



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbc.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Brasil

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERRAZ, F. B.; FERREIRA, M. G. V. X.; MERMUT, A. R.  
MINERALOGIA, MICROMORFOLOGIA E GÊNESE DE SOLOS PLANOSSÓLICOS DO SERTÃO DO  
ARARIPE, ESTADO DE PERNAMBUCO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 28, núm. 4, julho-agosto, 2004, pp. 665-678

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214040009>

- 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

## MINERALOGIA, MICROMORFOLOGIA E GÊNESE DE SOLOS PLANOSSÓLICOS DO SERTÃO DO ARARIPE, ESTADO DE PERNAMBUCO<sup>(1)</sup>

L. B. OLIVEIRA<sup>(2)</sup>, M. R. RIBEIRO<sup>(3)</sup>, F. B. FERRAZ<sup>(4)</sup>,  
M. G. V. X. FERREIRA<sup>(5)</sup> & A. R. MERMUT<sup>(6)</sup>

### RESUMO

Neste trabalho, objetivou-se realizar a caracterização mineralógica e micromorfológica de solos planossólicos do Sertão do Araripe, estado de Pernambuco, visando proporcionar melhor entendimento de suas propriedades e dos processos envolvidos em sua gênese. Tais solos foram, até então, pouco estudados e se caracterizam pela ocorrência de um horizonte B plânico subjacente a um horizonte B textural, plântico ou não. No município de Ouricuri, foram selecionados três perfis representativos destes solos, classificados como: Plintossolo Argilúvico eutrófico planossólico sódico (perfil 1); Argissolo Amarelo eutrófico planossólico solódico (perfil 2) e Argissolo Amarelo eutrófico plântico planossólico sódico (perfil 3). A mineralogia das frações calhau e cascalho foi determinada macroscopicamente, enquanto a da areia, por lupa binocular. As frações silte e argila foram analisadas por difratometria de raios X. As descrições micromorfológicas foram realizadas em seções delgadas de amostras de horizontes selecionados. A fração areia destes solos é essencialmente composta por quartzo, mas feldspatos e mica também ocorrem a partir do horizonte 2Btbn. O silte é basicamente constituído por quartzo, feldspatos e mica. A argila é composta por caulinita, mica, interestratificados irregulares, esmectita e quartzo, ocorrendo as maiores quantidades de esmectita e interestratificados nos

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Recebido para publicação em maio de 2003 e aprovado em maio de 2004.

<sup>(2)</sup> Pós-Graduando do Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Rua Dom Manuel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-030 Recife (PE). E-mail: lbdeoliveira@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Agronomia, UFRPE. Bolsista do CNPq. E-mail: rosas@truenet.com.br

<sup>(4)</sup> Discente do Curso de Engenharia Agrônoma, UFRPE. Bolsista do CNPq. E-mail: ferrazjr@ruralnet.com.br

<sup>(5)</sup> Professora da Universidade Católica de Pernambuco – UCPE. Rua Taió 201/702, Cordeiro, CEP 50630-790 Recife, (PE). E-mail: mgvxf@terra.com.br

<sup>(6)</sup> Professor da Universidade de Saskatchewan, Saskatoon, Canadá. E-mail: mermut@skayway.usak.ca

**horizontes 2Btbn e 2BCn. O horizonte B plânico (2Btbn) apresenta microestrutura em blocos angulares e expressivos argilãs (de iluviação e intemperização), enquanto o horizonte Bt sobrejacente apresenta microestrutura granular e ausência de qualquer tipo de argilã. A disparidade observada na mineralogia da fração argila e as distintas feições micromorfológicas corroboram a identificação de uma mudança de material de origem entre os horizontes Bt e B plânico dos solos estudados. A posição do horizonte B plânico, que apresenta muitos argilãs de iluviação, e a ausência de características que evidenciem mobilização de argila do Bt precedente revelam uma paleopedogênese para o solo. Estes resultados indicam que os solos foram desenvolvidos em duas etapas. As rochas do embasamento cristalino sofreram uma primeira pedogênese, da qual o marco atual de evidência é a camada de litofragmentos, em sua maioria arestados, que ocorre no topo do B plânico, e que foi, provavelmente, acumulada pela erosão diferencial, formando um pavimento desértico. Posteriormente, os solos foram recobertos por camadas de sedimentos intemperizados, relacionados com a Chapada do Araripe, que se misturaram, em proporções variadas, ao material já edafizado das rochas do embasamento. Estes materiais estão, desde sua deposição, sendo retrabalhados pelos processos pedogenéticos atuais.**

**Termos de indexação: horizonte B plânico; propriedades estagnicas; pedogênese; micromorfologia; descontinuidade litológica.**

**SUMMARY:** *MINERALOGY, MICROMORPHOLOGY AND GENESIS OF SOILS WITH STAGNIC PROPERTIES FROM SERTÃO OF ARARIPE, PERNAMBUCO STATE, BRAZIL*

*The objective of the present study was to characterize the mineralogy and micromorphology of soils with stagnic properties from the micro region of Araripe, in the Sertão Zone of Pernambuco State aiming to improve the understanding of their properties and pedogenic processes. Up to now, these soils have been poorly studied. They are characterized by the presence of a solodic or natric B horizon underlying a normal argic B horizon. Three representative soil profiles were selected in Ouricuri County. According to the World Reference Base for Soil Resources they are classified as: Natric Stagnic Sesquisol (profile 1); Solodic Stagnic Lixisol (profile 2), and Plinthic Stagnic Lixisol (profile 3). The mineralogy of the coarse fractions was determined macroscopically or by using a binocular magnifying lens, while the silt and clay fractions were analyzed by X-ray diffraction. Selected horizons were micromorphologically described based on thin soil sections. The sand fraction of the studied soils is essentially composed by quartz, but feldspars and micas were also detected in the 2Btbn horizons. The silt fraction contains mostly quartz, feldspars and mica. The clay fraction is composed by kaolinite, mica, irregular interstratified minerals, smectite, and quartz. The highest amount of smectites and interstratified clay minerals were observed in the 2Btbn and 2BCn horizons. The solodic or natric B horizons (2Btbn) is characterized by the presence of a blocky microstructure and well developed illuviation and weathering argillans, while the overlying argic B horizon has a granular microstructure and no argillans. The differences observed in the clay mineralogy and micromorphological features between the argic B horizon and the underlying poorly drained solodic or natric B horizon indicate the presence of two parent materials. The position of this Na-rich B horizon, which is high in argillans, and the absence of evidences of clay eluviations from the overlying argic B horizon suggest a paleopedogenesis for this horizon. Results indicate that the soils were developed in two stages. The first pedogenesis occurred on the crystalline rock basement. One of the evidences is the edged stone layer on top of the solodic or natric B horizon, probably formed because of differential erosion, originating a desertic pavement. Afterwards, the soils were covered by layers of highly weathered sediments, related to the Araripe high tableland, which were mixed at varied proportions with the topsoil of the underlying weathered parent material. Both materials have been affected by current pedogenic processes since their deposition.*

*Index terms: natric B horizon; stagnic properties; pedogenesis; micromorphology; lithological discontinuity.*

## INTRODUÇÃO

A ocorrência de solos com horizonte subsuperficial de acentuada concentração de argila em relação ao horizonte superficial pode ser atribuída a diversos processos de formação, não sendo rara a participação de mais de um processo na formação de tais horizontes. Esses processos incluem: (a) formação de argilas no próprio horizonte subsuperficial (formação "in situ" – por neoformação ou por transformação); (b) argiluviação; (c) destruição de argilas dos horizontes sobrejacentes, e (d) remoção preferencial de argilas dos horizontes superficiais (Brinkman, 1970; Brinkman et al., 1973; Chittleborough et al., 1984; Feitjel, 1988; Fanning & Fanning, 1989; Parahyba, 1993; Almeida et al., 1997; Duchaufour, 1998; Soil Survey Staff, 1999; Phillips, 2001). Pode, ainda, contribuir para ocorrência desta feição a participação de diferentes materiais de origem na formação do solo (Bishop et al., 1980).

