



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Brasil

SANTOS, M. C.; SILVA, M. S. L.; ALMEIDA, B. G.; KLAMT, E.; CAVALCANTI, A. C.  
CARACTERIZAÇÃO MICROMORFOLÓGICA E CONSIDERAÇÕES SOBRE A GÊNESE DE SOLOS  
DE TABULEIRO DO SEMI-ÁRIDO DO BRASIL

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 26, núm. 4, 2002, pp. 1031-1046

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218306022>

- 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

# SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

## CARACTERIZAÇÃO MICROMORFOLÓGICA E CONSIDERAÇÕES SOBRE A GÊNESE DE SOLOS DE TABULEIRO DO SEMI-ÁRIDO DO BRASIL<sup>(1)</sup>

M. C. SANTOS<sup>(2)</sup>, M. S. L. SILVA<sup>(3)</sup>, B. G. ALMEIDA<sup>(4)</sup>,  
E. KLAMT<sup>(5)</sup> & A. C. CAVALCANTI<sup>(6)</sup>

### RESUMO

Detalhadas investigações macro e, especialmente, micromorfológicas foram realizadas em dois perfis de Argissolo Amarelo e um de Planossolo de uma superfície geomorfológica tabular, pertencente aos Tabuleiros Sertanejos (Interioranos) na bacia hidrográfica do médio São Francisco em Petrolina, Pernambuco. O objetivo do estudo foi caracterizar micromorfológicamente os solos, procurando fornecer subsídios para o entendimento da pedogênese, como uma forma de entender a diversidade dos solos na paisagem. Os resultados indicam que os três perfis foram derivados de sedimentos pós-cretáceos, em intensa mistura com resíduos de rochas cristalinas do Pré-Cambriano, provavelmente, ainda, influenciados por materiais de antigos terraços fluviais do rio São Francisco. As diferenciações entre os três perfis estão relacionadas com a heterogeneidade resultante da mistura desses materiais de origem, mas, principalmente, com o posicionamento dos solos no relevo, gerando condições diferenciadas de drenagem. Concreções de ferro herdadas do material de origem, sofreram degradações e se transformaram em mosqueamentos plínticos, e, posteriormente, foram dissipadas no solo, eluviação/iluviação, ou perdas do sistema, parece ser um dos processos envolvidos na pedogênese.

**Termos de indexação:** Argissolo Amarelo, Planossolo nátrico, micromorfologia, concreções de ferro, pedogênese, adensamento.

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em abril de 2001 e aprovado em março de 2002.

<sup>(2)</sup> Professor Adjunto, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900 Recife (PE). E-mail: mauromac@truenet.com.br

<sup>(3)</sup> Pesquisadora da Embrapa Semi-árido. Caixa Postal 23, CEP 56300-970 Petrolina (PE).

<sup>(4)</sup> Químico Industrial. Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE. E-mail: brivaldo.ufrpe@bol.com.br

<sup>(5)</sup> Professor Colaborador, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). E-mail: eklant@terra.com.br

<sup>(6)</sup> Engenheiro-Agrônomo, Técnico da Agência Nacional de Águas – ANA. SPS, Área 5, Quadra 3 Bloco L, CEP 70610-200. Brasília (DF). E-mail: acabral@ana.gov.br

**SUMMARY:** *MICROMORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION AND INFERENCES ON THE GENESIS OF SEMI-ARID BRAZILIAN SOILS*

*A detailed macro- and micromorphological investigation was carried out in two Ultisol (Argissolo Amarelo) and one Aridisol (Planossolo Nátrico) profile from a tableland surface of the San Francisco river basin in Petrolina, Pernambuco State, Northeastern Brazil. The study aimed to characterize the soils micromorphologically, evaluating their pedogenesis to help understand the soil diversity in the landscape. Results indicate that the three soils were developed from Post-Cretaceous sediments mixed with Pre-Cambrian crystalline rock weathered materials and, also, most probably, with materials from old alluvial terraces of the San Francisco river. The differences among the three profiles were caused by a certain heterogeneity of the parent material but, mainly, due to the soil position in the relief that entailed differences in internal drainage. There occurs a pedogenetic process of iron concretion degradation, inherited from the parent material, to plinthitic mottles, which were, eventually, dissipated in the soil matrix, causing losses from the soil system.*

*Index terms: yellow argisol, natric planosol, soil micromorphology, iron concretion, pedogenesis, hard-setting soils.*

## INTRODUÇÃO

A região do vale do São Francisco tem-se constituído na principal área de instalação de grandes projetos agrícolas irrigados no semi-árido brasileiro, especialmente aqueles voltados para a exportação de frutícolas. A cidade de Petrolina, situada no vale do médio São Francisco, concentra, nos dias atuais, a maior parte das atividades ligadas aos negócios agrícolas envolvidos com irrigação, tendo, recentemente, ampliado as pistas do seu aeroporto e inaugurado um terminal de armazenamento para exportação de produtos agrícolas. Além do próprio município de Petrolina, outros vizinhos, como os de Santa Maria da Boa Vista e Lagoa Grande, em Pernambuco, e Juazeiro, na Bahia, concentram a maior parte dos projetos da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF).

Os solos preferencialmente utilizados para agricultura irrigada na região, especialmente no lado de Pernambuco, têm sido aqueles relacionados com os sedimentos atribuídos à área pedimentar (pleistoceno-plioceno), ou pedimentos, que recobrem o embasamento cristalino Pré-Cambriano (Santos et al., 1991). A partir destes pedimentos, são desenvolvidos Latossolos, Argissolos (Amarelos e Vermelho-Amarelos) e Neossolos (quartzarênicos), sob condições de boa drenagem, além de Planossolos (háplicos e nátricos) em posições do relevo que acarretam má drenagem interna (Jacomine et al., 1973; CODEVASF, 1976).

Dentre estas classes, os Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos têm sido apontados como os mais

utilizados com irrigação na região (CODEVASF, 1976; Dantas et al., 1998). Esses solos ocorrem em condições topográficas aplanadas, sendo bem desenvolvidos, profundos a muito profundos, bem a imperfeitamente drenados, normalmente ácidos e apresentam um horizonte A sobre um E e, ou, B textural, com atividade de argila baixa. Podem ser eutróficos, distróficos ou álicos, mas sempre apresentam baixa fertilidade natural em decorrência dos baixos valores da soma de bases trocáveis. Estes solos variam bastante em suas classes texturais, ocorrendo desde os muito arenosos, em superfície, até os argilosos. Alguns com textura arenosa/média têm sido caracterizados macro e micromorfologicamente, havendo sempre a indicação de que são derivados da cobertura pedimentar já referida (Jacomine et al., 1973; CODEVASF, 1976; Ribeiro et al., 1991; Santos et al., 1991; Dantas et al., 1998).

Verifica-se que, para outros Argissolos e Planossolos da região, com textura arenosa/argilosa ou média/argilosa menos pesquisados, não há grande segurança quanto aos materiais de origem. Têm sido citados nos levantamentos (Jacomine et al., 1973; CODEVASF, 1976) ou intensamente discutidos em eventos (EMBRAPA, 1998) se são derivados de pedimentos com influência ou não de rochas do embasamento cristalino, de materiais de ambas as fontes retrabalhados, de colúvios, ou, ainda, de materiais resultantes dos ciclos de erosão, transporte a curta distância e deposição, típicos do regime pluviométrico torrencial do semi-árido brasileiro.

Questionam-se, ainda, a dinâmica de formação e a evolução destes solos na paisagem. Características

como a presença de mosqueamentos, concreções, cimentações, eluviação/iluviação de argilas, compactação e, ou, adensamentos têm sido associadas a processos que, em alguns casos, parecem já extintos e, em outros, ainda ativos, ou caminhando em direções indefinidas.

Este trabalho procurou caracterizar macro e micromorfológicamente três perfis de solos no município de Petrolina, estado de Pernambuco, sendo dois Argissolos e um Planossolo nátrico, com o objetivo de fornecer subsídios para melhor entender a natureza de seus materiais de origem e dos processos envolvidos na sua pedogênese.

## MATERIAL E MÉTODOS

Três perfis de solos foram coletados, sendo dois (perfis 1 e 2) na Estação Experimental de Manejo da Caatinga (CPATSA/Embrapa Semi-Árido) e um (perfil 3) em área contígua, pertencente ao Serviço de Produção de Sementes Básicas (EMBRAPA/SPSB), município de Petrolina, estado de Pernambuco (Figura 1). Os pontos amostrados, em uma seqüência topográfica, foram selecionados de acordo com a variabilidade dos solos resultante de seus posicionamentos no relevo, como constatado em Burgos & Cavalcanti (1990) e Cavalcanti et al. (1999).

