

# DIVISÃO 1 - SOLO NO ESPAÇO E NO TEMPO

## Comissão 1.1 - Gênese e morfologia do solo

### GÊNESE DE SOLOS COESOS DO LESTE MARANHENSE: RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM<sup>(1)</sup>

Jussara Silva Dantas<sup>(2)</sup>, José Marques Júnior<sup>(3)</sup>, Marcílio Vieira Martins Filho<sup>(3)</sup>, José Maria do Amaral Resende<sup>(2)</sup>, Livia Arantes Camargo<sup>(4)</sup> & Ronny Sobreira Barbosa<sup>(5)</sup>

#### RESUMO

A ocorrência dos solos coesos no Brasil está relacionada predominantemente com os sedimentos argiloarenosos da Formação Barreiras, os quais estão geologicamente relacionados com os depósitos sedimentares do período Terciário, que constituem a unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros. Os objetivos deste trabalho foram identificar a ocorrência de solos coesos e estudar suas relações com a paisagem na região leste do Estado do Maranhão. A área do estudo localiza-se na Fazenda Typuana, região leste maranhense, no município de Brejo, MA, nas coordenadas geográficas de 03° 36' S e 42° 52' W. A vegetação predominante da área de estudo é do tipo Cerrado, com uma composição florística diversificada. Foram abertas três trincheiras, uma em cada área do estudo, com distintas formações vegetais para as caracterizações morfológica, física, química, mineralógica e a classificação taxonômica dos solos. A caulinita foi o mineral predominante nos horizontes coesos, porém seu grau de cristalinidade não influenciou na variação da densidade do solo (1,40 a 1,56 kg dm<sup>-3</sup>) e na resistência à penetração (1,24 a 2,18 MPa). Constatou-se que a posição da paisagem foi determinante para a distinção dos solos coesos, de modo que os desenvolvidos em pedoforma côncava apresentaram a maior expressão do caráter coeso e com maior *status* de fertilidade e matéria orgânica, refletindo na vegetação mais exuberante, caracterizada pelo Cerradão.

**Termos de indexação:** pedogênese, Argissolos, Formação Barreiras.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado da primeira autora. Recebido para publicação em 17 de junho de 2013 e aprovado em 28 de abril de 2014.

<sup>(2)</sup> Professor, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal do Maranhão, *Campus* de Chapadinha. BR-222, km 04, Boa Vista. CEP 65500-000 Chapadinha (MA). E-mail: jussara@ufma.br, zemaria@ufma.br

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto, Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV, Universidade Estadual Paulista - UNESP. Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n. CEP 14884-900 Jaboticabal (SP). E-mail: marques@fcav.unesp.br, mfilho@fcav.unesp.br

<sup>(4)</sup> Pós-doutoranda, Departamento de Solos e Adubos, FCAV/UNESP. Bolsista FAPESP. E-mail: li\_arantes@yahoo.com.br

<sup>(5)</sup> Professor Adjunto, Universidade Federal do Piauí, *Campus* Professora Cinobelina Elvas. Rodovia Municipal Bom Jesus - Viana, km 01 Planalto Horizonte. CEP 64900-000 Bom Jesus (PI). E-mail: rsbagronomo@gmail.com

## SUMMARY: GENESIS OF COHESIVE SOILS OF EASTERN MARANHÃO: SOIL-LANDSCAPE RELATION

*The occurrence of cohesive soils in Brazil is predominantly related to sandy-clay sediments of the Barreiras Formation, which are geologically related to the sedimentary deposits of the Tertiary period (from Paleocene to Pliocene), which constitute the geomorphological unit of the Coastal Plains. The objective of this study was to identify the occurrence of cohesive soils in the eastern region of the state of Maranhão, Brazil, and assess their relationship to position in the landscape. The area under study is in the Typuana Farm, in the East Maranhão region, in Brejo, MA, at the geographical coordinates of 03° 36' S and 42° 52' W. The predominant vegetation of the area is Cerrado (tropical savanna), with diverse floristic composition. Three trenches were dug (depth profiles 1, 2, and 3), one in each area of study with distinct vegetation, for morphological, physical, chemical, and mineralogical characterization, and for morphological classification of the soils. Kaolinite was the predominant mineral in the cohesive layers, but its degree of crystallinity did not affect the variation in soil density (1.40 to 1.56 kg dm<sup>-3</sup>) and resistance to penetration (1.24 to 2.18 MPa). It was found that position in the landscape was essential for distinction of cohesive soils, and those established in a concave landform exhibited the highest expression of the cohesive character, which resulted in higher soil fertility and organic matter, reflecting the more exuberant vegetation of the Cerradão.*

*Index terms: pedogenetic process, Argisol, Barreiras Formation.*

## INTRODUÇÃO

Os solos dos Tabuleiros Costeiros estão distribuídos por quase toda a faixa litorânea do Brasil, ocupando cerca de 20 milhões de hectares, indo do Estado do Amapá até o Rio de Janeiro (Silva et al., 2012; Vieira et al., 2012); a ocorrência deles no Brasil está relacionada com os depósitos sedimentares da Formação Barreiras, do período Terciário (Corrêa et al., 2008; Cintra et al., 2009). Os solos sob essa Formação localizam-se na zona úmida costeira do litoral das Regiões Norte, Nordeste e Sudeste, em climas de estações secas e úmidas bem definidas (Jacomine, 2001; Giarola & Silva, 2002). Há também pequena parte desses solos na zona costeira semiárida, entre o Rio Grande do Norte e Piauí.

O caráter coeso é uma característica estabelecida na distinção de algumas classes de solo, como os Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos e Argissolos Acinzentados, desenvolvidas a partir de sedimentos da Formação Barreiras e congêneres, mais frequentes no ambiente dos Tabuleiros Costeiros e na Região Amazônica (Jacomine, 2005). Essa coesão proporciona fortes limitações agrícolas, como baixa potencialidade nutricional para as plantas (Corrêa et al., 2008). No entanto, as atividades agrícolas que ocorrem em solos coesos apresentam grande importância no cenário nacional, uma vez que, no Nordeste, 90 % da cultura do dendê; 88 %, do coco; 73 %, do mamão; 68 %, do caju; 65 %, do abacaxi; 65 %, da cana-de-açúcar; 48 %, do cacau; e 33 %, da mandioca são cultivadas em solos dos Tabuleiros Costeiros (Souza & Souza, 2012).

Os estudos sobre solos coesos no Brasil começaram a ser amplamente realizados recentemente (Fonseca, 1986; Ribeiro, 1998; Moreau, 2001). Nos últimos cinco

anos, as pesquisas com esses solos intensificaram-se especialmente no Nordeste brasileiro (Corrêa et al., 2008; Cintra et al., 2009; Pacheco & Cantalice, 2011; Silva et al., 2012). As principais informações desses ambientes evidenciam características bem peculiares, que podem estar associadas a vários processos, como o entupimento dos poros com argila iluvial, a presença de compostos orgânicos poucos polimerizados, a presença e o acúmulo de sílica secundária, óxido de Fe e argila dispersa nos microporos e o adensamento por dessecação resultante da alteração da estrutura do solo pela alternância de ciclos de umedecimento e secagem (Rezende, 2000; Lima Neto et al., 2009). Vieira et al. (2012), estudando Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará, verificaram a relação da paisagem na gênese de horizontes coesos e observaram que o solo mais coeso foi aquele que se encontrava na posição mais baixa da paisagem.