No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), o horizonte B textural de cores acinzentadas, que se apresenta subjacente a horizonte A ou E, que é precedido por mudança textural abrupta e cuja estrutura é prismática, colunar ou em blocos angulares e subangulares, grandes ou médios, é denominado o horizonte B plânico. Dada sua baixa permeabilidade, este horizonte funciona como um pão de argila e dificulta o movimento de água e a penetração das raízes, sendo responsável pela formação temporária de lençol de água suspenso nos períodos mais chuvosos do ano, bem como pelo estabelecimento de ambiente redutor no seu topo e na base do horizonte precedente (Embrapa, 1999; Oliveira, 2001). A presença de horizonte B plânico a profundidades inferiores a 1,5 m, associada ao ambiente semi-árido do Sertão pernambucano, inviabiliza a utilização dos solos que apresentam este tipo de horizonte com agricultura irrigada (CODEVASF, 1998), não só pela formação do lençol de água suspenso, mas também por agravar os riscos de salinização/sodificação dos solos.

Na área de domínio do Projeto Sertão de Pernambuco, durante a realização de levantamentos semidetalhados e detalhados de solos, foram mapeados solos planossólicos, que se caracterizam pela presença de um horizonte B plânico, subjacente a um horizonte B textural, plintico ou não. Estes solos têm distribuição geográfica expressiva na região, ocupando uma área descontínua de 74.162 ha, que representa 26 % da área total do projeto de irrigação do Sertão de Pernambuco (CODEVASF, 1998).

Esses solos, além das incertezas no que diz respeito à sua classificação, podem representar um marco para interpretações paleoambientais e apresentam peculiaridades em suas propriedades, tais como: mudança abrupta na atividade da fração

argila dentro do perfil, elevados teores de Mg trocável e baixa condutividade hidráulica no horizonte B plânico (Oliveira, 2002).

As particularidades apresentadas por estes solos, associadas ao pequeno número de informações disponíveis sobre eles, motivaram o desenvolvimento deste trabalho, cujo objetivo foi realizar a caracterização mineralógica e micromorfológica de solos planossólicos do Sertão do Araripe, com vistas em subsidiar a interpretação de sua gênese e o melhor entendimento de suas propriedades.

## MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo, três perfis de solos foram selecionados com base nos levantamentos semidetalhados e detalhados de solos do projeto Sertão de Pernambuco (CODEVASF, 1998; 2000). A classificação e as informações sobre algumas propriedades físicas e químicas (Quadro 1) do solo foram retiradas de Oliveira (2002).

De acordo com os mapas produzidos por Caldasso (1967) e Veiga (1968), filito, granito intrusivo e hornblenda-gnaisses são, respectivamente, os tipos de rocha que formam o embasamento nas áreas onde os perfis 1, 2 e 3 foram descritos. Nestas áreas, é comum a presença de uma delgada camada de sedimentos areno-argilosos (0,2-2,0 m), de idade Cenozóica (Caldasso, 1967; Veiga, 1968; CODEVASF, 1998; Gomes, 2001). Estas áreas foram identificadas por Prates et al. (1981) como sendo superfícies pediplanadas incluídas na unidade geomórfica da Depressão Sertaneja.

Na região, predomina o tipo climático BSw<sup>h</sup> da classificação de Köppen, ou seja, clima quente e semi-árido, tipo estepe, com o início da estação chuvosa em janeiro (Jacomine et al., 1973). A temperatura média é de 26 °C, as precipitações pluviais são da ordem de 650 mm anuais e a evapotranspiração potencial apresenta média anual de 1.400 mm. O trimestre mais chuvoso compreende os meses de janeiro a março (SUDENE, 1990; FIAM, 1997).

A vegetação típica da região é a caatinga hiperxerófila arbóreo-arbustiva (Andrade-Lima, 1970; Jacomine et al., 1973). A vegetação primária foi devastada quer em favorecimento de atividades agrícolas, principalmente cultivos de milho, feijão, mandioca e pecuária, quer para utilização da madeira na produção de carvão e lenha, utilizados nos fornos do Pólo Gesseiro do Araripe, delas a atividade de maior poder de devastação (CODEVASF, 1998; 2000).

A mineralogia do calhaus e cascalho foi determinada de acordo com as propriedades macroscópicas, segundo Leinz & Campos (1979), enquanto a das frações: areia, grossa e fina, foi determinada sob lupa binocular, sendo os percentuais aproximados dos seus constituintes minerais obtidos

**Quadro 1. Classificação e características físicas e químicas dos planossólicos estudados**

Horizonte	Profundidade	Argila	Ds <sup>(1)</sup>	CTC <sub>solo</sub>	CTC <sub>arg</sub> <sup>(2)</sup>	PESN <sup>(3)</sup>	PMgT <sup>(4)</sup>	PST <sup>(5)</sup>
	cm	g kg <sup>-1</sup>	t m <sup>-3</sup>	— cmolc kg <sup>-1</sup> —			— % —	
Perfil 1 - Plintossolo Argilúvico eutrófico planossólico sódico								
Ap	0-18	229	1,44	03,9	9,4	2,25	26	01
BA	18-30	342	1,30	04,7	8,7	1,80	17	01
Btf	30-85	565	1,14	06,3	9,4	2,75	35	02
2Btbn	85-110	612	1,96	16,6	27,1	-	75	15
Perfil 2 - Argissolo Amarelo eutrófico planossólico solódico								
Ap	0-15	162	1,81	03,3	12,5	2,25	30	01
Bt	15-53	302	1,61	06,0	17,2	1,75	48	01
2Btbn	53-100	492	1,88	15,1	30,7	-	64	09
2BCn	100-135	372	1,88	21,1	56,7	-	75	10
Perfil 3 - Argissolo Amarelo eutrófico plintico planossólico sódico								
Ap	0-15	175	1,50	03,5	11,2	2,25	37	01
BA	15-33	275	1,40	04,4	11,6	2,50	39	01
Bt	33-60	412	1,66	05,0	10,0	2,25	36	02
Btf	60-90	475	1,68	06,3	12,0	1,50	51	05
2Btbn	90-140	479	1,91	10,5	21,9	-	66	13
2BCn	140-160	422	2,07	13,6	32,2	-	65	16

<sup>(1)</sup> Densidade do solo. <sup>(2)</sup> Capacidade de troca de cátions da fração argila, descontada a contribuição da matéria orgânica, segundo método descrito por Bennema (1966). <sup>(3)</sup> Ponto de Efeito Salino Nulo. <sup>(4)</sup> Percentagem de Magnésio Trocável =  $(Mg^{2+}/CTC) \cdot 100$ .

<sup>(5)</sup> Percentagem de Sódio Trocável =  $(Na^{+}/CTC) \cdot 100$ .

Fonte: Oliveira (2002).

com base na escala proposta por Terry & Chilingar (1955) e o grau de arredondamento de acordo com a escala de Powers (1953). Já a mineralogia do silte e argila foi determinada por difratometria de raios X, em amostras obtidas após pré-tratamentos para eliminação dos agentes cimentantes (carbonatos, matéria orgânica e óxidos de Fe), separadas da fração areia por peneiramento úmido e entre si por decantação, conforme métodos propostos por Jackson (1975).

Feita a separação das frações, subamostras foram saturadas com K<sup>+</sup> e processadas à temperatura ambiente ( $\cong 25^{\circ}C$ ) e após aquecimento por duas horas a  $550^{\circ}C$ . Outros foram saturadas com Mg<sup>2+</sup> e solvatadas com glicerol. Para obter os difratogramas, foi utilizado o difratômetro Rigaku, operando a uma tensão de 40 Kv, com corrente de 20 mA, com radiação de CuK $\alpha$ , filtro de Ni e uma velocidade de registro de 10 mm min<sup>-1</sup>. Os difratogramas foram interpretados de acordo com os espaçamentos basais, comportamento frente aos tratamentos e forma e assimetria dos picos de difração (Grim, 1968; Jackson, 1975; Dixon & Weed, 1989; Moore & Reynolds Jr., 1989).

Para efetuar as análises micromorfológicas, foram coletadas amostras indeformadas de horizontes selecionados, com o auxílio de caixa de Kubiena com dimensões de 10,0 x 6,5 x 5,0 cm. Quando não foi possível a retirada de amostras com o uso das caixas de Kubiena, torrões foram coletados com a mesma finalidade.