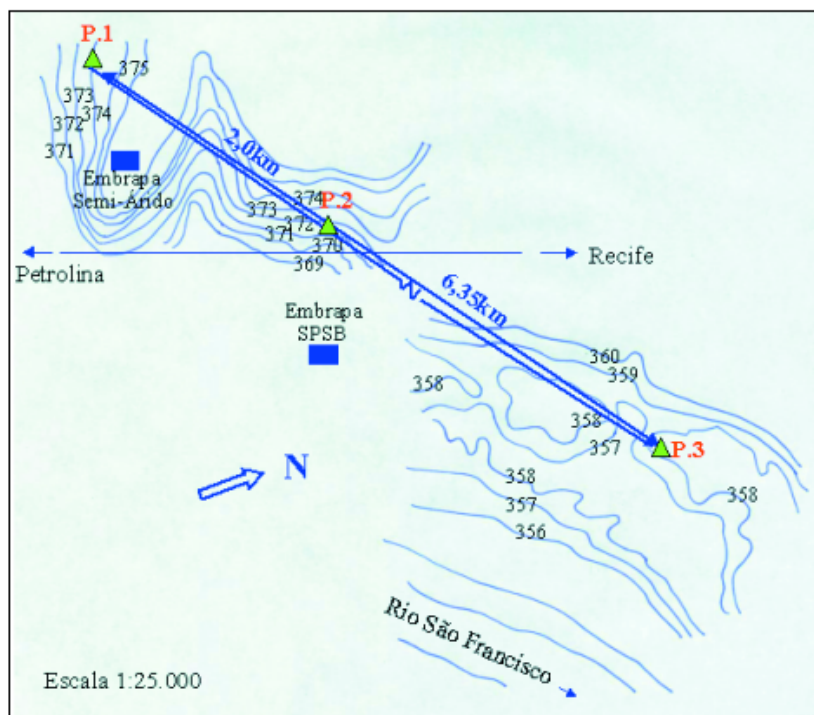
Estão ao longo da BR 428, distando aproximadamente 45 km da sede municipal de Petrolina e 700 km de Recife (Figura 2). Fica situado no semi-árido brasileiro, na mesorregião do São Francisco Pernambucano (046) e microrregião de Petrolina (180), de acordo com o IBGE (1991). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Bsw<sup>h</sup>, muito quente e semi-árido, com a estação chuvosa no verão e elevada evaporação. A temperatura média anual fica em torno de 26 °C, e a precipitação pluviométrica, próxima de 400 mm anuais, é irregularmente distribuída, caracterizando uma semi-aridez bem acentuada (Jacomine et al., 1973; CODEVASE, 1976).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), os solos foram assim classificados:

- Perfil 1 - Argissolo Amarelo eutrófico abrupto plântico A moderado textura arenosa/argilosa fase caatinga hiperxerófila relevo plano.
- Perfil 2 - Argissolo Amarelo eutrófico plântico A moderado textura arenosa/argilosa fase caatinga hiperxerófila relevo plano.
- Perfil 3 - Planossolo Nátricos sálico típico A fraco textura arenosa/média fase caatinga hiperxerófila relevo plano.



**Figura 1. Região Nordeste do Brasil, incluindo o local de estudo no semi-árido do estado de Pernambuco.**



**Figura 2.** Situação planialtimétrica da área estudada e distribuição espacial dos perfis.

Estudos mais detalhados de propriedades físicas, químicas e mineralógicas destes solos encontram-se em Silva (2000).

Amostras indeformadas foram coletadas em caixas de Kubiena, com dimensões de 10,0 x 6,5 x 5,0 cm, secas em estufa e impregnadas, sob vácuo, com resina de poliéster e contraste ultravioleta, seguindo, de maneira geral, o método sugerido por Jongerius & Heintzberger (1975). Foi utilizado o sistema automático PM2A da Logitech para desbastes dos blocos na confecção das lâminas. As análises micromorfológicas foram efetuadas em microscópio petrográfico Zeiss. Nas descrições, foram adotadas as terminologias propostas por Stoops & Jongerius (1975), Brewer (1976) e Bullock et al. (1985), com tradução de alguns termos para o português, segundo Lima et al. (1985), Stoops (1986) e Santos et al. (1991). A quantificação de argilas de iluviação, mosqueamentos, concreções e calcita foi realizada pelo método de contagem de pontos, descrito por Eswaran (1968) e Brewer (1976), tendo sido observado um total de 3.520 pontos em cada lâmina. As fotomicrografias das lâminas delgadas foram obtidas com uma câmara Zeiss MC 63A, acoplada ao microscópio petrográfico. As abreviaturas XPL e PPL, constantes nas legendas das fotomicrografias, significam, respectivamente, nicóis cruzados (polarizador e analisador inseridos) e luz polarizada em um plano (apenas com o polarizador).

Para avaliar a quantificação da porosidade, pelo método da análise de imagens digitais, os blocos de solo impregnados foram iluminados com luz ultravioleta e fotografados. As fotos foram digitalizadas com "scanner" Apple Color OneScanner 600/27 e analisadas em computador Macintosh modelo Power PC 5500/250, com o programa de domínio público "NIH Image", desenvolvido pelos Institutos Nacionais de Saúde dos Estados Unidos ("US National Institutes of Health").

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Características macromorfológicas

Os três perfis não se diferenciam substancialmente quanto às suas características macromorfológicas (Quadro 1). Em termos de profundidade, são, em geral, profundos, podendo ser muito profundos, especialmente quando há descontinuidade ou ausência da camada de micaxistos alterados, como observado nas trincheiras e em outros pontos da área. Embora os dois Argissolos sejam considerados amarelos, o perfil 1 é mais avermelhado que o perfil 2. O perfil 3, situado em área rebaixada com problemas de drenagem, já exibe coloração, indicando processos de redução nos horizontes mais profundos. São todos solos com textura arenosa nos



horizontes superficiais, passando a média ou argilosa nos horizontes B, o que resulta em fortes incrementos de argila (gradiente textural) nos três perfis.

Percebem-se, diferenças marcantes quanto às frações grosseiras. O perfil 1 é bastante cascalhento, sendo estes cascalhos constituídos especialmente por nódulos concrecionários de ferro (Figura 3). O perfil 2 exibe horizonte com grande quantidade de cascalhos e calhaus, especialmente de quartzo, entremeados por nódulos concrecionários de ferro (Figura 4). Estas frações grosseiras estão descritas, de forma mais completa, no item micromorfologia. O Planossolo nátrico praticamente não apresenta frações grosseiras.

De maneira geral, os solos mostram estruturação fraca, diferindo, no entanto, quanto à classe: de blocos angulares e subangulares, nos Argissolos, e colunar, no Planossolo nátrico.

De forma similar à estrutura, verifica-se que a consistência dos Argissolos varia de dura a muito dura, quando secos; muito friável, friável e firme,

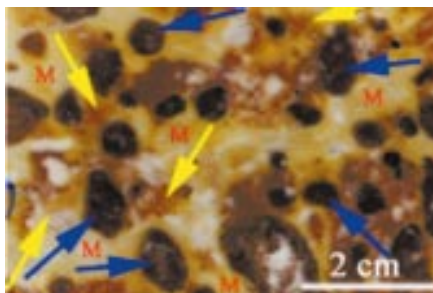
quando úmidos; ligeiramente plástica e plástica e ligeiramente pegajosa e pegajosa, quando molhados. As transições são variáveis entre clara e gradual, predominantemente onduladas, mas envolvendo os horizontes com concentrações de frações grosseiras sempre abruptas. Exibe, também, transições abruptas o horizonte E do Planossolo nátrico.

A comparação entre as características macromorfológicas dos três perfis reflete, em parte, seus posicionamentos no relevo, o que demonstra as diferentes condições de drenagem interna dos solos. Neste caso, as cores mais avermelhadas no perfil 1, situado na parte mais elevada; mais amareladas, no perfil 2 da parte intermediária, e acinzentadas, no perfil 3 da baixada, claramente refletem condições diferenciadas de drenagem. As divergências na quantificação e composição das frações grosseiras, transições abruptas entre os horizontes que as contêm e a descontinuidade das camadas constituídas por micaxisto semi-intemperizado, evidenciam a intensa mistura nos materiais constitutivos que deram origem aos solos.