Para compreender as feições da paisagem de determinada região, faz-se necessário perceber a relação solo-paisagem que ocorre no local, ou seja, entender a interação entre o relevo e os componentes do solo (Meyreles et al., 2012). As investigações sobre a relação solo-paisagem de determinado ambiente são importantes em todos os estudos no âmbito da ciência do solo; no entanto, tornam-se essenciais quando o objetivo é a compreensão da distribuição das diferentes pedofomas de uma região (Campos, 2012).

Investigações sobre horizontes coesos no Estado do Maranhão são raras na literatura, inclusive no contexto solo-paisagem. Assim, é nítida a necessidade de pesquisas sobre solos coesos e a divulgação dessas, nessa região. Portanto, os objetivos deste trabalho foram identificar a ocorrência de solos coesos e estudar suas relações com a paisagem na região leste do Estado do Maranhão.

## MATERIAL E MÉTODOS

### O meio físico

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Typuana, situada no município de Brejo, na região leste do Estado do Maranhão (Figura 1), com coordenadas geográficas de 03° 36' S e 42° 52' W. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido (Aw), com temperatura média anual superior a 27 °C e precipitação pluvial média anual de 1.835 mm, com períodos de chuva entre os meses de janeiro e junho e de seca de julho a dezembro; a umidade relativa do ar anual fica entre 73 e 79 %. As altitudes variam de 100 a 400 m, com relevo ondulado a suave ondulado (Maranhão, 2002).

A vegetação predominante da área de estudo é do tipo Cerrado, com uma composição florística diversificada e passando por formas como o campo cerrado, cerrado ralo, cerrado típico e cerrado denso (IBGE, 2012).

A geologia da área de estudo é formada por materiais sedimentares de natureza distinta, tratando-se de coberturas detríticas, de natureza arenosa, siltosa, conglomerática ou argilosa, apresentando, às vezes, cangas ou bancos de seixos grosseiros. Sua litologia apresenta arenitos róseos, pouco consolidados, com argila e caulim. Possuem cor amarela, rósea ou vermelha, havendo, sempre, variação de local para local. A ausência de fósseis dificulta sua datação, sendo considerada pela maioria dos autores como Terciário da Formação Barreiras (Jacomine et al., 1986).

### Métodos de campo e amostragem

De acordo com os trabalhos de campo, foram definidas três áreas (1, 2 e 3) (Figura 1), pelo modelo digital de elevação (MDE); e segundo o modelo de Troeh (1965), classificaram-se a curvatura e o perfil das formas do terreno (presença de formas côncava e convexa). O modelo de paisagem estabelecido por Troeh (1965) baseia-se na curvatura do terreno; assim, as

pedoformas podem ser: lineares, convexas e côncavas. Nesse modelo, as pedoformas associam o perfil (inclinação) e a curvatura (curva) da paisagem dessa maneira, influenciando nos movimentos e na distribuição dos fluxos de água, sendo de convergência nas pedoformas côncavas e de divergências nas convexas, consequentemente provocando variações nos solos. Nas áreas 1 e 2, encontra-se a pedoforma côncava, enquanto na área 3, a convexa (Figura 1). O MDE foi gerado com base nas informações da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução horizontal de 90 m e precisão vertical da ordem de 5 m. Para detectar possíveis valores ruidosos nas informações SRTM, foi aplicado o filtro de mediana, subtração do resultado do filtro pelo dado original, retirada dos valores com variação de 10 m decorrente da falta de informação e interpolação pelo método Topogrid. Também foram acrescentadas as informações SRTM e informações de campo da altitude de 120 pontos das três áreas.

As áreas apresentam distintas formações vegetais: a área 1 apresenta vegetação de Cerradão; a 2, vegetação de Cerrado *stricto sensu* - Cerrado típico; e a 3, transição de Campo/Cerrado, segundo Oliveira Filho & Ratter (2002). Dentre as espécies mais comuns existentes nesses ambientes encontram-se *Orbignya speciosa* Mart. (Babaçu), *Copernicia cerifera* (Carnaúba) e *Mauritia vinifera* (Buriti) (Figura 2).

Para as caracterizações morfológica, física, química e mineralógica, foram abertas três trincheiras (perfis P1, P2 e P3) nas áreas (1, 2 e 3) (Figuras 1 e 2). Os solos foram coletados e descritos morfológicamente segundo Santos et al. (2005) e em seguida foram classificados, de acordo com critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS) (Embrapa, 2006).

### Análises físicas e químicas

A textura do solo foi determinada pelo método da pipeta, utilizando-se solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> como dispersante químico; fez-se agitação mecânica

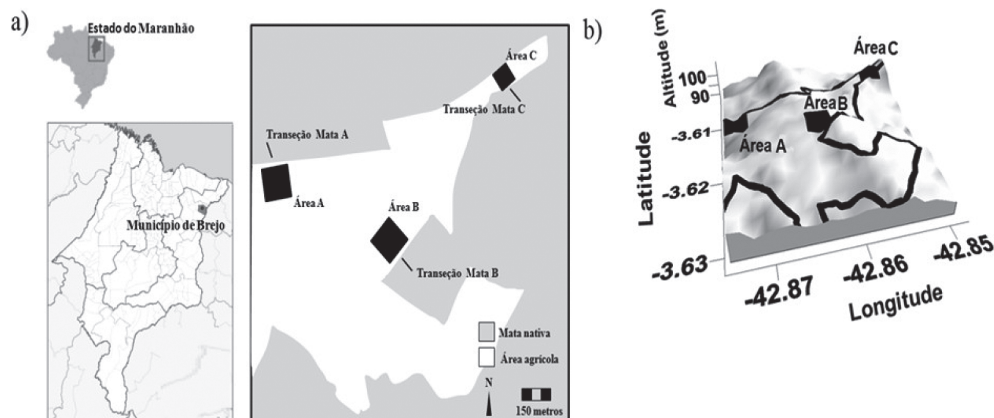
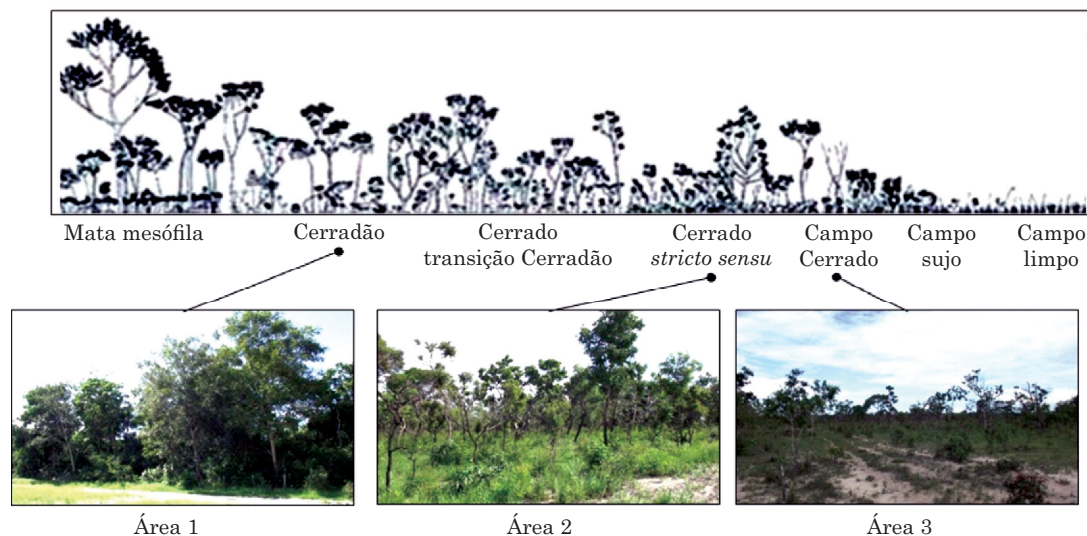


Figura 1. a) Localização da área de estudo; e b) Localização dos perfis dos solos estudados em três áreas, por meio do modelo digital de elevação (MDE).



