

DIVISÃO 1 - SOLO NO ESPAÇO E NO TEMPO

Comissão 1.1 – Gênese e morfologia do solo

ATRIBUTOS FÍSICOS, MACRO E MICROMORFOLÓGICOS DE NEOSSOLOS REGOLÍTICOS NO AGRESTE MERIDIONAL DE PERNAMBUCO

Alison Van Der Linden de Almeida^{(1)*}, Marcelo Metri Corrêa⁽²⁾, José Romualdo de Sousa Lima⁽²⁾, Eduardo Soares de Souza⁽³⁾, Kleber Régis Santoro⁽²⁾ e Antonio Celso Dantas Antonino⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns, Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola, Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

⁽²⁾ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns, Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

⁽³⁾ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, Pernambuco, Brasil.

⁽⁴⁾ Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear, Recife, Pernambuco, Brasil.

* Autor correspondente.

E-mail: alisonvander11@hotmail.com

RESUMO

Neossolos Regolíticos no Agreste Meridional de Pernambuco são utilizados para diversas atividades agrícolas, com destaque para a produção de feijão. Há uma variação expressiva na produção dessa cultura, possivelmente associada à presença de lamelas, que conferem comportamento hídrico distinto entre esses solos. Objetivou-se analisar as características macromorfológicas, micromorfológicas e físicas de Neossolos Regolíticos localizados no Agreste Meridional de Pernambuco, com a finalidade de se entender o comportamento hídrico desses solos. Foram coletados e analisados dois perfis de solos localizados nos municípios de Paratama (P1 - sem lamela) e de São João (P2 - com lamela). Os resultados mostraram que nos atributos morfológicos (cor, textura, estrutura e consistência) não foram observadas diferenças expressivas entre os dois perfis de solos; os atributos físicos (teor de argila, macroporosidade, microporosidade, capacidade de campo e ponto de murcha permanente) apresentaram diferença significativa entre os horizontes dos perfis estudados; a micromorfologia indicou que a maior retenção de água no P2 é consequência da presença de zonas com empacotamento mais denso de seus componentes (empacotamento aglomerático) e expressividade das pontes de argila; e sugere-se adoção do termo “lamélico” pelo atual

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (em 4º nível categórico) para diferenciação dos perfis estudados.

Palavras-chave: lamelas, solos arenosos, micromorfologia.

ABSTRACT: PHYSICAL, MACRO- AND MICROMORPHOLOGICAL PROPERTIES OF REGOSOLS IN THE AGRESTE MERIDIONAL REGION OF PERNAMBUCO, BRAZIL

Regosols in the Agreste Meridional region of Pernambuco, Brazil, are used for various agricultural activities, and prominent among them is production of common bean. An expressive variation is perceived in common bean crop yield, possibly associated with the presence of lamellae, which make for distinct water fluxes among these soils. The objective was to analyze the macro- and micromorphological, and physical characteristics of the Regosols located in the Agreste Meridional region of Pernambuco to understand the water fluxes in these soils. Two soil profiles, located in the municipalities of Paratama (P1 - absence of lamellae) and São João (P2 - presence of lamellae) were collected and analyzed. In the morphological properties (color, texture, structure, and consistency) no significant differences between the two soil profiles were observed; the physical properties (clay content, macro- and microporosity, field capacity, and wilting point) exhibited significant differences among the horizons of the profiles studied; micromorphology indicates that greater water retention in P2 is a consequence of the presence of areas with denser packing of their components (agglomerative packing), and expressiveness of clay bridges; and we suggest adoption of the term "lamellic" within the current Brazilian System of Soil Classification (in the 4th categorical level) for differentiation of the soil profiles studied.

Keywords: lamellae, sandy soils, micromorphology.

INTRODUÇÃO

O Agreste Meridional de Pernambuco está geograficamente localizado entre a Zona da Mata e o Sertão pernambucano, segundo o Sistema de Informação Territorial (SIT) do Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA), situando-se sobre o Planalto da Borborema com altitude de 400-800 m, podendo chegar a 1.000 m na microrregião de Garanhuns. Abrange uma área de 13.153,50 km², sendo constituído por 20 municípios; entre esses, Paratama e São João (SIT, 2013).

Nessa região, é comum a ocorrência dos Neossolos Regolíticos que, de modo geral, são observados em todas as regiões brasileiras. Entretanto, tais solos não apresentam elevada representatividade espacial no país, ocorrendo geralmente de forma dispersa em ambientes específicos, como a zona semiárida nordestina e o Mato Grosso do Sul, estando presente, em menores concentrações, em alguns pontos da região serrana da Região Sudeste (Embrapa, 2006).

Os Neossolos Regolíticos são solos que possuem horizonte A sobrejacente a horizonte C ou Cr e contato lítico a uma profundidade maior que 0,50 m, além de possuírem 4 % ou mais de minerais primários de fácil intemperização (MPFI) na fração areia total e, ou, no cascalho nos primeiros 1,50 m do solo (Embrapa, 2013). São solos com baixo teor de matéria orgânica e P, com alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água.

De modo geral, o comportamento hídrico dos solos depende de propriedades relacionadas com a quantidade, o diâmetro e a conectividades dos poros, como textura e estrutura. Além disso, tem-se a presença das cargas negativas coloidais que conferem retenção de água aos solos (Azevedo et al., 2007).

Os solos arenosos apresentam menor quantidade de cargas, maior macroporosidade e condutividade hidráulica saturada, menor microporosidade e menor retenção de água (Ceballos et al., 2002; Weber et al., 2007; Wang et al., 2008).

Contudo, a presença de determinados tipos de feições morfológicas podem conferir a esses solos comportamento hídrico distinto. Como exemplo, Rolim Neto e Santos (1994) descreveram e caracterizaram a presença de bandas argilosas (também denominadas de lamelas) em Neossolos Quartzarênicos do município de São João, Pernambuco. Lamelas são camada finas, frequentemente descontínuas, de material rico em argila, associadas ou não com óxidos de Fe e podem ocorrer em muitos tipos de solos do mundo (Bockheim e Hartemink, 2013; Furquim et al., 2013). Tal feição é comum em solos arenosos e podem possivelmente conferir maior capacidade de retenção de água e nutrientes a esses solos, resultando em ganho de produtividade (Hannah e Zahner, 1970).

Desse modo, objetivou-se neste estudo analisar os atributos físicos, macromorfológicos e micromorfológicos de dois Neossolos Regolíticos (com e sem lamelas) do

Agreste Meridional de Pernambuco, com a finalidade de entender o comportamento hídrico desses solos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em duas propriedades localizadas nos municípios de Paranatama (P1) e São João (P2), ambos pertencentes à mesorregião do Agreste Meridional de Pernambuco (Figura 1). O clima nessa região é tropical chuvoso, com verão seco, e a estação chuvosa se inicia no outono e engloba o inverno e o início da primavera (Borges Júnior et al., 2012). As médias anuais de temperatura e umidade relativa do ar são, respectivamente, 21,1 °C e 82,5 %. A precipitação pluvial média anual no município de Paranatama é de 781 mm, enquanto a do município de São João é de 806 mm.

