

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM E ERODIBILIDADE DE SOLOS  
NO LESTE DO ESTADO DO MARANHÃO**

**Jussara Silva Dantas**  
Engenheira Agrônoma

**2013**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM E ERODIBILIDADE DE SOLOS  
NO LESTE DO ESTADO DO MARANHÃO**

**Jussara Silva Dantas**

**Orientador: Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho  
Coorientador: Prof. Dr. José Marques Júnior**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora em Agronomia (Ciência do Solo).

**2013**

D195r Dantas, Jussara Silva  
Relação solo-paisagem e erodibilidade de solos no leste do Estado do Maranhão. / Jussara Silva Dantas. -- Jaboticabal, 2013  
xiii, 84 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013

Orientador: Marcílio Vieira Martins Filho

Coorientador: José Marques Júnior

Banca examinadora: Gener Tadeu Pereira, Carlos Eduardo Angeli Furlani, Milton Cesar Costa Campos, Alan Rodrigo Panosso  
Bibliografia

1. Solos coesos. 2. Pedogênese. 3. Cerrado. 4. Pedoforma. 5. Espectroscopia de reflectância difusa I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.44 (213.54)

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

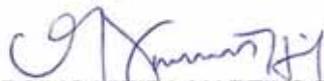
**TÍTULO:** RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM E ERODIBILIDADE DE SOLOS NO LESTE DO ESTADO DO MARANHÃO

**AUTORA:** JUSSARA SILVA DANTAS

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. MARCILIO VIEIRA MARTINS FILHO

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. JOSE MARQUES JUNIOR

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO) , pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MARCILIO VIEIRA MARTINS FILHO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. GENER TADEU PEREIRA

Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. MILTON CESAR COSTA CAMPOS

Universidade Federal do Amazonas / Humaita/AM



Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO

Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Data da realização: 15 de abril de 2013.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**JUSSARA SILVA DANTAS** – nascida em 22 de dezembro de 1980 em Campina Grande – PB. Em novembro de 1998, ingressou no curso de Agronomia no Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Paraíba – PB, onde foi bolsista de iniciação científica do CNPq entre 2000 e 2003. Obteve o título de Engenheira Agrônoma em abril de 2003 e recebeu o Prêmio Honorífico "Jaime Coelho de Moraes" - Melhor Acadêmica – CCA/UFPB. Em abril de 2003, iniciou o Curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, do Centro de Ciências Agrárias, Câmpus de Areia - Universidade Federal da Paraíba, e foi bolsista da CAPES. Obteve o título de Mestre em abril de 2005. De agosto de 2005 a setembro de 2006, foi estagiária da Embrapa Meio-Norte em Teresina-PI, sendo bolsista do CNPq na modalidade de Desenvolvimento Tecnológico Industrial - DTI. Em outubro de 2006, foi nomeada, em caráter efetivo, como professora na Universidade Federal do Maranhão, Câmpus de Chapadinha, em regime de dedicação exclusiva. Foi Coordenadora do Curso de Agronomia no ano de 2008 do CCAA/UFMA. De janeiro de 2009 a janeiro de 2012, foi Coordenadora de Extensão do CCAA/UFMA. Iniciou, no ano de 2011, o Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Programa DINTER-UFMA/IFMA/UNESP-FCAV.

"Tudo posso naquele que me fortalece..."

(Filipenses 4:13)

A Deus, pela vida e por me dar forças para vencer.

Ao meu pai Mauricio Estelino Dantas, por ser um exemplo de homem de muita coragem, fé, bondade e pelos esforços realizados para garantir-me mais esta vitória. Minha eterna gratidão. Te amo muito!

A minha mãe Josineide Silva Dantas, pela lição de vida, carinho, amor e por pacientemente suportar minha ausência durante esse período, dando-me incentivos nesta jornada edificante. Te amo muito!

As minhas irmãs: Jarleide e Jarlene, pela união, pelas palavras de incentivo e carinho recebido em todos os momentos necessários.

**COM AMOR, DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por esta bênção que é a vida e que me deu a coragem para sonhar e força para realizar o sonho de vencer mais esta etapa de minha vida.

A Nossa Senhora.

Aos meus pais e irmãs, que sempre apoiaram minhas decisões e incentivaram-me ao crescimento constante, e que são fonte de amor e união, com todo carinho, agradeço tudo o que sou.

Aos Professores Marcílio Vieira Martins Filho e José Marques Júnior, pela oportunidade, orientação, ensinamentos e paciência durante a realização deste trabalho.

Aos Professores Marcílio, José Marques, Gener, Arthur, Zanini, Itamar e Afonso, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos Professores Afonso Lopes, Tereza Cristina Pissara, Newton La Scala e Marcos Omir pela participação na banca do exame geral de qualificação; e aos Professores Milton Campos, Alan Panosso, Gener Tadeu e Carlos Eduardo Furlani, pela participação na banca de defesa, cujas sugestões contribuíram para a melhoria deste trabalho.