**Figura 2.** Áreas com suas respectivas vegetações.

Fonte: Adaptada de Costa (2010).

em aparato de baixa rotação, por 16 h, seguindo-se método descrito em Embrapa (1997). A fração argila foi separada por sedimentação; já as areias grossa e fina separaram-se por tamisação, e o silte foi calculado por diferença. A argila dispersa em água (ADA) e o grau de floculação da argila (GF) foram calculados conforme Embrapa (1997).

As determinações de densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total (Pt) ocorreram como descrito em Embrapa (1997). Essas determinações foram feitas utilizando anéis volumétricos com amostras preservadas coletadas em todos os horizontes amostrados. A leitura da resistência do solo à penetração (RP) foi efetuada em amostras indeformadas. Para isso, foi utilizado o penetrômetro eletrônico estático de modelo MA-933, com velocidade constante de  $1 \text{ mm s}^{-1}$ , equipado com uma célula de carga de 200 N. Os valores de RP foram ajustados a um modelo não linear proposto por Busscher (1990).

As análises químicas determinadas foram: Ca, Mg, K e Na trocáveis, e P disponível, sendo extraídos pelo método da resina trocadora de íons. A acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) e a acidez potencial (H+Al) seguiram método de Raij et al. (2001). Foram determinados os teores de carbono orgânico por oxidação (Embrapa, 1997), já o teor de matéria orgânica estabeleceu-se multiplicando o teor de carbono orgânico pelo fator 1,724 (Jackson, 1982). O pH foi determinado utilizando-se da relação 1:2,5 de solo:água e em KCl (Embrapa, 1997). Com base nos resultados das análises químicas, foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (T), a saturação por bases (V %) e a saturação por alumínio (m).

Os óxidos foram determinados por meio do “método do ataque sulfúrico” ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  por digestão com

$\text{H}_2\text{SO}_4$  1:1, seguido de dissolução alcalina, para determinação de  $\text{SiO}_2$ ), de acordo com Embrapa (1997). As formas de ferro livre (Fed) foram extraídas com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, pelo método de Mehra & Jackson (1960). Na extração dos óxidos de ferro mal cristalizados (Feo), foi utilizado o oxalato ácido de amônio (Camargo et al., 1986).

### Análise mineralógica

A argila para a análise por difratometria de raios-X (DRX) foi obtida pelo método de centrifugação. O mineral da fração argila caulinita (Ct) foi caracterizado por DRX, pelo método do pó. Na caracterização da Ct, a fração argila foi submetida à eliminação dos óxidos de Fe pelo método ditionito-citrato-bicarbonato, segundo Mehra & Jackson (1960), e peneirada em malha de 0,10 mm.

O difratômetro utilizado foi o Mini-Flex II- Rigaku, empregando-se cátodo de Cu com filtro de Ni e radiação  $\text{k}\alpha$  (20 mA, 30 Kv). A velocidade de varredura empregada foi de  $1^\circ 2\theta \text{ min}^{-1}$ , com amplitude de  $5$  a  $50^\circ 2\theta$  para a caracterização da Ct. Os métodos utilizados para determinar o desordenamento estrutural e o índice de cristalinidade da caulinita foram os de Stoch (1974) e Hughes & Brown (1979), respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Atributos morfológicos

A similaridade morfológica observada entre os perfis (Quadro 1) está relacionada com o pré-intemperismo dos depósitos sedimentares da Formação Barreiras (Rezende, 2000). É possível



**Quadro 1. Atributos morfológicos dos solos de três perfis estudados**

Horizonte	Profundidade	Cor (Munsell)		Textura	Estrutura	Consistência		
		Seca	Úmida			Seca	Úmida	Molhada
cm								
Cerradão - Pedoforma côncava								
Argissolo Amarelo distrocoeso típico (P1)								
A	0-25	10YR 5/1	10YR 2/2	FA	2 G MG Bls	ED	MFi.	ñPlñPe
AB	25-50	10YR 6/2	10YR 4/2	FAA	1M G Bla	ED	MFi	ñPlñPe
BA	50-82	10YR 8/3	10YR 6/3	FAA	1M GBla	LD	Fr	LgPlLgPe
Bt1	82-140	10YR 8/3	10YR 6/6	FAA	2M GBla	LD	Fr	LgPlLgPe
Bt2	140+	10YR 8/3	10YR 6/6	FAA	2M GBla	LD	Fr	LgPlLgPe
Cerrado <i>stricto sensu</i> - Pedoforma côncava								
Argissolo Amarelo distrocoeso típico (P2)								
A	0-30	10YR 4/1	10YR 3/1	FA	2G MG Bla	LD	Fr	ñPlñPe
AB	30-55	10YR 7/2	10YR 5/3	FAA	1M GBla	D	Fr	LgPlLgPe
BA	55-85	10YR 8/4	10YR 6/6	FAA	1M GBla	LD	Fr	LgPlLgPe
Bt1	85-130	10YR 8/4	10YR 6/6	FAA	2M GBla	LD	Fr	LgPlLgPe
Bt2	130+	10YR 8/4	10YR 6/6	FAA	2P MBlá	LD	Fr	LgPlLgPe
Transição cerrado campo – Pedoforma convexa								
Argissolo Amarelo distrocoeso típico (P3)								
A	0-25	7,5YR 7/3	7,5YR 6/4	FA	2M GBls	ED	Fi	ñPlñPe
BA	25-60	7,5YR 8/4	7,5YR 6/6	FAA	2M GBls	LD	Fr	LgPlLgPe
Bt1	60-100	7,5YR 8/4	7,5YR 7/6	FAA	1M GBls	LD	Fr	LgPlLgPe
Bt2	100+	7,5YR 8/6	7,5YR 6/8	FAA	1M GBls	LD	Fr	LgPlLgPe

FA: franco-arenosa; e FAA: franco-argiloarenosa. 1 - fraca; e 2 - forte. P: pequena; M: média; G: grande; e MG: muito grande. Bla: blocos angulares; e Bls: blocos subangulares; LD: ligeiramente dura; D: dura; ED: extremamente dura; Fr: friável; Fi - firme; MFi: muito firme; ñ: não; Lg: ligeiramente; Pl: plástico; e Pe: pegajoso.

observar que existe um padrão de homogeneidade no comportamento da textura, estrutura e consistência. O horizonte A diferencia-se dos demais horizontes, que apresentaram condições morfológicas similares, a exemplo da textura que, em todos os perfis, apresentou-se franco-arenosa no horizonte A, e franco-argiloarenosa, nos demais horizontes.