Os perfis situam-se em áreas com relevo suave ondulado, boa drenagem, ausência de pedregosidade ou rochiosidade, não apresentando indícios de erosão, com declividade entre 2,5 e 5,0 %. O P1

encontrava-se em pousio há dois meses, sendo anteriormente cultivado com feijão e milho. Já o P2 estava com plantio de mandioca (três meses de plantio), sendo anteriormente cultivado com feijão e milho. O manejo utilizado nas duas propriedades é semelhante, sendo caracterizado pela seguinte sequência de práticas: primeira gradagem; adubação orgânica, na maioria das vezes utilizando-se cama de aviário; segunda gradagem para incorporação da adubação orgânica; e, posteriormente, plantio da cultura. As práticas de controle de pragas e de doenças, bem como as capinas, são feitas seguindo as recomendações técnicas, sendo a colheita realizada de forma manual.

A descrição morfológica dos perfis e a coleta das amostras de solo foram realizadas conforme Santos et al. (2013). As trincheiras foram abertas dentro da área de plantio e coletaram-se amostras com estrutura alterada e preservada de todos os horizontes para realizar as análises físicas. No P2, também foi coletada amostra com estrutura alterada das lamelas, com o auxílio de espátula, detectando-as na parede do perfil com um borrifador. O intervalo

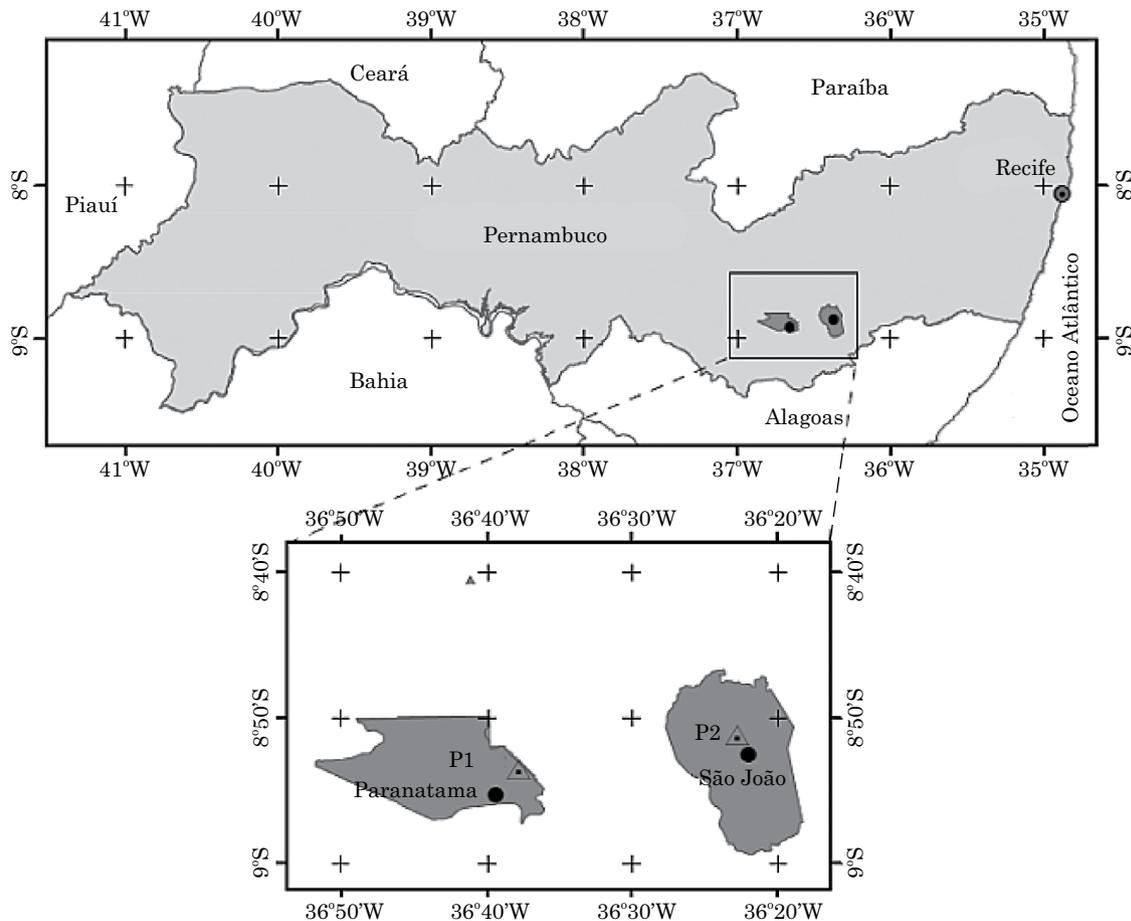


Figura 1. Distribuição geográfica dos perfis de Neossolos Regolíticos nos municípios de Paranatama (P1) e São João (P2).

de coleta das amostras nos dois perfis foi de dois dias. As amostras com estrutura alterada foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm, para obter a terra fina seca ao ar (TFSA), utilizada nas análises físicas.

A granulometria foi realizada utilizando-se o método do densímetro (Almeida et al., 2012); e as demais análises físicas (densidades do solo e de partículas, porosidade total), de acordo com Embrapa (1997).

Utilizaram-se a mesa de tensão e as amostras com estrutura preservada (anéis de PVC com 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro) de todos os horizontes para obter a microporosidade (0,60 m de coluna de água); a partir dessa, por diferença da porosidade total, foi obtida a macroporosidade. Posteriormente, as mesmas amostras foram colocadas no Extrator de Richards para se obterem a umidade na capacidade de campo (tensão de 0,01 MPa), a umidade no ponto de murcha permanente (tensão de 1,5 MPa) e, por diferença, o teor de água disponível (Embrapa, 1997).

Para determinar o segundo nível categórico da ordem dos Neossolos, foi realizada análise mineralógica de amostras da fração areia dos horizontes A e C2 de cada perfil. Para tanto, utilizou-se a técnica de difratometria de raios x (DRX) em equipamento Shimadzu XRD 6.000, utilizando-se uma radiação com tubo de Cu, velocidade de 20 min⁻¹ e monocromador de grafite. As amostras foram obtidas por tamização durante o procedimento de determinação da granulometria (Almeida et al., 2012) e posteriormente foram trituradas em almofariz de ágata. O conjunto foi montado em suporte de alumínio, após pressão suave da amostra sobre papel rugoso, de forma que minimizasse a orientação preferencial das partículas. O espectro foi obtido de 5 a 60° 2θ. Para interpretar os difratogramas de raios x (identificação dos minerais presentes nas amostras), foram utilizados os espaçamentos interplanares (d), conforme Jackson (1975), Brown e Brindley (1980) e Moore e Reynolds (1989).

Para os estudos micromorfológicos, foram coletadas amostras com estrutura preservada (caixa de Kubiena) dos perfis, nas profundidades de 0,35 e 1,00 m. Além disso, no P2, coletaram-se mais duas amostras (horizontes C2 e C4). Foram preparadas lâminas delgadas de todas as amostras com impregnação de resina de poliéster diluída em monômero de estireno (Murphy, 1987).