Aos meus novos e queridos amigos, Lívia Camargo, Angélica Bahia, Daniel De Bortoli, Ronny Barbosa e Diego Siqueira, que estiveram presentes em todos os momentos difíceis e que sempre, com palavras de incentivo, foram fundamentais nesta caminhada. Muito obrigada, pela amizade, respeito, apoio, consideração e pela constante colaboração prestada durante a realização deste trabalho.

Ao Grupo CSME, que me acolheu e me deu-me o apoio essencial para a condução deste trabalho, tornando-se minha família em Jaboticabal.

A José Maria do Amaral Resende, por todo o apoio na condução do experimento, pela amizade e pelo respeito que construímos juntos durante este período transcorrido.

A Ana Zelia Silva, pelas palavras de incentivo que me encorajavam nas horas mais difíceis e pelos momentos de alegria compartilhados.

A Ismênia Ribeiro, por todo o apoio necessário, pela amizade e por todos os momentos compartilhados.

Aos queridos amigos, James Azevedo e Ariston Santos, pelo incentivo, pela amizade e agradável convívio.

Aos colegas do Dinter, Sandra, Alexsandra, José Roberto, Paulo Sérgio, Marcelino, Rogério e Carlos Magno.

Aos proprietários da Fazenda Typuana, Evaldo Grobner e Marly Aparecida Esmério Grobner, pela concessão da área de estudo e todo o apoio logístico.

Aos amigos da Graduação e Pós-Graduação: Beatriz, Frederico, Adrien, Rafael Peluco, Danilo, Francisco Reinaldo, Marilena, Raquel, Liliane, Iolanda, Flávia Brandão, Renato, Ivanildo, Ludmila, Thiago Ibiapina, Cláudia, Lília, Dora, Mara, Elton, João Fernandes, Saulo e Bernardo, pelas horas de diversão compartilhadas e pela ajuda nas horas necessárias.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, Célia, Gomes, Ademir, Anderson, Luis, Maria Inês, Cristiano e Djair, por todo o apoio.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação, Márcia, Nina, Edna, Isabel, Gabriela, Fernanda, Antonio, Diego e Rodrigo, por toda ajuda prestada.

Aos amigos e funcionários do Departamento de Ciências Exatas, Zezé, Shirley, Norival e Adriana. Obrigada pelo acolhimento.

À Universidade Federal do Maranhão, pela liberação para a realização do Curso de Doutorado.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCAV - Câmpus de Jaboticabal.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo financiamento deste trabalho.

Ao Prof. Vitório Barato Neto, pela dedicação na revisão gramatical da língua portuguesa.

E a todos que, direta e indiretamente, ajudaram na realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
<b>CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>	<b>1</b>
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Gênese de solos coesos.....	3
2.2. Relação solo-paisagem.....	6
2.3. Erodibilidade do solo.....	9
2.4. Função de pedotransferência: espectroscopia de reflectância difusa no estudo dos atributos do solo.....	11
3. REFERÊNCIAS.....	14
<b>CAPÍTULO 2 – RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM DA REGIÃO LESTE DO ESTADO DO MARANHÃO.....</b>	<b>25</b>
1. INTRODUÇÃO.....	27
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.1. O meio físico.....	28
2.2. Métodos de campo e amostragem.....	29
2.3. Análises físicas e químicas.....	30
2.4. Análise mineralógica.....	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4. CONCLUSÕES.....	42
5. REFERÊNCIAS.....	43
<b>CAPÍTULO 3 – ERODIBILIDADE DE ARGISSOLOS COESOS EM FUNÇÃO DA COR ESTIMADA POR ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA DIFUSA.....</b>	<b>49</b>
1. INTRODUÇÃO.....	51
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	53
2.1. Localização, caracterização da área e planejamento amostral....	53
2.2. Análises laboratoriais.....	55
2.3. Erodibilidade em entressulcos (Ki) e em sulcos (Kr).....	56

2.4. Espectroscopia de reflectância difusa.....	56
2.5. Análise de dados.....	57
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
4. CONCLUSÕES.....	63
5. REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICES.....	70

## RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM E ERODIBILIDADE DE SOLOS NO LESTE DO ESTADO DO MARANHÃO

**RESUMO** – O avanço tecnológico e o desenvolvimento da agricultura têm aumentado a demanda por informações detalhadas dos solos e seus atributos. O presente trabalho teve como objetivos identificar a ocorrência de solos coesos e estudar suas relações com a paisagem, bem como prever a erodibilidade de Argissolos coesos na região leste do Estado do Maranhão, em diferentes pedoformas, por meio da determinação dos componentes da cor do solo, utilizando a espectroscopia de reflectância difusa. Foram abertas três trincheiras (perfis 1, 2 e 3), relacionadas a três distintas formações vegetais, para a caracterização morfológica, física, química e mineralógica. Para a predição da erodibilidade, foram selecionadas três áreas cultivadas com soja, onde de cada área, foram retiradas 121 amostras na profundidade de 0,00 – 0,20 m. Para a determinação da reflectância difusa na faixa do visível (380 a 780 nm), foi utilizado 0,5 g de cada amostra, moída e seca ao ar, a partir do qual foram determinados os valores do matiz, valor e croma. De posse destes constituintes da cor, foi calculado o índice de avermelhamento para cada amostra. Foram desenvolvidos modelos para avaliar o efeito de cada componente da cor sobre a erodibilidade em entressulcos ( $K_i$ ) e em sulcos ( $K_r$ ), que apresentaram  $R^2$  variando de 0,37 a 0,70. Os modelos gerados quando comparados ao de Flanagan e Livingston obtiveram  $R^2$  de 0,70 e 0,73, para  $K_i$  e  $K_r$ , respectivamente. Os resultados demonstraram que 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 1,58 g cm<sup>-3</sup>) e na resistência à penetração (0,68 a 2,18 MPa). 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, e também os solos com maior *status* de fertilidade e matéria orgânica, refletindo na vegetação mais exuberante, caracterizada pelo Cerradão. Os componentes da cor do solo estimados pela espectroscopia de reflectância difusa apresentam potencial para prever a erodibilidade em entressulcos e em sulcos de Argissolos Amarelos coesos da Formação Barreiras. A forma da paisagem pode ser utilizada para auxiliar na predefinição “em campo” de áreas com diferentes potenciais de erodibilidade em Argissolos Amarelos coesos da Formação Barreiras.

**Palavras-chave:** solos coesos, pedogênese, cerrado, pedoforma, espectroscopia de reflectância difusa.

## SOIL–LANDSCAPE RELATION AND ERODIBILITY IN SOILS IN THE EASTERN OF MARANHÃO STATE, BRAZIL

**ABSTRACT** - Technological advances and the development of agriculture has increased the demand for detailed soil and its attributes. This study aimed to identify the occurrence of cohesive soils and relationship with its properties with the landscape to predict the erodibility by Ultisols cohesive in the region east of State Maranhão, different landforms using components of soil color characterized by diffuse reflectance spectroscopy. Three trenches were dug (depth profiles 1, 2 and 3) related to three distinct vegetation types, for morphological, physical, chemical and mineralogical. For predicting erodibility selected three areas cultivated with soybeans, those areas 121 soil samples were taken in depth from 0,00 to 0,20 m. 0,5 g of each sample, milled and air dried, values were determined from reflectance in the visible range (380 - 780 nm), from which was determined the values of hue, chroma values. From these spectro components, we calculated the redness index for each sample. Models were developed to evaluate the effect of each component of the color on the erodibility interrill ( $K_i$ ) and grooves ( $K_r$ ), showed that  $R^2$  ranging from 0,37 to 0,70. The models compared to Flanagan and Livingston obtained  $R^2$  of 0,70 and 0,73 for  $K_i$  and  $K_r$ , respectively. The results demonstrated the kaolinite was the predominant mineral in cohesive layers, but its degree of crystallinity did not influence the changes in soil density (1,40 to 1,58 g cm<sup>-3</sup>) and penetration resistance (0,68 to 2,18 MPa). The landscape position was essential to the distinction of cohesive soils, and those established in concave landform presented the highest expression of the cohesive character, which resulted in higher soil fertility and organic matter reflecting the more exuberant vegetation characterized by Cerradão. That the constituents of the color thus obtained could be used in predicting the erodibility interrill and grooves Ultisols cohesive Barreiras Formation. The shapes of the landscape can be used to assist in predefined "field" areas with different potential erodibility in Ultisols cohesive Barreiras Formation.

**Keywords:** cohesive soils, pedogenetic, cerrado, landform, diffuse reflectance spectroscopy.

## **CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

### **1. Introdução**

O avanço tecnológico e o desenvolvimento da agricultura têm aumentado a demanda por informações detalhadas sobre solos e seus atributos. Por outro lado, as informações sobre os solos são fundamentais, especialmente em ambientes sensíveis, bem como aquelas pertencentes ao Arco do Desmatamento na Amazônia (CAMPOS et al., 2012b,c), regiões suscetíveis à desertificação no Piauí (SANTOS, 2010) e áreas carentes de qualquer tipo de informação. A demanda por esses dados também é concordante com a diretriz de métricas da sustentabilidade abordada na RIO +20, realizada em 2012, no Rio de Janeiro.