De modo geral, os perfis apresentaram cores predominantemente amareladas nos matizes 10YR, valores variando de  $\geq 2$  e cromas  $< 6$ , evidenciando coloração bruno e bruno muito claro acinzentado, sem grandes variações entre o P1 e o P2; já no P3, obteve matiz 7,5YR, valores variando  $\geq 6$  e cromas  $< 8$ ; as colorações variaram de rosadas a amarelo-avermelhadas (Quadro 1). A presença da cor amarelada está associada à presença de goethita (Corrêa et al., 2008); e a da acinzentada está relacionada à baixa ocorrência de óxidos de Fe no material de origem (Vieira et al., 2012) e ao processo de desferrificação em razão das características pedológicas e climáticas da região (Corrêa et al., 2008; Lima Neto et al., 2010; Vieira et al., 2012).

As pedoformas condicionam os processos de formação do solo pelo direcionamento dos fluxos de água, convergentes na forma côncava e divergentes

na forma convexa (Montanari et al., 2010; Silva Júnior et al., 2012). A pedoforma côncava favorece a redução do Fe, condicionando cores mais amareladas, enquanto a convexa propicia a oxidação que condiciona cores mais avermelhadas (Resende et al., 2007).

Neste estudo, observou-se que os solos estudados apresentaram-se muito profundos; os solos da pedoforma côncava evidenciaram os maiores valores para espessura dos horizontes A+AB+BA em relação ao P3, que demonstrou menor espessura dos horizontes A+BA e, conseqüentemente, menor profundidade. Sanchez et al. (2009) também mostraram essa mesma tendência para maiores valores de espessura de horizontes em perfis sob pedoforma côncava em Argissolo na Região Sudeste do país.

Todos os perfis estudados foram classificados como Argissolo Amarelo distrocoeso típico, porém o P1 e o P2 evidenciaram seqüência de horizontes A1-AB-BA-Bt1 e Bt2, com profundidades superiores a 140 e 130 cm, respectivamente; apresentaram horizonte A moderado, com textura franco-arenosa. No horizonte A, as estruturas são do tipo forte, grande a muito grande, em blocos subangulares, enquanto nos

**Quadro 2. Atributos físicos dos solos de três perfis estudados**

Hor.	Prof.	Areia			Silte	Argila	ADA	GF	S/A	Ds	Macro	Micro	Pt	RP
		Grossa	Fina	Total										
	cm	g kg <sup>-1</sup>			%			kg dm <sup>-3</sup>	%		MPa			
Cerradão – Pedoforma côncava														
Argissolo Amarelo distrocoeso típico														
A	0-25	38	421	747	106	147	83	44	0,7	1,45	8	17	25	1,85
AB	25-50	38	364	687	128	185	164	16	0,6	1,56	10	21	31	2,18
BA	50-82	26	348	646	130	224	78	65	0,6	1,56	11	22	33	1,66
Bt1	82-140	23	276	546	155	299	0	100	0,5	1,47	11	24	35	1,88
Bt2	140+	21	261	526	145	329	0	100	0,4	nc	nc	nc	nc	nc
Cerrado <i>stricto sensu</i> – Pedoforma côncava														
Argissolo Amarelo distrocoeso típico														
A	0-30	74	390	792	83	125	91	27	0,6	1,58	10	19	29	1,62
AB	30-55	46	366	695	118	187	190	13	0,4	1,51	12	21	33	1,25
BA	55-85	45	331	655	120	225	174	23	0,5	1,53	11	22	33	1,46
Bt1	85-130	28	304	574	128	298	0	100	0,4	1,52	10	25	35	1,86
Bt2	130+	26	277	542	125	333	0	100	0,4	nc	nc	nc	nc	nc
Transição cerrado campo – Pedoforma convexa														
Argissolo Amarelo distrocoeso típico														
A	0-25	16	363	678	178	144	104	27	1,2	1,63	11	18	29	1,78
BA	25-60	21	281	556	162	282	0	100	0,6	1,41	16	22	38	1,24
Bt1	60-100	25	251	524	155	321	0	100	0,5	1,40	14	24	38	1,45
Bt2	100+	19	253	497	165	338	0	100	0,5	1,40	14	26	40	0,68

Hor.: horizonte; Prof.: profundidade; ADA: Argila dispersa em água; GF: grau de floculação; S/A: relação silte/argila; Ds: densidade do solo; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; Pt: porosidade total; RP: resistência do solo à penetração; nc: atributos físicos não calculados.

horizontes transicionais (AB e BA) se observou estrutura fraca grande a média, expressa por blocos subangulares.

O P3 apresentou sequência de horizontes A-BA-Bt1 e Bt2 e profundidade superior a 100 cm. O horizonte A1 preenche os requisitos de um A moderado, com textura franco-arenosa. Os demais horizontes evidenciaram textura franco-argiloarenosa. O horizonte A apresentou estrutura forte média, em blocos angulares, enquanto os horizontes transicionais BA e Bt1, estrutura fraca média a grande, em blocos angulares. A identificação de Argissolos Amarelos e Acinzentados nos Tabuleiros Costeiros foi feita em alguns Estados; entretanto, somente atualmente a classe dos Argissolos Amarelos está sendo identificada e estudada mais intensamente no Maranhão, em razão da adequada classificação desses solos (Jacomine, 2005).

Verificaram-se diferenças nos graus de consistência de solos seco e úmido, apresentando os horizontes A e AB (P1) e A (P3) consistência extremamente dura, quando secos e friáveis; e úmidos nos demais horizontes, nos três perfis estudados, com exceção dos horizontes A e AB (P1), que evidenciaram consistência muito firme. No campo, observou-se que os horizontes coesos apresentaram redução na quantidade e no

diâmetro das raízes, variando de poucas a raras. A elevada RP desses horizontes, quando secos, dificulta o crescimento das raízes, que tendem a se concentrarem na superfície (Lima Neto et al., 2009). Os solos de Tabuleiros Costeiros, apesar de serem considerados profundos, possuem uma profundidade efetiva reduzida pela presença de horizontes coesos (Souza, 1996).

As propriedades morfológicas dos solos estudados foram semelhantes às encontradas em Argissolos Amarelos de diversas regiões do Brasil, como consta em trabalhos realizados no Ceará, Bahia e Alagoas (Lima et al., 2004; Corrêa, 2005; Moreau et al., 2006a; Lima Neto et al., 2009).

### Atributos físicos

A análise textural demonstrou predomínio da fração areia em todos os perfis de solo, com maiores teores nos horizontes superficiais (Quadro 2). A fração areia fina foi a que apresentou maior quantidade nos horizontes estudados, diminuindo em profundidade, conseqüentemente causando aumentos nos teores de argila total. O acúmulo de partículas de argila oriundas dos horizontes superiores, as quais preencheriam poros, aumenta a Ds e torna o horizonte muito coeso. Essa constatação também foi observada

por Corrêa et al. (2008), em estudos micromorfológicos em horizontes coesos de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros.

Os horizontes coesos estudados (horizontes AB, BA dos perfis P1 e P2 e horizontes BA e Bt1 do P3) apresentaram textura franco-argiloarenosa, como relatado por Moreau (2001) e Corrêa (2005). A classe textural franco-argiloarenosa, nos horizontes coesos, coincide com o aumento proporcional dos teores de argila (Quadro 2). No entanto, esse aumento no teor de argila é insuficiente para justificar a formação desses. Comparando-se a morfologia dos perfis P1, P2 e P3 (Argissolos Amarelos) com outro de mesma classificação, localizados no Estado do Ceará (Lima et al., 2004), verificou-se grande similaridade, principalmente nos horizontes classificados como coesos. A granulometria desses solos é heterogênea, tendendo para arenosos. Essa diferenciação pode estar relacionada com depósitos sedimentares de textura média a argilosa muito intemperizados da Formação Barreiras. A mineralogia da fração argila desses solos apresenta a caulinita como mineral dominante, e a fração areia é constituída essencialmente por quartzo (Rezende, 2000).