Um pigmento fluorescente foi adicionado para distinguir o espaço poroso da matriz do solo (Murphy, 1987). A forma (alongado, arredondado e complexo) e o tamanho (pequeno, médio e grande) dos poros foram definidos de acordo com Cooper et al. (2005). A resolução das imagens foi de 1.024 × 768 pixels e as microfotografias foram obtidas com ampliação de 10x. As imagens foram binarizadas e analisadas por

meio do *software* Noasis Visilog[®] 5.4 no Laboratório de Micropedologia da ESALQ-USP (Piracicaba, SP), considerando poros pequenos, médios e grandes aqueles com tamanho entre 0,0016-0,016 mm², 0,016-0,16 mm² e maior que 0,16 mm², respectivamente.

Os atributos físicos (teores de areia, silte e argila; densidade do solo; porosidade total; macro e microporosidade; umidade na capacidade de campo; umidade no ponto de murcha permanente; e teor de água disponível) foram analisados estatisticamente utilizando o *software* SAS versão 9.3, onde se aplicaram a análise de variância e o teste de Tukey a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos morfológicos

De modo geral, os perfis apresentaram colorações que variaram da cinzenta a ligeiramente amareladas, sem grandes alterações entre os horizontes dos perfis estudados (Quadro 1). Os tons acinzentados foram observados na maioria dos horizontes dos dois perfis e deve-se à constituição mineralógica típica de Neossolos, formada principalmente por quartzo e feldspato e baixa concentração de óxidos de Fe (hematita e goethita).

No horizonte C2 do P1, verificou-se a presença de pequenos mosqueados de coloração bruno-amarelado-escuro, dispersos principalmente no topo do horizonte, além da ocorrência de carvão também localizado no topo desse horizonte. Na base do horizonte Cr, observou-se grande presença de cascalhos e calhaus angulosos de composição essencialmente quartzosa. Além disso, a resistência à penetração da faca se evidenciou mais elevada nos horizontes C2 e Cr.

Uma característica de grande importância verificada no P2, não observada no P1, foi a ocorrência de lamelas (Quadro 1). A soma total da espessura das lamelas (C1 e C2) foi inferior a 0,15 m, limite esse utilizado para identificar o horizonte B textural e que enquadraria o perfil na classe dos Argissolos, de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Embrapa, 2013). Para valores de espessura total das lamelas inferior a 0,15 m, a *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2014) propôs que o solo seja enquadrado no quarto nível categórico como lamélico (tradução livre de *lamellic*).

O enquadramento de solos com lamelas (independente da soma total das espessuras) como Argissolos foi proposto por Rolim Neto e Santos (1994) ao estudarem um perfil de Neossolo Quartzarênico no município de São João, principalmente com base nas observações das feições de iluviação (revestimentos e preenchimentos de argilas com extinção nítida na

Quadro 1. Atributos morfológicos dos perfis de Neossolos Regolíticos nos municípios de Paratama (P1) e São João (P2)

Horiz.	Prof.	Cor	Classe textural	Estrutura	Consistência	Transição
m						
P1 - Paratama: Neossolo Regolítico Eutrófico típico						
Ap	0,00-0,16	10YR 5/2 (Seca) 10YR 3/2	Areia	Gr. simples	Solta, não Plt. não Peg.	Clara e plana
AC	0,16-0,42	10YR 3/2	Areia	Frc. Peq. Md. Blc. Sb. Ag. Mc. Fra. Coesa	Lig. Dr., não Plt. não Peg.	Gradual e plana
C1	0,42-0,75	10YR 4/2	Areia	Frc. Peq. Md. Blc. Sb. Ag. Mc. Fra. Coesa	Lig. Dr., não Plt. não Peg.	Clara e plana
C2	0,75-1,03	10YR 5/2 10YR 4/6 (Mos.)	Areia	Mac. Mod. Coesa	Lig. Dr., não Plt. não Peg.	Clara e plana
Cr	1,03-1,30+	10YR 5/2	Areia	Mac. Mod. Coesa	Lig. Dr., não Plt. não Peg.	-
P2- São João: Neossolo Regolítico Eutrófico típico						
Ap	0,00-0,20	10 YR 6/1(Seca) 10YR 4/2	Areia	Gr. simples. Frc. Peq. Md. Blc. Sb. Ag.	Mt. Fri., não Plt. não Peg.	Gradual e plana
C1	0,20-0,55	10YR 4/3	Areia	Frc. Peq. Md. Blc. Sb. Ag. Mc. Fra. Coesa	Fri., não Plt. não Peg.	Gradual e plana
C2	0,55-0,88	10YR 4/3	Areia	Frc. Peq. Md. Blc. Sb. Ag. Mc. Fra. Coesa	Fri., não Plt. não Peg.	Gradual e plana
C3	0,88-1,25	10YR 4/2	Areia	Frc. Peq. Md. Blc. Sb. Ag.	Mt. Fri., não Plt. não Peg.	Difusa e plana
C4	1,25-1,65+	10YR 4/3	Areia	Frc. Peq. Md. Blc. Sb. Ag.	Mt. Fri., não Plt. não Peg.	-
Lamela	C1 e C2	10 YR 3/2	Areia-franca	-	-	-

Horiz.: horizonte; Prof.: profundidade; Frc.: Fraca; Peq.: Pequena; Gr.: Grãos; Mac.: Macia; Plt.: Plástica; Peg.: Pegajosa; Md.: Média; Blc.: Bloco; Sb.: Sub; Ag.: Angular; Mt.: Muito; Fri.: Friável; Mc.: Maciça; Fra.: Fracamente; Mod.: Moderadamente; Lig.: Ligeiramente; e Dr.: Dura.

porosidade de empilhamento simples) em lâminas de micromorfologia. Segundo esse autor, essas feições eram comuns e caracterizavam a presença expressiva do processo de argiluviação, não coerente com a ordem dos Neossolos.

A classe textural das lamelas foi areia franca, diferenciando-se da região entre as lamelas e dos demais horizontes, enquadrados como areia (Quadro 1). As lamelas foram longas e contínuas, não planas e em algumas vezes fragmentadas; apresentam espessura de até 4 mm e espaçamento entre lamelas que varia de 0,02-0,05 m, com ocorrência de sete a oito lamelas no horizonte C1, que são de mais fácil visualização que as presentes no horizonte C2. Essa espessura encontrava-se pouco abaixo das relatadas por Bockheim e Hartemink (2013), os quais, estudando 118 perfis de solos nos Estados Unidos, com a presença de lamelas, observaram que a espessura média das lamelas variou de 6 a 22 mm; contudo, coerente com os resultados obtidos por Holliday e Rawling III (2006), cuja espessura média variou de 1 a 15 mm.

Atributos físicos

Na composição granulométrica da TFSA, houve o predomínio da fração areia total (AT) sobre as

demais frações, com os teores entre 813 e 894 g kg⁻¹ (Quadro 2). O maior teor de areia nesses tipos de solos pode ser explicado por seu material de origem (granito ou gnaíse), que apresentam em sua constituição predominância de quartzo.