Os solos coesos dos Tabuleiros Costeiros são um exemplo de áreas carentes de informações detalhadas para uso e ocupação, estes ocupam cerca de 200.000 km<sup>2</sup>, os quais estão distribuídos por quase toda a faixa litorânea brasileira, compreendendo desde o Estado do Rio de Janeiro até o Amapá (SILVA et al., 2012; VIEIRA et al., 2012). A ocorrência do caráter coeso, no Brasil, está relacionada com os sedimentos da Formação Barreiras, os quais estão geologicamente relacionados com os depósitos sedimentares do período Terciário, que constituem a unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros (JACOMINE, 2001; GIAROLA; SILVA, 2002).

Os solos coesos são reconhecidos como potencialmente limitantes ao desenvolvimento das plantas, devido à alta resistência mecânica do solo à sua penetração quando seco. Por esse motivo, influencia negativamente a produção agrícola e favorece o maior impacto das gotas de chuva e, conseqüentemente, o aumento de processos erosivos nas áreas de produção (LIMA et al., 2004; MOREAU et al., 2006; CORRÊA et al., 2008; MOURA et al., 2009; LIMA NETO et al., 2010).

Uma das alternativas para melhorar a quantidade de informações das áreas com ocorrência destes solos é estabelecer as relações de causa e efeito entre a taxa pedogênese/erosão e a produção agrícola, para isso é necessário compreender os processos pedogeomórficos em locais. Marques Júnior e Lepsch (2000) e

Pachepsky, Timlin e Rawls (2001) destacaram a importância da utilização de modelos de paisagem, no estudo dos processos pedogeomórficos.

Muitos trabalhos destacam a importância dos modelos de paisagem como ferramenta auxiliar na prospecção de informações mais detalhadas dos solos e seus atributos físicos, químicos e mineralógicos (MONTANARI et al., 2005; CAMARGO et al., 2008a,b; CAMARGO et al., 2013), bem como do potencial de erosão (SANCHEZ et al., 2009).

Associado aos modelos de paisagem, outra ferramenta que pode auxiliar na caracterização detalhada de ambientes e construção de mapas de erosão (IZIDORIO et al. 2005; SOUZA et al. 2005; MARTINS FILHO, 2007) é a utilização da geoestatística. Apesar das técnicas geoestatísticas e do uso de modelos de paisagem mostrarem-se promissores para desenvolver novos conceitos e tecnologias, para entendimento do comportamento dos solos e dos processos de erosão (CAMPOS et al., 2008; BARBIERI et al., 2008; SANCHEZ et al., 2009; SANTOS et al., 2013), ainda são poucos os trabalhos que utilizam, essas ferramentas, uma das razões relacionada para este fato deve-se ao custo envolvido nesse tipo de caracterização, o qual requer um grande número de amostras.

Para transpor esse entrave e aumentar a aplicabilidade e a viabilidade destes estudos, é necessária a compreensão do conceito de funções de pedotransferência (McBRATNEY et al., 2002). As funções de pedotransferência são equações matemáticas que relacionam dados originados por um método de difícil mensuração ou de obtenção mais cara, com outros dados originados por métodos mais rápidos e de menor custo (TAVARES FILHO et al., 2012).

Nesse contexto, a cor do solo, atributo morfológico importante que pode ser utilizado como indicador seguro da presença de óxidos de Fe e de outros importantes atributos do solo que covariam com ela (RESENDE et al., 2007); portanto, ela pode ser considerada como um pedoindicador do ambiente, especialmente em locais com variações de teores de ferro no solo. A determinação da cor é realizada pela comparação visual com a Carta de Munsell (MUNSELL COLOR COMPANY, 2000). Porém, essa determinação, mundialmente utilizada pelos pedólogos, é baseada na percepção visual, ou seja, subjetiva, e segundo Campos e Demattê (2004), as divergências na percepção das cores podem resultar

em erros na classificação dos solos. Por outro lado, a utilização imediata da cor do solo, segundo Torrent e Barrón (1993), é a determinação do índice de avermelhamento (IAV), esse parâmetro é uma expressão que combina os três componentes da cor (matiz, valor e croma) obtidos pela espectroscopia de reflectância difusa (ERD) (TORRENT; SCHWERTMANN; SCHULZE, 1980).

Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar a ocorrência de solos coesos e estudar suas relações com a paisagem na região leste do Estado do Maranhão e prever a erodibilidade de Argissolos coesos em diferentes pedoformas, por meio da determinação dos componentes da cor do solo utilizando, a espectroscopia de reflectância difusa.

## **2. Revisão de Literatura**

### **2.1 Gênese de solos coesos**

Os solos dos Tabuleiros Costeiros estão distribuídos por quase toda a faixa costeira 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). Esses solos ocupam grandes áreas do médio e baixo Vale do Rio Amazonas e seus afluentes, dos Estados do Maranhão e Piauí, de zonas semiáridas de Pernambuco e Bahia, e da região do médio Jequitinhonha, em Minas Gerais (JACOMINE, 1996).