Todos os perfis estudados apresentaram baixos teores de silte. De acordo com Moreau et al. (2006a), os baixos valores da relação silte/argila dos Argissolos Amarelos devem-se ao fato de serem produtos da alteração de sedimentos pré-intemperizados. Os maiores valores da relação silte/argila foram observados nos horizontes superficiais, provavelmente em razão da perda relativa de argila na superfície por eluviação ou dissolução (Silva et al., 2002).

A ADA apresentou os valores mais elevados nos horizontes (A1, AB, BA) do P1 e P2, bem como para o horizonte A1 do P3, sendo observado grau de floculação mais baixo em relação aos outros horizontes (Quadro 2). Resultados semelhantes foram obtidos por Corrêa et al. (2008), que sugeriram que a gênese de horizontes coesos se deve ao maior teor de argila muito fina (<0,2  $\mu\text{m}$ ), translúcida na forma de ADA. Moreau et al. (2006a) obtiveram as mesmas conclusões apresentadas por Corrêa et al. (2008) para explicar a formação de horizontes coesos de Argissolos no Estado da Bahia.

Estudos realizados por Lima Neto et al. (2010) sugeriram que a gênese do horizonte coeso apresenta duas fases distintas, sendo uma de base formada inicialmente pela iluviação de argila fina, entupindo os poros do solo, e a outra com posterior perda de Fe na parte superior, colapsando a estrutura do solo. Esse modelo de gênese de solos coesos foi observado neste estudo, onde houve aumento de argila em horizontes subsuperficiais, maior Ds e menores teores de Fe em horizontes superficiais, obtendo-se horizontes mais endurecidos e coesos (Quadros 2 e 4).

A Ds variou de 1,40 a 1,58  $\text{kg dm}^{-3}$ , onde os horizontes transicionais do P1 apresentaram maiores Ds em relação ao horizonte transicional do P3 (Quadro

2). Em estudo realizado por Corrêa et al. (2008), foram encontrados valores de Ds dos horizontes coesos, variando entre 1,45 e 1,60  $\text{kg dm}^{-3}$ . A Ds dos horizontes coesos encontra-se na faixa de 1,40 a 1,56  $\text{kg dm}^{-3}$ , estando de acordo com Corrêa (2005) e Lima Neto et al. (2009), os quais estudaram solos coesos desenvolvidos de sedimentos da Formação Barreiras.

Na pedoforma côncava, houve redução na quantidade de microporos, ocasionando maiores valores de Ds, pelo fato de pedoformas côncavas acumularem mais água, sedimentos, matéria orgânica e nutrientes (Cardoso & Schiavini, 2002), facilitando o crescimento e a permanência de plantas mais exuberantes (Miranda et al., 2011). Assim sendo, o P1 apresenta horizontes mais coesos do que os horizontes do P3, estando associados aos altos valores de Ds (Quadro 2).

Os valores de RP foram mais elevados no P1 em relação ao P3. Observou-se que a pedoforma côncava, que ocorre no P1, proporciona maiores concentrações de água, o que ocasiona a ativação do potencial redox, proporcionando perdas de argila e vedação dos poros pela areia fina. Diante disso, ocorre a diminuição da macroporosidade e o aumento da microporosidade, Ds e RP (Quadro 2). Silva & Cabeda (2005) também observaram o mesmo comportamento em solos coesos.

### Atributos químicos

Os teores de matéria orgânica foram abaixo de 20  $\text{g kg}^{-1}$ , e apenas o horizonte A1 do P1 apresentou teores superiores a 20  $\text{g kg}^{-1}$ , provavelmente mantidos pela cobertura vegetal do Cerradão presente na área e por estar inserido em pedoforma côncava (Quadro 3).

Os três perfis de solos apresentaram limitada disponibilidade de nutrientes, com baixos valores de soma de bases (SB), baixa capacidade de troca de cátions (T), baixos teores de  $\text{Al}^{3+}$  e altos valores de saturação por  $\text{Al}^{3+}$  (m) (Quadro 3). Os baixos valores de T, inferiores a 5,2  $\text{cmolc kg}^{-1}$ , refletem a pobreza do material de origem desses solos. Os solos de Tabuleiros Costeiros são quimicamente pobres por se desenvolverem de materiais altamente intemperizados (Corrêa, 2005).

Os perfis estudados apresentaram pH ácido, associado à SB dos horizontes superficiais, abaixo de 43 %. Os valores muito baixos de SB nos horizontes subsuperficiais são reflexo do ambiente de vegetação natural. Lima Neto et al. (2009) realizaram um estudo de caracterização e de gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas e verificaram pH ácido nos perfis estudados.

### Atributos mineralógicos

Os menores valores dos óxidos de Fe pelo ataque sulfúrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) foram encontrados nos horizontes do P1 e P2, em pedoforma côncava; e os maiores teores, no P3, que está inserido em ambiente de pedoforma

**Quadro 3. Atributos químicos dos solos de três perfis estudados**

Hor.	Prof.	pH		$\Delta$ pH	MO	P	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	SB	T	V	m
		H <sub>2</sub> O	KCl													
	cm				g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>						%			
Cerradão – Pedoforma côncava																
Argissolo Amarelo distrocoeso típico																
A	0-25	5,7	5,0	-0,7	21,0	3,0	1,3	0,7	0,12	0,03	0,0	2,8	2,1	4,9	43	0
AB	25-50	4,5	4,1	-0,4	10,0	1,0	0,1	0,1	0,06	0,01	0,8	3,1	0,3	3,4	9	73
BA	50-82	4,6	4,2	-0,4	6,0	1,0	0,1	0,1	0,05	0,02	0,5	1,8	0,3	2,1	14	62
Bt1	82-140	5,5	4,3	-1,2	4,0	1,0	0,1	0,1	0,00	0,08	0,4	1,6	0,3	1,9	16	57
Bt2	140+	5,3	4,3	-1,0	3,0	1,0	0,1	0,1	0,00	0,01	0,2	1,5	0,2	1,7	12	50
Cerrado <i>stricto sensu</i> – Pedoforma côncava																
Argissolo Amarelo distrocoeso típico																
A	0-30	5,3	4,0	-1,3	17,0	2,0	0,3	0,2	0,03	0,02	0,8	4,7	0,5	5,2	10	61
AB	30-55	5,1	4,1	-1,0	7,0	1,0	0,1	0,1	0,01	0,01	0,8	3,1	0,2	3,3	6	80
BA	55-85	5,3	4,2	-1,1	5,0	1,0	0,1	0,1	0,01	0,00	0,5	1,8	0,2	2,0	10	71
Bt1	85-130	5,3	4,3	-1,0	4,0	1,0	0,1	0,1	0,00	0,01	0,2	1,5	0,2	1,7	12	50
Bt2	130+	5,4	4,5	-0,9	3,0	2,0	0,1	0,1	0,00	0,00	0,1	1,5	0,2	1,7	12	33
Transição cerrado campo – Pedoforma convexa																
Argissolo Amarelo distrocoeso típico																
A	0-25	5,5	4,4	-1,1	13,0	1,0	0,2	0,1	0,05	0,02	0,4	2,0	0,3	2,3	13	57
BA	25-60	5,3	4,3	-1,0	6,0	1,0	0,1	0,1	0,01	0,01	0,5	2,0	0,2	2,2	9	71
Bt1	60-100	5,0	4,2	-0,8	3,0	3,0	0,1	0,1	0,01	0,02	0,4	1,6	0,2	1,8	11	66
Bt2	100+	4,7	4,1	-0,6	2,0	3,0	0,1	0,1	0,00	0,02	0,4	1,6	0,2	1,8	11	66

Hor.: Horizontes; Prof.: Profundidade;  $\Delta$ H: pH(KCl) - pH(H<sub>2</sub>O); MO: matéria orgânica; SB: soma de bases; T: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; e m: saturação por alumínio.

convexa. Os teores de Fe apresentaram tendência de diminuição em profundidade, nos três perfis estudados (Quadro 4).

