



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbc.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

IBRAIMO, M. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LANI, J. L.; ROLIM-NETO, F. C.;
ALBUQUERQUE, M. A.; MIRANDA, V. J.
GÊNESE E MICROMORFOLOGIA DE SOLOS SOB VEGETAÇÃO XEROMÓRFICA (CAATINGA) NA
REGIÃO DOS LAGOS (RJ)

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 28, núm. 4, julio-agosto, 2004, pp. 695-712
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214040011>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

GÊNESE E MICROMORFOLOGIA DE SOLOS SOB VEGETAÇÃO XEROMÓRFICA (CAATINGA) NA REGIÃO DOS LAGOS (RJ)⁽¹⁾

**M. M. IBRAIMO⁽²⁾, C. E. G. R. SCHAEFER⁽³⁾, J. C. KER⁽³⁾, J. L. LANI⁽³⁾,
F. C. ROLIM-NETO⁽⁴⁾, M. A. ALBUQUERQUE⁽⁵⁾ & V. J. MIRANDA⁽⁶⁾**

RESUMO

Na região dos Lagos do Rio de Janeiro, a existência de um clima mais seco condiciona um ambiente peculiar no sudeste brasileiro, com forte tendência à salinização e xerofitismo. Foram realizados estudos físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos em transectos de solos da região. Os solos são eutróficos, considerando a ciclagem de nutrientes, o baixo grau de intemperismo e a presença de minerais primários com reserva de nutrientes. Os perfis mais desenvolvidos e latolizados são eutróficos e mostram evidências de pré-intemperismo em condições mais úmidas, nos topos mais conservados da região. Estes Latossolos (P2 e P7) são caulíníticos, com microestrutura granular, e apresentam índice Ki, feições micromorfológicas e submicroscópicas, relação Fe_o/Fe_d e valores de Fe-ataque sulfúrico típicas da classe. Apresentam também goethita, illita e gibbsita, subordinadamente. A presença de illita, a reserva em K e o caráter “intergrade” indicam menor grau de evolução dos Latossolos da região em relação aos Latossolos típicos da região Sudeste. Todos os solos estudados são geneticamente policíclicos e revelam uma tendência atual à acidificação superficial, mostrando que, em tempos subatuais relativamente recentes, prevaleceram condições de sazonalidade mais pronunciadas. Em subsuperfície, a acidificação provoca a desestabilização dos minerais 2:1 expansíveis e liberação de Al e Mg estruturais para formas mais solúveis, originando desbalanço da relação Ca:Mg no horizonte B. Há um papel destacado do Na e, ou, Na + Mg na dispersão de colóides, tendo como conseqüências os valores de argila dispersa nos solos e o gradiente textural observados. Teores elevados de Na e K trocáveis

⁽¹⁾ Recebido para publicação em e aprovado em

⁽²⁾ Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). Bolsista PEC/PG-CNPq.

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, UFV. Bolsista CNPq. E-mails: carlos.schaefer@solos.ufv.br; jcker@solos.ufv.br; lani@solos.ufv.br

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Rua Dom manuel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-030 Recife (PE).

⁽⁵⁾ Professora da UNEC, Centro Universitário de Caratinga. Centro de Pesquisas. Av. Moacir de Matos 87. CEP 35300-000 Caratinga (MG). E-mail: miralbuq@funec.br

⁽⁶⁾ Estudante de Agronomia, UFV. Bolsista de Iniciação Científica – CNPq.

são atribuíveis a “sprays” salinos da laguna nos horizontes superficiais, além do intemperismo de plagioclásios de Na e Ca e feldspatos potássicos em subsuperfície. Pelo fracionamento de substâncias húmicas, observou-se uma tendência à formação e migração de complexos orgânicos por soluções ricas em sódio, como fulvatos e humatos de sódio, conforme mostram as altas e significativas correlações entre o Na trocável e as frações fúlvicas e húmicas.

Palavras-chave: mineralogia de solos tropicais; semi-árido, solos poligenéticos; substâncias húmicas, solos afetados por sódio, Latossolos

SUMMARY: GENESIS AND MICROMORPHOLOGY OF SOILS UNDER XERIC VEGETATION IN THE LAKES REGION, STATE OF RIO DE JANEIRO (BRAZIL)

In the Lakes Region of Rio de Janeiro State, the occurrence of a drier climate creates a peculiar environment where there is a trend of salinization and presence of xeric vegetation. Physical, chemical, mineralogical and micromorphological properties were studied in selected soil transects. The soils are eutrophic as result of nutrient cycling, low weathering degree, and presence of primary minerals with nutrient reserves in their composition. The occurrence of well developed eutrophic soils (Oxisols) under caatinga (xeromorphic vegetation) on the flat tops all over the region is evidence of a paleo-weathering under wetter conditions. These Oxisols (P2 and P7 pedons) are kaolinitic and have a microgranular structure, while the Ki index, Fe_o/Fe_d ratio, Fe levels, and micromorphological and submicroscopic features are typical for this soil class. In the clay fraction they also contain gibbsite, illite, and goethite. The presence of illite, the K reserve, and the intergrade character indicate a low degree of weathering, contrasting with other typical Oxisols of more humid areas of Southeastern Brazil. All studied soils are pedogenetically polycyclic, revealing a current acidification trend at the surface, suggesting the occurrence of a more seasonal climate in a recent past. This trend of acidification induces the destabilization and breakdown of expansible 2:1 clays in subsurface and release of structural Mg and Al to more soluble fractions. This causes a Ca:Mg imbalance in B horizon. There is a marked influence of Na and/or Na + Mg on clay dispersion, causing a textural gradient and higher amount of dispersed clay in the soils. The high Na and K exchangeable amounts were ascribed to marine lagoon sprays to the soil surface, besides the Na and K coming from subsurface K-feldspar and Na/Ca plagioclase weathering. Based on the humic substance fractionation, it was observed a trend towards the formation and migration of organic complex such as Na-fulvates and Na-humates in Na-rich solutions, as indicated by a highly significant correlation between exchangeable Na and the fulvic and humic fractions.

Index terms: tropical soil mineralogy, semi-arid, polygenetic soils, humic substances, Na-affected soils, Oxisols.

INTRODUÇÃO

Na Região dos Lagos, na parte compreendida entre Iguaba Grande-Cabo Frio e Búzios-Arraial do Cabo, destaca-se uma província microclimática especial, em decorrência da menor precipitação, evapotranspiração elevada, baixa nebulosidade e regime de ventos, sendo dominada por Caatingas e Matas Secas (Saint-Hillaire, 1974; Brasil, 1983; Nimer, 1989). Nesse ambiente seco peculiar da fachada oriental atlântica brasileira, ocorrem solos pouco desenvolvidos, normalmente rasos, com características morfológicas, químicas e mineralógicas sugestivas de um regime pedogenético particular (Camargo, 1979; Moniz et al., 1990).

A região está submetida a condições climáticas mais secas, com forte gradiente pluviométrico no trecho entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, variando de 2.000 a 800 mm anuais, respectivamente, com aumento marcante da sazonalidade. Como reflexo, a vegetação da região em estudo foi classificada como cobertura vegetal do tipo estépico (Caatinga Hipoxerófila), classificada como estepe arbórea aberta, entremeada de formações pioneiras de Restinga do tipo Herbáceo, também com características estépicas (Brasil, 1983).

A vegetação de Caatinga na região seria uma reliquia de vegetação xerófila decidual, homóloga da Caatinga Nordeste, com ecótipos vicariantes do ambiente nordestino, em quase total isolamento

ecológico atual (Ururahy et al., 1982). Neste quadro, destacam-se as espécies de cactáceas dos gêneros *Cereus* (mandacaru) e *Cephalocereus* (facheiro), e arbóreas, como *Jurema* (*Mimosa* sp.) e Marmeleiro (*Croton* sp.).

Do ponto de vista geotectônico, a região dos Lagos é o prolongamento da linha de afundamento tectônico que formou a Baía da Ilha Grande e da Guanabara, além de ressalto abrupto das escarpas da Serra do Mar. Ruellan (1944) denomina este trecho litorâneo de depressão de ângulo de falha, a faixa deprimida das baixadas que ocorrem no litoral do estado de Rio de Janeiro, entre a Serra do Mar e os Maciços costeiros. O relevo atual deste trecho do litoral fluminense sofreu grande influência das variações eustáticas nos seus modelados durante o Quaternário (Lamego, 1944).

O ambiente em questão caracteriza-se por uma elevada salinidade (35 %, em média), que aumenta para o lado voltado ao Atlântico. A hipersalinidade se deve não só à baixa pluviosidade regional e à reduzida quantidade de água doce de origem fluvial, mas também à intensa evaporação, superando a precipitação, conforme demonstra o balanço hídrico de Cabo Frio. A expansão e a extrema valorização imobiliária da região entre Cabo Frio e Búzios representam a maior ameaça para a conservação deste enclave reliquiar de Caatinga, onde a vegetação mantém-se preservada com as mesmas características paleoclimáticas do período glacial (Brasil, 1983).

No primeiro levantamento de reconhecimento de solos do estado do Rio de Janeiro, foram identificadas ocorrências de solos classificados como "Mediterrânicos Vermelho-Amarelo Litossólicos", dominantes na região de Cabo Frio – São Pedro da Aldeia, os quais teriam caráter bicrômico no horizonte B, com abundantes grãos de feldspato pouco decompostos (Brasil, 1958).

Os solos na região apresentam considerável variabilidade vertical e horizontal de propriedades pedológicas, sendo fortemente influenciados pelos fatores climáticos e, subsidiariamente, topográficos. Solos semelhantes aos encontrados no sertão Nordeste, tais como: Solonchak, Solonetz Solodizado, Planossolo Solódico, Bruno Não-Cálcico e Podzólico Vermelho-Amarelo (Ta) eutrófico merecem referências muito breves em estudos de levantamento na região (Embrapa, 1979; Embrapa, 1980; Brasil, 1983). Contudo, esses estudos não elucidam em maiores detalhes a pedogênese aí reinante. Apesar do trabalho pioneiro de Moniz et al. (1990), há falta de estudos que relacionem a ocorrência destes solos com os diversos ambientes com seus condicionantes locais, tais como: regime de ventos, aporte de sais marinhos, presença de substratos intemperizados ricos em Na e Mg, clima, pedoclima e efeitos topográficos.

Em síntese, os solos sob Caatinga da Região dos Lagos do Rio de Janeiro constituem tanto o substrato fundamental ao ambiente *sui generis*, quanto a possibilidade de representarem pedoambientes outrora mais amplos, e hoje isolados, e mantidos graças às peculiaridades morfoclimáticas regionais, objeto do presente estudo. O conhecimento detalhado de sua gênese, características físicas e químicas, composição mineralógica e feições micropedológicas é de fundamental importância para elucidar as relações ecológicas vigentes, com objetivo de fornecer subsídios que possam nortear o manejo mais racional desse patrimônio fitofisionômico e pedológico singular.