A ocorrência do caráter coeso, no Brasil, está relacionada com os sedimentos da Formação Barreiras, os quais estão geologicamente relacionados com os depósitos sedimentares do período Terciário, que constituem a unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros. Os solos sob esta formação estão restritos à zona úmida costeira do litoral oriental das regiões norte, nordeste e sudeste, sob climas de estações secas e úmidas bem definidas (JACOMINE, 2001; GIAROLA; SILVA, 2002). A presença do horizonte coeso deve-se as condições climáticas, aliada ao relevo e material de origem, constituído por sedimentos detríticos da Formação Barreiras, que favorecem a formação dos horizontes coesos (JACOMINE et al., 1986).

A Formação Barreiras representa uma cobertura sedimentar terrígena continental, de idade pliocênica, depositada por sistemas fluviais entrelaçados associados a leques aluviais. A fácies de sistemas fluviais entrelaçados apresenta depósitos de granulometria variada com cascalhos e areias grossas e finas, de coloração creme-amarelada, com intercalações de microclastos de argila síltica, indicativo de ambiente de sedimentação calmo, como, por exemplo, de planície aluvial. As fácies de leques é constituída por conglomerados polimíticos de coloração creme-avermelhada, com seixos e grânulos subangulosos de quartzo com blocos de argila retrabalhada, em corpos tabulares e lenticulares de até um metro de espessura, intercalados com camada síltico-argilosa menos espessa (ALHEIROS et al., 1988).

O termo coeso foi criado e é utilizado para distinguir horizontes subsuperficiais muito resistentes à penetração da faca e que apresentam consistência muito duros a extremamente duros quando secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos. A amostra úmida de um horizonte coeso, quando submetida à compressão, deforma-se lentamente, ao contrário do fragipã, que apresenta quebracidade (desintegração em fragmentos menores). Esses horizontes são de textura média, argilosa ou muito argilosa e, em condições naturais, geralmente maciços ou com tendência à formação de blocos. São comumente encontrados entre 30 e 70 cm da superfície do solo, coincidindo com os horizontes transicionais AB e BA, podendo prolongar-se até o horizonte Bw ou coincidir com o Bt, no todo ou em parte (JACOMINE, 2001; RIBEIRO, 2001). O caráter coeso foi estabelecido para distinguir classes de 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, de outros Latossolos e Argissolos não coesos (JACOMINE, 2005).

Os solos coesos são reconhecidos como limitantes ao desenvolvimento de plantas, devido à alta resistência do solo à penetração quando seco, afetando o desenvolvimento do sistema radicular, baixo teor de água disponível e baixa absorção de nutrientes, influenciando negativamente a produção agrícola e favorecendo o maior impacto da gota de chuva e, conseqüentemente, o aumento de

processos erosivos nas áreas de produção (LIMA et al., 2004; MOREAU et al., 2006; CORRÊA et al., 2008; MOURA et al., 2009; LIMA NETO et al., 2010).

No Maranhão, a Formação Barreiras localiza-se a nordeste do Estado, entre os municípios de Brejo, Buriti, Urbano Santos e Araisos. É constituída por sedimentos clásticos mal selecionados, as cores predominantes são o amarelo e o vermelho, variando, porém, de local para local. Os arenitos existentes nesta formação são caulíníticos com lentes de folhelhos. Pode-se observar sobre formações mais antigas. Sua datação não é precisa pela ausência de fósseis, admitindo-se que seja do Terciário por englobar o calcário fossilífero Pirabas que pertence ao Mioceno Inferior (GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO, 2002).

A gênese desses solos está associada a vários processos, tais como, agrupamento de partículas de argila face a face; perda do plasma argiloso da camada superficial para as adjacentes (argiluviação); presença de compostos orgânicos pouco polimerizados; presença de sílica secundária, ferro e alumínio dispersos nos microporos; adensamento resultante da alteração da estrutura do solo pela alternância de ciclos de umedecimento e secagem, e contribuição da areia fina (UFV, 1984; RIBEIRO, 1996; JACOMINE, 1996; FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999; ARAÚJO FILHO; CARVALHO; SILVA, 2001; RESENDE et al., 2007).