O predomínio de areia em Neossolos Regolíticos localizados no Estado de Pernambuco também foi relacionado por Santos et al. (2012) ao material de origem formado essencialmente de quartzo. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2014) para perfis de Neossolos Regolíticos localizados em Pernambuco.

Os teores de argila situaram-se entre 20 e 60 g kg⁻¹, com ligeiro aumento no P2, principalmente nas lamelas (120 g kg⁻¹) (Quadro 2). Variação no teor de argila nas lamelas de 30 a 190 g kg⁻¹ foi relatada por Holliday e Rawling III (2006), Bockheim e Hartemink (2013) e Furquim et al. (2013).

Baixos valores de argila são de ocorrência comum em solos pouco desenvolvidos pedogeneticamente, principalmente quando são oriundos da alteração de rochas cristalinas (Hillel, 1998), como é o caso dos solos estudados neste trabalho.

As maiores concentrações de argila nas lamelas podem ser explicadas pela natureza de sua formação,

Quadro 2. Atributos físico-hídricos dos perfis de Neossolos Regolíticos nos municípios de Paranatama (P1) e São João (P2)

Horiz	Areia	Silte	Argila	Ds	PT	Ma	Mi	CC	PMP	AD	ARM
		g kg ⁻¹		Mg m ⁻³			m ³ m ⁻³				mm
P1 - Paranatama: Neossolo Regolítico Eutrófico típico											
Ap	880 a	95 b	25 e	1,31 ef	0,487 c	0,414 b	0,073 e	0,097 e	0,025 edf	0,072 ba	11,5 d
AC	872 ba	98 b	30 d	1,36 ed	0,467 c	0,408 b	0,059 fg	0,076 g	0,016 ef	0,060 b	15,5 d
C1	894 a	86 b	20 f	1,28 f	0,477 c	0,420 b	0,056 g	0,071 g	0,013 f	0,058 b	19,0 bdc
C2	880 a	101 b	20 f	1,15 g	0,577 a	0,517 a	0,059 fg	0,065 g	0,019 edf	0,046 c	12,9 d
Cr	837 dc	133 a	30 d	1,40 d	0,441 d	0,372 c	0,069 fe	0,086 fg	0,024 edf	0,062 b	16,6 dc
P2 - São João: Neossolo Regolítico Eutrófico típico											
Ap	880 a	100 b	20 f	1,51 b	0,430 ed	0,367 dc	0,063 feg	0,111 e	0,048 d	0,062 b	12,5 d
C1	871 ba	89 b	40 c	1,59 a	0,409 f	0,346 de	0,063 feg	0,122 d	0,049 d	0,073 ba	25,6 ba
C2	852 bc	88 b	60 b	1,54 ba	0,421 ef	0,278 f	0,142 b	0,251 b	0,164 b	0,087 a	28,6 a
C3	842 c	98 b	60 b	1,45 c	0,442 d	0,356 dce	0,086 d	0,147 c	0,081 c	0,066 b	24,5 bac
C4	813 d	127 a	60 b	1,27 f	0,512 b	0,282 f	0,229 a	0,308 a	0,228 a	0,080 a	31,8 a
Lamelas	850 bc	30 c	120 a	1,49 bc	0,434 ed	0,334 e	0,099 c	0,174 bc	0,114 bc	0,060 b	0,2 e ⁽¹⁾

Ds: Densidade do solo; PT: Porosidade total; Ma: Macroporosidade; Mi: Microporosidade; CC: Umidade na capacidade de campo; PMP: Umidade no ponto de murcha permanente; AD: Água disponível (AD = CC-PMP); ARM: armazenamento de água. ⁽¹⁾ Para cada lamela. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

que, segundo Rolim Neto e Santos (1994), trata-se de uma camada de acúmulo de argila derivada de processos pedogenéticos (argiluviação); esse processo foi descrito como responsável pela gênese das lamelas, em estudos no Brasil (Paisani, 2004) e nos Estados Unidos (Bockheim e Hartemink, 2013).

Os valores de silte variaram entre 30 e 133 g kg⁻¹, com os menores teores para as lamelas do P2 (Quadro 2). Os horizontes Cr do P1 e C4 do P2 apresentaram valores significativamente superiores aos demais horizontes e camadas (lamelas) estudados. A densidade do solo (Ds) dos horizontes do P1 e P2 variou de 1,15 a 1,59 Mg m⁻³, valores esses geralmente encontrados para solos arenosos (Ceballos et al., 2002).

A porosidade total (PT) variou de 0,409 a 0,577 m³ m⁻³, com os maiores valores observados no C2 do P1 e no C4 do P2, que se apresentaram significativamente diferentes dos demais horizontes (Quadro 2). A macroporosidade (Ma) variou de 0,278 a 0,517 m³ m⁻³, com os valores do P2 inferiores aos do P1, principalmente para o horizonte C2 (0,278 m³ m⁻³) (Quadro 2). Para a microporosidade (Mi), foi observado comportamento inverso, com seus valores entre 0,059 e 0,229 m³ m⁻³ para ambos os perfis, destacando-se os horizontes C2 (0,142 m³ m⁻³) e C4 (0,229 m³ m⁻³) e as lamelas (0,099 m³ m⁻³) do P2. Esses resultados estão semelhantes aos obtidos por Santos et al. (2012) e Silva et al. (2014), que estudaram propriedades físicas de Neossolos Regolíticos no Estado de Pernambuco.

Em geral, as umidades na CC do P2 apresentaram valores significativamente superiores aos observados no P1, principalmente para os horizontes C2 e C4

(Quadro 2). A mesma tendência foi verificada para o armazenamento de água no solo.

Mineralogia e atributos micromorfológicos

De modo geral, os perfis (P1 e P2) evidenciaram-se bastantes similares, principalmente em relação à composição da assembleia mineralógica e alteração dos grãos que compõem os materiais grosso e fino, provavelmente consequência da semelhança climática e da composição mineralógica da rocha das regiões estudadas (Santos et al., 2012). Pela análise micromorfológica, foi possível observar que os solos apresentam domínio de material grosso (60 %), em relação a material fino (5 %) e poros (35 %) (Quadro 3).

As observações em microscopia óptica, juntamente com os espectros de DRX (Figura 2), sugerem predomínio de quartzo, seguido de feldspato potássico, plagioclásio e mica na fração grossa dos perfis estudados. Esses últimos três minerais compõem a assembleia dos minerais primários facilmente intemperizáveis (MPFI), que supera os 5 %, confirmando as observações macromorfológicas de campo e o enquadramento dos solos como Neossolos Regolíticos, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013).