Os menores teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no P1 são, provavelmente, consequência da maior restrição de drenagem nesse perfil, que contribui para a intensificação da redução do Fe<sup>3+</sup> para Fe<sup>2+</sup>, facilitando sua remoção por lixiviação ou redistribuição (Schwertmann, 1985). De acordo com Corrêa et al. (2008), os baixos teores de Fe sugerem tanto uma pobreza desse elemento no material de origem quanto um possível processo de desferrificação, promovido pelas condições climáticas e pedoclimáticas reinantes. Segundo Moura et al. (2009), teores de matéria orgânica excessivamente baixos, combinados com baixas quantidades de Fe livre no solo, aumentam a tendência para o aumento da Ds.

Para os solos desenvolvidos de sedimentos da Formação Barreiras, a tendência do Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtido pelo ataque sulfúrico é manter-se em teores abaixo de 80 g kg<sup>-1</sup> (Embrapa, 2006). Segundo a Universidade Federal de Viçosa (UFV, 1984), os solos da Formação Barreiras, ao que parece, estão sofrendo processo ainda atual ou pelo menos subatual de perda de Fe com a argila, justificando, assim, os menores teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> próximos à superfície. Esses teores acompanham os

teores de argila, só que numa taxa menor, pois parte dos óxidos de Fe não está ligada à argila, ou a ferrólise destrói mais os silicatos, embora haja alguma perda de Fe também.

De maneira geral, os valores da relação Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub> apresentam-se mais elevados em todos os horizontes superficiais (Quadro 4), fato que se deve, principalmente, aos teores de matéria orgânica, que impedem a cristalização dos óxidos de Fe, corroborando os resultados de Moreau et al. (2006a) e Corrêa et al. (2008). Os valores da relação Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub> sugerem predomínio de formas de Fe de baixa cristalinidade nos horizontes superficiais; e o contrário, em profundidade.

Observou-se incremento de SiO<sub>2</sub> nos horizontes Bt coesos do P1, P2 e P3; esse aumento foi mais pronunciado nos horizontes coesos, apesar de ambos os perfis apresentarem teores de argila semelhantes e fazerem parte da mesma classe textural (Quadro 4). Isso indica que esse componente pode estar influenciando a coesão desses solos; contudo, Moreau (2001) e Giarola et al. (2001), estudando solos no Estado da Bahia, não observaram incremento do SiO<sub>2</sub> nos horizontes coesos.

Os difratogramas de raios-X sugerem homogeneidade na mineralogia da fração argila,



**Quadro 4. Teores de óxidos do ataque sulfúrico ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), de óxido de ferro livre, de ferro amorfo e relações entre eles, dos três perfis estudados**

Hor.	Ataque Sulfúrico			Ki	Kr	DCB <sup>(1)</sup>	OAA <sup>(2)</sup>	$\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$	$\text{Fe}_d/\text{Fe}_t$
	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$			$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$		
	g kg <sup>-1</sup>					g kg <sup>-1</sup>			
Cerradão - Pedofoma côncava									
Argissolo Amarelo distrocoeso típico									
A1	64,5	3,3	80	1,4	1,3	1,7	1,5	0,88	0,51
AB	52,5	5,6	115	0,8	0,7	2,5	2,0	0,80	0,45
BA	83,5	6,7	125	1,1	1,1	3,1	1,6	0,52	0,46
Bt2	120,5	8,8	195	1,0	1,0	4,5	0,5	0,11	0,51
Bt3	133,0	16,8	235	1,0	0,9	7,4	0,3	0,04	0,44
Cerrado <i>stricto sensu</i> - Pedofoma côncava									
Argissolo Amarelo distrocoeso típico									
A1	32,0	3,3	85	0,6	0,6	2,2	1,2	0,60	0,61
AB	79,5	7,2	125	1,0	1,0	3,8	1,9	0,50	0,53
BA	89,0	7,9	160	1,0	1,0	4,3	1,2	0,28	0,54
Bt2	113,5	12,3	185	1,0	1,0	6,9	0,7	0,10	0,56
Bt3	134,5	13,0	225	1,0	1,0	7,4	0,5	0,07	0,57
Transição cerrado campo - Pedofoma convexa									
Argissolo Amarelo distrocoeso típico									
A1	45,5	7,9	100	0,8	0,7	3,6	0,7	0,19	0,46
BA	110,5	12,3	175	1,0	1,0	6,7	0,3	0,04	0,54
Bt1	126,5	13,4	210	1,0	1,0	6,7	0,8	0,12	0,50
Bt2	145,0	17,7	230	1,0	1,0	9,6	0,8	0,08	0,54

Hor.: horizontes; DCB<sup>(1)</sup>: formas cristalinas extraídas por ditionito-citrato-bicarbonato; OAA<sup>(2)</sup>: formas de baixa cristalinidade, extraídas por oxalato ácido de amônio;  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ : relação ferro oxalato/ferro ditionito; e  $\text{Fe}_d/\text{Fe}_t$ : relação ferro ditionito/ferro total.

predominando caulinita em todos os horizontes dos três perfis (reflexos 020, 003 e 131) (Figura 3). Tais resultados demonstraram avançado estágio de intemperismo, estando coerente com outros autores (Moreau, 2001; Corrêa, 2005).

Não foi identificada a gibbsita nos horizontes coesos, sendo esses resultados corroborados pelo estudo realizado por Moreau et al. (2006b). A ausência da gibbsita reforça a hipótese do ajuste face a face das caulinitas como importante fator na gênese dos horizontes coesos. A predominância da caulinita na fração argila contribui para a coesão dos solos de tabuleiros, pela facilidade em se ajustar face a face e pelos maiores ciclos de umedecimento e secagem (Ferreira et al., 1999; Resende et al., 2007). Centurion et al. (2007) afirmaram que o ajuste face a face das placas cauliniticas faz desenvolver um plasma denso que ocasiona maior Ds.