As seções delgadas foram confeccionadas de acordo com o método descrito por Jongerius & Heintzberger (1963), com as adaptações descritas a seguir, uma vez que a impregnação não se mostrou totalmente efetiva para os horizontes que apresentaram argila de atividade alta. As amostras, após secas ao ar e em estufa a  $45^{\circ}C$  por oito dias, foram impregnadas com uma mistura de resina de poliéster e estireno (2,2 L de resina + 1,3 L de estireno). A mistura teve a polimerização acelerada pela adição de 0,3 mL de catalisador (peróxido de metil etil cetona) por litro de mistura. Após o tempo de cura (seis semanas), foram seccionadas e reimpregnadas com o mesmo tipo de resina, porém sem a adição de diluente (estireno), e mantidas sob tensão de aproximadamente 100 kPa por 10 min. Passadas 24 h, foram polidas e coladas em lâminas de vidro e, novamente, seccionadas e polidas até espessura ideal para realização das análises micromorfológicas (30  $\mu m$ ).

As seções delgadas foram analisadas em microscópio petrográfico e as descrições feitas conforme critérios e terminologia propostos por Bullock et al. (1985) e, eventualmente, por Brewer (1976). As adaptações dos termos para o português seguiram as recomendações de Lima et al. (1985) e de Stoops (1990), com exceção do termo "fabric" que foi traduzido como contextura, conforme sugerido por Ribeiro et al. (1991) e Santos et al. (1991), em concordância com a tradução do termo recomendada por Stoops (1990) para o Espanhol.

As fotomicrografias foram obtidas por meio de uma câmara fotográfica, acoplada ao microscópio petrográfico, dotada de controle automático de exposição.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Mineralogia

A fração calhau dos solos é formada por fragmentos de rocha, nos quais há predomínio de quartzo com impregnação ferruginosa. Estes fragmentos apresentam-se angulares a subangulares e baixíssima esfericidade (Quadro 2).

O perfil 1 apresenta a fração cascalho composta por fragmentos de rocha, nos quais o quartzo é, também, o mineral predominante, ocorrendo ainda concreções ferruginosas e traços de outros minerais (feldspatos e turmalina). O cascalho apresenta-se de angular a subangular e baixíssima esfericidade.

Nos perfis 2 e 3, a fração cascalho é composta por quartzo, concreções ferruginosas e feldspatos. Os grãos de quartzo nos horizontes Ap, BA e Bt do perfil 2 apresentam maior grau de arredondamento do que nos perfis 1 e 3, o que mostra que o material deste solo foi fisicamente mais trabalhado pelo agente transportador.

A fração areia, grossa e fina, é essencialmente composta por quartzo, ocorrendo quantidades expressivas de feldspatos na areia grossa da base dos perfis 1 e 2 (Quadro 2). Mica está presente na fração areia fina dos horizontes 2Btbn e 2BCn do perfil 2.

A fração silte é basicamente constituída por quartzo, feldspatos e mica (Figuras 1 a 3). O quartzo, identificado pelos picos de 0,43; 0,33; 0,25 e 0,23 nm (Grim, 1968; Jackson, 1975; Moore & Reynolds Jr., 1989), é o mineral predominante nesta fração em todos os horizontes dos solos, mas o aumento da intensidade dos picos dos outros minerais nos horizontes 2Btbn e 2BCn revela menor quantidade deste mineral na secção inferior dos perfis. Como feldspatos e micas, especialmente biotita, em frações maiores do que argila, tendem a ser mais facilmente alteráveis do que o quartzo, espera-se que a quantidade destes seja menor nos horizontes mais superficiais mesmo sem descontinuidade litológica.

Feldspatos foram identificados por picos nas regiões 0,63-0,65 (perfis 2 e 3) e 0,35-0,30 nm (nos três perfis), excluídos os de quartzo (Grim, 1968; Jackson, 1975; Moore & Reynolds Jr., 1989). As diferentes posições dos picos indicam que mais de um tipo de feldspato está presente, mas, aparentemente, predominam os feldspatos potássicos, uma vez que os picos na região de 0,32-0,31 nm estão sempre presentes e, nos horizontes 2BC dos perfis 2 e 3, foi observada a presença de um pico

de 0,66 nm que, conforme Rodoslovich (1975), indica a presença de feldspatos potássicos.

Caulinita está presente na fração silte dos horizontes 2BCn dos perfis 2 e 3. Especula-se que a presença de caulinita nesta fração corresponda, ao menos em parte, aos pseudomorfos gerados pela intemperização da mica e de outros minerais, que foram constatados durante a descrição das seções delgadas, como também foi observado por Ojanuga (1973) e Eswaran & Bin (1978).

Ainda na fração silte, mica só foi positivamente identificada em todos os horizontes do perfil 2, pela presença do pico de 1,00 nm. O aumento da intensidade do pico no horizonte 2Btbn e, sobretudo, no 2BCn, indica maiores quantidades deste mineral. Os demais perfis não apresentaram picos que permitissem a identificação de micas, possivelmente graças às pequenas quantidades em que estas ocorrem. McKeague (1965, citado por Reichenbach & Rich, 1975), observou que, apesar das evidências da presença de mica, dadas pela existência de 0,93 a 1,8 % de K, em amostras da fração argila fina de três solos canadenses, não foi observada a presença de picos que permitissem sua identificação.

A fração argila dos solos é composta por minerais dos grupos da caulinita (picos de 0,73 e 0,36 nm), mica (1,00; 0,50; e 0,33 nm), interstratificados irregulares, esmectita (1,23 e 1,8 nm) e quartzo (0,43 e 0,33 nm) (Figuras 4 e 5).

A caulinita é o mineral predominante nos horizontes com maior contribuição de material pedimentar (Ap, BA, Bt e, ou, Btf), conforme pode ser inferido dos difratogramas de raios X e da CTC da fração argila (Quadro 1). Picos de difração mais intensos e agudos nos horizontes 2Btbn e 2BCn evidenciam que nestes a caulinita é de melhor cristalinidade, o que pode indicar sua melhor preservação em subsuperfície.

O aumento da intensidade dos picos de mica em profundidade revela o aumento relativo nos teores deste mineral. Por outro lado, a assimetria basal e a menor agudez dos picos indicam a transformação da mica em outros minerais, transformação verificada pela presença de mica em vários estádios de alteração nas seções delgadas.

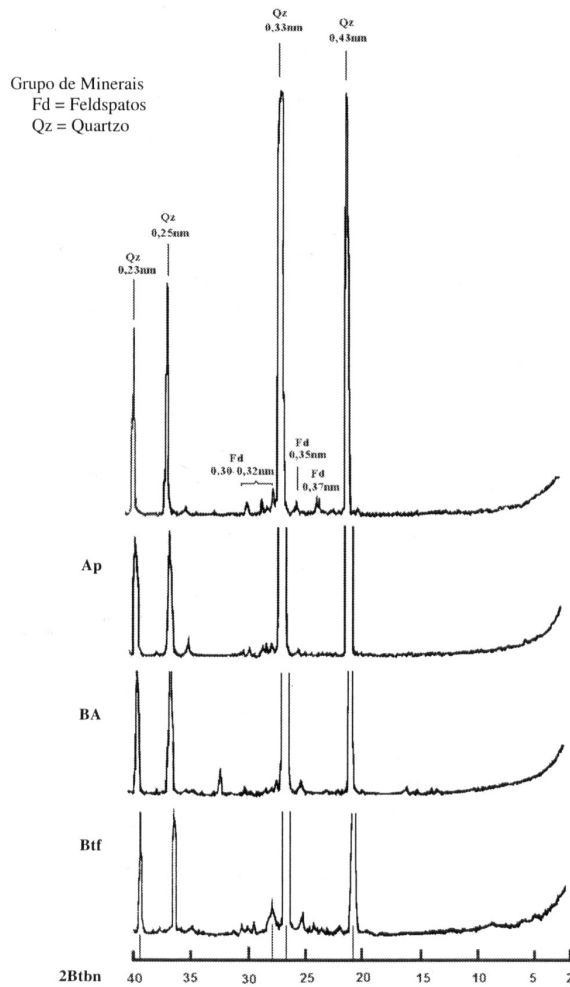
Esmectita está presente nos horizontes 2Btbn e 2BCn dos três perfis. O pico mais intenso, com maior relação vale/pico (Gomes, 1988), e a maior CTC da fração argila revelam que o horizonte 2BCn do perfil 2 apresenta os maiores teores deste mineral. A elevada saturação por cátions básicos, especialmente  $Mg^{2+}$ , o pH próximo à neutralidade e a drenagem restrita dos horizontes B plânicos (Oliveira, 2002) são algumas das condições que favorecem a presença deste mineral no solo (Borchardt, 1989).