O quartzo representou cerca de 90 % dos grãos, já os feldspatos potássicos e os plagioclásios compõem em média de 4 e 2 % dos grãos do material grosso, respectivamente (Quadro 3). As micas se apresentaram presentes nos solos em quantidade inferior a 1 %. O grau de alteração se apresentou mais evidente nos fragmentos de rocha, que por sua vez compõem cerca de 3 % do material grosso

Quadro 3. Atributos micromorfológicos dos horizontes do perfil 1 (Paranatama) e 2 (São João)

Atributo	Perfil 1				Perfil 2			
	AC (0,16-0,42 m)	C2 (0,75-1,03 m)	C1 (0,20-0,55 m)	C2 (0,55-0,88 m)	C3 (0,88-1,25 m)	C4 (1,25-1,65+ m)		
Geral	Homogênea	Homogênea	Componente Heterogênea. Duas zonas: Zona A (92 %) e Zona B (8 %), denominada de lamela	Homogênea	Homogênea	Homogênea	Homogênea	Homogênea
Microestrutura	Grãos com película (90 %) e grãos com pontes (10 %)	Grãos com película (90 %) e grãos com pontes (10 %)	a) Grãos com película (85 %) e grãos com pontes (15 %) b) Cavitária	Grãos com película (34 %); grãos com pontes (33 %); e grãos (areia fina e muito fina compactos (33 %), com pouca argila (empacotamento)	Grãos com película (50 %) e grãos com pontes (50 %)	Grãos com película (30 %) com película (30 %); grãos com pontes (35 %); e grãos (areia fina e muito fina) compactos (35 %), com argila (empacotamento)		
Material fino	Bruno-escuro, mineral, manchado, fábrica-b indiferenciada, isotrópico	Bruno, mineral, manchado, fábrica-b salpicada grânida, isotrópico	a) Bruno-escuro, mineral, manchado, fábrica-b salpicada grânida, isotrópico. b) Amarelo, mineral, manchado, isotrópico com presença grande quantidade de fábricas-b salpicada mosaico, granoestriada e reticulada estriada	Bruno, mineral, manchado, fábrica-b salpicada grânida, isotrópico	Bruno-amarelo, mineral, manchado, fábrica-b sapicada grânida, isotrópico	Bruno-amarelo, mineral, manchado, fábrica-b sapicada grânida, isotrópico		
Material grosso	Quartzo (88 %), feldpatos potássicos (5 %), plagioclásio (2 %), micas (1 %), fragmentos de rocha (2 %) e fragmentos de raízes e carvões (2 %). Subarredondados e angulares. Mal selecionados	Quartzo (85 %), feldpatos potássicos (5 %), plagioclásio (3 %), micas (1 %), fragmentos de rocha (3 %) e fragmentos de raízes e carvões (3 %). Subarredondados e angulares. Mal selecionados	a) Quartzo (90 %), feldpatos potássicos (3 %), plagioclásio (2 %), micas (1 %), fragmentos de rocha (4 %) e fragmentos de raízes e carvões. Subarredondados e angulares. Mal selecionados ao A, com menos carvões (2 %)	Quartzo (90 %), feldpatos potássicos (5 %), plagioclásios (1 %), fragmentos de rocha (4 %) e traços de mica, magnetita e carvões. Subarredondados e angulares. Mal selecionados	Quartzo (92 %), feldpatos potássicos (3 %), plagioclásio (1 %), fragmentos de rocha (4 %) e traços de mica, magnetita, raízes e carvões. Subarredondados e angulares. Mal selecionados	Quartzo (95 %), feldpatos potássicos (2 %), plagioclásio (1 %), fragmentos de rocha (2 %) e traços de mica e carvões. Subarredondados e angulares. Mal selecionados		
Poros	Empilhamento simples e cavidades	Empilhamento simples e cavidades	a) Empilhamento simples e cavidades. b) Cavidades	Empilhamento simples e cavidades	Empilhamento simples e cavidades	Empilhamento simples e cavidades		
Distribuição relativa	Mônica-gefúrica-quitônica	Quitônica-gefúrica-mônica	a) Mônica-gefúrica-quitônica. b) Porfírica-gefúrica e porfírica.	Gefúrica-quitônica	Gefúrica-quitônica	Gefúrica-quitônica		
Pedofeição	Preenchimentos densos incompletos, areia e silte	Preenchimentos densos incompletos, areia e silte	a) Preenchimentos típicos de grãos (0,01 a 0,05 mm) b) idem a anterior e revestimentos e preenchimentos de poros, argila e ferro	1) Revestimentos típicos de grãos (0,01 a 0,05 mm), argila e ferro de iluviação	Preenchimentos densos completos, mistura de material grosso e fino, porfírica, sem orientação e extinção ausente	Revestimentos típicos de grãos (0,01 a 0,05 mm), argila e ferro de iluviação		

encontrado. No interior desses fragmentos, foram observadas pequenas manchas de cor vermelha, sugerindo neoformação de hematita.

Além disso, também foram encontrados fragmentos de raízes e carvões, assim como traços de minerais opacos, provavelmente magnetita. A presença dos MPFI em teores superiores a 5 %, principalmente os feldspatos, indica que esses solos apresentam importante reserva de K para as plantas; além disso, juntamente com a ocorrência de micas e plagioclásios, indicam que são solos de baixo grau de intemperismo (Quadro 3).

Em relação ao material fino, os solos estudados apresentaram semelhanças na cor (bruno amarelo) e na composição (caulinítica) (Quadro 3). Seu teor se evidenciou em quantidade ligeiramente superior no P2, distribuindo-se principalmente como revestimentos de grãos (parciais ou totais) e, ocasionalmente, como pontes. O revestimento dos grãos no P2 se apresentou mais espesso, com valor médio de 0,03 mm. A maior expressão de

pontes entre os grãos do material grosso também foi observada no P2, com quantidade crescente em profundidade. Ambos os fatores podem estar contribuindo para menor infiltração e maior retenção de água em relação ao P1.

Em se tratando dos horizontes observados de forma individual, o horizonte C1 do P2 foi caracterizado pela presença de duas regiões distintas (zonas A e B) (Quadro 3 e Figura 3). A zona A (92 % da lâmina) possui distribuição mônica-gefúrica-quitônica, pouco densa, com pouca concentração conteúdo de material fino, disposto principalmente como películas (85 %) ou como pontes (15 %) entre os materiais grossos (zona interlamelas). Tal distribuição confere porosidade do tipo empilhamento simples, com grande conectividade dos macroporos, o que facilita o transporte e reduz a retenção de água nesse horizonte. A zona B (lamelas) apresentou grande concentração de material fino, de coloração amarelada manchada com pontuações de carvão, na forma de lamelas com espessura média de 3 mm (Quadro 3 e Figura 3). Essa observação é corroborada pela macromorfologia de campo (Quadro 1), que confirmou a presença dessa feição também no horizonte C2 do mesmo perfil, porém em menor proporção.