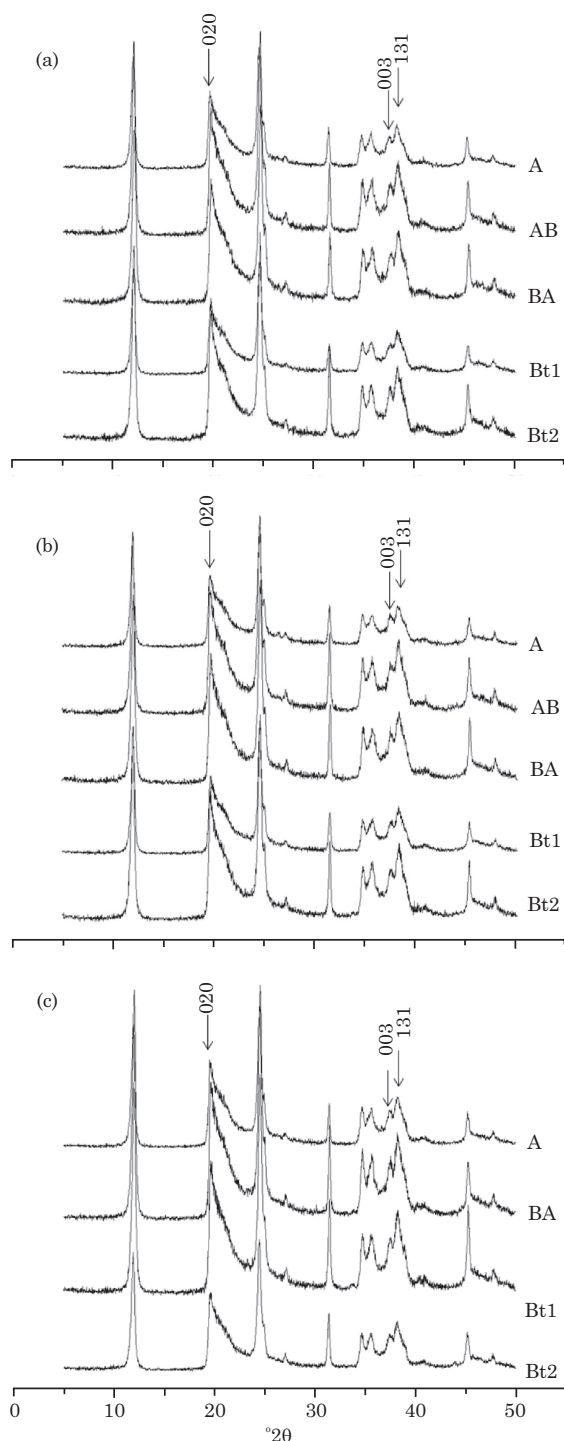
Os índices de Stock (1974), IK, e o de Hughes & Brown (1979), HB, expressam o grau de desordem estrutural e o índice de cristalinidade das caulinitas, na fração de 0,2 mm, respectivamente. O índice de cristalinidade variou neste estudo, entre 6,18 e 7,17, sugerindo a presença dominante de caulinitas com moderado grau de desordem estrutural (Quadro 5).

Esses valores estão coerentes com aqueles observados por Fernandes (2000) para caulinitas de Latossolos e solos afins do Brasil. Os valores condizem com os de Hughes & Brown (1979), que foram definidos entre 2,0 e 7,8 para solos tropicais.

Observou-se que os maiores valores de IK e menores valores do índice de HB foram encontrados nos horizontes do P1, com exceção do BA, indicando que houve tendência de aumento do grau de desordem das caulinitas (diminuindo o índice de cristalinidade) com o aumento da Ds e a diminuição nos teores de óxido de Fe total no P1 (Quadro 5), onde apresentou horizontes mais coesos inseridos na pedofoma côncava do terreno.

Em consonância com os trabalhos de Moreau et al. (2006b) e Lima Neto et al. (2010), os atributos ordenamento estrutural e cristalinidade das caulinitas não contribuíram para explicar a gênese dos solos coesos, tendo em vista que o maior grau de ordenamento estrutural observado neste estudo ocorreu na pedofoma convexa e está associado aos maiores teores de argila e menores valores de Ds e RP, indicando maior ajuste face a face das caulinitas e concordando com Ferreira et al. (1999) e Resende et al. (2007).

Neste estudo, observou-se que a gênese dos solos coesos pode ser mais bem entendida no contexto das relações solo-paisagem. Essas informações sugerem que as pedoformas devam ser consideradas nos baixos níveis categóricos do Sistema Brasileiro de Classificação do Solo.



**Figura 3.** Difratoogramas de raios-X de argilas desferrificadas de três perfis: Perfil 1 (a); Perfil 2 (b); e Perfil 3 (c). Reflexos 020, 003 e 131 de caulinitas.

**Quadro 5.** Índices de desordenamento e cristalinidade das caulinitas, densidade do solo (Ds) e óxido de ferro total dos Argissolos Amarelos distrocoesos

Horizonte	IK <sup>(1)</sup>	HB <sup>(2)</sup>	Ds	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
			kg dm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>
Cerradão - Pedoforma côncava				
Argissolo Amarelo distrocoeso típico				
AB	1,53	6,53	1,56	5,6
BA	1,51	7,17	1,56	6,7
Bt2	1,29	6,27	1,47	8,8
Cerrado <i>stricto sensu</i> - Pedoforma côncava				
Argissolo Amarelo distrocoeso típico				
AB	1,50	6,20	1,51	7,2
BA	1,50	6,18	1,53	7,9
Bt2	1,39	6,19	1,52	12,3
Transição cerrado campo - Pedoforma convexa				
Argissolo Amarelo distrocoeso típico				
BA	1,44	6,86	1,41	12,3
Bt1	1,44	6,65	1,40	13,4
Bt2	1,26	6,55	1,40	17,7

IK<sup>(1)</sup>: índice de desordenamento estrutural (Stoch, 1974); HB<sup>(2)</sup>: índice de cristalinidade das caulinitas (Hughes & Brown, 1979).

## CONCLUSÕES

1. A caulinita foi o argilomineral predominante nos solos estudados, porém seu grau de cristalinidade não influenciou na variação da densidade do solo e na resistência à penetração.

2. A posição da paisagem foi determinante para a distinção dos solos coesos, sendo aqueles desenvolvidos em pedoforma côncava os que apresentaram a maior expressão do caráter coeso, que evidenciaram solos com maior *status* de fertilidade e matéria orgânica, refletindo na vegetação mais exuberante caracterizada pelo Cerradão.

## LITERATURA CITADA

- BUSSCHER, W.J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 33:519-524, 1990.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106)
- CAMPOS, M.C.C. Relação solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. *Ambiência*, 8:963-982, 2012.
- CARDOSO, E. & SCHIAVINI, I. Relação entre distribuição de espécies arbóreas e topografia em um gradiente florestal na Estação Ecológica do Panga (Uberlândia, MG). *R. Bras. Bot.*, 25:277-289, 2002.