A ausência de "background" na região antecedente a 1,00 nm na amostra saturada com K, que retrai

**Quadro 2. Mineralogia das frações grossas de solos planossólicos do Sertão do Araripe**

Horizonte	Fração			
	Calhau	Cascalho	Areia Grossa	Areia Fina
<b>Perfil 1 - Plintossolo Argilúvico eutrófico planossólico sódico</b>				
Ap	100 % de fragmentos de rocha <sup>(1)</sup> ; angulares; de baixíssima esfericidade	70 % de fragmentos de rocha; angulares a subangulares; de baixíssima esfericidade. 30 % de concreções ferruginosas. Traços de feldspatos e turmalina	100 % de quartzo; subarredondados a arredondados. Traços de opacos e fragmentos de rocha	100 % de quartzo; subangulares a subarredondados. Traços de opacos
BA	100 % fragmentos de rochas; angulares; de baixíssima esfericidade	98 % fragmentos de rocha; angulares; de baixíssima esfericidade. 1-2 % de concreções ferruginosas	98 % de quartzo; subangulares a subarredondados. 2 % de concreções ferruginosas. Traços de opacos fragmentos de rocha	99 % de quartzo; angular a subarredondados. Traços de opacos e concreções
Btf	100 % fragmentos de rocha; angulares; de baixíssima esfericidade	99 % fragmentos de rocha; angulares; de baixíssima esfericidade. 1 % de concreções ferruginosas. Traços de turmalina	100 % de quartzo; subangulares a subarredondados. Traços de turmalina	100 % de quartzo; subangulares a subarredondados. Traços de opacos
2Btbn plânico		98 % de fragmentos de rocha; angulares; de baixa esfericidade. Traços de feldspato	95 % de quartzo; angulares a subangulares. 3 % de fragmentos de rocha. 2 % de feldspatos. Traços de turmalina	100 % de quartzo; subangulares. Traços de opacos
<b>Perfil 2 – Argissolo Amarelo eutrófico planossólico solódico</b>				
Ap		75 % de quartzo; arredondados a subarredondados, raramente subangulares; de baixa esfericidade. 23 % de concreções ferruginosas. 1-2 % de feldspato	98 % de quartzo; subarredondados a arredondados. 2 % de concreções ferruginosas	100 % de quartzo; subangulares a subarredondados. Traços de opacos
Bt		80 % de quartzo; subarredondados a subangulares; de baixa esfericidade. 18 % de concreções ferruginosas. 1-2 % de feldspato	100 % de quartzo; subarredondados a arredondados. Traços de concreções ferruginosas e feldspatos	100 % de quartzo; subangulares a subarredondados. Traços de opacos
2Btbn plânico		75 % de quartzo; de baixíssima esfericidade. 23 % de concreções ferruginosas. 1-2 % de feldspato	95 % de quartzo; subangulares. 5 % de feldspatos. Traços de fragmentos de rocha, turmalina, opacos e concreções ferruginosas	93 % de quartzo, predominantemente hialino; subangulares. 5 % de mica; 2 % de opacos
2BCn		60 % de quartzo; subangulares; de baixa esfericidade. 25 % de feldspatos angulares; 15 % de concreções ferruginosas	96 % de quartzo; subangulares. 4 % de feldspato	93 % de quartzo; subangulares a subarredondados. 7 % de mica. 1 % de opacos
<b>Perfil 3 - Argissolo Amarelo eutrófico plíntico planossólico sódico</b>				
Ap		90 % de quartzo; subangulares a subarredondados; de baixa esfericidade. 10 % de concreções ferruginosas	100 % de quartzo; subarredondados a arredondados	100 % de quartzo; arredondados
BA		90 % de quartzo; angulares a subangulares; de baixa esfericidade. 10 % de concreções ferruginosas. Traços de feldspatos	100 % de quartzo; subarredondados a arredondados. Traços de opala, turmalina e opacos	100 % de quartzo; subarredondados. Traços de opacos e turmalina
Bt		95 % de quartzo; subangular a angular. 5 % de concreções ferruginosas. Traços de feldspato e turmalina	100 % de quartzo; subarredondados a arredondados. Traços de turmalina	100 % de quartzo; subarredondados. Traços de feldspatos, plintita, turmalina e opacos
Btf		95 % de quartzo; angular e subangular; 4 % de concreções ferruginosas. 1 % de turmalina	99 % de quartzo; subarredondados a arredondados. Traços de feldspatos, plintita, turmalina e opacos	100 % de quartzo; subarredondados. Traços de turmalina e opacos
2Btbn plânico		95 % de quartzo; angular. 5 % de concreções ferruginosas. Traços de turmalina e feldspato	100 % de quartzo; subarredondados. Traços de opacos	100 % de quartzo; subarredondados. Traços de opacos
2BCn			100 % de quartzo;	100 % de quartzo;

<sup>(1)</sup> Os fragmentos de rocha são predominantemente quartzosos.

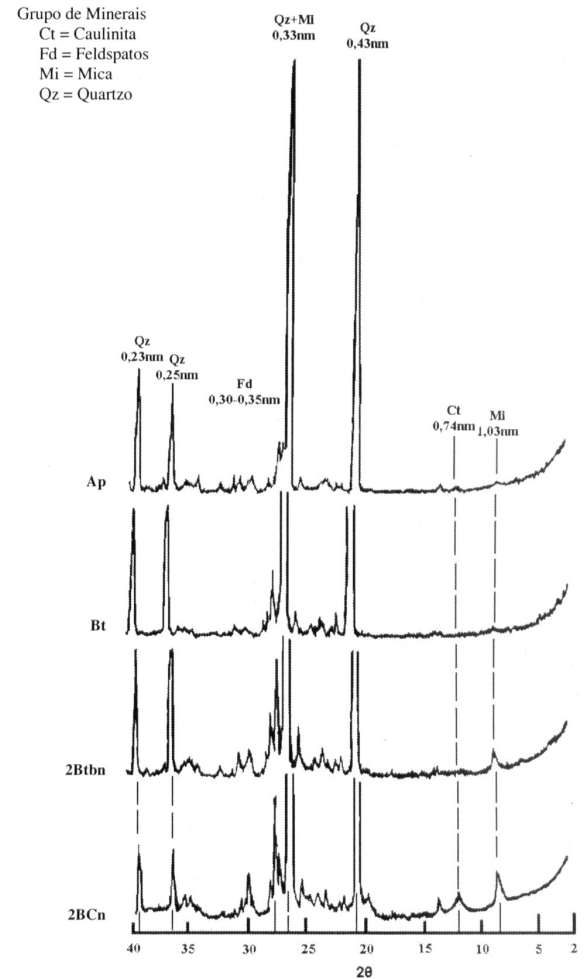


**Figura 1. Difratomogramas de raios X da fração silte (saturada com K) do Perfil 1 - Plintossolo Argilúvico eutrófico planossólico sódico.**

após aquecimento e sofre expansão após solvatação, indica a presença de interestratificados irregulares, com pelo menos uma fase expansiva. Nos horizontes 2Btbn e 2BCn do perfil 3, a solvatação produz picos correspondentes a 2,21-2,94 nm.

Quartzo está presente na argila de todos os horizontes dos solos estudados. Este mineral tem sido identificado na fração argila de alguns solos do Sertão, como nos estudados por Dantas (1996), Souto Maior (1996) e Silva (2000). Como verificado nos Vertissolos estudados por Parande & Sonar (1997), espera-se que o quartzo concentre-se na fração argila grossa, dada a diminuição de estabilidade em frações muito pequenas.