Nas lamelas, o material fino se apresentou em quase sua totalidade como preenchimentos completos ou incompletos da porosidade formada entre os grãos do material grosso (empilhamento simples), ocorrendo ainda na forma de pontes e revestimentos de grãos e poros do tipo cavidades, conferindo distribuição do tipo porfírica-quitônica ou porfírica-gefúrica (Quadro 3 e Figura 3). Nas regiões onde a porosidade se apresentou praticamente preenchida por material fino, a distribuição relativa é do tipo porfírica. Todos esses tipos de distribuições relativas entre os materiais grosso e fino conferem reduzida porosidade total às zonas com lamelas, ocorrendo predominantemente como cavidades policôncavas, o que dificulta o transporte da água e aumenta sua retenção e acúmulo de água nessas camadas. Entretanto, não foi observada forte retenção de água nesse horizonte (C1) pelo fato de o transporte da água ocorrer livremente e de forma mais intensa nas regiões entre lamelas, provavelmente em razão do empacotamento menos denso e maior conectividade dos poros.

Em razão da menor quantidade e expressividade, as lamelas não foram identificadas na lâmina delgada do horizonte C2 do P2. Nesse horizonte, foi observada distribuição de seus componentes do tipo gefúrica-quitônica, compondo uma microestrutura complexa formada de grãos com películas (34 %), grãos com pontes (33 %) e grãos compactos (areia fina e muito fina com pouca argila) (33 %), na forma de empacotamento aglomerático denso. Esse último tipo de microestrutura também foi observado no horizonte C4 e é consequência da expressiva redução da macroporosidade por causa da grande intercalação

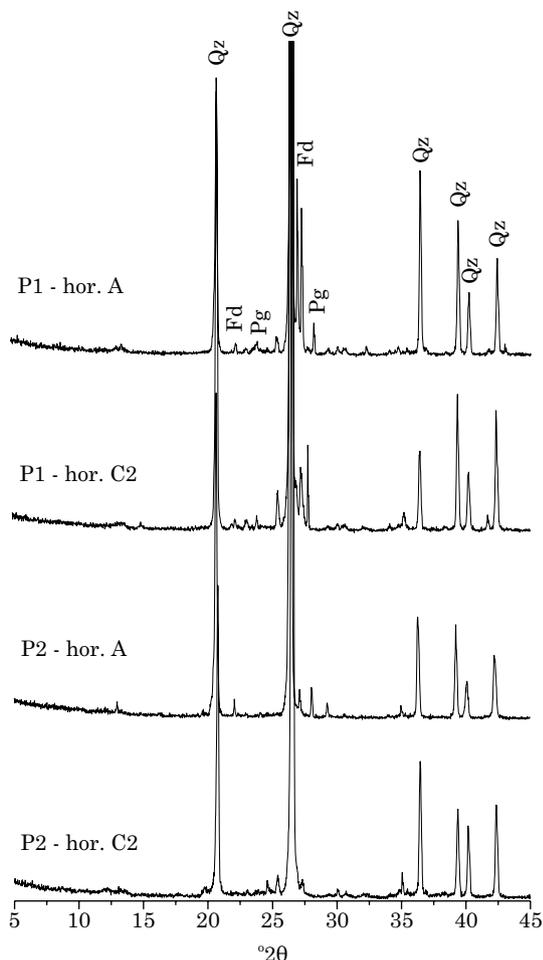


Figura 2. Difratomogramas de raios X da fração areia dos perfis de Neossolos Regolíticos Eutrófico típico: P1 (Paranatama) e P2 (São João). Qz: quartzo; Fd: feldspato; Pg: plagioclásio.

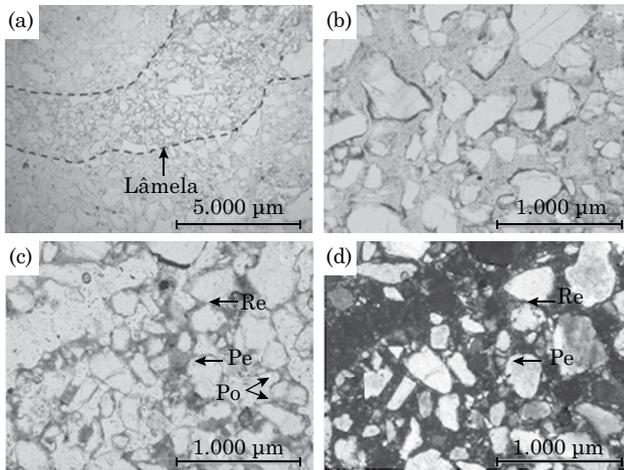


Figura 3. Micrografias do horizonte C1 do perfil 2 de um Neossolo Regolítico Eutrófico típico, de São João, PE: (a) representação das zonas da lamela e interlamelas; (b) distribuição dos componentes da zona interlamelas; (c) distribuição dos componentes da zona da lamela em Luz Polarizada Plana; e (d) foto anterior em Luz Polarizada Cruzada. Re: Revestimento; Pe: Preenchimento; e Po: Pontes.

de grãos menores (areia fina e muito fina) entre grãos maiores (areia grossa, areia muito grosso e cascalho) com pouco de argila. Esse tipo de ajuste promove formação de pequenas cavidades arredondadas ou irregulares com aumento dos poros médios.

Ainda com relação ao P2, o horizonte C3 apresentou distribuição gefúrica-quitônica e microestrutura dos tipos grãos com película (50 %) e grãos com pontes (50 %). Não foram observados grãos compactados na forma de empacotamento aglomerático, permitindo grande conectividade dos poros originados entre as partículas, que compõe o material grosso (empilhamento simples). Tal fato permite a distribuição da água de maneira livre, pois os poros são grandes e homogêneos, o que dificulta a retenção da água nesse horizonte.

Micromorfológicamente, o C4 se evidencia semelhante ao C3, diferindo pelo desenvolvimento incipiente e pequenas zonas de empacotamento aglomerático denso, com provável presença de poros pequenos nessas zonas, o que justificaria aumento da microporosidade e contribuiria para maior retenção de água por esse horizonte.

No P1, os horizontes estudados (AC e C2) foram bem semelhantes entre si, com predominância de poros grandes e contínuos e microestrutura formada por grãos com película (90 %) e grãos com pontes (10 %) (Quadro 3). Além disso, o empacotamento do material foi pouco denso, além da presença mínima de materiais finos, que ocorrem principalmente como películas dos grãos.

Dessa forma, o transporte da água é feito de forma contínua e intensa, pois, por apresentarem poucas pontes entre os grãos, a conectividade entre os poros é grande, existindo poucas regiões de acúmulo ou armazenamento de água.

Os valores de porosidade total (PT) dos horizontes C2 e C4 do P2 foram os menores entre todos os horizontes de ambos os perfis estudados, com 25 e 24 %, respectivamente. Isso sugere que esses horizontes com menores PT, por serem mais compactos, favorecem para uma percolação mais lenta e maior retenção de água (Figura 4). Todavia, essa PT leva em consideração apenas a macro e mesoporosidade, pois as análises de imagem (micromorfologia) não permitem visualizar a microporosidade. Porém, na determinação da macro e microporosidade, obtida pela mesa de tensão em laboratório, os maiores valores de microporos são encontrados nos horizontes C2 e C4, corroborando mais uma vez a maior retenção de água nesses horizontes (Quadro 2).