### Quadro 1. Caracterização macromorfológica

Horizonte	Profundidade	Cor com amostra úmida Munsell <sup>(1)</sup>	Textura <sup>(2)</sup>	Estrutura <sup>(3)</sup>	Consistência <sup>(4)</sup>			Transição <sup>(5)</sup>
					Seco	Úmido	Molhado	
m								
Perfil 1 – Argissolo Amarelo eutrófico								
A	0,00-0,15	7,5YR 4/4	fr.arenosa	grs.sm.e fr.pq.gr.bl.sub	d.	mfr.	npl.npeg.	cl. e pl.
BA	0,15-0,32	7,5YR 4/4	fr.arg.arenosa	fr.md.pq.m.bl.sub	d.md.	fr.	lig.pl.lig.peg	cl. e pl.
Bt1	0,32-0,60	7,5YR 5/5, mq.p.pq.d.2,5YR 3/6	fr.arg.arenosa	fr.md.m.bl.sub.	md.	fr. e fm.	pl.peg.	cl.e ond.
Bt2	0,60-0,82	7,5YR 5/6,mq.c.m.d. 2,5YR 3/6	arg.arenosa.casc.	fr.md.m.bl.sub.	md.	mfm.	pl.peg.	abt. e ond.
Btf1	0,82-1,30	7,5YR 5/6,mq.ab.gr.pr. 10YR 3/6 & 2,5YR 4/4	arg.mcasc.	fr.md.m.bl.sub.	md.	fm.	pl.peg.	abt. e ond.
Btf2	1,30-1,50	10YR 5/6,mq.ab.gr.pr. 7,5YR 5/6 & 2,5YR 3/6	arg.mcasc.	fr.m.bl.sub.	md.	fm.	pl.peg.	abt. e ond.
C/R	1,50-2,00+	micaxisto semi-intemperizado						
Perfil 2 – Argissolo Amarelo eutrófico								
A	0,00-0,18	10YR 4/3	fr.arenosa	fr.pq.m.bl.sub.	m.	m.fr.	npl.lig.peg.	cl. e ond.
BA	0,18-0,28	10YR 4/5	fr.arenosa	fr.pq.m.bl.sub.	d.	fr.	lig.pl.lig.peg.	cl. e ond.
Bt1	0,28-0,45	10YR 4,5/6	fr.arenosa	fr.pq.m.bl.sub.	d.	fr.	lig.pl.lig.peg.	gr. e ond.
Bt2	0,45-0,65	10YR 4,5/6,mq.pq. e m.pr. 2,5YR 4/6	fr.arg.arenosa	fr.pq.m.bl.sub.	d.	fr.	pl.peg	cl. e ond.
Btf	0,65-1,05	10YR 4,5/6,mq.ab.pq. e m.pr. 2,5YR 4/6	fr.arg.	md.pq.m.bl.ang.	d.	fr.fm.	pl.peg	abt. e ond.
Bt3	1,05-1,20	10YR 4/6,mq.c.pq.e.m.df. 10YR 4/3	arg.	md.m.bl.ang.	md.	fm.	pl.peg	abt. e ond.
Bt4	1,20-1,50	10YR 4,5/6,mq.ab.m.pr. 2,5YR 4/6	arg.	md.m.bl.ang.	md.	fm.	mpl.mpeg.	abt. e ond.
Cr	1,50-1,70+	micaxisto semi-intemperizado						
Perfil 3 – Planossolo Nátrico sálico								
A	0,00-0,19	10YR 4/3	fr.arenosa	fr.pq.m.bl.sub & grs.sm.	lig.d.	mfr.	npl.npeg.	dif. e pl.
E	0,19-0,32	9YR 4/4	fr.arenosa	fr.pq.m.bl.sub.	lig.d.	mfr.	npl.npeg.	abt. e ond.
Btzn1	0,32-0,53	10YR 4/5,mq.ab.m.d. 5YR 4/6	fr.arg.arenosa	fr.gr.mtg.c e fr.a md.m.bl.ang.	md.extd.	mfr.	pl.peg.	cl. e ond.
Btzn2	0,53-0,80	10YR 5/6,mq.p.pq.m.d. 10YR 6/2	fr.arg.arenosa	fr.gr.mtg.c e fr.a md.m.bl.ang.	extd.	mfr.	pl.peg.	gr. e ond.
Btzn3	0,80-1,50	10YR 7/2,mq.ab.m.pr. 10YR 5/6	fr.arg.arenosa	fr.gr.mtg.c. e md.m.e gr.bl.ang.	extd.	mfr.	pl.peg.	gr. e ond.
Cn	1,50-1,65+	10YR 5/6,mq.ab.m.pr. 10YR7/2 e mq.c.pq. e m.pr. 5YR 4/5	fr.arg.arenosa	fr.gr.mtg.c. e fr.m.e gr.bl.ang.	extd.	mfr.	pl.peg.	

<sup>(1)</sup> mq. - mosqueado; ab.-abundante; m. - médio; d. - distinto; pr. - proeminente; pq. - pequeno; c. - comum; p. pouco; md.- moderado; gr. - grande; dif. - difuso. <sup>(2)</sup> fr. - franco; arg. - argila; mcas. - muito cascalhento; cas. - cascalhento. <sup>(3)</sup> fr. - fraca; pq. - pequena; m. - média; bl. - blocos; sub. - subangulares; grs. - grãos; sm. - simples; gr. - grande; mtg. - muito grande; c. - colunar; ang. - angulares; ft. - forte; md. - moderada. <sup>(4)</sup> lig. - ligeiramente; d. - dura; mfr. - muito friável; md. - muito dura; extd. - extremamente dura; fm. - firme; mfm. - muito firme; npl. - não plástica; npeg. - não pegajosa; pl. - plástica; peg. - pegajosa; m. - macia. <sup>(5)</sup> dif. - difusa; pl. - plana; abt. - abrupta; ond. - ondulada; gr. - gradual; cl. - clara.



**Figura 3.** Imagem da lâmina correspondente ao horizonte Bt1f do perfil 1. Verifica-se grande quantidade de nódulos concrecionários de ferro (setas azuis) e de manchas plínticas (setas amarelas) na matriz do solo (M).



**Figura 4.** Imagem do bloco impregnado correspondente ao horizonte Bt4 do perfil 2. Verifica-se a grande quantidade de cascalhos e calhaus de quartzo (setas amarelas), arestados ou não, imersos na matriz do solo (M) onde, também, são vistos inúmeros nódulos concrecionários de ferro (setas azuis).

**Quadro 2.** Dados sobre horizontes, profundidades, contagem de pontos, granulometria e porosidades

Horizonte	Prof.	Prof. amostra indef.	Determinação por contagem de ponto				Granulometria			Gradiente textural	Porosidade por:	
			Argilãs	Mosqueado	Concreção	Calcita	Areia	Silte	Argila		Densidade	Análise de imagem
<hr/>												
	—————m—————		—————%—————				—————g kg <sup>-1</sup> —————				—————%—————	
Perfil 1 - Argissolo Amarelo eutrófico												
A	0,00-0,15	0,05-0,15	n/c	n/c	n/c	n/c	726	151	123		44	35
BA	0,15-0,32	s/a	s/a	s/a	s/a	s/a	775	88	137		43	s/a
Bt1	0,32-0,60	0,29-0,39	1,4	0,0	1,8	0,0	619	93	288		37	23
Bt2	0,58-1,10 <sup>+</sup>	0,75-0,85	1,0	19,1	1,1	0,0	506	126	368		35	20
Bt1f		0,95-1,05	3,2	37,7	16,1	0,0	506	126	368	2,5	33	17
Perfil 2 - Argissolo Amarelo eutrófico												
A	0,00-0,18	0,05-0,15	n/c	n/c	n/c	n/c	806	104	90		44	34
AB	0,18-0,28	s/a	s/a	s/a	s/a	s/a	717	205	78		42	s/a
Bt1	0,28-0,45	0,32-0,42	1,7	0,0	0,0	0,0	642	165	193		37	27
Bt2	0,45-0,65	s/a	s/a	s/a	s/a	s/a	624	176	200		32	s/a
Bt1f	0,65-1,05 <sup>+</sup>	0,72-0,82	1,7	15,0	1,0	0,0	432	181	387		30	25
Bt1f		0,99-1,09	3,0	17,0	0,0	0,0	432	181	387		s/a	19
Bt1f	1,10-1,15	1,05-1,20	0,8	6,0	0,0	0,0	427	183	390		28	16
Calhaus <sup>(1)</sup>	1,15 <sup>+</sup>	1,20-1,30	0,2	0,0	7,8	0,0	n/d	n/d	n/d	3,1	25	14
Perfil 3 - Planossolo Nátrico sálico												
A	0,00-0,19	0,02-0,12	n/c	n/c	n/c	n/c	799	107	94		43	- <sup>(2)</sup>
E	0,19-0,32	0,27-0,37	n/c	n/c	n/c	n/c	753	141	106		42	s/a
Btnz1	0,32-0,40	0,27-0,37	1,5	14,0	0,2	0,0	508	201	291		s/a	33
Btnz2	0,40-0,58	0,65-0,75	0,5	3,3	1,0	0,4	603	83	314		32	s/a
Btnz3	0,58-100 <sup>+</sup>	0,86-0,96	0,0	4,3	0,0	6,1	624	86	290		27	32
Btnz3		1,16-1,26	0,0	0,2	0,0	0,2	624	86	290		23	38
	1,40 <sup>+</sup>	1,45-1,55	0,0	22,7	0,0	0,0	n/d	n/d	n/d		s/a	36

s/a: não amostrado para estudos micromorfológicos; n/c: não foi feita contagem por causa da ausência de argilãs. <sup>(2)</sup> Camada constituída por grande quantidade de cascalhos e calhaus de quartzo e concreções de ferro; n/d: não determinado. <sup>(3)</sup> Amostra, com problemas na impregnação, ficou inutilizada para análise de imagens; am. indef.: amostra indeformada para preparação de lâminas delgadas.

### Características micromorfológicas

A micromorfologia dos solos é detalhadamente descrita e discutida a seguir, sendo apresentado um resumo das principais características no quadro 3.