O presente trabalho teve como objetivos: (a) caracterizar alguns solos representativos das unidades de paisagem, com ênfase nos atributos químicos, físicos, mineralógicos; (b) avaliar os aspectos pedogenéticos dos solos estudados, tais como: sodicidade, mineralogia e efeito da geomorfologia, em um modelo interpretativo da evolução da paisagem.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está compreendida entre as coordenadas de 41 ° 55 ' W e 42 ° 15 ' W e 22 ° 42 ' S e 23 ° 0 ' S (Figura 1). A pluviosidade anual da região é baixa (800 – 1.100 mm) e a temperatura média anual é de 25 °C (Nimer, 1989) (Quadro 1); poucos rios permanentes drenam para seu interior.

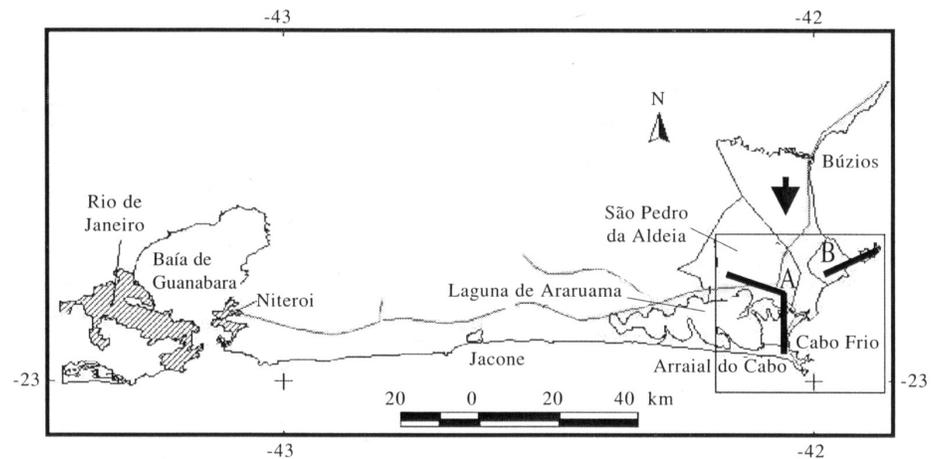
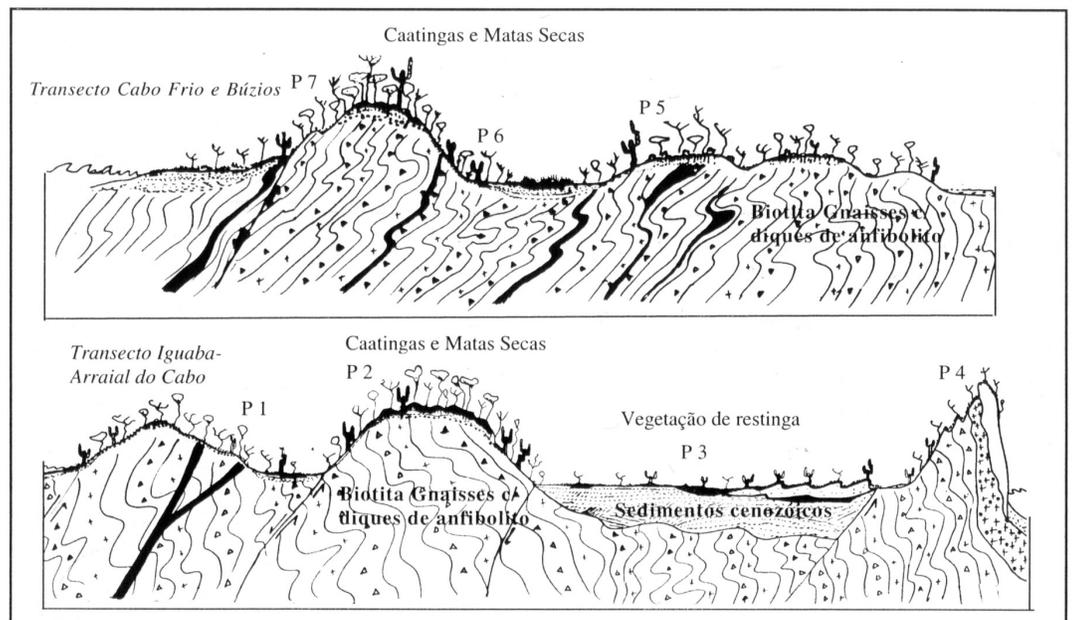
Ao longo de dois transectos (Iguaba Grande - Arraial do Cabo e Cabo Frio – Búzios), foram selecionados perfis representando seqüências pedogeomorfológicas (toposeqüências) de expressão regional, compreendendo desde solos menos evoluídos de posições mais rebaixadas e rejuvenescidas a solos mais intemperizados em cotas mais elevadas. As posições topográficas, localização e litologia foram representadas por meio de cortes (Figura 2).

Foram selecionados sete perfis de solos em dois transectos, descritos morfologicamente e classificados conforme Embrapa (1999) (Figura 2). As análises físicas (granulometria, argila dispersa em água, densidade de solo e percentagem de agregados por via úmida) foram realizadas em triplicatas, conforme Embrapa (1997). Nas análises de difratometria de raio-X (DRX), na fração argila muito fina, na argila total (lâminas orientadas) e em silte (pó), foi utilizado difratômetro de raios-X, com tubo de Cu e filtro de Ni, no intervalo de irradiação de 2 a 40 ° 2 θ , realizando-se os seguintes tratamentos na argila: remoção de Fe por DCB, saturação por MgCl₂ 0,1 mol L⁻¹, saturação por etileno-glicol, saturação por K à temperatura ambiente e aquecimento a 350 °C. As interpretações dos difratogramas basearam-se em Chen (1977).

Quadro 1. Dados das principais estações climáticas da região

Estação	Temperatura			Precipitação		
	Média	Máxima	Mínima	Anual	Mês mais chuvoso	Mês mais seco
	°C			mm		
Cabo Frio	22,9	25,5 fevereiro	20,5 julho	858,9	113,9 janeiro	39,7 junho
Farol Cabo Frio		-	-	872,9	114,3 janeiro	33,5 junho
São Pedro	22,0	24,9 fevereiro	19,4 julho	2.238,5	295,9 janeiro	80,6 julho

Fonte: Nimer, 1989.

**Figura 1. Localização da área estudada na Região dos Lagos, entre Cabo Frio/Búzios e Arraial do Cabo, com presença da Laguna de Araruama (RJ), ilustrando os transectos (A), Iguaba - Arraial do Cabo; e (B) Cabo Frio - Búzios.****Figura 2. Corte esquemático e localização dos perfis nos dois transectos estudados na região dos Lagos (RJ).**

Na pasta saturada, preparada com TFSA, foram determinados a condutividade elétrica e os elementos no extrato de saturação (Embrapa, 1997). Além das análises químicas de rotina, realizadas conforme Embrapa (1997), foram efetuadas extrações seqüenciais de Na e K trocáveis com acetato de amônio (NH_4OAc 1 mol L^{-1}), segundo Knudsem et al. (1982).

O ataque sulfúrico foi realizado na TFSA, para extração de ferro, alumínio e sílica, com H_2SO_4 1:1 (volume), aquecendo até à fervura, sob refluxo, com posterior resfriamento, diluição e filtração. No resíduo, determinou-se SiO_2 por extração alcalina, e, no filtrado, Fe_2O_3 , P_2O_5 e Al_2O_3 , conforme Embrapa (1997).

Foram realizadas quatro extrações seqüenciais de Fe na fração argila com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, para quantificação do teor de óxidos de ferro cristalinos (Fe_c) (Mehra & Jackson, 1960), e uma extração com oxalato ácido de amônio $0,2 \text{ mol L}^{-1}$, pH 3,0, no escuro (Fe_o) (McKeague & Day, 1966), para quantificação de formas de Fe menos cristalinas. Calculou-se a relação Fe_o/Fe_c a partir dos dados da 1ª extração.

O fracionamento das substâncias húmicas foi feito por solubilidade diferencial, separando-se os ácidos fúlvicos, os ácidos húmicos e as huminas, segundo os conceitos de frações húmicas estabelecidos pela International Humic Substances Society (Hayes et al., 1989). O carbono das frações húmicas foi determinado por meio de oxidação por dicromato de potássio com aquecimento externo (Yeomans & Bremner, 1988).

Amostras indeformadas de solos foram coletadas em caixas de alumínio, impregnadas com resina Revopal T-208. Lâminas polidas (seções-finas) foram confeccionadas nas dimensões de $3 \times 6 \text{ cm}$ e analisadas em microscópio petrográfico, conforme as recomendações de FitzPatrick (1993), com ênfase na microestrutura, em observações sobre feições micropedológicas e na atividade biológica.

Seções finas de horizontes Bw, previamente estudadas em microscópio petrográfico, foram preparadas para microanálises em microscópio eletrônico de varredura. Amostras de $2,0 \times 2,5 \text{ cm}$ foram polidas sucessivamente em disco de nylon com pasta de diamante, desde $60, 6, 3 \mu$ até $1/4 \mu$. Após lavagem ultra-sônica final para remoção de resíduos do polimento, as seções finas foram recobertas com filme condutor de carbono e montadas em suporte metálico.

As lâminas foram subseqüentemente analisadas e fotografadas em microscópio eletrônico de varredura, modelo JEOL JSM 6400, com detector de elétrons retroespalhados e acoplado a espectrômetro de dispersão de raios-X (PCXA-EDS), do Centro de Microscopia e Microquímica, da Universidade de Western Australia. Foram

realizados exames microquímicos das feições selecionadas, com ênfase no plasma organomineral. As análises microquímicas foram realizadas com voltagem de 15 kV, 5 A e a 39 mm de distância de trabalho (detector-superfície). A cada troca de amostras, o PCXA-EDS foi recalibrado. Foram obtidos mapas microquímicos das áreas selecionadas, para os principais elementos presentes (Si, Al, Fe, K, Ca, Mg e Ti), e, após a identificação de feições pedológicas com características químicas distintas, procedeu-se à análise dessas feições em magnificação elevada, obtendo-se espectros quantitativos de EDS. Todas as feições foram analisadas em três repetições, mapeadas e fotografadas em imagens de retroespalhamento de elétrons para visualização da sua morfologia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características físicas

De forma geral, os solos mostraram variabilidade textural que reflete o material de origem (principalmente os mais jovens) e a intensidade da pedogênese. O perfil P2, com morfologia latossólica, foi classificado como Argissolo, visto que apresenta gradiente textural entre A e Bt, passando de textura franco-argilo-arenosa a argilosa (Quadro 2). Já o Latossolo (P7) mostrou caráter argissólico. Evidências de perdas laterais e verticais de argila (podzolização) podem ser avaliadas pelo gradiente textural (P2) e pela ADA, que apresentou um pico atípico em B nos dois solos (Quadro 2). Nos horizontes subjacentes, os valores de floculação de argila são normais para Latossolos.

Os Luvisolos apresentaram forte gradiente textural (franco-arenosa para muito argilosa ou argilosa), com tendência a valores mais elevados de argila no topo de Bt, decrescendo para baixo (Quadro 2). A ADA acompanhou a mesma tendência (Quadros 2 e 3), evidenciando a podzolização como processo destacado nestes solos.

O Argissolo Háptico (P4), apesar da aparência morfológica de Bi (pouca espessura e remanescentes de minerais primários e de material de origem), mostrou expressivo gradiente textural A/B, com forte incremento de ADA, ainda que em valores mais baixos que nos Bt1 dos Luvisolos, o que é incompatível com horizonte Bi. A ADA em coexistência com valores elevados de Al trocáveis (seção seguinte) mostram um papel destacado do Na^+ ou $\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}$ trocáveis no processo de dispersão de colóides.