Houve predominância de poros grandes em todos os horizontes estudados, que compreendem quase que a totalidade da porosidade do solo. Nos horizontes C2 e C4 do P2, os percentuais de poros grandes foram inferiores aos demais horizontes estudados (Figura 4). Parahyba (2013) atribuiu menor proporção de poros maiores a um melhor arranjo estrutural (empacotamento) e consequente maior retenção de água. Apesar de haver maior porcentagem de área preenchida por poros grandes, o número de poros pequenos foi maior, isso para todos os horizontes estudados. Isso demonstrou que apesar dos poros grandes ocuparem grandes espaços, esses são pouco numerosos, pois ocorrem de forma contínua (grande conectividade).

Com relação ao formato dos poros, houve maior percentual de área preenchida por poros complexos que totalizam a maior parte dos poros grandes (Figura 4). Apesar de os poros arredondados possuírem percentual de área pequena, se comparado aos poros complexos, esses se apresentam em maior número. Dessa forma, a maior quantidade de poros arredondados favorece distribuição espacial mais fechada ou densa, o que dificulta o deslocamento da água no longo do perfil (Parahyba, 2013). A condutividade hidráulica e retenção da água no solo são influenciadas pelo formato dos poros e que os poros complexos resultam no empacotamento de grãos individuais e, ou, agregados, favorecendo a infiltração da água em detrimento da retenção (Ringrose-Voase e Bullock, 1984).

O número de poros complexos aumentou com a profundidade do solo, porém diminuiu em porcentagem de área total ocupada, exceto para os horizontes C2 e C4 do P2, que não apresentaram essa tendência (Figura 4). Esse comportamento também foi observado por Juhász et al. (2007), os quais atribuíram uma

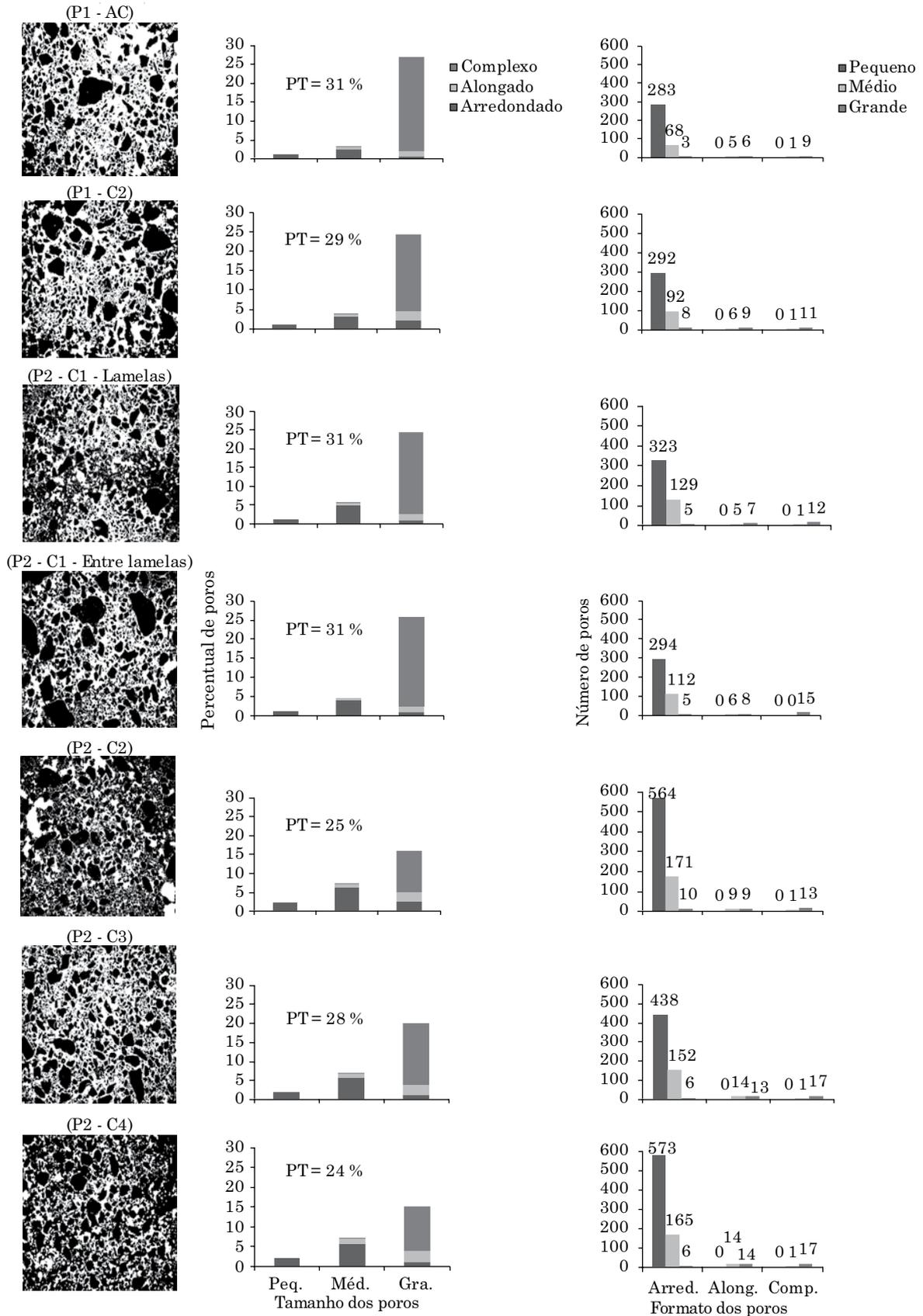


Figura 4. Micrografias binarizadas dos perfis 1, de Paranatama-PE, e 2, de São João-PE, e distribuição da porosidade total (PT) por área e número de poros, quanto ao tamanho e formato. Peq.: pequeno, Méd.: médio, Gra.: grande, Arred.: arredondado, Along.: alongado, e Comp.: complexo.

microestrutura mais solta nos horizontes mais superficiais e macroporosidade maior nos horizontes mais subsuperficiais dos perfis que apresentam tal comportamento.

Nos perfis estudados, os poros complexos, que são principalmente grandes, ocuparam quase que o percentual total de poros, permitindo que a retenção de água nesses solos não seja tão eficiente. Os horizontes C2 e C4 do P2 apresentam percentuais de área com poros complexos inferiores aos demais horizontes estudados, o que justifica a maior retenção de água nesses horizontes (Figura 4). No mesmo propósito, comparando-se o horizonte C1 do P2, as regiões de lamelas e entre lamelas, vê-se que a primeira apresenta um percentual de área de poros complexo ligeiramente inferior, o que comprova sua maior retenção de água que a região entre lamelas.

Assim, fica claro que existem diferenças entre os perfis analisados e que tais diferenças estão relacionadas ao empacotamento e, ou, distribuição dos materiais grosseiros e finos no longo dos horizontes, onde se observaram no P2 a presença de empacotamento denso de suas partículas (microestrutura grãos compactos) e grande expressividade da distribuição quitônica, ambas podendo favorecer maior retenção de água nesse solo.