#### Perfil 1

Horizonte A: Apresenta organização geral dos seus componentes matriciais bastante uniforme evidenciando um padrão de distribuição relacionada do tipo quito-enáulica (Stoops & Jongerius, 1975), ou seja, a massa fina (plasma) em parte reveste as frações grosseiras e em parte preenche parcialmente os espaços vazios entre essas frações. As frações grosseiras, constituídas basicamente de quartzo, apresentam formas arestadas e desarestadas, ambas com grau de esfericidade bastante variado. Foram também observados inúmeros grãos de minerais opacos pretos e alguns feixes ou mesmo grãos de biotita em estágio incipiente de intemperização. Poucos fragmentos de plantas foram encontrados em vários graus de decomposição, sem indicadores da presença de microanimais do solo. O plasma tem coloração bruno-escura, tipicamente representando associação com matéria orgânica, apresentando-se opaco mesmo com alta intensidade de luz e com maiores magnificações. Esta característica corresponde à contextura (trama) de birrefringência indiferenciada (Bullock et al., 1985) ou plasma isóptico, segundo Brewer (1976). A porosidade predominante é do tipo empacotamento simples e complexo, mas são comuns os canais e algumas cavidades ("vughs"). Como feição pedológica, destacam-se apenas vários nódulos de ferro vermelhos semi-arredondados com tamanhos variando de 1 a 4 mm com plasma uniforme e grãos de quartzo, na fração areia, similares aos da matriz do solo.

**Horizonte Bt1:** Neste horizonte, a argila (36 %) forma um plasma amarelo-avermelhado uniformemente distribuído, onde estão embebidas as frações grosseiras. Esta organização matricial corresponde à contextura (trama) porfírica, segundo Stoops & Jongerius (1975). A porosidade, principalmente constituída de canais e cavidades, apresenta-se em algumas partes da lâmina com preenchimento não muito espesso de argila iluvial. Esta argila apresenta-se na forma de argilãs de cor amarela e sem laminações aparentes, mas com forte manifestação de anisotropia ótica de forma, constituindo os designados argilãs, ou mais provavelmente caulinitãs, segundo Brewer (1976) (Figura 5a). Vários nódulos de ferro, com dimensões entre 1 e 3 mm, apresentam formas e constituição similares às observadas no horizonte suprajacente. Alguns domínios de argila, pequenos, multidirecionados e com manifestação de anisotropia ótica de forma, são vistos imersos na massa fina (plasma) do solo. Correspondem a formação "*in situ*" de argilas a partir da intemperização de feixes de biotita. Outros feixes de biotita, ou mesmo grãos semi-arestados, são vistos na lâmina com grau de intemperização muito baixo.

**Horizonte Bt2:** Apresenta, de modo geral, características micromorfológicas similares às descritas no horizonte Bt1. Difere, no entanto, pela presença marcante de manchas do mosqueado plíntico que se apresentam como uma forte e densa impregnação da matriz por formas de ferro vermelho-escuros. Nas proximidades dos limites externos destas manchas, há uma nítida perda de densidade e fragmentação da impregnação, muito provavelmente, indicativa de mobilização e movimentação do ferro. Comparando com o horizonte suprajacente, registram-se maior quantidade de domínios de argila, correspondente à intemperização de feixes de biotita, e maior expressão de iluviação de argilas, especialmente em canais dentro das manchas plínticas.

**Horizonte Btf1:** Há grande representatividade das manchas plínticas, como as supramencionadas e descritas no horizonte Bt2, entremeadas, por nódulos concrecionários. Estes nódulos, com formas predominantes arredondadas são bem maiores que os vistos nos horizontes suprajacentes variando de 0,3 a 1,5 cm de diâmetro. As partes mais externas destes nódulos apresentam tons avermelhados, mais claros que nas partes mais internas (Figuras 5b). Os argilãs de iluviação são também bem mais representativos que os da lâmina anterior e, em muitos deles, já se observam laminações típicas de alternância de períodos de iluviação de argila e de ferro (argilãs-ferrãs) (Figura 5c).

#### Perfil 2

**Horizonte A:** A organização dos componentes matriciais é caracterizada por apresentar pouco plasma, de coloração bruno-acinzentada, que se distribui em partes da lâmina como finos revestimentos das frações grosseiras e, em outras partes, como pequenos agregados preenchendo parcialmente os espaços intersticiais. De acordo com Stoops & Jongerius (1975), formam as contexturas (tramas) do tipo quitônica e enáulica, respectivamente. As frações grosseiras apresentam formas arestadas, predominantes, e desarestadas com baixa esfericidade, quase que totalmente compostas de quartzo. Podem ser vistos ainda alguns minerais opacos pretos, prováveis feldspatos (microclina), turmalina e inúmeros filamentos de mica em vários graus de intemperização. Quando intemperizados, estes filamentos de biotita formam feixes de domínios de argila, com manifestação de anisotropia ótica de forma, ocorrendo esparsadamente e de forma multidirecionada na matriz do solo. A porosidade é, principalmente, constituída de poros dos tipos empacotamento simples e complexo, e de alguns canais.

**Horizonte Bt1:** Apresenta como organização matricial as frações grosseiras totalmente embebidas na massa fina (plasma) uniforme, de coloração amarelo-brunada, o que caracteriza nitidamente a



**Quadro 3. Resumo das descrições micromorfológicas**

Hor.	Contextura matricial	Fundo matricial			Porosidade	Feição pedológica				
		Fração grosseira inorgânica	Fração grosseira orgânica	Fração fina		Texturais	De depleção	Cristalina	Amorfa e cripto-cristalina	De excremento
Perfil 1 - Argissolo Amarelo eutrófico										
A	quito-enáulica	grãos arestados e desarestados de quartzo, com esfericidade variável. Opacos pretos e feixes e grãos de biotita	fragmentos de plantas em variados graus de decomposição	cor Bruno escura devido associação com matéria orgânica. Contextura-b indiferenciada	empacotamento simples e complexo; alguns canais e poucas cavidades	ausentes	ausentes	ausentes	nódulos de ferro vermelhos típicos entre 1 a 4 mm de diâmetro	ausentes
Bt1	porfírica	como acima	como acima	como acima mas com cor mais clara. Domínios de argilas formadas pela intemperização de biotitas	canais e cavidades	preenchimento de canais por argila iluvial, límpida, de cor amarela e sem microlaminações (caulinitás)	ausentes	ausentes	nódulos de ferro vermelhos típicos entre 1 a 3 mm	ausentes
Bt2	como acima	como acima	praticamente ausentes	forte impregnação por ferro vermelho escuro correspondendo às manchas plínticas	como acima	como acima com acentuado aumento da iluviação	ausentes	ausentes	como acima	ausentes
Btf1	como acima	como acima	como acima	como acima mas com acentuado aumento de representatividade	como acima	maior quantidade de iluviação com argila límpida com nítidas laminações crescentiformes do tipo argilâ-ferrás (Brewer, 1976)	ausentes	ausentes	nódulos de ferro maiores que os observados acima (0,3 a 1,5 cm) e com periferia em tons mais claros de vermelho	ausentes
Perfil 2 - Argissolo Amarelo eutrófico										
A	quitônica e enáulica	grãos pred. ar.de quartzo c/baixa esfericidade. Opacos pretos e alguma microclina, turmalina e feixes de biotita	fragmentos de plantas em variados graus de decomposição	cor Bruno escura pela associação com mat. orgânica Contextura-b indiferenciada	empacotamento simples e complexo; alguns canais	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes
Bt1	porfírica	como acima	como acima	cor Bruno amarelada e contextura-b indiferenciada	cavidades interconectadas e inúmeros canais	preenchimento de canais e cavidades com argila iluvial, límpida e amarela sem microlaminações (caulinitás)	ausentes	ausentes	nódulos de ferro típico com cor vermelho escuro uniforme (0,1a 0,3 cm de diâmetro)	pelotas fecais de térmitas
Btf	como acima	como acima mas com alguma biótita em avançado grau de intemperização	restos de tecidos decompostos em canais longos e bifurcados. Feições melanóticas	forte impregnação de ferro vermelho escuro correspondendo às manchas plínticas. Argilâs de intemperização	como acima	como acima mas dentro da manchas plínticas os preenchimentos são crescentiformes e microlaminados (Caulinitás/He-matás)	ausentes	ausentes	como acima mas com alguns nódulos mostrando fragmentação e dissolução	ausentes

Continua...

Quadro 3. Continuação

Hor.	Contextura matricial	Fundo matricial			Porosidade	Feição pedológica				
		Fração grosseira inorgânica	Fração grosseira orgânica	Fração fina		Texturais	De depleção	Cristalina	Amorfa e cripto-cristalina	De excremento
Bt3	como acima	como acima mas com maior expressão da intemperização das biotitas	raízes em decomposição	bruno amarelada com contextura-b indiferenciada	como acima	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes	pelotas fecais de térmitas
Bt4	como acima	muitos casc.e calhaus de quartzo angulosos e alongados. Feixes de biotita em decomposição	ausentes	cor bruno-amarelada, contextura-b indiferenciada com domínios esparsos de argila formadas por intemperização de biotitas	como acima	ausentes	ausentes	ausentes	grande quantidade de nódulos de ferro (0,2-0,7 cm) típicos intactos ou em início de intemperização	ausentes
A	mista complexa quitto-enáulica	grãos basicamente de quartzo com opacos pretos pequenos e possível presença de micas e turmalina	grande quantidade de raízes em decomposição	bruno acinzentada escura com contextura-b indiferenciada	poros do empacotamento simples e complexo e muitos canais	ausentes	ausentes	ausentes	nódulos de ferro típicos; poucos geódicos; todos vermelho-escuros e bem preservados	pelotas fecais de térmitas
E	como acima	como acima	como acima	como acima	como acima	ausentes	ausentes	ausentes	como acima	como acima
Btzn1	porfirica	como acima	raízes em decomposição com presença de feições melanóticas	bruno amarelada clara com contextura-b indiferenciada. Domínios birrefringentes (argilas de intemperização) e forte impregnação por ferro (manchas plinticas)	cavidades e canais longos e contínuos. Poucas câmaras	grande quantidade de argila iluvial preenchendo cavidades e canais alternando entre caulinitas, hematãs e caulinitas/hematãs (em microlaminações crescentiformes).Preenchimentos iluviais fragmentados (pápulas)	depleções de ferro na matriz do solo ao lado de canais	ausentes	poucos nódulos de ferro típicos e pequenos (cerca de 0,05 mm)	ausentes
Btzn2	como acima	como acima	como acima mas sem as feições melanóticas	bruno amarelada com contextura-b indiferenciada. Muito fraca impregnação por ferro	cavidades e canais	pouca expressão de preenchimentos por argila iluvial	ausentes	ausentes	poucos nódulos de ferro típicos com diâmetro entre 0,3-0,6 cm	ausentes
Btzn3	como acima	como acima	poucas raízes em decomposição	acinzentadas ou raramente bruno amareladas. Partes com contextura-b cristalítica. Eventuais impregnações por ferro	como acima	como acima mas com maior quantidade de iluviação (argilas/ferrãs) nas áreas impregnadas por ferro que correspondem aos mosqueamentos	ausentes	calcita micrítica em volta de cavidades e na matriz do solo	como acima	ausentes

pred.: predominantemente; arest.: arestados.