Além dos minerais supradescritos, nos horizontes 2Btbn e 2BCn do perfil 2, aparecem picos pouco intensos na região de 0,35-0,30 nm que



**Figura 2. Difratomogramas de raios X da fração silte (saturada com K) do Perfil 2 - Argissolo Amarelo eutrófico planossólico solódico.**

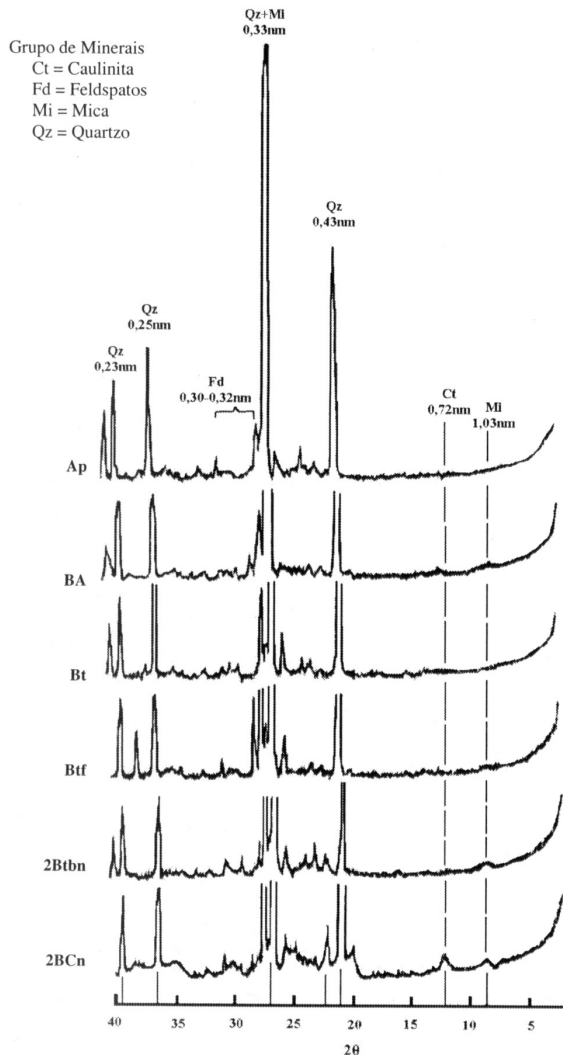
indicam a presença de feldspatos. A presença deste tipo de mineral na fração argila está relacionada com o material de origem destes horizontes que, de acordo com o mapa produzido por Veiga (1968), deriva de um granito intrusivo.

A mineralogia da argila destes solos mostra evidências de uma mudança de material de origem, uma vez que foi observado forte incremento na quantidade de mica e expansivos do horizonte Bt para o horizonte plânico (2Btbn).

#### Aspectos micromorfológicos

O caráter poligenético destes solos, já anteriormente apontado, é também confirmado pela micromorfologia. Foram observadas consideráveis diferenças entre os horizontes plânicos e os horizontes precedentes. Tais diferenças apontam para a diversidade de material originário e para uma paleopedogênese dos horizontes plânicos.

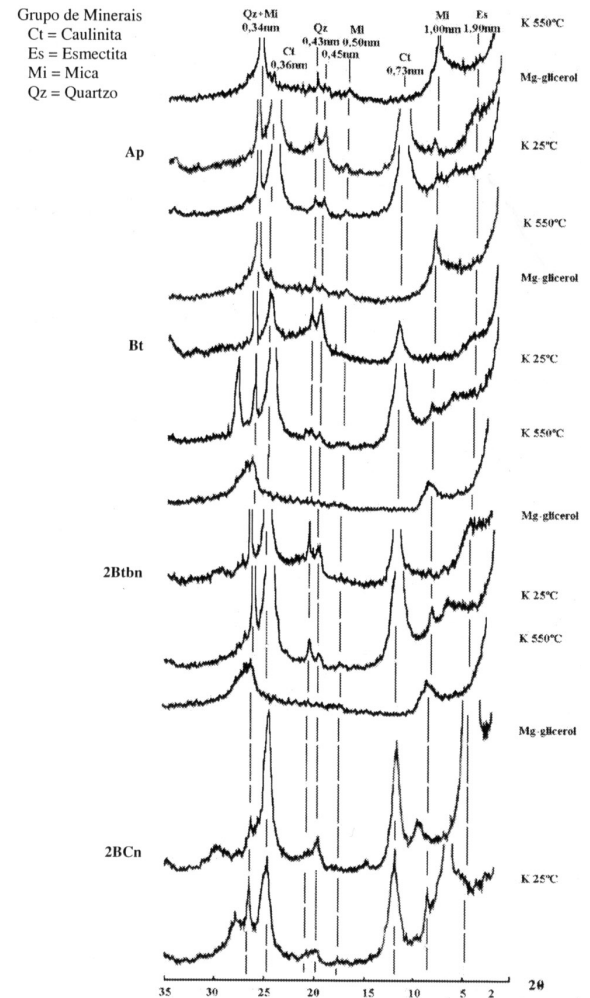




**Figura 3. Difratomogramas de raios X da fração silte (saturada com K) do Perfil 3 - Argissolo Amarelo eutrófico plântico planossólico sódico.**

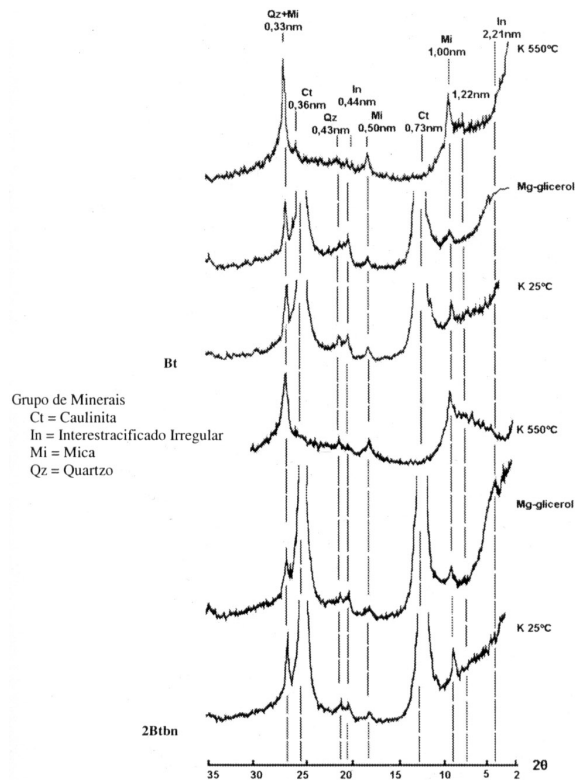
A camada 2R do perfil 1, embora seja principalmente apédica, apresenta algumas áreas com pedalidade bem desenvolvida, exibindo estrutura em blocos subangulares, resultante da transformação da rocha. Os limites entre o material edafizado e a rocha são muito nítidos (Figura 6a). Argilãs, provavelmente resultantes da intemperização da mica, estão também presentes. No material edafizado, são observadas algumas pápulas, que podem resultar da destruição parcial dos argilãs pelo rearranjo da matriz, conforme discutido por Brewer (1972), por processos ulteriores de pedoturbação.

Os horizontes 2BCn dos perfis 2 e 3 apresentaram maiores quantidades de mica e feldspatos do que o horizonte 2Btbn (plânico), corroborando a identificação deste horizonte como sendo B e não C,



**Figura 4. Difratomogramas de raios X da fração argilosa do Perfil 2 - Argissolo Amarelo eutrófico planossólico solódico.**

validando, assim, a identificação de campo. Apreciáveis quantidades de mica, em vários estádios de intemperização, foram observadas neste horizonte (Figura 6b e Quadro 3). Os estádios de intemperização da mica observados são similares aos descritos por Parahyba (1993) e incluem: a fragmentação inicial ao longo da clivagem basal, oxidação e liberação de ferro e formação de argilas. Domínios de argila que guardam a orientação da mica são bastante evidentes, não deixando dúvidas de sua identificação como argilãs de intemperização, conforme sugerido por Mermut & Pape (1971). No horizonte 2BCn do perfil 3, foram observados domínios de argila que, aparentemente, são pseudomorfos gerados pela intemperização de minerais outros que não a mica (possivelmente feldspatos), bem como de corpos de argila impura preservados na matriz do solo. De acordo com



**Figura 5. Difratogramas de raios X da fração argila do Perfil 3 - Argissolo Amarelo eutrófico plântico planossólico sódico.**

Brewer (1972), alguns materiais do solo que são descritos como pápulas são, em verdade, pseudomorfos de minerais, como feldspatos.

A micromorfologia dos horizontes 2Btbn mostrou que o material destes horizontes sofreu consideráveis transformações, tendo passado por uma pedogênese que inclui a formação de argila “*in situ*” pela alteração de minerais, principalmente micáceos (Figura 6b), e argiluviação. No geral, apresentam menores teores de mica e feldspatos, nas frações areia e silte, do que os horizontes plânticos dos Planossolos estudados por Parahyba (1993). Isso, provavelmente, deve-se a diferenças na composição mineralógica e, ou, na granulometria dos materiais de origem dos solos. Argilãs estão presentes no horizonte B plântico dos três perfis; no entanto, no perfil 3, eles são maiores e mais abundantes, aparecendo como grandes preenchimentos (Figura 6d).