Frente a essas observações, propõe-se a discussão sobre a necessidade da criação de um novo subgrupo (4º nível) no atual SiBCS (Embrapa, 2013), sugerindo-se a adoção do termo “lamélico” para aqueles solos que apresentassem soma inferior a 0,15 m das espessuras de todas as lamelas dentro da profundidade de 1,50 m. Nesse sentido, os perfis deste estudo seriam classificados como Neossolo Regolítico Eutrófico típico (P1) e Neossolo Regolítico Eutrófico lamélico (P2). Sugestão semelhante foi realizada por Henriques (2012) para Neossolos Regolíticos do município de Areia, Paraíba. Esse autor sugeriu o enquadramento dos solos como Neossolo Regolítico Distrófico fragipânico lamélico.

CONCLUSÕES

Não foram observadas diferenças expressivas entre os Neossolos Regolíticos quanto aos atributos macromorfológicos (cor, textura, estrutura e consistência). Houve diferença significativa do teor de argila, da macroporosidade, da microporosidade, da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente entre os horizontes dos perfis estudados.

A caracterização micromorfológica indicou que a retenção e o armazenamento de água estão relacionados com a presença de empacotamento

denso dos materiais grossos e finos (empacotamento aglomerático) e expressividade das pontes de argila ligando os grãos de areia e, ou, silte.

Apesar de os solos estudados serem classificados como Neossolo Regolítico Eutrófico típico, existem expressivas diferenças entre seus atributos físicos. Assim, sugere-se adoção do termo “lamélico” (em 4º nível categórico) para aqueles que apresentam lamelas cuja soma tenha valor menor que 0,15 m. Contudo, ressalta-se que mais estudos sejam realizados para melhor entendimento da dinâmica da água nesses solos e confirmação dessa futura distinção.

AGRADECIMENTOS

À CAPES e ao CNPq, pela concessão das bolsas de estudos de mestrado e pós-doutorado, respectivamente, ao primeiro e terceiro autores. À USP/ESALQ (Piracicaba, SP), pela confecção das lâminas e disponibilidade do Laboratório de Micropedologia para a realização das análises.

REFERÊNCIAS

- Almeida BG, Donagemma GK, Ruiz HA, Braida JA, Viana JHM, Reichert JMM, Oliveira LB, Ceddia MB, Wadt PS, Fernandes RBA, Passos RR, Dechen SCF, Klein VA, Teixeira WG. Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa; 2012. (Comunicado técnico, 66).
- Azevedo AC, Pedron FA, Dalmolin RSD. A evolução da vida e as funções do solo no ambiente. *Tópicos Ci. Solo.* 2007;5:1-47.
- Bockheim JG, Hartemink AE. Classification and distribution of soils with lamellae in the USA. *Geoderma.* 2013;206:92-100.
- Borges Júnior JCF, Anjos RT, Silva TJA, Lima JRS, Andrade CLT. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. *R Bras Eng Agric Amb.* 2012;16:380-90.
- Brown G, Brindley GW. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: Brindley GW, Brown G, editors. London: Mineralogical Society; 1980. p.305-60.
- Ceballos A, Martínez-Fernández J, Santos F, Alonso P. Soil-water behavior of sandy soils under semi-arid conditions in the Duero Basin (Spain). *J Arid Environ.* 2002;51:501-19.
- Cooper M, Vidal-Torrado P, Chaplot V. Origin of microaggregates in soils with ferralic horizons. *Sci Agric.* 2005;62:256-63.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ª.ed. Rio de Janeiro: 1997.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª.ed. Brasília, DF: 2013.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Solos do Nordeste. Recife: CNPS/UEP; 2006. [Acessado em 12 out.

- 2012]. Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=pe>.
- Furquim SAC, Coltrinari L, Ferreira RPD, Castro SS, Pugliese GR. Lamellae formation processes in tropical soils in southeastern Brazil. *Catena*. 2013;107:15-25.
- Hannah PR, Zahner R. Non pedogenetic texture bands in outwash sands of Michigan: their origin, and influence on tree growth. *Soil Sci Soc Am J*. 1970;34:134-6.
- Henriques TMM. Caracterização e mapeamento de solos em brejo de altitude na propriedade jardim, área experimental do CCA/UFPB, em Areia-PB [dissertação]. Areia: Universidade Federal da Paraíba; 2012.
- Hillel D. *Environmental soil physics*. New York: Academic Press; 1998.
- Holliday VC, Rawling III JE. Soil-geomorphic relations of lamellae in eolian sand on the High Plains of Texas and New Mexico. *Geoderma*. 2006;131:154-80.
- Jackson ML. *Soil chemical analysis: Advance course*. 29th.ed. Madison: 1975.
- Juhász CEP, Cooper M, Cursi PR, Ketzer AO, Toma RS. Savanna woodland soil micromorphology related to water retention. *Sci Agric*. 2007;64:344-54.
- Moore DM, Reynolds RC. *X-ray diffraction and identification and analysis of clay minerals*. Oxford: Oxford University Press; 1989.
- Murphy CP. Thin section preparation of soils and sediments. *J Microl*. 1987;147:213.
- Paisani JC. Gênese de Lamelas (“estruturas de dissipação”) associadas à evolução de Paleoargissolos em Rampa Arenosa, Praia Mole (Ilha de Santa Catarina)/SC, Brasil: subsídios para uma interpretação paelogeomorfológica. *R Bras Geomorf*. 2004;1:29-42.
- Parahyba RBV. Geoambientes, litopossequência, e características físico-hídricas de solos arenosos da Bacia do Tucano, Bahia [tese]. Recife: Universidade Federal de Pernambuco; 2013.
- Ringrose-Voase AJ, Bullock P. The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. *J Soil Sci*. 1984;35:673-84.
- Rolim Neto FC, Santos MC. Gênese de solo arenoso com lamelas e fragipã no Agreste de Pernambuco. *R Bras Ci Solo*. 1994;18:243-53.
- Santos JCB, Souza Júnior VS, Corrêa MM, Ribeiro MR, Almeida MC, Borges LEP. Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. *R Bras Ci Solo*. 2012;36:683-96.
- Santos RD, Lemos RC, Santos HG, Ker JC, Anjos LHC. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 6^ª.ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2013.
- Silva RAB, Lima JRS, Antonino ACD, Gondim PSS, Souza ES, Barros Júnior G. Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). *R Bras Ci Solo*. 2014;38:147-57.
- Sistema de Informação Territorial - SIT. [Acessado em: 14 dez. 2013]. Disponível em: <http://sit.mda.gov.br/mapa.php>.
- Soil Survey Staff. *Keys to soil taxonomy*. 12th.ed. Washington, DC: United States Department of Agriculture/Natural Resources Conservation Service; 2014.
- Wang T, Zlotnik VA, Wedin D, Wally KD. Spatial trends in saturated hydraulic conductivity of vegetated dunes in the Nebraska Sand Hills: effects of depth and topography. *J Hydrol*. 2008;349:88-97.
- Weber J, Karczewska A, Drozd J, Licznar M, Licznar S, Jamroz E, Kocowicz A. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biol Biochem*. 2007;39:1294-302.