contextura matricial porfírica de Stoops & Jongerius (1975). As frações grosseiras são similares, em forma, grau de esfericidade e composição às do horizonte suprajacente. Verifica-se, no entanto, maior quantidade de opacos pretos bem como a presença de poucos nódulos de ferro com diâmetros entre 0,1 e 0,3 cm, plasma vermelho-escuro uniforme e presença interna de grãos de areia constituídos de quartzo. A porosidade é bem caracterizada por cavidades interconectadas e inúmeros canais. Muitos destes canais estão ainda preenchidos com pedaços de raízes em vários estádios de decomposição, sendo comum a presença de pelotas fecais de térmitas. Estas cavidades e, especialmente, canais estão preenchidos parcialmente com argila de natureza iluvial, de cor amarela, sem laminações, constituindo, provavelmente, os caulinitas (Brewer, 1976).

**Horizonte Btf:** Apresenta características similares às descritas para a lâmina suprajacente. A diferença mais conspícua diz respeito à presença de manchas plínticas avermelhadas. Estas manchas, de forma similar ao que foi observado no horizonte Btfl do perfil 1, apresentam-se mais densas e com vermelho mais escuro nas suas partes mais internas e que, progressivamente, vão clareando em direção às suas partes mais externas, como que sendo fragmentadas e dissipadas na matriz do solo. Poucos nódulos são bem arredondados, com plasma ferroso vermelho-escuro, e contêm frações grosseiras de quartzo, similares às da matriz do solo. Alguns destes nódulos mostram início de fragmentação e, ou, dissolução em suas periferias, tornando-se simultaneamente mais claros. Dentro das manchas plínticas, observa-se também grande quantidade de canais e cavidades preenchidos, parcial ou totalmente, por argila de natureza iluvial (Figura 5d). Estes preenchimentos, argilãs, diferem dos da matriz do solo, fora dos mosqueados plínticos, por se apresentarem crescentiformes e com nítidas laminações. Estas laminações exibem cores amarelas e vermelhas (sangüíneas), tipicamente o que Brewer (1976) designa por argilãs-ferrãs ou, mais especificamente ainda, caulinitas-hematãs. Estes argilãs-ferrãs são também cerca de três a quatro vezes mais espessos do que os observados na matriz do solo fora das manchas plínticas. Verificam-se também canais longos e bifurcados, preenchidos com restos de raízes decompostas e com coloração preta, muito provavelmente correspondendo ao que Bal (1973) designa por feições melanóticas. Essas feições são atribuídas à decomposição de resíduos orgânicos vegetais por fungos.

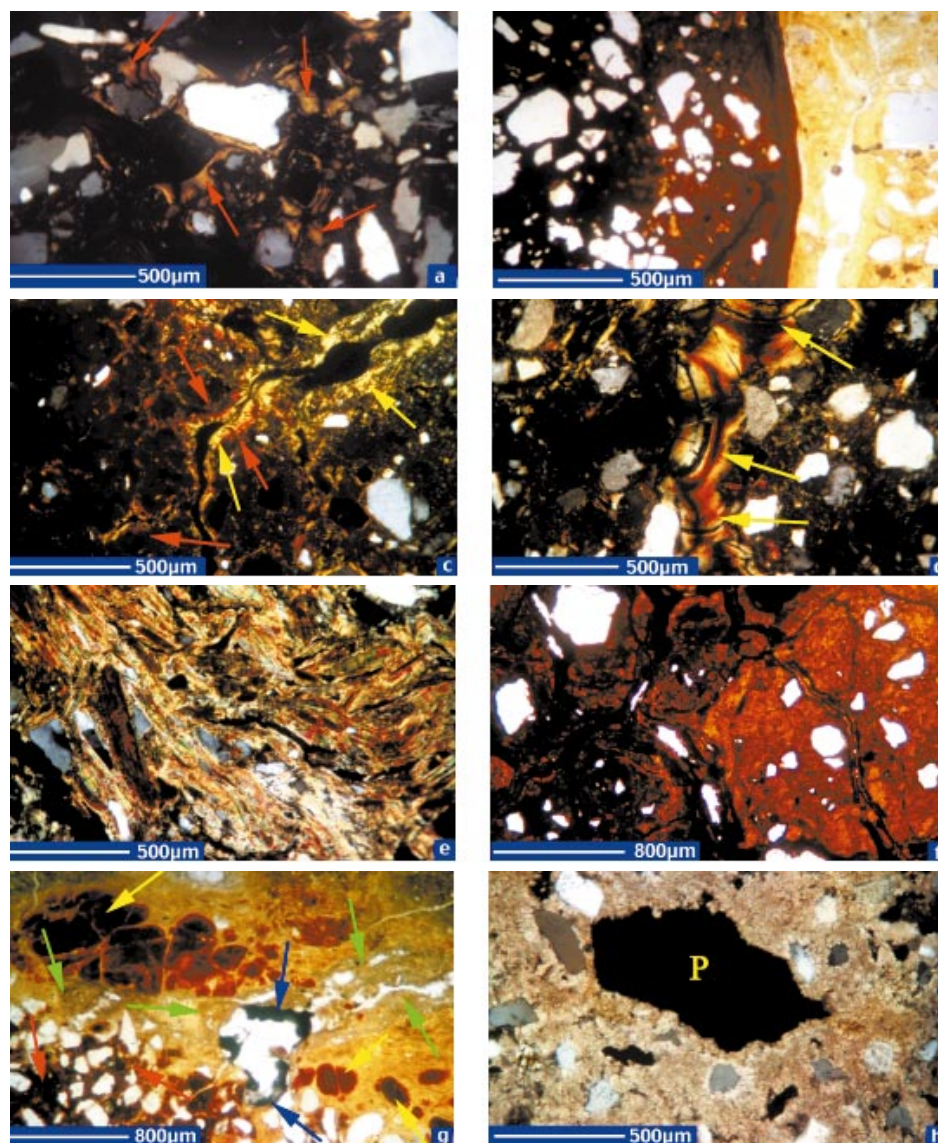
**Horizonte Bt3:** Observa-se grande quantidade de biotita em vários graus de intemperização, sempre entremeada por frações grosseiras constituídas de quartzo. Além dos dois minerais, foi apenas observada a presença de opacos pretos, com tamanhos correspondentes aos da fração areia, com distribuição esparsa. Em muitos trechos da lâmina, a biotita esfoliada aparece contorcida, possivelmente

pelo efeito do estresse causado por expansões e contrações da massa do solo (Figura 5e). Neste horizonte, inexistem qualquer vestígio de iluviação de argila. É interessante registrar nessa profundidade a presença de restos de raízes em decomposição com presença de pelotas fecais de térmitas por entre as esfoliações da biotita.

**Horizonte Bt4:** Caracterizado pela presença de grande quantidade de frações grosseira de cascalhos, calhaus e concreções de ferro. Verifica-se que muitas destas frações de cascalho e, especialmente de calhaus, são puramente constituídas de quartzo policristalino, com extinção reta a ligeiramente ondulosa, bastante característica de sua origem metamórfica. Por entre estas frações mais grosseiras de calhaus de quartzo destaca-se enorme quantidade de nódulos concrecionários de ferro, arredondados ou alongados, com dimensões entre 0,2 e 0,7 cm. Quase todos os nódulos apresentam um plasma interno vermelho-escuro e frações grosseiras, na granulometria da areia, constituídas de quartzo. Embora a maioria destes nódulos apresente um plasma progressivamente mais claro em direção às suas partes mais externas (Figura 5f), esta tendência não se manifesta internamente em alguns deles. Foram constatados, também, nódulos com a periferia, ou apenas parte desta, exibindo microlaminações com faixas paralelas em alternância de vermelho mais claro e mais escuro. Toda esta mistura, de cascalhos, calhaus de quartzo e nódulos concrecionários de ferro, está embebida em um plasma bruno-amarelado, formando uma contextura matricial porfírica (Stoops & Jongerius, 1975). Neste plasma, apenas se destacam domínios de argila com manifestação de anisotropia ótica de forma, com morfologia alongada como pequenos filamentos, certamente correspondendo à produção "*in situ*" de argilas, pela esfoliação e intemperização de feixes de biotita, como já observado em horizontes suprajacentes.