A presença de minerais expansivos em grandes quantidades, conforme constatada pela análise mineralógica, associada a ciclos alternados de umedecimento e secagem, produziu perturbações na massa do solo que, possivelmente, destruíram parte dos argilãs de iluviação e de intemperização “*in situ*”,

dificultando, por vezes, sua correta identificação. Este processo é chamado de argilopedoturbação (Fanning & Fanning, 1989). Outros argilãs foram preservados parcialmente, na forma de pápulas, ou totalmente, em decorrência da diminuição das pedoturbações com o aumento da profundidade (Buol & Hole, 1961; Graham et al., 1994).

A contextura-b da micromassa dos tipos grano e paralelo-estriada parece resultar da formação de argila “*in situ*” e do rearranjo da massa do solo, gerado pelos minerais expansivos quando submetidos à alternância de ciclos de umedecimento e secagem.

No horizonte B plântico do perfil 1, destaca-se a presença de fragmentos de rocha, que constituem litorrelíquias, e de pseudomorfos ricos em ferro.

As feições observadas no horizonte Bt, do perfil 2, evidenciam intensa alteração do material pedimentar. O desenvolvimento de microestrutura granular que foi observado por Santos et al. (1991), em Latossolos da região de Ouricuri, foi também observada neste horizonte (Figura 7a). De acordo com Buol & Eswaran (1978) e Stoops & Buol (1985), a microestrutura granular ou estrutura micropédica é típica de solos intemperizados com predomínio de argila atividade baixa (“Oxisols”). Neste horizonte, não foram identificadas evidências de iluviação de argila, razão por que é provável que o gradiente de argila entre o horizonte A e o Bt (com valores de 1,98, 1,86 e 1,96, para os perfis 1, 2 e 3, respectivamente) seja fruto de processos de erosão seletiva ou de diferentes ciclos deposicionais. Por outro lado, foi observada a presença de pedorrelíquias (Figura 7b) que indicam a mistura do material sedimentar com o material edafizado das rochas do embasamento cristalino durante o processo de deposição da cobertura Terciária/Quaternária.

A hipótese de que as pedorrelíquias encontradas no horizonte Bt sejam “corpos de resistência” de uma seqüência de alteração (neste caso, as pronunciadas diferenças observadas entre o horizonte Bt e o plântico seriam, tão-somente, produto da pedogênese) foi descartada, pois, nos horizontes plânticos, não foi observada a presença de áreas intermediárias entre o horizonte plântico e o horizonte Bt. Além disso, no horizonte B plântico, há muitos argilãs de iluviação e, no horizonte Bt, não há evidências de remoção de argilas, o que está de acordo com o elevado grau de flocculação deste horizonte (Oliveira, 2002). Tudo leva a crer, portanto, que a mica presente nos horizontes Ap, BA, Bt e, ou, Btf resulta da mistura do material já edafizado das rochas do embasamento cristalino com o da cobertura sedimentar.

Assim, a presença de mica nos horizontes superiores reflete a dinâmica da deposição da cobertura Cenozóica. Provavelmente, durante a deposição, os sedimentos foram misturados ao

**Quadro 3. Descrição micromorfológica de solos planossólicos do Sertão do Araripe**

Horizonte	PDR <sup>(1)</sup>	Contextura-b	Microestrutura	Poros	Pedofeições
Perfil 1 - Plintossolo Argilúvico eutrófico planossólico sódico					
2Btbn	Porfírico	Grano e paralelo estriada	Apédico ou com pedalidade pouco desenvolvida, com algumas áreas em blocos subangulares	Aplanados e algumas cavidades	Poucos argilãs; mosqueados e pseudomórfos
2R	Porfírico		Apédico, mas com algumas áreas em blocos subangulares	Aplanados e poucos cavidades	Argilãs de intemperização; pápulas
Perfil 2 - Argissolo Amarelo eutrófico planossólico solódico					
Ap	Quitônico com algumas áreas gelfúrico	Indiferenciada	Granular e em blocos subangulares	Do empacotamento complexo; canais de raízes e cavidades	Revestimentos dos grãos por argila e matéria orgânica
Bt	Porfírico, enaúlico e quitônico	Indiferenciada com poucas áreas salpicado em granido	Granular (microagregados)	Do empacotamento complexo; algumas cavidades e poucos canais	Poucos nódulos típicos e mosqueados
2Btbn	Porfírico fechado	Grano, paralela e poroestriada	Blocos angulares	Aplanados e algumas cavidades	Argilãs de intemperização e de iluviação; poucos nódulos típicos
2BC	Porfírico fechado	Grano, paralelo e poroestriado	Blocos angulares	Aplanados e algumas cavidades	Argilãs de intemperização e de iluviação; poucos nódulos típicos
Perfil 3 - Argissolo Amarelo eutrófico plíntico planossólico sódico					
Btf	Porfírico fechado	Indiferenciado e salpicado em granido	Blocos subangulares	Aplanadas, canais e algumas cavidades	Alguns nódulos
2Btbn	Porfírico fechado	Grano e paralelo estriado	Blocos subangulares e algumas áreas apédicas	Aplanados, canais e algumas cavidades	Muitos argilãs e alguns Ferriargilãs; pápulas; alguns nódulos
2BC	Porfírico fechado	Grano e paralelo estriado	Material apédico com algumas áreas em blocos	Aplanados e algumas cavidades	Muitos argilãs; pápulas; poucos nódulos

<sup>(1)</sup> Padrão de distribuição relacionado.

produto da alteração das rochas do embasamento cristalino e, juntos, formaram o material de origem dos horizontes que compõem a seção superior dos solos atuais. Já o baixo grau de arredondamento das frações grossas mostra que o material foi transportado a curtas distâncias.

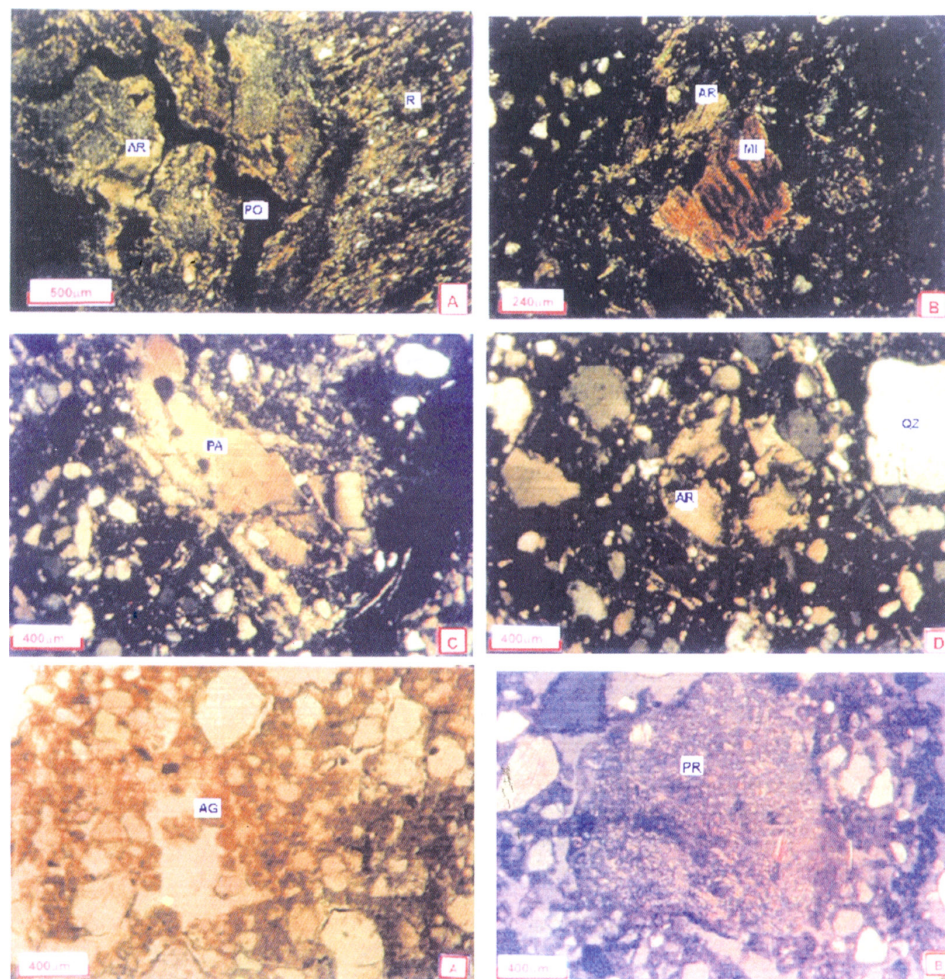
O revestimento dos grãos do esqueleto por argila, no horizonte Ap do perfil 2 (Quadro 3), deve ter sido resultante do processo de transporte dos grãos, que foram, posteriormente, revestidos por matéria orgânica no novo ciclo pedogenético.