- CENTURION, J.F.; FREDDI, O.S.; ARATANI, R.G.; METZNER, A.F.M.; BEUTLER, A.N. & ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. R. Bras. Ci. Solo, 31:199-209, 2007.
- CINTRA, F.L.D.; RESENDE, R.S.; LEAL, M.L.S. & PORTELA, J.C. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. R. Bras. Ci. Solo, 33:1041-1051, 2009.
- CORRÊA, M.M. Gênese de horizontes coesos e fragipãs de solos do ambiente Tabuleiros Costeiros. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 72p. (Tese de Doutorado)
- CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, M. & TORRES, T.C.P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros. R. Bras. Ci Solo, 32:297-313, 2008.
- COSTA, R.N.M. Cobertura vegetal e evolução do uso agrícola do solo da região de Chapadinha - MA. Areia, Universidade Federal da Paraíba, 2010. 56p. (Dissertação de Mestrado)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 2006. 306p.
- FERNANDES, R.B.A. Atributos mineralógicos, cor, adsorção e desorção de fosfatos em Latossolos do Sudeste brasileiro. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 265p. (Tese de Doutorado)
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 23:507-514, 1999.
- FONSECA, O.O.M. Caracterização e classificação de solos Latossólicos e Podzólicos desenvolvidos nos sedimentos do terciário no litoral Brasileiro. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1986. 185p. (Dissertação de Mestrado)
- GIAROLA, N.F.B. & SILVA, A.P. Conceitos sobre coesos e *hardsetting*. Sci. Agric., 59:613-620, 2002.
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.; SOUZA, L.S. & RIBEIRO, L.P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento *hardsetting*: Estudo de caso. R. Bras. Ci Solo, 25:239-247, 2001.
- MARANHÃO. Governo do Estado. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Universidade Estadual do Maranhão. Atlas do Maranhão. São Luís, Geplan, 2002. 39p.
- HUGHES, J.C. & BROWN, G. A crystallinity index for soil kaolins and its relation to parent rock, climate and soil nature. J. Soil Sci., 30:557-563, 1979.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. 2.ed. Rio de Janeiro, Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2012. 271p.
- JACKSON, M.L. Analisis químico de suelos. Barcelona, Omega, 1982. p.282-309.
- JACOMINE, P.K.T. Evolução sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. Anais... Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.19-46
- JACOMINE, P.K.T. Origem e evolução dos conceitos e definições de atributos, horizontes diagnósticos e das classes de solos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). In: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M. & SILVA, A.P., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v.4, p.193-231.
- JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; PESSÔA, S.C.P.; BURGOS, N.; MEDEIROS, L.A.R.; LOPES, O.F. & MÊLO FILHO, H.F.R. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão. Rio de Janeiro, Embrapa-SNLCS/Sudene-DRN, 1986. 964p. (Embrapa. SNLCS. Boletim de Pesquisa, 35; Brasil. SUDENE. DRN. Série Recursos de Solos, 17)
- LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; ARAÚJO FILHO, J.S. & LIMA, J.F.W. Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas. R. Bras. Ci. Solo, 34:473-486, 2010.
- LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; LIMA, J.F.W.F. & FERREIRA, R.F.A.L. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas. R. Bras. Ci Solo, 33:1001-1011, 2009.
- LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; JACOMINE, P.T.K.; ROMERO, R.E. & LIBARDI, P.L. Identificação e caracterização de solos coesos no Estado do Ceará. R. Bras. Ci. Solo, 28:467-476, 2004.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAYS MINERALS, 7., Washington, 1958. Proceedings... New York, 1960. p.317-327.
- MEIRELES, H.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M.C.C. & PEREIRA, G.T. Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. Pesq. Agropec. Trop., 42:129-136, 2012.
- MIRANDA, C.C.; COUTO, W.H.; VALCARCEL, R.; FREITAS, A.F.N. & FRANCELINO, M.R. Avaliação das preferências ecológicas de *Clidemia urceolata* DC. em ecossistemas perturbados. R. Árvore, 35:1135-1144, 2011.
- MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M.C.C.; SOUZA, Z.M. & CAMARGO, L.A. Caracterização mineralógica de Latossolos em diferentes feições do relevo na região de Jaboaticabal, SP. R. Ci. Agron., 41:191-199, 2010.

- MOREAU, A.M.S.S. Gênese, química e micromorfologia de horizontes coeso, fragipã e duripã em solos do Tabuleiro Costeiro no sul da Bahia. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 139p. (Tese de Doutorado)
- MOREAU, A.M.S.S.; COSTA, L.M.; KER, J.C. & GOMES, F.H. Gênese de horizonte coeso, fragipã e duripã em solos do Tabuleiro Costeiro do sul da Bahia. R. Bras. Ci. Solo, 30:1021-1030, 2006b.
- MOREAU, A.M.S.S.; KER, J.C.; COSTA, L.M. & GOMES, F.H. Caracterização de solos de duas topossequências em Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia. R. Bras. Ci. Solo, 30:1007-1019, 2006a.
- MOURA, E.G.; MOURA, N.G.; MARQUES, E.S.; PINHEIRO, K.M.; COSTA SOBRINHO, J.R.S. & AGUIAR, A.C.F. Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil. Soil Use Manage., 25:368-375, 2009.
- OLIVEIRA FILHO, A.T. & RATTER, J.A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In: OLIVEIRA, P.S. & MARQUIS, R.J., eds. The cerrado of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savana. Nova York, Columbia University Press, 2002. p.91-120.
- PACHECO, E.P. & CANTALICE, J.R.B. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. R. Bras. Ci. Solo, 35:403-415, 2011.
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia. Base para distinção de ambientes. 5.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. 322p.
- REZENDE, J.O. Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: Limitações agrícolas e manejo. Salvador, SEAGRI, 2000. 117p. (Série Estudos Agrícolas, 1)
- RIBEIRO, L.P. Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: Gênese, evolução e degradação. Salvador, Seplante, 1998. 99p.
- SANCHEZ, R.B.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. & MARTINS FILHO, M.V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedofomas. Bragantia, 68:1095-1103, 2009.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.
- SCHWERTMANN, U. The effect of environments on iron oxide minerals. Adv. Soil Sci., 1:172-200, 1985.
- SILVA JÚNIOR, J.F.; SIQUEIRA, D.S.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T. Classificação numérica e modelo digital de elevação na caracterização espacial de atributos dos solos. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 16:415-424, 2012.
- SILVA, A.J.N. & CABEDA, M.S.V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solo de Tabuleiro Costeiro de Alagoas. R. Bras. Ci. Solo, 29:447-457, 2005.
- SILVA, E.A.; GOMES, J.B.V.; ARAÚJO FILHO, J.C.; VIDAL-TORRADO, P.; COOPER, M. & CURTI, N. Morphology, mineralogy and micromorphology of soils associated to summit depressions of the Northeastern Brazilian coastal plains. Ci. Agrotec., 36:507-517, 2012.
- SILVA, M.S.L.; KLAMT, E.; CAVALCANTI, A.C. & KROTH, P.L. Adensamento subsuperficial em solos do Semiárido: Processos geológicos e/ou pedogenéticos. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 6:314-320, 2002.
- SOUZA, L.D. & SOUZA, L.S. Irrigação nos Tabuleiros Costeiros no Nordeste do Brasil. Portal do Agronegócio. Disponível em: <<http://www.portaldoaagronegocio.com.br>>. Acesso em: 06 out. 2012.
- SOUZA, L.S. Uso e manejo dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. Anais... Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1996. p.36-75.
- STOCH, L. Mineralogy of Illite ("Clay Minerals"). Warsaw, Geological Publishers, 1974. p.186-193.
- TROEH, F.R. Landform equations fitted to contour maps. Soil Sci. Soc. Am. J., 263:616-627, 1965.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. Caracterização de solos e avaliação dos principais sistemas de manejo dos Tabuleiros Costeiros do Baixo Rio Doce e das regiões norte do Estado do Espírito Santo e sua interpretação para uso agrícola. Viçosa, MG, 1984. 153p.
- VIEIRA, J.M.; ROMERO, R.E.; FERREIRA, T.O. & ASSIS JÚNIOR, R.N. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. R. Ci. Agron., 43:623-632, 2012.