iron and manganese oxides. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v.33, p.438-444, 1969.
- BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. New York : R. E. Krieger, 1976. 482p.
- CHAUVEL, A.; LUCAS, Y.; BOULET, R. On the genesis of the soil mantle of region of Manaus, Central Amazonia, Brazil. **Experientia**, Basel, v.43, p.234-241, 1987.
- DIJKERMAN, J.C.; MIEDEMA, R. An Ustult-Aquult-Tropept catena in Sierra Leone, West Africa. I. Characteristics, genesis and classification. **Geoderma**, Amsterdam, v.42, p.1-27, 1988.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. Não paginado.
- ESWARAN, H.; MOHAN, N.G.R. The microfabric of petroplintite. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v.37, n.1, p.79-82, 1973.
- FEDOROFF, N.; ESWARAN, N. Micromorphology of Ultisols. In: DOUGLAS, L.A.; THOMPSON, M.L. (Eds.). **Soil micromorphology and classification**. Madison : Soil Science Society of America, 1985. p.145-164. (SSSA. Special Publication, 15).
- FITZPATRICK, E.A. **Micromorphology of soils**. New York : Robert E. Krieger, 1984. 482p.
- FITZPATRICK, R.W.; SCHWERTMANN, U. Al-substituted goethite an indicator of pedogenic and other weathering environments in South Africa. **Geoderma**, Amsterdam, v.27, p.335-347, 1982.
- FONSECA, O.O.M. da. **Caracterização e classificação de solos latossólicos e podzólicos desenvolvidos nos sedimentos terciários no litoral brasileiro**. Rio de Janeiro : UFRRJ, 1986. 185p. Dissertação de Mestrado.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis: advanced course**. 2.ed. Madison : University of Wisconsin, 1973. 895p.
- JACOMINE, P.K.T. **Fragipans em solos de "tabuleiros": características, gênese e implicações no uso agrícola**. Recife : UFRPE, 1974. 113p. Tese de Livre Docência.
- KÄMPF, N.; RESENDE, M.; CURI, N. Iron oxides in Brazilian oxisols: classification, characterization and utilization of oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., 1986, Rio de Janeiro. **Proceedings**. Rio de Janeiro : Embrapa-SNLCS / United States Department of Agriculture / Universidad de Puerto Rico, 1988. part 1, p.71-77.
- KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. The 5M NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. **Clays and Clay Minerals**, Evergreen, v.30, n.6, p.401-408, 1982.

- LEMOS, R.D. de; SANTOS, R.D. dos. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 2.ed. Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa-SNLCS, 1982. 46p.
- LIMA, P.C. de; CURTI, N.; LEPSCH, I.F. Terminologia de micromorfologia do solo. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.33-43, 1985.
- LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. New York : J. Wiley, 1979. 449p.
- LUCAS, Y.; CHAUVEL, A.; BOULET, R.; RANZANI, G.; SCATOLINI, F. Transição latossolos-podzóis sobre a formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, n.3, p.325-336, 1984.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAYS MINERALS, 7., 1960, Washington. **Proceedings**. New York : Pergamon, 1960. p.317-327.
- MOTTA, P.E.F. da; KÄMPF, N. Iron oxide properties as support to soil morphological features for prediction of moisture regimes in Oxisols of Central Brazil. **Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung-Düngung Bodenkunde**, Weinheim, v.155, p.385-390, 1992.
- NAHON, D.B. Self-organization in chemical lateritic weathering. **Geoderma**, Amsterdam, v.51, p.5-13, 1991.
- NORRISH, K.; TAYLOR, R.M. The isomorphous replacement of iron by aluminum in soil goethites. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.12, p.194-306, 1961.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, E.F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 2.ed.rev.amp. Viçosa : Núcleo de Estudos de Planejamento e Uso da Terra, 1997. 365p.
- ROCHA, G.C.; CERRI, C.C. Monitoramento geoquímico em coberturas pedológicas: aplicação ao estudo de solos da Amazônia. **Geoquímica Brasiliensis**, Niterói, v.6, n.2, p.141-151, 1992.
- SCHULZE, D.G. The influence of aluminum on iron oxides. VIII. Unit-cell dimensions of Al-substituted goethites and estimation of Al from them. **Clays and Clay Minerals**, Evergreen, v.32, p.36-44, 1984.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-lösung. **Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung-Düngung und Bodenkunde**, Weinheim, v.105, p.94-202, 1964.
- SCHWERTMANN, U.; KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of southern and Central Brazil. **Soil Science**, Baltimore, v.139, n.4, p.344-350, 1985.
- SILVA, J.M.L. da. **Caracterização e classificação de solos do Terciário no nordeste do Estado do Pará**. Rio de Janeiro : UFRRJ, 1989. 180p. Dissertação de Mestrado.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUES, J.M.L.; FLEXOR, J.; AZEVEDO, A.E.G. de. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.15, n.4, p.273-286, 1985.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; DOMINGUES, J.M.L. Evolução do "delta" do Rio Doce (ES) durante o Quaternário: influência das variações do nível do mar. In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, 4., 1981, Rio de Janeiro. **Atas**. Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Geologia Comissão Técnico-Científica do Quaternário, 1982. p.93-116.
- TARDY, Y.; NAHON, D. Geochemistry of laterites, stability of Al-goethite, Al-hematite, and Fe<sup>3+</sup>-kaolinite in bauxites and ferricretes: an approach to the mechanism of concretion formation. **American Journal of Science**, New Haven, v.285, p.865-903, 1985.
- VILAS BOAS, G. da S.; BITTENCOURT, A.C. da S.; MARTIN, L. Leques aluviais pleistocênicos da região costeira da Bahia: implicações paleoclimáticas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.15, n.3, p.255-258, 1985.