### Perfil 3

**Horizonte A:** Mostra, de maneira geral, uma organização matricial similar às observadas nos horizontes superficiais dos perfis 1 e 2. O que se observa é um plasma com coloração bruno-escuro, distribuído, ora na forma de agregados, preenchendo os espaços intersticiais, ora revestindo total ou parcialmente as frações grosseiras. Identificam-se, desta forma, as contexturas (tramas), quitônica e enáulica, mas, apesar da textura areia-franca, em partes da lâmina uma situação mista claramente se estabelece, definindo o que Stoops & Jongerius (1975) conceituam como contextura mista complexa quito-enáulica. A fração grosseira é constituída basicamente de quartzo, ocorrendo poucos opacos pretos. Alguns grãos parecem constituídos por minerais outros, como a turmalina ou mesmo a muscovita, mas, pelo pequeno tamanho e por sofrido alguma intemperização, a identificação mais precisa



**Figura 5. Fotomicrografias:** (a) Perfil 1, horizonte Bt1. Argila iluvial (setas vermelhas) preenchendo parcialmente poros dos tipos cavidade e canal, com forte manifestação de anisotropia ótica de forma e extinção. (XPL). (b) Perfil 1, horizonte Bt1. Nódulo concrecionário de ferro contendo materiais grosseiros similares aos da matriz do solo. Observa-se o núcleo mais escuro, clareando em direção à periferia. (PPL). (c) Perfil 1, horizonte Bt1. Canal com domínios de argila apresentando intensa manifestação de anisotropia ótica de forma. A presença de pseudomorfos de biotita, liberando ferro (setas vermelhas), nas proximidades e a condição destes revestimentos parecerem situados mais na matriz do solo (setas amarelas) do que como reais revestimentos ou preenchimentos do poro, conduzem à interpretação dos mesmos como argilões de intemperização e não de iluviação. (XPL). (d) Perfil 1, horizonte Bt1. Canal com preenchimento de argila de natureza iluvial. Observam-se microlaminações crescentiformes (setas amarelas), características de alternância entre iluviações de argilas silicatadas e oxídicas, em uma típica disposição argilões/ferrões (Brewer, 1975). (XPL). (e) Perfil 2, horizonte Bt. Biotitas em vários estágios de intemperização. Muitas dessas biotitas apresentam-se deformadas, provavelmente como resultado de atividades de expansão e contração da massa do solo. (XPL). (f) Perfil 2, horizonte Bt4. Forte impregnação de ferro nas áreas de mosqueamento (contendo grãos de areia constituídos de quartzo) com coloração mais clara em direção às suas partes mais externas. (PPL). (g) Perfil 3, horizonte Btnz1. Manchas de mosqueados plínticos. Observam-se dois tipos de manchas: as mais escuras apresentam fragmentação e cores mais claras em direção à periferia e as de coloração vermelho sanguíneo que mais parecem pseudomorfos de biotita. Verifica-se, também, grande canal preenchido com feições melanóticas e materiais matriciais escurecidos, provavelmente por compostos orgânicos liberados pelo ataque de fungos às raízes. (PPL). (h) Perfil 3, horizonte Btnz3. Carbonato de cálcio reprecipitado, na forma de calcita micrítica, impregnando a matriz do solo em volta de um grande poro do tipo cavidade (P). (XPL).



torna-se impossível. Os espaços vazios correspondem predominantemente a poros do empacotamento simples e complexo. Canais também estão presentes, sendo provenientes da intensa atividade biológica. Inúmeros restos de raízes, em diversas etapas de decomposição, ocorrem em toda a lâmina. Quase sempre são observadas, ao lado destes restos de raízes em decomposição, pelotas fecais de animais do solo, especialmente térmitas. Além das pelotas fecais, a única feição pedológica observada foi a presença de poucos e pequenos nódulos concrecionários de ferro com plasma vermelho-escuro, uniformemente distribuído em todo o nódulo, com frações grosseiras de quartzo similares às encontradas na matriz do solo. Alguns destes nódulos apresentam também espaços internos vazios.

**Horizontes E:** Este horizonte tem características micromorfológicas similares às descritas na lâmina anterior para o horizonte A.

**Horizonte Btnz1:** Apesar de as frações grosseiras serem similares, em morfologia e composição, às dos horizontes A e E, estão embebidas em um plasma mais denso e contínuo, com coloração bruno-amarelado-clara. Esta distribuição dos constituintes matriciais corresponde à contextura porfírica de Stoops & Jongerius (1975). Os espaços vazios são basicamente poros dos tipos canal e cavidade ("vughs") com raras câmaras. Grande parte destes canais se dispõe de forma contínua com bifurcações, sendo parcialmente preenchidos com restos de raízes decompostas, exibindo caráter isotrópico com cor preta. Provavelmente, estes resíduos enegrecidos, já observados no horizonte Bt2 do perfil2, correspondem às chamadas feições melanóticas de Bal (1973), atribuídas à decomposição da matéria orgânica por fungos.

A feição pedológica mais marcante nesta parte da lâmina é a presença de grande quantidade de argila iluvial, expressa na forma de preenchimentos típicos de canais e cavidades, segundo interpretação de Bullock et al. (1985), ou argilãs de canal e cavidades, pela terminologia de Brewer (1976). Estes preenchimentos ou argilãs são bastante variáveis, sendo sempre microlaminados e crescentiformes, mas alternando a seqüência, espessura e coloração destas microlaminações. Desta forma, ocorrem não só os amarelos, provavelmente compostos de caulinita (caulinitas), mas também os vermelhos sangüíneos de hematitas (hematãs), ou ainda alternância entre caulinita e hematita (caulinitas-hematãs). As manchas do mosqueamento plântico apresentam-se complexas, quando comparadas com as descritas nos outros solos. Em alguns trechos da lâmina, percebem-se nitidamente pseudomorfs de biotita, de coloração vermelha sangüínea, e ausência de frações grosseiras de quartzo internamente (Figura 5g). Outras manchas exibem o vermelho mais escuro no centro e mais amarelado na periferia,

como observado predominantemente nos outros perfis, havendo ainda áreas com intensa mistura dos dois tipos.

Inúmeros domínios de argila com intensa manifestação de anisotropia ótica de forma são vistos, especialmente dentro das manchas plínticas. São variáveis em morfologia, sendo contínuos e longos, curtos e fragmentados e multidirecionados. Estes domínios não correspondem à iluviação de argila, mas constituem o que Mermut & Pape (1971) chamam de argilãs de intemperização, sendo, neste caso, produtos da alteração de biotitas com intensa liberação de ferro. Em muitas áreas da lâmina, há uma nítida mistura destes domínios de argila, quer sejam provenientes de iluviação, quer por intemperização, formando como que "pápulas", mas, neste caso, representando a ação da massa do solo por movimentos de expansão e contração. Observa-se a quase inexistência de nódulos concrecionários de ferro, sendo apenas constatados, poucos e muito pequenos, com cerca de 0,05 mm de diâmetro, do tipo típico de Bullock et al. (1985), ou seja, com plasma interno uniforme e sem inclusão de frações grosseiras ou espaços vazios.

Característica bastante interessante é a observada na matriz do solo, em áreas em volta dos poros do tipo canal (Figura 5g). Estas áreas têm coloração mais esmaecida (acinzentada) e, por vezes, com nuances de coloração mais escura. Estas características parecem claramente indicar que, em volta destes canais, ao mesmo tempo em que há perda de compostos de ferro (lixiviação), há invasão de compostos orgânicos resultantes da decomposição de raízes. Observam-se, ainda, em muitos destes canais, restos de raízes e as feições melanóticas anteriormente mencionadas.

**Horizonte Btnz2:** De maneira geral, apresenta-se bastante uniforme, com um padrão de distribuição relacionada dos seus constituintes matriciais do tipo porfírica, similar ao do horizonte Btnz1. Difere deste, no entanto, por apresentar menos áreas com mosqueamentos e, quando ocorrem, são impregnações apenas ligeiramente mais avermelhadas do que o plasma matricial de cor bruno-amarelada, provavelmente representando um estágio já avançado de dissipação dos mosqueados plínticos dos horizontes subjacentes. Também não há muitas evidências de argila iluvial. Os inúmeros poros dos tipos canal e cavidade não são preenchidos com argila iluvial, mas apenas apresentam hipo-revestimentos que mais sugerem serem argilãs de intemperização de biotitas. Pequenos feixes de biotita, quase que intactos, podem ser vistos esparsados e multidirecionados, em várias partes da lâmina. Apenas dois nódulos concrecionários de ferro, com 0,3 e 0,6 cm de diâmetro, aparecem na lâmina. São alongados, com plasma vermelho-escuro, e englobam inúmeros grãos de quartzo, similares aos da matriz do solo. Ainda é considerável o número de raízes em vários graus de decomposição, mas não



mais são observadas as feições melanóticas identificadas no horizonte suprajacente. Também não foram constatadas, nesta lâmina, as áreas lavadas (lixiviadas) em volta dos canais, com invasão e manchamento por matéria orgânica decomposta.