No Planossolo Nátrico (P6), há forte incremento de argila entre E e Bt, com aumento simultâneo da ADA. Assim, em todos os solos, desde os mais floculados até os mais dispersos, a presença de Na^+ e $\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}$ em superfície ou subsuperfície parece ter grande relevância no processo de dispersão de

Quadro 2. Características físicas e morfológicas dos perfis

Horizonte	Profundidade	Cor		AA ⁽¹⁾	Granulometria				ADA	GF	SE
		Seca	Úmida		Ag	Af	S	r			
	cm			cmolc kg ⁻¹	%						m ² g ⁻¹
P1 – Luvissole Crômico pálico saprolítico											
A1	0–15	5YR 4/2	5YR 5/1	-	48	23	12	17	3	82	91,5
A2	15–40	5YR 6/3	5YR 5/3	66	44	25	12	19	5	74	66,6
Bt ₁	40–80	2,5YR	2,5YR 4/4	33	14	10	9	67	25	63	255,6
Bt ₂	80–100	5YR 4/6	5YR 4/4	33	28	12	9	51	20	61	221,2
C	100–150	-	-	222	54	24	10	12	8	33	148,1
P2 – Argissolo Vermelho eutrófico latossólico											
Ap	0–30	2,5YR 5/2	2YR 3/2	-	58	8	13	21	9	57	135,6
Bt	30–100	2,5YR 4/6	2,5YR 4/4	14	31	7	9	53	18	66	125,5
2BC ₁	100–160	2,5YR 4/6	2,5YR 4/4	10	35	6	10	49	5	90	131,0
2BC ₂	160–200+	5YR 6/6	2,5YR 4/6	76	51	23	17	9	4	55	91,4
P3 – Organossolo Háptico sáprico sálico											
H O	0–50	-	-	-	46	13	18	23	13	43	655,8
C	50–100	7,5YR 4/2	10YR 3/1	-	90	4	1	5	1	80	109,2
P4 – Argissolo Amarelo distrófico abruptico Ta											
A1	0–20	7,5YR 4/2	10YR 3/4	-	45	22	17	16	2	87	79,5
A2	20–48	10YR 6/2	10YR 4/3	63	57	19	11	13	4	70	
Bt	48–85+	10YR 5/8	10YR 5/4	30	35	14	10	41	20	51	180,2
P5 – Luvissole Crômico órtico solódico											
A	0–20	10YR 6/2	10YR 3/3	-	49	15	12	24	10	58	90,7
Bt ₁	20–40	5YR 4/6	5YR 3/4	30	22	8	13	57	30	47	201,7
Bt ₂	40–70	Variegado	Variegado	51	31	9	16	44	20	55	218,7
P6 – Planossolo Nátrico órtico duripânico											
A1	0–22	10YR 3/3	10YR 2/2	-	51	28	11	10	0	100	35,3
E	22–41	10YR 7/1	10YR 4/1	23	62	25	3	10	1	90	3,1
Bt1	41–70	10YR 4/1	10YR 3/3	45	49	21	7	23	12	48	126,5
2Bt2	70–98	10YR 6/2	10YR 5/2	57	45	21	7	27	21	22	145,3
2BC	98–130	10YR 6/3	10YR 5/3	75	50	22	8	20	20	0	128,2
3C	130–180	10YR 8/3	10YR 6/4	49	30	18	15	37	28	24	224,0
P7 – Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico argissólico											
A	0–20	10YR 4/3	10YR 4/2	-	51	16	8	25	8	68	83,7
Bw	20–120	7,5YR 5/8	7,5YR 5/6	3	33	14	7	46	12	74	92,6
BC	120–150	5YR 4/6	5YR 5/8	3	36	13	7	44	2	95	91,5

⁽¹⁾ Calculado com base na T (CTC total) Embrapa (1999) AA (Atividade da argila); Ag (Areia grossa); A.F. (Areia fina); S. (Silte); r. (argila); ADA (argila dispersa em água); GF (grau de floculação); SE (superfície específica).

colóides e, conseqüentemente, na pedogênese atual e argiluviação.

A superfície específica (SE) variou desde valores extremamente elevados (655,8 m² g⁻¹, no Organossolo) (Quadro 3), até valores gerais mais baixos, no Latossolo (P7) e nos horizontes A2. Nos outros solos minerais, os valores foram máximos no Bt dos Luvissoles (P1 e P5), acompanhando o incremento de argila (variando na faixa de 201–255 m² g⁻¹). No Planossolo Nátrico (P6), os valores foram máximos no horizonte 2C, como reflexo da natureza sedimentar argilosa do material de origem. Este solo apresentou ainda um valor mais elevado de SE no Bt2, onde houve um incremento na proporção de argila.

A superfície específica apresentou coeficiente de correlação de Pearson positivo e significativo com o teor de carbono orgânico total (COT) (r = 0,82) e baixas correlações com teor de argila (r = 0,31) ou argila dispersa (r = 0,28), porém com baixa significância.

Características químicas

Os teores de carbono orgânico total (COT) nos horizontes A1 variaram na faixa de 23,4 g dm⁻³ de C no Planossolo Nátrico de Búzios até 70,2 g dm⁻³ C no Luvissole Crômico Pálico saprolítico de Iguaba Grande (Quadro 3). Esses valores de COT são considerados elevados para regiões tropicais semi-

Quadro 3. Características físicas, classes de agregados e frações húmicas dos solos estudados

Símbolo	DR	DS	PT	Classe de agregado (mm)					Fração húmica			COT
				> 2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	< 0,25	AF	AH	Hum.	
	— kg dm ⁻³ —	%		g kg ⁻¹					%			g dm ⁻³
P1 – Luvissoilo Crômico pálico saprolítico												
A1	2,47	-	-	900,0	62,4	1,6	1,8	34,3	10,33	27,51	62,16	70,2
A2	2,67	0,99	63	745,7	126,2	14,8	18,3	93,5	17,48	30,53	51,98	23,4
Bt ₁	2,50	1,43	43	102,6	168,3	241,4	230,9	256,7	22,28	35,76	41,96	18,0
Bt ₂	2,23	1,74	31	95,1	112,9	256,1	266,1	269,8	17,27	38,83	43,90	9,0
C	2,53	1,65	35	499,1	116,3	89,5	124,1	171,0	12,25	17,32	70,43	3,0
P2 – Argissolo Vermelho eutrófico latossólico												
A	2,53	1,60	37	685,9	133,4	75,2	61,6	43,9	6,91	32,68	60,41	48,0
Bt	2,56	1,56	39	290,9	165,2	191,6	186,1	166,2	20,40	27,84	51,77	15,0
2BC ₁	2,66	2,23	16	313,2	106,3	152,3	193,4	234,8	14,95	21,13	63,92	7,2
2BC ₂	2,60	1,71	34	509,7	149,0	117,5	103,1	120,6	13,38	22,07	64,56	3,0
P3 – Organossolo Háplico sáprico sálico												
H O	1,36	0,67	51	621,2	75,0	2,5	2,7	298,6	4,10	63,08	32,82	831,0
C	2,24	1,59	29	286,6	199,6	95,7	306,0	112,0	4,00	71,72	24,28	54,0
P4 – Argissolo Amarelo distrófico abrupático Ta												
A1	2,44	1,42	42	821,6	122,2	9,2	8,3	38,7	13,72	23,05	63,24	63,6
A2	2,56	1,64	36	660,5	139,7	13,2	64,1	122,5	19,88	30,74	49,38	22,2
Bt	2,60	1,53	41	360,2	235,4	197,8	119,2	87,3	20,67	24,55	54,78	22,8
P5 – Luvissoilo Crômico órtico solódico												
A	2,47	1,48	40	859,5	115,9	6,1	5,6	12,8	10,57	27,41	62,02	42,6
Bt ₁	2,50	1,58	37	553,2	250,2	114,4	71,6	10,5	26,69	12,00	61,31	19,2
Bt ₂	2,53	1,81	28	187,8	205,9	201,8	212,4	192,1	21,33	22,61	56,06	15,0
P6 – Planossolo Nátrico órtico duripânico												
A1	2,38	1,23	48	727,8	187,1	17,1	26,0	42,0	12,31	36,55	51,14	23,4
E	2,47	1,43	42	641,8	159,0	53,9	62,7	82,5	10,67	35,21	54,12	6,0
Bt1	2,56	1,85	28	271,6	177,4	188,5	192,9	169,5	19,32	9,56	71,12	6,6
2Bt2	2,63	1,76	33	88,3	55,8	156,5	269,8	249,6	0,00	42,31	57,12	3,6
2BC	2,58	1,72	33	100,2	70,4	108,4	223,9	497,0	0,00	41,30	58,70	6,0
3C	2,53	2,02	20	170,1	68,5	106,9	194,9	459,5	7,90	39,10	53,00	3,0
P7 – Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico argissólico												
A	2,40	1,42	41	763,4	141,3	14,0	13,4	67,8	15,38	27,19	57,43	46,2
Bw	2,63	1,51	43	561,6	175,7	32,9	98,8	131,0	19,71	35,46	44,84	11,4
BC	2,50	1,31	48	492,7	195,8	101,1	105,2	105,2	22,78	33,16	44,06	6,1

DR (densidade de partícula); DS (Densidade do solo); PT (porosidade total); AF (ácidos fúlvicos); AH (ácidos húmicos); Hum. (huminas).

áridos (> 14 g dm⁻³ de C, conforme Tomé Jr., 1997), onde geralmente a conservação do C em superfície não é favorecida tanto pela menor deposição quanto pelas perdas por erosão. No caso dos perfis P1 e P5, identificados como Luvissoilos, os teores elevados de CO de 72 e 42,6 g dm⁻³, respectivamente, evidenciam que a erosão nesses solos sob Caatinga hipoxerófila no estado do Rio de Janeiro não é tão severa quanto aquela em solos semelhantes do semi-árido do Nordeste, onde os valores de COT tendem a ser mais baixos (Ernesto Sobrinho, 1980; Resende, 1983).

Teores muito elevados de COT foram obtidos no solo orgânico turfoso (Organossolo) da Península de Cabo Frio – Arraial do Cabo (831 g dm⁻³ de C), graças

à condição peculiar para sua gênese e conservação, em decorrência da elevada acidez, coexistindo com teores relativamente altos de álcalis (K e Na) além de Ca e Mg. As evidências de campo, com a constatação de camadas turfosas com restos de troncos de madeira a 1,5 m de profundidade, revelam que um antigo manguezal tornou-se salino à medida que o barramento da restinga de Massambaba ocorreu, tornando salino um ambiente antes mais ácido⁽⁷⁾.

⁽⁷⁾ Segundo Muehe e Correia (1989), materiais orgânicos turfosos da região foram datados em 18.000 anos. As conchas fósseis da Laguna têm 10.000 anos.

De modo geral, os teores de COT decresceram, em profundidade, exceto no perfil P4 (Argissolo Amarelo) e no P6 (Planossolo Nátrico). Neste último, a elevada sodicidade a presença de descontinuidade podem explicar variações de CO no interior do perfil, conforme já constatado por Brasil (1958).