Lima Neto et al. (2010) sugeriram que a gênese dos horizontes coesos dos Tabuleiros Costeiros apresenta duas fases distintas, sendo sua base formada inicialmente pela iluviação de argila fina, entupindo os poros do solo, com posterior perda de ferro na parte superior, colapsando a estrutura. Já Corrêa et al. (2008) sugeriram que a gênese de horizontes coesos se deve ao maior conteúdo de argila muito fina ( $< 0,2 \mu\text{m}$ ), translocada entre os horizontes ou dentro do mesmo horizonte, na forma de argila dispersa. Moreau et al. (2006), em estudo sobre caracterização de solos nos Tabuleiros Costeiros do Sul da Bahia, obtiveram as mesmas conclusões apresentadas por Corrêa et al. (2008) para explicar a formação de horizontes coesos de Argissolos Amarelos, localizados em platôs mais amplos e menos dissecados, onde os autores não deram enfoque ao tamanho da argila.

Vieira et al. (2012), estudando Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará, verificaram que a posição da paisagem interfere na gênese de horizontes coesos, pois o solo mais coeso foi aquele encontrado na posição mais baixa da paisagem,

que está associada à maior concentração de sílica amorfa, que é um importante agente cimentante (ARAÚJO FILHO; CARVALHO; SILVA, 2001; CHARTRES; KIRBY; AUPACH, 1990; FRANZMEIER; CHARTRES; WOOD, 1996; RIBEIRO, 2001), nesta posição. Posições côncavas estão sujeitas ao acúmulo de soluções via fluxos hídricos de superfície e subsuperfície (VIDAL-TORRADO; LEPSCH; CASTRO, 2005). Podendo assim aumentar as condições de redução, provocando, conseqüentemente, a perda de ferro, possibilitando melhor ajustamento entre as partículas do solo.

Apesar dos avanços a gênese dos solos coesos ainda é um assunto amplamente discutido e que necessita de muitas pesquisas para que possa elucidar dúvidas sobre a gênese dos horizontes coesos e seu enquadramento no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. No Estado do Maranhão especialmente, junção da expansão da exploração agrícola, visando estabelecer estratégias para um manejo mais sustentável nestas áreas de plantio, no Leste Maranhense.

## **2.2. Relação solo-paisagem**

Os estudos da relação solo-paisagem de um determinado ambiente são indispensáveis quando se pretende compreender o comportamento dos atributos do solo e conseqüentemente a distribuição dos solos nas paisagens de uma região (CAMPOS, 2012).

O solo é parte integrante da paisagem, e sua distribuição na vertente está condicionada às variações topográficas e litológicas. Quando a paisagem é analisada, pode-se encontrar uma relação entre os diferentes tipos de solos com as diferentes formas do relevo. Essa distribuição de solos na paisagem tem suas características e propriedades morfológicas (topografia) controladas pelo material de origem (rocha), pelas condições climáticas e pela declividade (ZAPAROLI; GASPARETTO, 2010), e as diversas feições do relevo podem provocar variação nos atributos do solo, dependendo principalmente de um local específico da paisagem (SCHOORL; SONNEVELD; VELDKAMP, 2000).

A paisagem é a expressão resultante da atuação dos fatores de formação do solo (clima, organismos, material de origem, relevo e tempo) e, também, de aspectos

socioeconômicos (RESENDE et al., 2007). O conhecimento da distribuição dos tipos de solos na paisagem é de extrema importância nos estudos da gênese e na execução dos levantamentos pedológicos. Vários estudos mostram a relação existente entre a variabilidade espacial dos atributos do solo e as formas da paisagem (ABREU et al., 2003; MONTANARI et al., 2005; CAMARGO et al., 2008a,b; CAMARGO; MARQUES JÚNIOR; PEREIRA, 2010; CAMARGO et al., 2013). Cunha et al. (2005), afirmam que estes tipos de trabalho são importantes, pois permitem entender aspectos do solo ligados aos seus fatores de formação.

Os processos pedogenéticos na paisagem brasileira são bastante ativos, e o relevo tem um papel crítico como controlador do tempo de exposição do solo aos agentes bioclimáticos (RESENDE et al., 2007). Descontinuidades acentuadas na paisagem brasileira são muito comuns, pois, em muitos casos, estas estão correlacionadas à descontinuidade das classes de solo. Assim, em áreas mais velhas, onde o processo de intemperismo foi mais intenso, o relevo varia de plano a suavemente ondulado, ocorrendo, geralmente, a presença de Latossolos, que podem estar associados ou não aos Neossolos Quartzarênicos.

Nas superfícies mais jovens, com relevo variando de ondulado a fortemente ondulado, ocorrem os Argissolos, Luvisolos, Alissolos, Cambissolos, Nitossolos, Chernossolos e Neossolos Litólicos. Nas baixadas planas ou no terço inferior das encostas quase planas das regiões Nordeste e Sul do Brasil, ocorrem os Vertissolos, enquanto na faixa litorânea ocorrem os Espodossolos (BRADY; WEIL, 2013).