**Horizonte Btnz3:** Este horizonte foi caracterizado por três lâminas, em diferentes profundidades (86 a 96 cm, 116 a 126 cm e 145 a 155 cm), que, de maneira geral, assemelham-se em distribuição, constituição e morfologia das frações grosseiras e textura porfirica. O plasma é, na maior parte das vezes, acinzentado e, em poucas partes, bruno-amarelado. Duas diferenças marcantes foram, no entanto, registradas. Na lâmina correspondente à profundidade entre 86 e 96 cm, foram observadas áreas esparsas com formatos variados e tamanhos aproximados entre 0,1 e 1 cm, de calcita micrítica, formando a típica textura de birrefringência ("b-fabric") cristalítica de Bullock et al. (1985). É intrigante a presença desta calcita no meio da matriz destes solos, uma vez que não há evidências da presença de calcário, ou mesmo de minerais como feldspatos ricos em cálcio. Estas concentrações de calcita ocorrem na matriz do solo com limites bem pronunciados, tanto em volta de cavidades (Figura 5h) quanto impregnando a matriz do solo, aparentemente não associadas a qualquer tipo de porosidade. Esta distribuição esparsa das concentrações de calcita indica que sejam pseudomorfos de algum mineral rico em cálcio e que, se houve dissolução e reprecipitação, o transporte foi feito à curta distância no perfil do solo. Nenhum vestígio destas reprecipitações de cálcio foi observado nas demais lâminas, nos três perfis estudados. Na lâmina que corresponde à profundidade entre 145-155 cm, as áreas mosqueadas são mais evidentes, com as manchas apresentando limites quase tão pronunciados quanto em um nódulo concrecionário, mas sem as formas arredondadas e alongadas típicas dos nódulos. O plasma interno destas manchas é bastante uniforme e vermelho-amarelado. Observam-se internamente inúmeros canais com preenchimento de argila iluvial microlaminada, em uma típica alternância argilã/ferrã, como também uma grande quantidade de grãos de quartzo na granulometria da areia, similares aos da matriz do solo. Fora das manchas plínticas, estas argilãs e, principalmente, ferrãs ocorrem em quantidades bem menos significativas.

### Porosidade calculada por análise de imagem

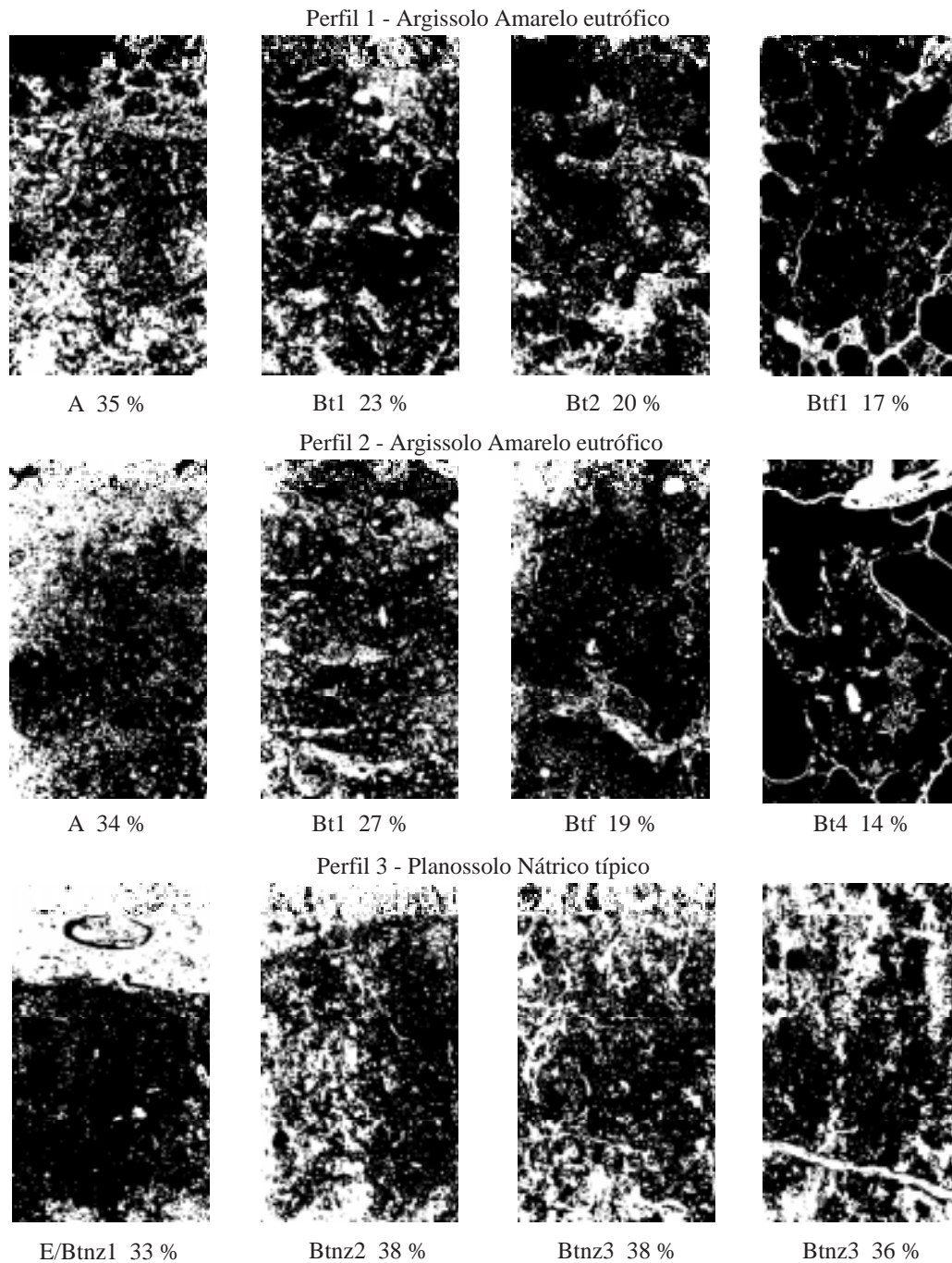
A porosidade calculada, tanto pelas densidades quanto pela análise de imagens (Quadro 2 e Figura 6), indica, para os três perfis, uma progressiva diminuição de poros nos horizontes mais profundos. Os valores da porosidade calculados pelas densidades são sempre maiores do que os calculados pela análise de imagem. Essa condição é quase sempre normal, pelo fato de as imagens rasterizadas detectarem principalmente meso e macroporos,

excluindo grande parte dos microporos. O perfil 3, no entanto, apresenta uma situação inversa, provavelmente, por ser sua estruturação um pouco mais forte do tipo em blocos e colunar, incluir grande parte da porosidade estrutural que não é detectada quando são selecionados torrões para análise da densidade do solo. Verifica-se que a iluviação de argila, determinada pela contagem de pontos dos argilãs de iluviação (Quadro 2), parece responsável pelo adensamento do horizonte Btf do perfil 1 (3 % de argilãs de iluviação e menor porosidade), mas esta tendência não é observada nos outros dois perfis. Nos perfis 2 e 3, as áreas de maior iluviação não são as de menor porosidade que continua decrescendo em profundidade, mesmo com valores inexpressivos de iluviação.

### Interpretações pedogenéticas

O conjunto das descrições e interpretações micromorfológicas leva a algumas conclusões e/ou especulações. No que diz respeito ao material de origem dos solos, verifica-se que algumas características micromorfológicas indicam uniformidade entre os materiais constitutivos dos três perfis. A composição, a forma, o arredondamento, a distribuição das frações grosseiras e a organização matricial destas frações, em relação às frações finas (ou seja, o padrão de distribuição relacionada (textura matricial)) são, em características e seqüenciamento, similares nos três perfis. Algumas tendências evolutivas ao longo dos perfis são também indicativas da uniformidade dos materiais de origem. A concentração de feixes de mica semi-intemperizados, que, embora ocorram em quantidades diferentes nos três perfis, têm a mesma tendência de, progressivamente, diminuir na direção dos horizontes superiores. Os nódulos concrecionários também apresentam diferenças quantitativas, sendo mais numerosos no perfil 1, bem menos no perfil 2 e menos ainda no perfil 3. Estes nódulos, nos perfis 1 e 2, diminuem e exibem maior fragmentação/dissolução na direção dos horizontes superficiais. No perfil 3, ocorrem em muito pequena quantidade, mas podem-se verificar tendências similares.

É interessante observar que os mosqueados plínticos também apresentam essas mesmas tendências de fragmentação/dissolução das suas partes mais externas, especialmente quando observados nos perfis 1 e 2. A conformação e as características do plasma de compostos de ferro, conjugadas a essas tendências, parecem indicar que estes nódulos já estavam presentes no material de origem e que, durante a pedogênese, sofreram fragmentação/dissolução progressiva na direção dos horizontes superiores, transformando-se nas manchas plínticas e, subseqüentemente, dissipando-se na matriz do solo. É possível também especular a hipótese de que tenham sido formados em um estágio inicial, após deposição do material de origem,



**Figura 6. Distribuição do percentual de porosidade (áreas brancas) nos blocos de solo impregnados com resina de poliéster e corante UV, após iluminação com luz ultravioleta.**

provavelmente em um período mais úmido, após o qual começaram a sofrer a fragmentação/dissolução quando expostos ao clima mais seco atual. No perfil 3, com poucos nódulos, os mosqueamentos, no horizonte Btnz1, constituem mistura de alguns similares aos observados nos outros perfis, e alguns que são resultado da liberação de ferro a partir da intemperização de biotitas.