### Considerações pedogenéticas

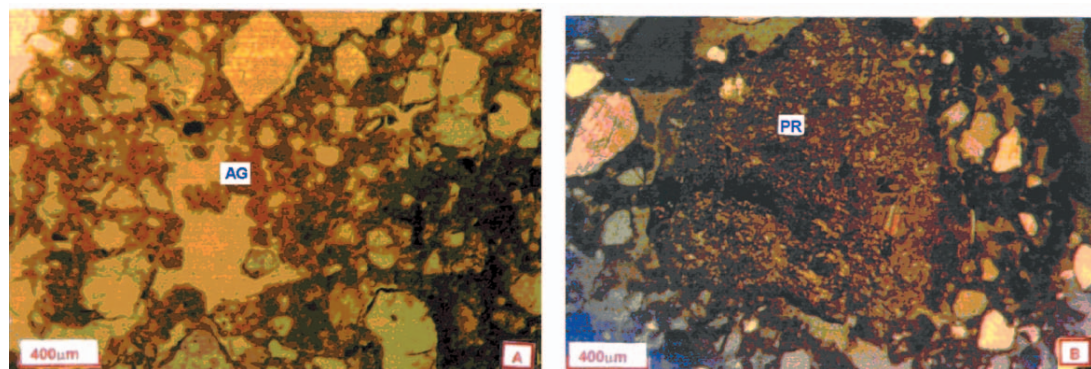
Os resultados indicam que os solos foram desenvolvidos em duas etapas. Inicialmente, as rochas cristalinas do embasamento Pré-Cambriano sofreram uma primeira pedogênese, cujo marco atual de evidência é a camada de litofragmentos, em sua maioria arestados, que ocorre no topo do B plânico, e que foi sendo acumulada pela erosão diferencial, formando uma espécie de pavimento desértico, tal

qual é ainda observado na formação de alguns solos do Sertão, como nos Solos Brunos Não-Cálcicos (Luvissoles) e Planossolo estudados por Luz (1989). Esse evento deve ter ocorrido durante o longo período de erosão subsequente à formação das rochas ectníticas (Veiga, 1968). A presença de pápulas e, sobretudo, a expressiva quantidade de argilãs de iluviação, presentes no horizonte 2Btbn dos três perfis, mas cujo máximo de expressão foi observado no perfil 3, evidenciam, segundo Bronger et al. (1994), a predominância de um clima pretérito mais úmido na região, o que está de acordo com a previsão feita por Veiga (1968). Essa condição climática pretérita foi também assumida por Ribeiro et al. (1991).

Posteriormente, os solos foram capeados por camadas de sedimentos intemperizados, de alguma forma relacionados com a Chapada do Araripe, que se misturaram, em proporções variadas, ao material já edafizado das rochas do embasamento. A presença de microestrutura granular observada no horizonte Bt do perfil 2, que, de acordo com Buol & Eswaram



**Figura 6.** Fotomicrografias. A - nididez da transição entre a rocha (R) e o material edafizado e a presença de argilãs (AR) na camada 2R do perfil 1, em XPL; B - mica alterada e argilãs de intemperização (AR) no horizonte 2BC do Perfil 2, em XPL; C - pápulas (PA) no horizonte 2Btbn do perfil 3, em XPL; D - Argilã (AR) na forma de preenchimento no horizonte 2Btbn do perfil 3, em XPL. PO e QZ representam poros e grãos de quartzo, respectivamente.



**Figura 7.** Fotomicrografias. A - agregados (AG) microestrutura granular do horizonte Bt do perfil 2, em PPL; B - pedorreliquia (PR) no horizonte Bt do perfil 2, em XPL/2.

(1978), é típica de solos muito intemperizados, que também foi observada em Latossolos Amarelos da Região de Araripina por Santos et al. (1991), evidencia que tais sedimentos são, pelo menos em parte, relíquias de outros solos. Estes materiais estão, desde sua deposição, submetidos conjuntamente à ação dos processos pedogenéticos reinantes na região.

Além das feições micromorfológicas que evidenciam a gênese pretérita para os horizontes B's plânicos dos solos estudados, é pouco provável que as fases erosivas que antecederam a deposição dos sedimentos Cenozóicos tenham sido capazes de remover todo o regolito produzido a partir das rochas do embasamento.

Durante o transporte dos sedimentos, ocorrido, presume-se a curtas distâncias, dado o pequeno grau de arredondamento dos litofragmentos, parte do pavimento foi misturada e encontra-se distribuída ao longo dos horizontes A e Bt dos solos atuais.

A intensa fase erosiva subsequente remodelou a paisagem, diminuindo a espessura das coberturas Cenozóicas e, muitas vezes, expondo novamente o embasamento cristalino. Esta suposição é harmônica com a hipótese de que as bacias do Maranhão e Tucano Jatobá eram ligadas pela bacia do Araripe (Petri & Fúlgaro, 1983, citados por Ribeiro et al., 1991; Assine, 1994) e formavam um contínuo que cobria boa parte dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Pernambuco e Bahia.

As marcantes diferenças em características e propriedades apresentadas pelos horizontes que compõem as duas seções dos solos estudados indicam dominância de processos distintos na sua formação. Isto sugere uma paleopedogênese para a seção inferior dos perfis estudados, similar ao que foi verificado por Faz et al. (2001) em solos pouco desenvolvidos da Serra de Carrascoy, na Espanha.

A formação de horizonte plânico está sempre relacionada com processos que levam à concentração relativa de argila no subsolo, seja porque este foi enriquecido com argila (iluvial, formada "in situ" ou neoformada), seja porque o horizonte superficial foi empobrecido em argila (por destruição ou remoção vertical e, ou, lateral de argila) (Embrapa, 1999).

A ocorrência destes horizontes paleoplânicos não está diretamente restrita a um único tipo litológico, o que leva a crer num controle local imposto pelo relevo. De acordo com Dudal (1973), citado por Parahyba (1993), os fatores que são reconhecidos como favoráveis à formação de Planossolos são aqueles que provocam a má drenagem, interna ou externa, durante um período do ano. Estes são geralmente desenvolvidos em relevo plano, sobre material rochoso, compactado ou argiloso, e sob condições climáticas, que, conjuntamente, resultam numa superfície sujeita à alternância de umedecimento e secagem.

## CONCLUSÕES

1. A disparidade entre a composição mineralógica da fração argila e as distintas feições micromorfológicas dos horizontes de um mesmo perfil corroboram a identificação de mudança de material de origem entre os horizontes Bt e B plânico (2Btbn) dos solos estudados.

2. A posição de ocorrência do horizonte B plânico, com presença marcante de argilãs de iluviação, e a ausência de características que revelem mobilização de argila do horizonte Bt precedente evidenciam que o horizonte B plânico destes solos é, pelo menos em parte, fruto de uma pedogênese pretérita (paleopedogenético).

## LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, J.A.; KLAMT, E. & KÄMPF, N. Gênese do contraste textural e da degradação do horizonte B de um podzólico vermelho-amarelo da planície costeira do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 21:221-233, 1997.
- ANDRADE-LIMA, D. Recursos vegetais de Pernambuco. Recife, Conselho de Desenvolvimento de Pernambuco, 1970. 56p. (Cadernos do CONDEPE, Agricultura, 1)
- ASSINE, M.L. Paleocorrentes e geografia na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. R. Bras. Geoc., 24:223-232, 1994.
- BENNEMA, J. Report to the government of Brazil on classification of brazilian soils. Rome, FAO, 1966. 83p.
- BISHOP, P.M.; MITCHELL, P.B. & PATON, T.R. The formation of duplex soils on hillslopes in the Sydney basin, Australia. Geoderma, 23:175-189, 1980.
- BORCHARDT, G. Smectites. In: DIXON, J. B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.675-728.
- BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soil. New York, Robert E. Krieger, 1976. 428p.
- BREWER, R. The basis of interpretation of soil micromorphological data. Geoderma, 8:81-94, 1972.
- BRINKMAN, R. Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process. Geoderma, 3:199-144, 1970.
- BRINKMAN, R.; JONGMANS, A.G.; MIEDEMA, R. & MAASKANT, P. Clay decomposition in seasonally wet, acid soils: micromorphological, chemical and mineralogical evidence from individual argillans. Geoderma, 10:259-270, 1973.
- BRONGER, A.; BRUHN-LOBIN, N. & HEINKELE, TH. Micromorphology of paleosols - genetic and paleoenvironmental deductions: case studies from central China, south India, NW Morocco and the Great Plains of the USA. In: RINGROSE-VOASE, A.J. & HUMPHREYS, G.S., eds. Soil micromorphology: studies in management and genesis. Amsterdam, Elsevier, 1994. p.187-206.
- BULLOCK, P.; FEDEROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. & BABEL, U. Handbook for the soil thin section description. Wolverhampton, Waine Research Publications, 1985. 153p.