Com referência aos cátions do complexo de troca, destacam-se os valores elevados de Mg, especialmente nos solos com B textural (P1, P5 e P6), independentemente dos valores de Na trocável (Quadro 4). Os teores de Mg trocável são excepcionalmente elevados nos solos com argila de atividade alta, tanto em valores absolutos, quanto em termos de percentagem da capacidade de troca catiônica total; em P1, por exemplo, de 23 a 63 % de CTC é saturada com Mg de Bt1 para baixo (Quadro 4). Os elevados teores de

Mg trocáveis podem ser atribuíveis à desestabilização das argilas 2:1, expansíveis ou não, em condição favorável ao deslocamento do Mg octaédrico estrutural (Schaefer, 1994; Campos et al., 1998). O deslocamento de Mg para os sítios de troca acarreta um desbalanço da relação Ca:Mg nos horizontes inferiores, que não se revela nos horizontes superficiais (A1), onde os teores de Ca são sempre superiores aos de Mg, indicando a seletividade na absorção e a eficiência na ciclagem de Ca nestes solos, mesmo aqueles mais pobres nesse elemento, notadamente os solos mais intemperizados e latossolizados (P2 e P7). O P2 (Argissolo Vermelho eutrófico latossólico) alcançou teores elevados de Ca trocável em A1 pela ciclagem, enquanto os teores de Ca em subsuperfície foram nulos ou negligíveis (Quadro 4).

Quadro 4. Características químicas dos perfis selecionados

Horizonte	pH		Complexo sortivo								P	V	
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H + Al	T			t
cmol. kg ⁻¹												mg dm ⁻³	%
P1 – Luvissole Crômico pálico saprolítico													
A1	5,5	4,7	4,43	3,28	2,5	0,3	10,51	0	3,95	14,5	10,5	7	72
A2	5,5	4,3	1,55	2,95	0,44	0,3	5,24	0,1	3,30	12,5	5,3	2	42
Bt ₁	4,8	3,5	0,29	15,06	0,19	1,5	17,04	1,9	5,28	22,3	18,9	1	76
Bt ₂	4,8	3,6	0,23	12,24	0,20	1,6	14,27	0,6	2,64	16,9	14,9	1	84
C	6,8	4,4	0,60	13,98	0,07	12,1	26,65	0	0	26,6	26,6	5	100
P2 – Argissolo Vermelho eutrófico latossólico													
Ap	6,7	5,6	4,54	2,48	0,18	0,1	7,3	0	1,65	10,6	7,3	7	69
Bt	4,5	3,4	0,00	1,25	0,16	0,2	1,61	2,5	5,94	7,5	4,11	4	21
2BC ₁	4,7	3,8	0,00	2,52	0,50	0,1	3,12	0,6	1,98	5,1	3,72	4	61
2BC ₂	4,7	3,3	0,01	2,92	0,18	0,7	3,81	0,4	1,32	6,8	4,21	4	56
P3 – Organossolo Háplico sáprico sálico													
H O	2,4	2,4	1,42	11,39	1,11	85,9	98,92	6,9	72,6	171	106	6	58
C	3,0	2,9	0,05	2,16	0,24	8,4	10,85	0,7	6,6	11,5	13,7	6	94
P4 – Argissolo Amarelo distrófico abrupto Ta													
A1	4,9	4,9	2,83	3,01	0,47	0,7	7,01	0,1	3,3	10,3	7,11	19	68
A2	4,7	3,8	0,41	1,85	0,22	0,8	3,28	0,8	4,95	8,2	4,08	28	40
Bt	4,6	3,6	0,67	2,81	0,21	1,2	4,89	2,9	7,26	12,2	7,79	6	40
P5 – Luvissole Crômico órtico solódico													
A1	4,9	4,2	2,14	2,48	0,37	1,7	6,69	0,2	3,37	10,0	6,89	11	67
Bt ₁	4,2	3,4	1,84	6,59	0,15	1,9	10,5	3,1	6,7	17,2	13,6	5	61
Bt ₂	4,1	3,3	0,75	9,02	0,31	2,4	12,5	3,9	9,95	22,4	16,4	5	56
P6 – Planossolo Natrico órtico duripânico													
A1	4,6	3,8	0,77	1,07	0,20	0,2	2,24	0,4	3,30	5,54	2,64	6	40
E	5,2	4,0	0,00	0,55	0,06	0,1	0,71	0,2	1,65	2,36	0,91	9	30
Bt1	6,4	3,6	0,49	5,25	0,06	1,1	6,9	0,4	3,43	10,3	7,3	5	66
2Bt2	5,8	4,2	1,30	5,14	0,05	4,3	10,7	0	4,29	15,0	10,7	1	71
2BC	6,1	4,3	1,13	4,62	0,04	4,3	10,1	0	4,95	15,0	10,1	2	67
3C	6,2	4,3	2,43	9,67	0,08	1,3	13,5	0	4,62	18,1	13,5	7	75
P7 – Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico argissólico													
A	4,9	4,2	3,05	1,73	0,16	0,1	5,04	0,1	0,33	5,37	5,14	3	94
Bw	4,1	3,6	0,23	0,26	0,03	0,1	0,62	2,1	0,66	1,28	2,72	1	48
BC	3,6	3,5	0,12	0,22	0,02	0,1	0,46	1,9	0,99	1,45	2,36	1	31

(P) P disponível (Mehlich-1), T (CTC total); t (CTC efetiva); V (saturação por bases).

Tanto no caso do P1 quanto no P6, que apresentaram estrutura colunar em subsuperfície, é possível que o fenômeno seja devido à dispersão dos colóides argilosos e entupimento dos poros, pelas elevadas saturações por Na (1 a 48 %) e Mg (1 e 63 %) somadas (Quadro 4). Este fato corrobora aqueles obtidos por Schaefer & Dalrymple (1996) em solos com estrutura colunar com elevada saturação por Mg, na Amazônia.

Em virtude de eficiente ciclagem de nutrientes, os solos são todos epieutróficos, incluindo os dois perfis com características latossólicas e baixa CTC (P2 e P7). A presença de solos com características latossólicas em condições de semi-árido e com caráter epieutrófico na fachada atlântica brasileira é exclusivo da Região dos Lagos do estado do Rio de Janeiro e ocorre independente da riqueza do material de origem. O caráter latossólico indica que estes solos são herdados de fase (ou fases) de pré-intemperismo em condições mais úmidas, quando a maior atividade biológica, intemperismo e intensa pedoturbação em condições de melhor drenagem resultaram em latossolização.

Em relação aos teores de K trocável no horizonte A1, como em P1, P4 e P5, postula-se que a contribuição de "sprays" salinos, graças à proximidade da Laguna de Araruama muito salina, seja responsável, em parte, pelo acúmulo de K, já que estes solos também apresentam elevados teores de Na trocável nos mesmos horizontes, a exemplo da situação descrita por Little & Roberts (1983) na Austrália. Assim, torna-se evidente a contribuição alóctone de cátions monovalentes, sem descartar sua contribuição pela ciclagem e via intemperismo de feldspatos e micas (no caso de K) e intemperismo de plagioclásios sódicos (no caso de Na).

Os teores de Na trocável foram normalmente elevados nos solos mais jovens, variando de 0,17 cmol_c kg⁻¹ de solo no horizonte A1 do P6 até 85,9 cmol_c kg⁻¹ de solo no horizonte HO do solo orgânico de Arraial do Cabo (Quadro 5). De maneira geral, os menores teores de Na trocável foram observados nos solos mais intemperizados (P2 e P7). Os teores de Na em geral aumentaram em profundidade em P4, P5 e P6, evidenciando a contribuição destacada do intemperismo de plagioclásios sódicos para o equilíbrio de formas trocáveis, assim como no caso do P1, em que os valores absolutos de Na trocável foram elevados no Bt para baixo. É possível inferir que o aporte de Na alóctone, via "spray", é mais significativo nos solos mais desenvolvidos do que nos mais jovens, associados às rochas gnáissicas - migmatíticas do Complexo Cabo Frio (P1, P5 e P6) ou às rochas alcalinas (P4), que contêm abundante reserva mineral autóctone em elementos alcalinos. Como a região experimenta condições de déficit hídrico bem pronunciadas, a permanência de Na⁺ no sistema é grande, pela combinação do material de origem e clima.

Os teores de Al trocável são elevados nos horizontes Bt1 do P1, P5, e Bi do P4, ainda que associados a argilas de atividade alta ou próximos do limite de 27 cmol_c kg⁻¹ (sem correção para C). Estes valores elevados são consubstanciados pelos baixos valores de pH em H₂O nestes horizontes, aliados a teores de Mg trocável elevados, indicando a desestabilização das argilas 2:1 expansíveis (Uehara & Gillman, 1981; Volkoff et al., 1989). Neste aspecto, deve-se destacar que os valores de Al trocável são baixos ou nulos em superfície, uma vez que o clima atual favorece a concentração de bases trocáveis pela ciclagem, com conseqüente aumento do pH. De maneira geral, o pH subsuperficial mostrou-se ácido, exceto no P6, que evidenciou condições hidromórficas nas quais a redução de Fe³⁺ a Fe²⁺ deve ter consumido prótons e elevado o pH, além da presença de elevados teores de Na⁺.

Os maiores teores de Fe₂O₃ do ataque sulfúrico foram observados nos horizontes B dos perfis P2 e P7, mais latossólicos, com tendência a teores maiores em P2, onde a cor é mais vermelha (2,5 YR) que P7 (7,5 YR), mais desenvolvido (Quadro 5). Da mesma forma, os teores de Fe₂O₃ em Bt1 (9,6 dag kg⁻¹) refletiram-se na cor mais vermelha deste horizonte (2,5 YR), em relação aos horizontes A2 e Bt2 sobre e subjacente (5 YR). O horizonte Bt do Argissolo (P4) apresentou cor bruno-amarelada (10 YR 5/8) e teores de Fe₂O₃ de 9,0 dag kg⁻¹. A pouca hematita encontra-se na forma de revestimentos, nódulos e mosqueados, traduzindo-se em forte bicromia do solo. Os dois Luvisolos desenvolvidos do gnaisse do Complexo Cabo Frio (P1 e P2) mostraram valores comparáveis de Fe₂O₃ em Bt, além de índices Ki semelhantes.

O decréscimo acentuado dos teores de Fe²⁺ no horizonte B em relação ao A, em todos os solos, é reflexo da mobilização do Fe pela matéria orgânica (Quadro 5) (P2 e P7), podzolização ou perda por ferrólise (em P1, P4, P5 e P6) nas condições pedogenéticas atuais. A ferrólise, que constitui importante processo na destruição de argilas em superfície (Brinkman, 1969), é fortemente corroborada pelos dados de Fe²⁺ solúvel (trocável em parte), consistentemente maiores nos horizontes A1 e A2 de todos os solos estudados (Quadro 5), sendo muito baixo ou negligível onde tal acidificação não ocorre.

Este fato evidencia em P6 a mudança climática na região, que deve ter testemunhado período (ou períodos) anterior(es) ainda mais seco(s), sofrendo atualmente um processo de solodização e ferrólise. Segundo Brinkman (1969), o aumento de Fe²⁺ em ambiente temporariamente redutor ocasiona lixiviação dos demais cátions, graças à saturação das argilas pelo Fe²⁺. Durante o período seco, a oxidação Fe²⁺ para Fe³⁺ aumenta o H⁺ no meio, provocando a protólise dos argilominerais e acarretando uma concentração de grãos de quartzo, que resistem ao processo (Almeida, 1997; Andrade et al., 1997).