Ainda com relação ao material de origem dos solos, observa-se que, na camada de cascalho e calhaus de quartzo do perfil 2, estes materiais detríticos, especialmente os calhaus, são predominantemente arestados e entremeados por nódulos concrecionários de ferro, similares aos da parte superior do perfil. Por entre estes materiais grosseiros há um plasma onde estão imersos

fragmentos de mica, não havendo evidências de iluviação de argilas. Essas características parecem indicar que a camada representa o embasamento de materiais transportados a curta distância. Parece ter havido uma intensa mistura, proveniente tanto dos sedimentos que caracterizam a grande área pedimentar da região, quanto de alguns produtos do embasamento cristalino subjacente. A presença de calcita reprecipitada em um dos horizontes do perfil 3 e algumas maiores concentrações de micas, intemperizadas ou não, em certas partes dos perfis, como acima da camada de cascalho e calhaus do perfil 2, podem ser tomadas como indícios da intensa mistura a que foram submetidos estes materiais.

É possível ainda que, graças à proximidade da calha do rio, haja influência de materiais provenientes de antigos terraços fluviais. Características de solos nitidamente derivados dos materiais pedimentares são diferentes, como observado por Dantas et al. (1998), em Argissolos Amarelos nas proximidades de Petrolina. Neste caso, os cascalhos e calhaus de quartzo do embasamento são nitidamente rolados, com uma grande quantidade de argilãs de iluviação entre eles, contínuos e aproximadamente paralelos à superfície dos solos. As diferenças entre os três perfis refletem, muito provavelmente, tanto a heterogeneidade típica destes materiais transportados a curta distância quanto as diferenciações impostas pelas condições de drenagem subordinadas ao posicionamento dos solos no relevo.

O perfil 1, em posição mais elevada, é o mais drenado, e o perfil 3, na baixada, o de drenagem mais restrita, ficando em condições de encharcamento por determinado período do ano. No perfil 3, são evidentes, macro e micromorfológicamente, consequências de exposição a condições de redução, como a presença de cores mais claras e acinzentadas por remoção de ferro. Iluviação de argila é um processo ativo nos três perfis sendo mais intensa e mais profunda no perfil 1 onde o Bt<sub>f1</sub> entre 0,95 e 1,05 m de profundidade apresentou 3,2 % de sua áreas de argilãs de iluviação. Segue-se o perfil 2 com 3 % de argilãs de iluviação detectados em parte do horizonte Bt<sub>f</sub> (0,99 a 1,09 m de profundidade). No perfil 3, os argilãs de iluviação são bem menos expressivos atingindo apenas o máximo de 1,5 % entre 0,27 e 0,37 m de profundidade no horizonte Btn<sub>z1</sub>.

Os gradientes texturais verificados nos três perfis (Quadro 2) não estão de acordo com os percentuais de argila iluvial determinados pela contagem dos argilãs de iluviação, especialmente no perfil 3, indicando perdas superficiais de argila possivelmente por degradação ou translocações laterais. Poder-se-ia, também, especular que inicialmente houve intensa iluviação nos horizontes mais profundos do perfil 3, mas as condições alternantes de oxirredução promoveram um processo de ferrólise com destruição dos argilãs de

iluviação. Esta hipótese, embora viável, não parece ser um processo atual ativo nestes solos, uma vez que os argilãs identificados não apresentam características micromorfológicas que denotem ação de destruição pelo processo de ferrólise (Brinkman, 1970). Verificou-se, ainda, que a presença de argilãs de iluviação é sempre predominante nas imediações dos mosqueamentos plínticos, onde há nítida predominância de alternância entre iluviação de argilas caulínicas e oxidicas. Esta condição parece dar suporte à hipótese anteriormente comentada, sobre a dissolução destes mosqueamentos na matriz do solo.

## CONCLUSÕES

1. Os três perfis parecem ser derivados do mesmo material de origem, tratando-se de sedimentos pós-cretáceos transportados a curta distância e caracterizados por intensa mistura com resíduos de rochas cristalinas do Pré-Cambriano do embasamento, provavelmente influenciados por materiais de antigos terraços fluviais do rio São Francisco.

2. As diferenciações macro e micromorfológicas entre os três perfis, resultantes, em parte, da heterogeneidade do processo de mistura dos materiais de origem, refletem, de forma marcante, as condições de drenagem impostas pelo posicionamento dos solos na paisagem.

3. As concreções de ferro nos três solos parecem ter sido herdadas dos materiais de origem. É possível que, durante a pedogênese, tenham sofrido degradações físicas e químicas, que as transformaram em mosqueados, os quais, posteriormente, foram dissipados na massa do solo. As formas de ferro dissipadas foram eluviadas/iluviadas ao longo do perfil, formando ferrãs, ou perdidas com as águas de drenagem.

4. O processo de iluviação de argila ocorre nos três perfis sendo mais expressivo e atingindo maior profundidade no perfil 1 mais drenado, intermediário no perfil 2 e de pouca significação e mais superficial no perfil 3 sob condições restritas de drenagem.

5. A atividade biológica foi intensa, especialmente nos perfis 2 e 3 e na profundidades de quase 1 m, evidenciada pela presença de feições melanóticas e pelotas fecais de fungos e térmitas, respectivamente.

## LITERATURA CITADA

- BAL, L. Micromorphological analysis of soils. Lower levels in the organization of soil organic materials. Netherlands, Soil Survey Institute, 1973.174p. (Soil Survey Paper, 6)
- BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soil. New York, Robert E. Krieger, 1976. 428p.

- BRINKMAN, R. Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process. *Geoderma*, 3:199-206, 1970.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G. & TURSINA, T. Handbook for thin section description. Albrington, Waine Research Publications, 1985. 152p.
- BURGOS, N. & CAVALCANTI, A.C. Levantamento detalhado de solos da área de sequeiro do CEPATSA, Petrolina-PE. Escala 1:7.500. EMBRAPA/SNLCS/CPATSA. 1990. ilust. (3 mapas). EMBRAPA-SNLCS. (Boletim, 38)
- CAVALCANTI, A.C.; ARAÚJO FILHO, J.C.; PARAHYBA, R.B.V.; REIS, R.M.G.; SILVA, M.S.L. & SILVA, F.H.B.B. Levantamento Detalhado de Solos e do potencial de uso das terras do Serviço de Produção de Sementes Básicas-SPSB, Petrolina. Escala 1:5.000. EMBRAPA, CNPS-FRP/NE. Recife, 1999. (Trabalho ainda não publicado)
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO - CODEVASF. Projeto Massangano. Levantamento pedológico detalhado e classificação de terra para irrigação. 1976. v.1. (Trabalho executado pela GEOTÉCNICA S.A)
- DANTAS, J.A.; SANTOS, M.C. & HECK, R.J. Caracterização de Podzólicos Amarelos irrigados e não irrigados do submédio São Francisco. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:761-771, 1998.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVANTAMENTO DE SOLO, 5., Recife, 1998. Guia de Excursão de Estudos de Solos nos Estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Bahia. Recife, 1998. 124p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- ESWARAN, H. Point-count analysis as applied to soil micromorphology. *Pedologie*, 18:238-252, 1968.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Sinopse Preliminar do Censo Demográfico 1991. Rio de Janeiro, 1991.v.6. 191p.
- JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; BURGOS, N. & PESSOA, S.C.P. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife, MA/DNPEA-SUDENE/DRN, 1973. v.1. (Boletim Técnico, 26)
- JONGERIUS, A. & HEINTZBERGER, G. Methods in soil micromorphology. A technique for the preparation of large thin sections. Wageningen, Soil Survey Institute, 1975. 48p. (Soil Survey Papers, 10)
- LIMA, P.C.; CURI, N. & LEPSCH, I.F. Terminologia de micromorfologia do solo. *B. Inf. SBSCS*, 10:33-43, 1985.
- MERMUT, A. & PAPE, Th. Micromorphology of two soils from Turkey, with special reference to in-situ formation of clay cutans. *Geoderma*, 5:271-281, 1971.
- RIBEIRO, M.R.; SANTOS, M.C.D. & FERREIRA, M.G.V.X. Caracterização e gênese de podzólicos vermelho-amarelos do sertão de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:75-81, 1991.
- SANTOS, M.C.; MERMUT, A.R. & RIBEIRO, M.R. Micromorfologia de solos com argila de atividade baixa no sertão de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:83-91, 1991.
- SILVA, M.S.L. Caracterização e gênese de adensamento subsuperficial em solos de tabuleiro do semi-árido do Nordeste do Brasil. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 126p. (Tese de Doutorado)
- STOOPS, G. Multilingual translation of the terminology used in the "handbook for soil thin section description". *Pedologie*, 36:337-347, 1986.
- STOOPS, G. & JONGERIUS, A. Proposal for a micromorphological classification of soils materials I. A classification of related distribution of coarse and fine particles. *Geoderma*, 13:189-200, 1975.