- BUOL, S.W. & ESWARAN, H. Micromorphology of oxisols. In: INTERNACIONAL WORKING MEETING ON SOIL MICROMORPHOLOGY, Granada, Espanha, 1977. Proceedings. Granada, University of Granada, 1978. p.325-328.
- BUOL, S.W. & HOLE, F.D. Clay skin genesis in Wisconsin soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 25:377-379, 1961.
- CALDASSO, A.L.S. Geologia da quadricula E-093 - Folha Crato. Recife, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 1967. 39p. (Série Geologia Regional, 4)
- CHITTLEBOROUGH, D.J.; WALKER, P.H. & OADES, J.M. Textural differentiation in chronosequences from eastern Austrália. I. Descriptions, chemical, properties and micromorphologies of soils. *Geoderma*, 32:181-202, 1984.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO - CODEVASF. Projeto Sertão de Pernambuco: levantamento detalhado de solo e classificação de terras para irrigação. Recife, Projetos Técnicos, 2000. 109p.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO - CODEVASF. Projeto Sertão de Pernambuco: levantamento semidetalhado de solos, classificação de terras para irrigação e aptidão agrícola das terras. Recife, Projetos Técnicos, 1998. 135p.
- DANTAS, J.A. Averiguação dos efeitos da irrigação em solos podzólicos no Sub-Médio São Francisco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1996. 104p. (Tese de Mestrado)
- DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. 1244p.
- DUCHAUFOR, P. Handbook of pedology: soils, vegetation and environment. Rotterdam, A.A. Balkema, 1998. 264p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- ESWARAN, H. & BIN, W.C. A study of a deep weathering profile on granite in peninsular Malaysia: I. physico-chemical and micromorphological properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:144-149, 1978.
- FANNING, D.S. & FANNING, M.C.B. Soil morphology, genesis and classification. New York, John Wiley & Sons, 1989. 395p.
- FAZ, A.; ORTIZ, R. & FERNÁNDEZ, M.T. Evidence of paleoprocess in some poorly developed soils on consolidated material in the Sierra de Carrascoy (SE Spain). *Catena*, 43:267-276, 2001.
- FEIJTEL, T.C.; JONGMANS, A.G.; BREEMEN, N. & MIEDEMA, R. Genesis of two Panosols in the Massif Central, France. *Geoderma*, 43:249-269, 1988.
- FUNDAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL DO INTERIOR DE PERNAMBUCO - FIAM. Sistema de informações municipais. Recife, Governo do Estado de Pernambuco, 1997 (Programa em disquete)
- GOMES, C.F. Argilas: o que são e para que servem. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1988. 457p.
- GOMES, H.A., Org. Geologia e recursos minerais do estado de Pernambuco. Brasília, Companhia de Produção e Recursos Minerais, 2001. 198p.
- GRAHAM, R.C.; TICE, K.R. & GUERTAL, W.R. The pedologic nature of weathered rock. In: GREEMES, D.L.; BROWN, R.B. & HUDDLESTON, J.H., eds. Whole regolith pedology. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.21-40. (Special Publication, 34)
- GRIM, R.E. Clay mineralogy. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1968. 596p.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis: advanced course. 29.ed. Madison, 1975. 895p.
- JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; BURGOS, N.; PESSOA, S.C.P. & SILVEIRA, C.O. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Pernambuco. Recife, Ministério da Agricultura/Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 1973. v.1. 359p. (Boletim Técnico 26; Série Pedológica, 14)
- JONGERIUS, A. & HEINTZBERGER, G. The preparation of mammoth-sized thin sections. Wageninger, Soil Survey Institute, 1963. p.3-37. (Soil Survey Paper, 1)
- LEINZ, V. & CAMPOS, J.E.S. Guia para determinação de minerais. 8.ed. São Paulo, Nacional, 1979. 149p.
- LIMA, P.C.; CURI, N. & LEPSCH, I.F. Terminologia de micromorfologia do solo. *B. Inf. SBCS*, 10:33-43, 1985.
- LUZ, L.R.Q.P. Pedogênese de uma toposequência de solos do semi-árido de Pernambuco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1989. 96p. (Tese de Mestrado)
- MERMUT, A.R. & PAPE, T. Micromorphology of two soils from Turkey, with special reference to in-situ formation of clay cutans. *Geoderma*, 5:271-281, 1971.
- MOORE, D.M. & REYNOLDS Jr., R.C. X-ray diffraction, identification and analysis of clay minerals. Oxford, Oxford University Press, 1989. 332p.
- OJANUGA, A.G. Weathering of biotite in soils of a humid tropical climate. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37:644-646, 1973.
- OLIVEIRA, J.B. Pedologia aplicada. Jaboatão, Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, 2001. 414p.
- OLIVEIRA, L.B. Solos planossólicos do Sertão do Araripe: caracterização, classificação e gênese. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2002. 107p. (Tese de Mestrado)
- PARAHYBA, R.B.V. Gênese de solos planossólicos do Agreste de Pernambuco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1993. 152p. (Tese de Mestrado)
- PARANDE, A.L. & SONAR, K.R. Clay mineralogy of some Vertisol soil series of Maharashtra. *J. Ind. Soc. Soil Sci.*, 45:373-377, 1997.
- PHILLIPS, J. Contingency and generalization in pedology, as exemplified by texture-contrast soils. *Geoderma*, 102:347-370, 2001.
- POWERS, M.C. Comparison chart for visual estimation of roundness. *J. Sedim. Petrol.*, 23:117-119, 1953.
- PRATES, M.; GATTO, L.C.S. & COSTA, M.I.P. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB 24/25 Jaguaribe/ Natal: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, RADAMBRASIL, 1981. p.303-348. (Levantamento de recursos naturais, 23)

- REICHENBAC, H.G. & RICH, C.I. Fine-grained micas in soils. In: GIESEKING, J.E., ed. Soil components: inorganic components. New York, Springer-Verlog, 1975. v.2, cap.3. p.59-95.
- 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.
- RODOSLOVICH, E.W. Feldspar minerals. In: GIESEKING, J.E., ed. Soil components: inorganic components. New York, Springer-Verlog, 1975. v.2, cap.12. p.433-448.
- 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 do adensamento subsuperficial em solos de tabuleiros do semi-árido do Nordeste do Brasil. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 126p. (Tese de Doutorado)
- SOIL SURVEY STAFF. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2. ed. Washington, 1999. 870p. (USDA. Agriculture handbook, 436)
- SOUTO MAIOR, F.C. Podzólicos plínticos e os efeitos do cultivo de uva com irrigação no sub-médio São Francisco. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1996. 107p. (Tese de Mestrado)
- STOOPS, G. Multilingual translation of the terminology used in the "handbook for soil thin section description". In: DOUGLAS, L.A., ed. Soil micromorphology: a basic and applied science. Amsterdam, Elsevier, 1990. p.705-716.
- STOOPS, G. & BUOL, S.W. Micromorphology of Oxisols. In: DOUGLAS, L.A. & THOMPSON, M., eds. Soil micromorphology and soil classification. Madison, 1985. p.105-119.
- SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - SUDENE. Dados pluviométricos mensais do Nordeste: estado de Pernambuco. Recife, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 1990. 363p. (Série Pluviométrica, 6)
- TERRY, R.D. & CHILINGAR, G.V. Comparison charts for visual estimation of percentage composition. J. Sedim. Petrol., 25:229-234, 1955.
- VEIGA, P. Geologia da quadricula Ouricuri, Região do Araripe - Pernambuco. Recife, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 1968. 56p.