Quadro 5. Percentagem de saturação por sódio e magnésio, teores de Fe²⁺ por Melich-1, ferro ditionito, ferro oxalato e ataque sulfúrico dos perfis selecionados

Horizonte	Mg ²⁺ ⁽¹⁾	Na ⁺ ⁽²⁾	Fe ²⁺	Fe _d ⁽³⁾	Fe _o ⁽³⁾	Ataque sulfúrico				Ki	NH ₄ OAc		CE (P. sat.)
						Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅		Na	K	
		— % —	mg kg ⁻¹	— dag kg ⁻¹ —				— cmol _c kg ⁻¹ —		dS m ⁻¹			
P1 – Luvissole Crômico pálico saprolítico													
A1	31	2	0,61	5,0	0,42	4,5	7,53	7,9	0,06	1,61	0,3	0,7	0,82
A2	56	5	0,41	6,1	0,31	5,1	9,7	8,4	0,04	1,96	0,3	0,4	0,41
Bt ₁	80	8	0,05	8,5	0,71	9,4	26,4	20,6	0,02	2,10	1,5	0,4	0,50
Bt ₂	82	10	0,0	8,3	0,58	8,6	24,9	18,4	0,03	2,18	1,6	0,4	0,67
C	53	45	0,15	4,2	0,24	7,7	17,4	10,7	0,03	2,76	12,1	0,1	6,47
P2 – Argissolo Vermelho eutrófico latossólico													
Ap	34	1	0,52	7,5	0,26	6,6	18,8	15,0	0,11	2,13	0,1	0,2	0,36
Bt	30	5	0,02	9,8	0,36	9,5	27,5	26,7	0,10	1,75	0,2	0,2	0,26
2BC ₁	68	3	0,0	10,2	0,35	9,5	25,8	25,6	0,06	1,71	0,1	0,4	0,10
2BC ₂	69	17	0,01	9,8	0,41	9,2	30,8	28,5	0,05	1,84	0,7	0,2	0,56
P3 – Organossolo Háplico sáprico sálico													
H O	10	81	0,61	0,2	0,05	0,3	0,3	1,5	0,02		85,9	2,2	73,5
C	16	61	0,36	0,3	0,08	1,8	0,1	2,5	0,03		8,4	0,2	33,55
P4 – Argissolo Amarelo distrófico abruptico Ta													
A1	42	10	1,18	2,4	0,65	3,7	9,2	6,9	0,12	2,27	0,7	0,5	0,73
A2	45	20	0,20	3,7	0,77	4,5	9,3	8,7	0,11	1,81	0,8	0,2	1,51
Bt	36	15	0,12	7,4	0,62	9,0	12,6	19,5	0,06	1,10	1,2	0,4	1,28
P5 – Luvissole Crômico órtico solódico													
A1	36	24	0,38	4,1	0,61	5,1	13,3	11,9	0,10	1,90	1,7	0,5	2,30
Bt ₁	48	14	0,14	6,1	1,26	8,3	27,6	20,8	0,05	2,25	1,9	0,3	2,45
Bt ₂	55	15	1,50	6,1	1,38	8,3	25,1	19,0	0,06	2,24	2,4	0,5	1,74
P6 – Planossolo Nátrico órtico duripânico													
A1	40	8	0,06	2,2	0,50	2,0	4,9	3,6	0,04	2,31	0,2	0,2	0,51
E	60	11	0,60	1,6	0,59	0,9	2,6	2,1	0,03	2,10	0,1	0,0	0,28
Bt ₁	71	15	0,22	1,6	0,41	4,45	15,1	10,9	0,03	2,35	1,1	0,1	1,35
2Bt ₂	48	40	0	1,6	0,41	4,8	16,2	11,6	0,03	2,37	4,3	0,1	4,88
2BC	45	43	0	1,6	0,36	4,3	15,0	10,4	0,03	2,45	4,3	0,1	6,04
3 C	71	10	0	1,2	0,34	6,3	20,2	13,0	0,02	2,64	11,3	0,2	8,86
P7 – Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico argissólico													
A	34	2	2,95	8,5	0,21	6,2	19,0	15,2	0,08	2,12	0,1	0,2	0,51
Bw	9	4	0,10	9,6	0,16	8,7	20,6	24,3	0,08	1,44	0,1	0,0	0,22
BC	9	4	0,33	9,1	0,17	8,8	24,3	24,8	0,06	1,66	0,1	0,0	0,76

⁽¹⁾ Calculado com base na CTC efetiva. ⁽²⁾ Saturação por Na. ⁽³⁾ Em Fe₂O₃; Fe_d (Fe ditionito); Fe_o (Ferro Oxalato); CE (condutividade elétrica); P. sat. (pasta de saturação).

Os índices Ki (Quadro 5) dos solos mais latossólicos estudados (P2 e P7), embora relativamente altos, foram adequados ao seu enquadramento nessa classe (Ki < 2,2), com valores de 1,44 e 1,75 nos horizontes Bw (P7) e Bt (P2). Os menores valores de Ki no P7 são corroborados pela presença de gibbsita neste solos (vide mineralogia), enquanto este mineral se encontrava em quantidades bem menores em P2. De forma geral, os índices indicaram solos cauliniticos.

Os valores de Ki mais elevados nos horizontes Bt dos Luvissoles (P1 e P5) e especialmente no caso do Planossolo Nátrico revelam a presença de minerais 2:1, expansíveis ou não, na fração argila, fato que foi confirmado por difratometria de raios-X.

Como exceção à regra geral de aumento de Ki de A para B, o horizonte Bt do Argissolo (P4) revelou um índice muito baixo (1,10), denotando a formação de minerais 1:1 ou aluminosos, na forma de gibbsita ou possivelmente com menor cristalinidade. De fato, foi detectada a presença de gibbsita neste solo, em coexistência com argilominerais 2:1, estes últimos responsáveis pela estrutura em blocos forte, observada em campo, apesar do pequeno desenvolvimento do solo. A influência de rocha alcalina, naturalmente pobre em Si, pode explicar a formação de minerais secundários com menor Ki neste solo, cujo pH elevado aumentou a dissolução da sílica em microssítios.

Os teores de Fe₂O₃ extraídos por ditionito foram variáveis, com tendência de valores maiores nos dois

solos com características latossólicas (Argissolo Vermelho eutrófico latossólico em P2 e Latossolo Vermelho-Amarelo em P7), e teores de Fe livre entre 6,1 e 8,5 dag kg⁻¹ nos horizontes Bt dos Luvisolos (Quadro 5). Comparando o Fe do ataque sulfúrico (Fe_s) com o Fe do ditionito (Fe_d), verificam-se valores maiores de Fe_d em todos os horizontes dos perfis P2 e P7, e apenas em A1 e A2 do P1 e P6. Nos demais, os valores de Fe_s maiores indicam formas estruturais de Fe, na forma de minerais máficos, que são pouco afetados pelo tratamento redutor do DCB. A extração de Fe-oxalato (Fe_o), com valores elevados nos horizontes Bt e especialmente em Bt do P4, denotam a maior eficiência deste extrator em extrair formas de Fe ligadas a minerais máficos (biotita e anfibólios) ou titaníferos, como ilmenita (Melo & Johas, 1988), apesar da maior participação de formas amorfas, especialmente nos solos sob hidromorfismo (P3 e P6) (Schwertmann, 1985).

As relações Fe_o/Fe_d foram baixas apenas nos perfis P2 e P7, como reflexo da maior maturidade pedogenética e predominância de formas livres e oxidadas de Fe. Nos demais solos, não se observou uma tendência clara de aumento de Fe_o nos horizontes A pela presença da matéria orgânica (Schwertmann, 1966).

Excetuando P2 e P7, as relações Fe_o/Fe_d foram elevadas, especialmente no Planossolo e Organossolo e nos horizontes Bt dos Luvisolos. Em valores absolutos, o Luvisolo (P5) apresentou os teores mais elevados de Fe_o (1,26 e 1,38 dag kg⁻¹), mostrando que a bicromia neste solo, bem como em P1 e P4, traduz-se em microssítios de oxirredução, onde formas pouco cristalinas de Fe coexistem com formas mais livres e oxidadas.

Na fração argila dos Luvisolos (P1 e P5), caulinita e esmectita mostraram-se dominantes, com ilita (mica) interestratificada com esmectita e goethita subordinadas. A identificação da caulinita foi feita pelos picos mais intensos nas regiões de 0,715–0,718 nm, e 0,355–0,358 nm. A ilita (mica) foi identificada pelos reflexos nas regiões de 1,01 nm e 0,495–0,500 nm, enquanto a esmectita foi identificada pelos picos nas regiões de 1,28 nm a 1,49 nm, expandindo-se para 1,51 a 1,73 nm, quando saturadas por Mg e glicoladas, e colapsando a 1,0 nm, quando saturadas por K e aquecidas a 350 °C.

Os interestratificados ilita/esmectita foram constatados por reflexos difusos na região de 1,19 a 1,27 nm, que expandiram quando glicoladas a 2,40–2,53 nm e mostraram resistência ao colapso a 1,0 nm, com aumento de temperatura nas amostras saturadas por K (K, 350 °C); com colapso parcial a 1,13 nm.

Na argila dos solos com horizonte B latossólico (P2 e P7), observou-se a dominância de caulinita, com reflexos a 0,715–0,718 nm, e a forte presença de ilita, com reflexos a 1,01 e 0,50 nm. Traços de interestratificados de ilita foram observados em picos

difusos a 1,08 nm na argila desferrificada e natural. A presença de ilita foi confirmada pela micromorfologia e microscopia eletrônica (descritos na próxima seção). A gibbsita foi identificada pelos picos na região de 0,485, 0,433 e 0,437 nm, sendo estes mais pronunciados no P7, tanto no A quanto no Bw, evidenciando maior grau de evolução no P7 em relação ao P2. A presença de gibbsita constitui um importante pré-intemperismo desses solos de cimeira na região, que representam relíquias paleoclimáticas (P2 e P7). A goethita foi identificada pelos picos de 0,249, 0,269 nm e forte reflexão em 0,418 nm na argila natural (horizonte A e B), sendo mais pronunciada no P7.

No horizonte A de P4, observou-se a coexistência de caulinita (0,715 e 0,358 nm) e gibbsita, (0,485; 0,482 e 0,330 nm), além de goethita (0,418 nm) e ilita (1,02 nm). A presença de gibbsita no solo, em horizonte Bt do P4, sob condições de clima seco, pode ser atribuída à rápida dessilicatização pela natureza alcalina e aluminosa da rocha, pobre em silício. No horizonte B, constatou-se a existência de esmectitas, com possível interestratificação com ilita, em virtude da fraca expansão e colapso incompleto a 1,0 nm, com reflexões a 0,113–0,115 nm, quando saturadas por K e aquecidas a 350 °C. Estes minerais, foram responsáveis pela estrutura em blocos do solo.

No Planossolo nátrico (P6), constatou-se a presença de argilominerais do tipo caulinita e ilita com traços de esmectitas e interestratificados ilita/esmectita, tanto no horizonte A quanto no Bt.