Nos Tabuleiros Costeiros, ocorrem relevos achatados, seguidos ou entremeados de colinas e morros, os quais derivam de uma grande superfície de aplanamento que perdeu sua continuidade espacial devido a mudanças do sistema morfogenético, as quais foram controladas por mudanças climáticas e neotectonismo. Nessas regiões, os solos predominantes são os Latossolos e os Argissolos Amarelos (antes denominados Podzólicos Vermelho-Amarelos) e alguns Latossolos Vermelho-Amarelos (LEPSCH, 2012).

O estudo das relações solo-paisagem permite associar atributos topográficos e tipos de solos, tornando-se úteis na predição de ocorrência dos tipos de solos nas paisagens e auxiliando no estudo detalhado dos solos. Assim, a utilização de modelos de paisagem como técnica auxiliar em levantamentos pedológicos tem-se

tornado muito importante no entendimento das relações solo-paisagem. Essa é uma ferramenta essencial na identificação e no mapeamento de áreas homogêneas (CAMPOS et al., 2007; SANCHEZ et al., 2009; MONTANARI et al., 2010; CAMPOS et al., 2012a,b).

Vários modelos de paisagem foram propostos, visando a entender as relações dos solos e seus atributos em diferentes escalas. Ruhe (1956) e Daniels et al. (1971) estabeleceram o termo superfície geomórfica, definido como sendo uma porção de terra que é especialmente definida no espaço e no tempo. Troeh (1965) estabeleceu o modelo de paisagem baseado na curvatura e no perfil do terreno, este apresenta nove tipos básicos de pedoformas que são representados pela curvatura (C) e perfil (P), ambas acompanhadas por sinais: (+) concavidade (forma que favorece a concentração de água) e (-) convexidade (que favorece a dispersão e a perda de água pelo sistema), as pedoformas variam de lineares, côncavas, a convexas. Além destes, Dalrymple, Blong e Conacher (1968) estabeleceram um modelo de paisagem composto por nove unidades hipotéticas de vertente, denominado segmento de vertente.

Muitos trabalhos destacam a importância desses modelos de paisagem como ferramenta auxiliar nos estudos dos atributos dos solos (MONTANARI et al., 2005; CAMARGO et al., 2008a,b; CAMARGO et al., 2013). Campos et al. (2012a) mostram a importância dos estudos de superfícies geomórficas na compreensão da distribuição espacial dos solos na paisagem. Por outro lado, Sanchez et al. (2009) afirmam que a forma de relevo (pedoforma) condiciona padrões diferenciados de variabilidade dos atributos do solo. Estudo realizado por Martins Filho (2007) assume que a variabilidade dos atributos do solo é controlada, também, por processos erosivos que, por sua vez, dependem das formas de relevo e do movimento da água no terreno (OOST; GOVERS; DESMENT. 2000; SCHUMACHER et al., 1999; IZIDORIO et al., 2005; MARTINS FILHO et al., 2009).

Marques Júnior e Lepsch (2000) e Pachepsky, Timlin e Rawls (2001), destacaram a importância da segmentação da vertente no estudo dos processos pedogeomórficos. Essa segmentação relaciona os processos geomórficos superficiais aos processos pedológicos subsuperficiais, pois observa as interações

entre os materiais do solo e sua movimentação, transporte e redeposição em superfície e subsuperfície do terreno (DALRYMPLE; BLONG; CONACHER, 1968).

Os diversos modelos de paisagem existentes propiciam melhor compreensão das relações geomorfológicas, estratigráficas e pedológicas, subsidiando o entendimento dos processos genéticos e comportamentais do solo. A utilização destes modelos, em união a técnicas geoestatísticas e a modelos de elevação digital, permite o entendimento das relações de causa-efeito do comportamento do solo, de forma a favorecer os levantamentos pedológicos, bem como estabelecer práticas de manejo adequado do solo.

### **2.3 Erodibilidade do solo**

A erodibilidade (K) é uma característica intrínseca do solo, sendo condicionada pelos atributos mineralógicos, químicos, morfológicos, físicos e biológicos (VEIHE, 2002). Esse fator reflete as propriedades inerentes do solo, resultado das características físicas de textura, estrutura, agregação e porosidade (BLANCO; LAL, 2010). A erodibilidade do solo representa o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto das gotas das chuvas e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo em relação aos processos erosivos (BERTONI; LOMBARDI, 2008).

O conhecimento sobre a erodibilidade do solo é fundamental para o planejamento do manejo adequado de determinada área, visando à redução das perdas de solo e água pelos processos erosivos. Alguns atributos do solo afetam a erodibilidade, e segundo Silva et al. (2009), a permeabilidade do solo à água, a capacidade de armazenamento de água, a textura (principalmente os teores de silte), a coesão, o grau e o tipo de estrutura, o carbono orgânico, os teores de óxidos de Fe e de Al, e o tipo de mineral de argila afetam diretamente a erodibilidade do solo. Devido à erodibilidade representar o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto das gotas de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial são responsáveis pelo comportamento do solo, em relação aos processos erosivos (AMORIM et al., 2010).