Na fração areia fina, foram identificados quartzo, com picos na região de 0,334; 0,426; e 0,182 nm, em maior abundância, além de feldspato potássico (picos em 0,31; 0,78 e 0,328 nm) e plagioclásios sódico-cálcicos (picos em 0,22; 0,403 e 0,292 nm) (dados não reportados; Ibraimo, 2000).

Aspectos micromorfológicos

Foram estudados apenas os horizontes diagnósticos Bw e Bt dos solos com morfologia latossólica, bem como os horizontes E e Bt, por representarem os solos pedogeneticamente mais maduros e os mais representativos da região, respectivamente (Figuras 3, 4, 5 e 6).

A microestrutura do horizonte B latossólico em P2 é microgranular moderada, com tendência a certo rearranjo por coalescência de microagregados menores, com contatos face-a-face mais arestados, indicando a natureza caulinitica destes solos (Figura 3a), a exemplo de outros Latossolos com mineralogia caulinitica estudados (Schaefer, 1995; Nunes et al., 2000).

O arestamento e o rearranjo dos microagregados parecem relacionar-se com a deposição ou formação de argilãs interagregados, que se evidenciaram como zonas estriadas (Figura 3b), com forte reorganização do plasma, à semelhança do verificado por Vidal-Torrado et al. (1999). Essas feições devem relacionar-

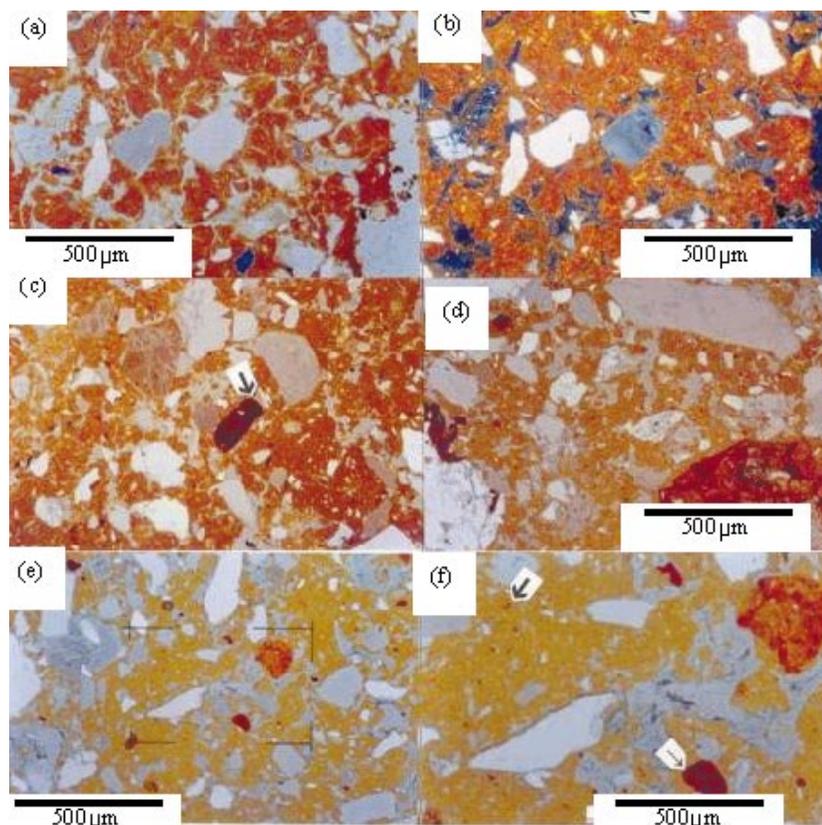


Figura 3. Fotomicrografias de alguns horizontes Bw selecionados 1. Setas indicam feições micropedológicas discutidas no texto.

se com o caráter argissólico deste solo. A microagregação (caráter latossólico) é, portanto, herdada de períodos úmidos anteriores, quando as condições para latossolização prevaleceram com atividade biológica mais intensa. Tal atividade pode ser confirmada na presença generalizada de murundus “fósseis” em todas as colinas mais elevadas da região Iguaba-Araruama, com forte associação com mantos latossólicos. A deposição de argilãs a partir de plasma preexistente ocorreu com a mudança para condições mais secas, possivelmente pelo aumento da argila dispersa em condições de menor saturação por Al. O esqueleto é predominantemente quartzoso, pouco selecionado e com arredondamento variável. Ocorrem abundantes micronódulos de hematita (pontuações – Figura 3c) e fragmentos arredondados ou arestados de concreções lateríticas, que indicam o intenso retrabalhamento do solo (Figura 3d). Ocorrem, ainda, raros restos de carvão e grãos de feldspatos muito intemperizados, além de pseudomorfos de mica caulinitizados e illitas.

No plasma argiloso microagregado (Figura 3a e c) e nas zonas estriadas, observações submicroscópicas

confirmaram a presença comum de illita, imersa em plasma predominantemente caulinitico (Figura 4a e b; mapas de K e Si). Os teores de K_2O alcançam até $5,2 \text{ dag kg}^{-1}$ na illita, com valores de até $0,45 \text{ dag kg}^{-1}$ no plasma em geral, indicando uma boa reserva de K não-trocável nestes latossolos.

Em P7, situado no topo da Serra das Emerenças (Búzios), o horizonte Bw do Latossolo Vermelho-Amarelo apresenta feições micromorfológicas típicas, como microagregação granular na faixa de 150 a 500 μm , algo soldado e coalescido, à semelhança do perfil 2 anteriormente descrito, porém mais intemperizado (Figura 5a e b).

Os grãos do esqueleto são predominantemente quartzosos, arestados e pouco selecionados, sendo extremamente comuns pontuações hematíticas intragregadas, revelando a origem policíclica do solo. Em maiores aumentos (Figura 3e), observa-se a distribuição conspícua dessas pontuações, que conferem ao solo matizes vermelho-amarelados ou amarelo-avermelhados. Em imagens de retroespalhamento eletrônico e nos mapas microquímicos (Figura 5a e b), a microagregação mostra-se bem desenvolvida,

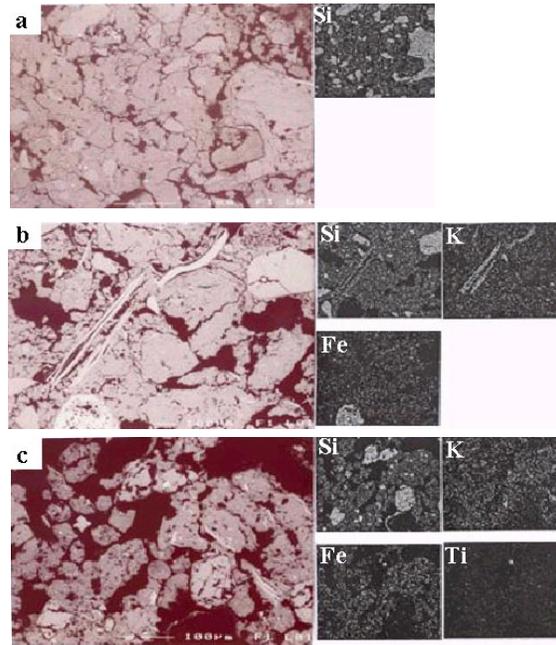


Figura 4. Fotomicrografias em retroespalhamento eletrônico, ilustrando a microestrutura e algumas pedofeições selecionadas no horizonte Bw de P2.

com teores de K_2O de até 0.36 dag kg^{-1} no plasma e poucos grãos residuais de minerais potássicos. A sua presença em solos poligenéticos na forma de microagregados hematíticos, litorrelíquias concrecionárias de gibbsita e hematita (Figuras 3e e f e 5b), evidencia a intensa pedoturbação biológica (Schmidt-Lorenz, 1980; Stoops, 1989; Schaefer, 2001). Em algumas partes da seção fina, são observáveis, entre nicóis cruzados, feições estriadas circulares interagregadas, indicando a soldagem dos microagregados nas condições semi-áridas atuais e mineralogia caulínica. Os solos com horizonte Bw, nos topos mais elevados da paisagem da Região dos Lagos, seriam, portanto, herdados de períodos anteriores em condições climáticas mais úmidas que as atuais, sob atividade biológica mais intensa e maior intemperismo, já que o clima atual não favorece a formação desses solos.

No horizonte Bt_2 do Luvisso crômico pálico (P1), o caráter bicrômico do solo é manifestado pela bicromia do plasma, com forte segregação de zonas de hematita, com envolvimento de microdeposições amareladas goetíticas, na forma de argilãs (goethãs pro parte), que recobrem poros maiores e formam zonas estriadas, na forma de pápulas (Figura 6a). Agregados em blocos angulares de (2 a 10 mm) com planos de cisalhamento formando ângulos de aproximadamente 45° indicam a predominância de argilas ativas, corroborando o verificado em solos de caráter vértico (Schaefer, 1994; Nunes et. al., 2000).

As feições de cerosidade observadas no Bt do Luvisso (P1) são características de solos com argila de atividade alta, em que os revestimentos do tipo argilãs têm uma dinâmica de formação/destruição que forma uma trama birrefringente estriada (Bullock & Thompson, 1985) e cutãs de estresse ao longo de planos de deslizamento. Na maior parte dos casos, os argilãs são desenvolvidos "in situ", sem aparente iluviação. Holzhey et al. (1973) demonstraram que cutãs de iluviação estão praticamente ausentes em solos esmectíticos com COLE maior que 5%. Além disso, como demonstraram Mermut & Pape (1971), o intemperismo de grãos minerais pode simular revestimentos argilosos em poros e vazios interagregados. Além disso, argilãs orientadas podem provir da neoformação de argilas a partir da solução do solo (Parfenova & Yarilova, 1971).

Abundantes revestimentos cutânicos ocorrem, sendo formados tanto por dispersão de argilas e translocação quanto por difusão. Ocorrem, ainda, raras zonas tubulares de plasma mais isotrópico e microestruturado, sugerindo maior atividade biológica na superfície, que transloca materiais fecais através de canais biológicos, de A para Bt, sugerindo maior desenvolvimento deste solo, em relação a Luvisso mais típicos (que dão o caráter pálico).

No horizonte Bt do Argissolo do P4, observa-se o desenvolvimento de estrutura comparável ao observado para o horizonte Bt de P1, com menor desenvolvimento de cerosidade interpedal, que ocorre como argilãs discretos e descontínuos em maior aumento, entre nicóis cruzados (Figura 6b), ou como cutãs de tensão e difusão, formando zonas estriadas amareladas (goethãs) e pápulas (Figura 6c). O caráter bicrômico observado na descrição morfológica é confirmado pela policromia

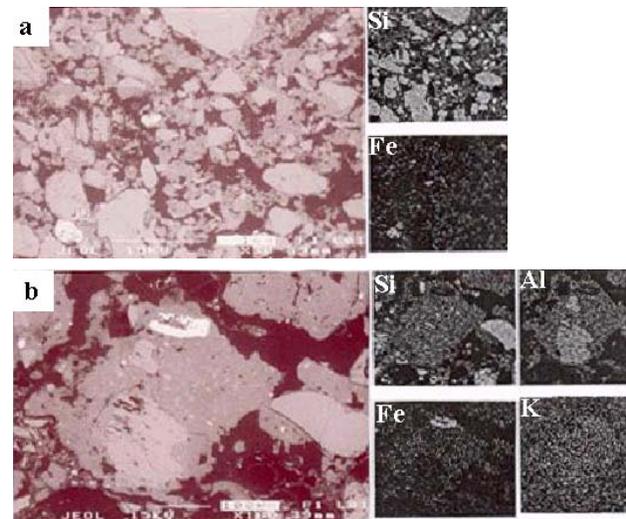


Figura 5. Fotomicrografias em retroespalhamento eletrônico, ilustrando a microestrutura e algumas pedofeições selecionadas no horizonte Bw de P7.

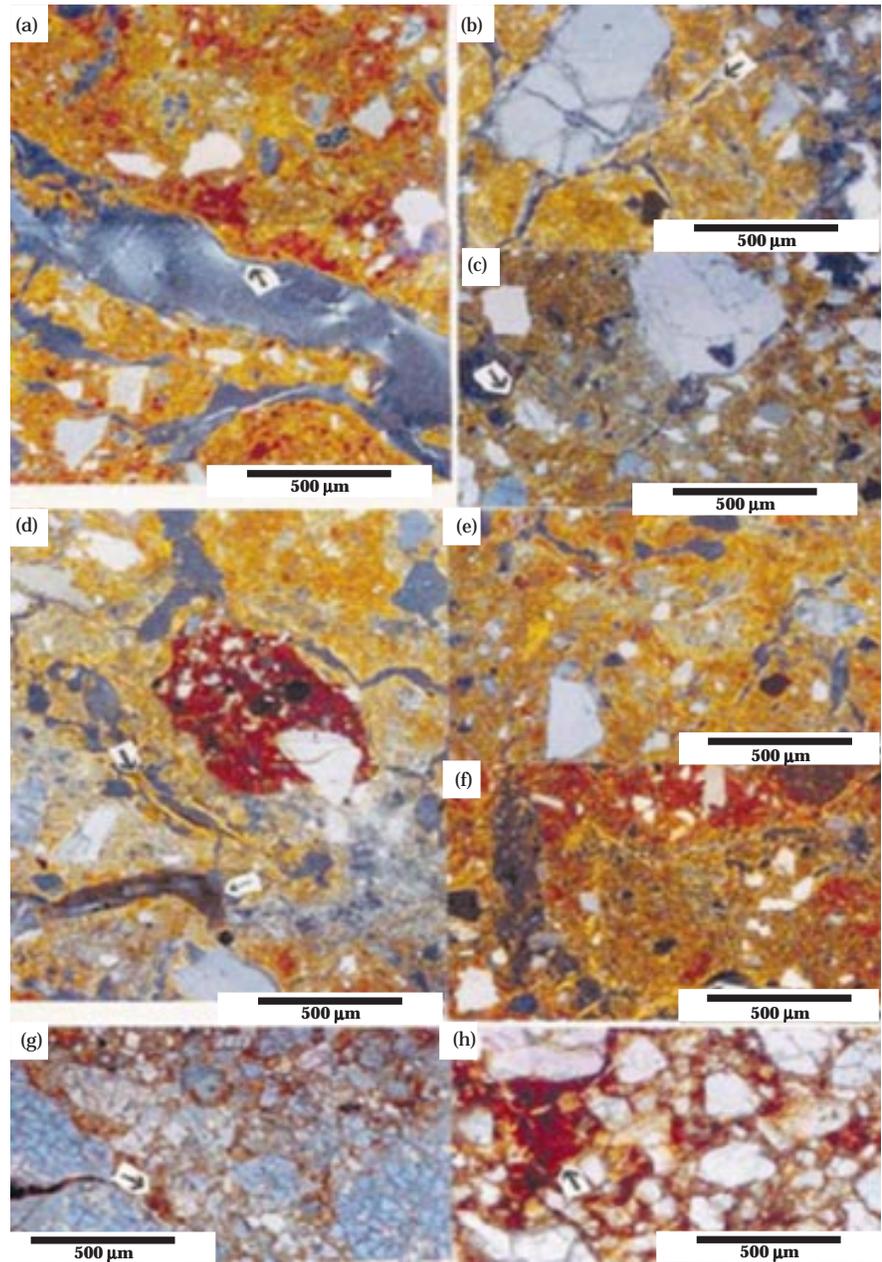


Figura 6. Fotomicrografias de alguns horizontes Bt selecionados. Setas indicam feições micropedológicas discutidas no texto.

do plasma, que apresenta segregações hematíticas e manganosas, alterando com zonas mais amareladas ou desferrificadas. Os grãos do esqueleto são arestados e pouco selecionados, com forte ligação com a rocha matriz, um gnaisse com veios de sienito (rocha alcalina). Grãos opacos de anatásio também ocorrem. A microestrutura apresenta feições típicas de B incipiente (Auroseau et al., 1985), embora o gradiente textural indique Bt.

No horizonte Bt do perfil 5, classificado como Luvisolo crômico, observa-se a microestrutura em blocos subangulares ou em canais, típica de Bt de Alfissolo (Bullock & Thompson, 1985), com forte desenvolvimento (Figura 6d), graças à cerosidade iluvial como cutãs típicos ou como cutãs de estresse interpedais (Figura 6d e) e pápulas. Esses filmes lustrosos e pápulas são atuais ou herdados, indicando uma intensa pedoturbação combinada à

maior atividade das argilas. A forte bicromia na morfologia observada em campo é confirmada pela policromia do plasma argilo-siltoso, muito semelhante ao descrito no perfil 1 da seqüência anterior. Grãos pouco arestados e mal selecionados de quartzo e subordinadamente feldspatos indicam intemperismo in situ, com a preservação de estruturas concrecionadas litorreliquiares (Figura 6c). Neste solo, a predominância de pápulas em aumento maiores entre nicóis cruzados é a indicação de intensa contração e expansão do solo pelo plasma argiloso, que se reorientou. Restos fragmentados de cutãs ocorrem no interior de agregados em blocos, (Figura 6e), indicando sucessivas gerações de formação e destruição desses revestimentos.

No perfil 6, descrito como Planossolo nátrico duripânico, o horizonte E (A2) apresentou feições típicas de eluviação, na forma de filmes corroídos e descontínuos de argilas e argila/matéria orgânica, recobrando o esqueleto predominantemente quartzoso (Figura 6f). Os grãos maiores de quartzo, de areias médias a fina, denotam melhor grau de arredondamento e seleção, indicando serem depositados. No horizonte Bt₂ do P6, descrito com características de duripã, observou-se forte preenchimento iluvial, na forma de plasma estriado entre nicóis cruzados, com cores variegadas e birrefringência moderada (Figura 6g), que parece atuar como cimento entre os grãos. Estes são bem selecionados, com tendência a esféricos nas areias mais finas, sendo predominantemente quartzosos, com raros anfibólios, biotitas e grãos comuns de feldspatos. O horizonte duripã é muito semelhante ao horizonte nátrico de Solonetz Solodizado, descrito em Roraima (Schaefer & Dalrymple, 1996).

Fracionamento de substâncias húmicas e pedogênese

Os dados de fracionamento (Quadro 3) evidenciam o predomínio de frações mais humificadas em superfície (horizontes A), notadamente da fração humina, com valores percentuais em relação ao COT variando de 51 a 63 % nesta fração. A única exceção foi no solo orgânico, que apresentou uma dominância de ácido húmico (de 63 a 71 % do COT), pela peculiaridade de sua gênese, uma turfeira ácida preservada em ambiente de elevada salinidade e hidromorfismo, condições estas que favorecem maior polimerização de ácidos fúlvicos (AF) e ácidos húmicos (AH) (Holzhey et al., 1975), ou perdas absolutas por solução (Hayes, 1985).

A fração fúlvica revelou valores absolutos com tendência de redução no horizonte A2 ou E (quando presente) e acréscimo consistente no topo do horizonte B, em P1, P2, P4, P5, P6 e P7, ou seja, em todos os solos, excluindo-se o Organossolo. Tal fato revela a tendência à formação e migração de complexos orgânicos mais solúveis por soluções ricas em Na, provavelmente como fulvatos de sódio

(Stevenson, 1981; Hayes, 1985), pois os valores de Na⁺ trocáveis observados neste horizonte foram consistentemente maiores. As correlações de Pearson calculadas entre os teores Na solúvel e Mg e Ca trocáveis e as diferentes frações húmicas revelaram-se altas e com elevada significância entre Na e as frações, fúlvica e húmica, corroborando a formação de Na-fulvatos (Quadro 6). Esse fato se deve à menor polimerização dos AF em relação aos AH, que tendem a acumular-se em ambientes hidromórficos (Farmer et al., 1983), com a fração fúlvica sendo perdida (Hayes, 1985). Isso é particularmente destacado em Bt₂, do Planossolo nátrico, e no horizonte O, do Organossolo, onde há forte hidromorfismo.

Da mesma forma, o perfil de ácidos húmicos revelou a tendência de acréscimos absolutos nos mesmos horizontes, em relação à subsuperfície, nos perfis P1, P2, P4 e P7. No Planossolo nátrico, observou-se um teor maior de ácidos húmicos de Bt₂ para C, onde a fração fúlvica foi zero ou muito reduzida. Isso indica, ainda, que a descontinuidade pedogenética de Bt₁ para 2Bt₂, onde ocorre a formação de horizonte duripã, é acompanhada de aumento de humatos de Na de 2Bt₂ para baixo, enquanto a coesão do duripã impede o fluxo de formas mais solúveis de ácidos fúlvicos para baixo, perdendo-se por fluxo lateral. Feições de mosqueados opacos de cores bruno-escuras, abundantes em Bt₂, devem relacionar-se com esta mobilização de fulvatos e a sua permanência depende da impermeabilidade do solo na passagem de 2Bt₂ para C, tornando possível alguma polimerização do AF em AH (Holzhey et al., 1975).

Quadro 6. Correlações de Pearson entre sódio, cálcio e magnésio trocáveis e as frações húmicas do solo

Variável		Coeficiente de correlação
Independente	Dependente	
Na	Ácido fúlvico (AF)	0,9441***
Na	Ácido húmico (AH)	0,9798***
Na	AF + AH	0,9785***
Ca	Ácido fúlvico (AF)	0,1100
Ca	Ácido húmico (AH)	0,0452
Mg	Ácido fúlvico (AF)	0,2697°
Mg	Ácido húmico (AH)	0,2979°

*** e °: Significativos a 0,1 e a 10 %, respectivamente, pelo teste t com n = 26.

CONCLUSÕES

1. Os solos com horizonte Bw eutróficos, sob Caatinga ou Mata Seca, presentes nas partes mais

elevadas, são herdados de período de intemperismo mais úmido, preservados nos topos mais conservados da região. Características, tais como: latolização, pedoturbação e microestrutura biológica, murundus fósseis preservados, linhas de pedra enterradas, caráter endoálico ou endodistrófico são reliquias. Outras: como eutrofia superficial, adensamento em Bw/BC, presença de illita (mica), soldagem de microagregados em blocos, gradiente textural, argila dispersa, mobilização de fulvatos de Na e os teores de Na e K pelo aporte de “sprays” denunciam a pedogênese atual.

2. O Organossolo de Arraial do Cabo é um solo com características herdadas, na forma de acumulação turfosa altamente humificada, gerada em ambiente pretérito de mangues, salinizado pela aridez crescente com a formação da laguna.

3. Os Luvisolos e o Planossolo, representando compartimentos geomorfológicos mais baixos e sob Caatinga, estão em consonância com as condições pedoclimáticas atuais. Por outro lado, a bicromia, desde o saprolito até o Bt, e o próprio desenvolvimento do saprolito denotam acentuado pré-intemperismo em condições mais úmidas.

4. Os solos estudados revelam uma tendência atual à acidificação superficial, indicando que em tempos subatuais, mas relativamente recentes (Holoceno tardio), existiam condições de semi-aridez mais severas. Em subsuperfície, a acidificação provocou a desestabilização dos minerais 2:1 expansíveis e a liberação de Al e Mg octaedrais para formas mais solúveis.

5. Em todos os solos, há um papel destacado do Na^+ e, ou, $\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}$ na dispersão de colóides, tendo, como conseqüências, o gradiente textural e a argila dispersa. A superfície específica mostrou-se maior nos horizontes Bt e Bi que nos Bw, correlacionou-se positiva e significativamente com o carbono orgânico, mas não com argila. Os valores de Mg nos horizontes B dos Luvisolos e do Planossolo são muito elevados, com desbalanço Ca:Mg subsuperficial, mas com teores de Ca maiores que Mg em superfície, promovidos pela ciclagem.

6. O caráter latossólico e caulinitico dos perfis P2 e P7 são corroborados pela estrutura granular, maturidade dos grãos, dados micromorfológicos, submicroscópicos, relação Fe_o/Fe_d , valor de Fe-sulfúrico, mineralogia com domínio de Ct, de Gb e Gt em menor proporção e índice Ki. A presença de illita (mica) e a reserva em K desses solos indica menor grau de evolução dos Latossolos da região em relação aos latossolos típicos da região Sudeste.

7. Há uma tendência à formação e à migração de complexos orgânicos mais solúveis por soluções ricas em Na, como fulvatos e humatos de Na, confirmada por altas correlações com elevada significância entre teores de Na e as frações fúlvicas e húmicas.

LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, F.F.M. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil, Continental Margins of Atlantic type. *An. Acad. Bras. Ci.*, 48:15-26, 1997.
- ANDRADE, H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; DEMATTÊ, J.L.I. & ANDRADE, F.V. Pedogeomorfologia e micropedologia de uma seqüência Latossolo- Areia Quartzosa hidromórfica sobre rochas cristalinas do Estado do Amazonas. *Geonomos*, 5:55-66, 1997.
- AUROSSEAU, P.; CURMI, P. & BRESSON, L.M. Microscopy of the Cambic Horizon. In: DOUGLAS L.A. & THOMPSON, M.L., eds. *Soil micromorphology and soil classification*. Madison, Soil Science Society of America, 1985. p.49-62. (SSSA Special Publication, 15)
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Projeto Radambrasil, Folhas SF 23/24, Rio de Janeiro/Vitória: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. 775p. (Levantamento de Recursos Naturais, 32)
- BRASIL. Serviço Nacional de Pesquisas Agrônomicas. Comissão de Solos. Levantamento de Reconhecimento dos solos do Estado do Rio de Janeiro e Distrito Federal. Rio de Janeiro, 1958. 350p. (Boletim, 11)
- BRINKMAN, R. Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process. *Geoderma*, 3:199-206, 1969.
- BULLOCK, P. & THOMPSON, M.L. Micromorphology of Alfisols. In: DOUGLAS, L.A. & THOMPSON, M.L., eds. *Soil micromorphology and soil classification*. Madison, Soil Science Society of America, 1985. p.15-47. (SSSA Special Publication, 15)
- CAMARGO, M.N. Guia de excursão de estudos de solos no estado do Rio de Janeiro. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA DE SOLOS, 1., Rio de Janeiro, 1979. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1979. p.77-246.
- CAMPOS, J.C.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SAADI, A.; KER, J.C. & ALBUQUERQUE FILHO, M.R. Gênese e micropedologia de solos do Médio Jequitinhonha, de Turmalina a Pedra Azul, MG. *Geonomos*, 5:41-53, 1998.
- CHEN, P.Y. Table of key-lines in X-ray power diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks. Bloomington, Department of Natural Resources, 1977. 67p (Geological survey occasional paper, 21)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMPRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Manual de métodos de análises do solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMPRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Legenda Preliminar. Rio de Janeiro, 1980. 158p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA - EMPRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solo. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMPRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA DE SOLOS, 1. Rio de Janeiro, 1979. Anais. Rio de Janeiro, 1979. 276p.
- ERNESTO SOBRINHO, F. Caracterização, gênese e interpretação para uso de solos derivados de calcário da região da Chapada de Apodi, Rio Grande do Norte. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1980. 133p. (Tese de Mestrado)
- FARMER, V.C.; SKJEMSTAD, J.O. & THOMPSON, C.H. Genesis of humus B horizons in hydromorphic humus Podzols. *Nature*, 304:342-344, 1983.
- FITZPATRICK, E.A. Soil microscopy and micromorphology. New York, John Wiley & Sons, 1993. 304p.
- HAYES, M.H.B. Extraction of humic substances from soil. In: AIKEN G.R., ed. Humic substances in soil, sediment and water. Geochemistry, isolation and characterization. New York, Wiley Interscience, 1985. p.329-361.
- HAYES, M.H.B.; MacCARTHY, P.; MALCOLM, R.L. & SWIFT, R.S. The search for structure: setting the scene. In: HAYES, M.H.B., ed. Humic substances II, in search of structure. Chichester, John, Wiley & Sons, 1989. p.3-33.
- HOLZHEY, C.S.; DANIELS, R.B. & GAMBLE, E.E. Thick Bh horizons in the North Carolina Coastal Plain: Physical and chemical properties and rates of organic additions from surface sources. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39:1182-1187, 1975.
- KNUDSEM, D.; PETERSON, G.A. & PRATT, P.F. Lithium, sodium, and potassium. In: *Methods of soil analysis*, 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.225-245.. (Agronomy Serie, 9)
- IBRAIMO, M.M. Solos sob Caatinga da Região dos Lagos, RJ: gênese e relações geomorfológicas. Viçosa, Universidade Federal Viçosa, 2000. 92p. (Tese de Mestrado)
- LAMEGO, A.R. A bacia de Campos na Geologia Litorânea de Petróleo. Rio de Janeiro. Divisão da Geologia e Mineralogia, 1944. p.1-60.
- LITTLE, I.P. & ROBERTS, G.M. Cations a silica in lake and creek in relation to atmospheric accretion from the ocean. *Royal Soc. Queensland*, 94:41-49, 1983.
- McKEAGUE, J.A. & DAY, J.H. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating entiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.*, 46:13-22, 1966.
- MEHRA, J.P. & JACKSON, M.L. Iron Oxides removal from soil and clays by a Dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate, *Clays Clay Miner*, 7:317-327, 1960.
- MELO, M.E.C.C.M. & JOHAS, R.A.L. Teores de ferro, na terra fina e na argila por ataques sulfúrico e triácido e extração pelo DCB. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, E CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1988. p.211-232.
- MERMUT, A.R. & PAPE, Th. Micromorphology of two soils from Turkey, with special reference to in-situ formation of clay cutans. *Geoderma*, p.271-281, 1971.
- MONIZ, A.C.; GRANDE, M.A. & OLIVEIRA, V. Solos do Trecho Cabo Frio-Xerém (RJ): Influência de regimes pluviais e de material de origem na pedogênese. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:205-214, 1990.
- NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro Geografia e Estatística, 1989. p.422.
- NUNES, W.A.G.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C. & FERNANDES-FILHO, E.I. Caracterização Micropedológica de alguns solos da Zona da Mata Mineira. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:103-115. 2000
- PARFENOVA, Y.I. & YARILOVA, Y.A. Problems and methods of microscopic and mineralogic soil investigation. *Sob. Soil Sci.*, 12:1331-1338, 1971.
- RESENDE, M. Bruno-não-cálcico, interpretação de um perfil. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983, 89p.
- RUELLAN, F. Aspectos geomorfológicos do litoral brasileiro, no trecho entre Santos e Rio Doce. *Boletim da Associação dos Geógrafos Brasileiros*. São Paulo, 1944. v.4. (Boletim da Associação dos Geógrafos Brasileiros, 1994)
- SAINT-HILLAIRE, A. Viagem pelo distrito dos diamantes e litoral do Brasil. Belo Horizonte, Itatiaia, São Paulo, Universidade de São Paulo, 1974. 234p.
- SCHAEFER, C.E.G.R. Soils and Paleosols from Northeastern Roraima, Amazonia. Geomorphology, genesis, and landscape evolution. Reading, Universt of Reading, 1994, 353p. (Tese de Doutorado)
- SCHAEFER, C.E.G.R. Micropedologia de uma sequência Latossolo-Podzólico de Viçosa, MG. Química e morfologia da superfície dos agregados de Horizontes Bw e Bt. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DE SOLO, 25., Viçosa, 1995. Resumos expandidos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 372-374p.
- SCHAEFER, C.E.G.R. & DARLYMPLE, J.B. Pedogenesis and relict properties of soils with columnar structure from Roraima, north Amazonia. *Geoderma*, 17:1-17, 1996.
- SCHWERTMANN, U. Inhibitory effect of soil organic matter on the crystallization of amorphous ferric hydroxides. *Nature*, 212:645-646, 1966.
- SCHWERTMANN, U. The effect of environments on iron oxide minerals. *Adv. Soil Sci.*, 1:172-200, 1985.
- SCHMIDT-LORENZ, R. Soil reddening through hematite from plinthitized saprolite. In: JOSEPH, K.J., ed. In: CONFERENCE ON CLASSIFICATION AND MANAGEMENT OF TROPICAL SOILS, 1980, Kuala Lumpur. Proceedings. Kuala Lumpur: Malaysian Soc. Soil Sci., 1980. p.101-106.
- STOOPS, G. Relict properties in soils of the humid tropical regions with special reference to central Africa. In: BRONGER, A. & CATT, J.A., eds. *Paleopedology*. Cremlingen: [s.n.], 1989. p.95-106.

- TOMÉ Jr., J.B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba, Agropecuária., 1997.p.247.
- UEHARA, C. & GILLMAN, C.P. Mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays. Boulder, Westview Press, 1981. 170p.
- URURAHY, J.C.C.; COLLARES, J.E.R. & SANTOS, M.M. Nota sobre uma formação fisionômico-ecológica disjunta da estepe nordestina, na área do Pontal de Cabo Frio-RJ. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 33., Maceió, 1982. Resumos. São Paulo, Sociedade Botânica do Brasil, 1982. 285p.
- VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I.F.; CASTRO, S.S. & COOPER, M. Pedogênese em uma seqüência Latossolo-Podzólico na borda de um platô de depressão periférica paulista. R. Bras. Ci. Solo, 23:909-921, 1999.
- VOLKOFF, B.; MELFI, A.J. & CERRI, C.C. Solos Podzólicos e Cambissólicos Eutróficos do Alto Purus (Estado do Acre). R. Bras. Ci. Solo, 13:363-372, 1989.
- YOEMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal, 19:1467-1476, 1988.