Os modelos de predição de erosão do solo evoluíram de modelos empíricos, tais como a Universal Soil Loss Equation (USLE) e a Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), para modelos baseados em princípios teóricos, como o Water Erosion Prediction Project (WEPP) (MARTINS et al., 2011). Em modelos como a WEPP em que são utilizados métodos físicos ou determinísticos (LANE; NEARING, 1989), a erodibilidade do solo pode ser separada em entressulcos ( $K_i$ ) e em sulcos ( $K_r$ ) sob condições de estado de equilíbrio dinâmico quanto à chuva e à enxurrada (MARTINS FILHO, 2007).

Tanto a erodibilidade do solo ( $K$ ), como a erodibilidade em entressulcos ( $K_i$ ) e em sulcos ( $K_r$ ) têm variabilidade natural no espaço e no tempo e são consideradas dependentes da composição textural, estabilidade de agregados, resistência, permeabilidade, teor de matéria orgânica e composição química do solo (WISCHMEIER; JOHNSON; CROSS, 1971; MEYER; HARMON, 1984; DENARDIN, 1990; BAJRACHARYA; ELLIOT; LAL, 1992; MARTINS FILHO, 1999; SHERIDAN et al., 2000).

Segundo Sheridan et al. (2000), pesquisas para a obtenção do  $K$ ,  $K_i$  e  $K_r$  por meio de experimentos sob chuva simulada ou natural, são consideradas onerosas, inconvenientes e morosas para gerar resultados. Portanto, algumas pesquisas revelam a possibilidade de predição da erodibilidade em entressulcos e em sulcos, utilizando-se de valores médios das propriedades químicas e físicas do solo (MARTINS FILHO, 2007; ARAÚJO; SALVIANO; HOLANDA NETO, 2011).

A erodibilidade do solo pode ser obtida basicamente de três maneiras. A primeira é por meio da observação deste parâmetro em nível de campo, em condição natural de chuva natural, contudo este é um método muito caro e demanda muito tempo para a aquisição das informações. A segunda ocorre também em nível de campo; no entanto, por meio de chuvas simuladas (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A terceira, pelo método de observação do fator  $K$ , ocorre de forma indireta, baseando-se em regressões múltiplas que contenham como variáveis independentes atributos mineralógicos, físicos, morfológicos e químicos do solo ou relações destes.

Diante do que foi exposto, observa-se que a erodibilidade é uma propriedade dinâmica do solo, que varia em função de vários atributos do solo, dentre os quais

podem-se mencionar a textura, a estabilidade de agregados, o teor de água no solo, o teor de matéria orgânica, os teores de óxidos de Fe e Al, e a mineralogia. Estudos que visam à obtenção da erodibilidade de maneira indireta, através de modelos matemáticos, pode ser uma alternativa prática e de fácil obtenção, pois as que requerem experimentações de campo são muito demoradas e onerosas.

#### **2.4. Função de pedotransferência: espectroscopia de reflectância difusa no estudo de atributos do solo**

As funções de pedotransferência são cada vez mais utilizadas na agricultura moderna para estimar atributos do solo de maneira simples e rápida. Segundo McBratney et al. (2002), funções de pedotransferência podem ser definidas como modelos matemáticos utilizados para estimar atributos do solo a partir de outros atributos medidos com maior facilidade e baixo custo.

O mapeamento da variabilidade dos atributos do solo é fundamental para o planejamento sustentável das práticas agrícolas (FROGBROOK; OLIVER, 2007). Porém, as técnicas estatísticas espaciais utilizadas nestes mapeamentos requerem elevado número de amostras. Isso aumenta o tempo necessário para a construção dos mapas e eleva os custos, além de provocar maior impacto ambiental, devido ao uso de reagentes utilizados nas análises laboratoriais.

Métodos baseados na caracterização eletromagnética do solo, como a resistividade elétrica e a condutividade eletromagnética (JOHNSON et al., 2001; BRENNING et al. 2008), e a suscetibilidade magnética (SIQUEIRA et al., 2010; CORTEZ et al., 2011) são cada vez mais utilizados como funções de pedotransferência. Outra técnica que pode ser utilizada para quantificar indiretamente diversos atributos do solo e assim auxiliar as análises convencionais de laboratório é a espectroscopia de reflectância difusa (ERD). O potencial de utilização desta técnica tem sido demonstrado por vários autores (TORRENT; BARRÓN, 1993; BARRÓN; MELLO; TORRENT, 2000; VISCARRA ROSSEL; WEBSTER, 2011; BAHIA, 2012). A vantagem que a ERD tem em relação às metodologias tradicionais é o fato de ser uma técnica rápida, econômica, não

necessitando de reagentes e por ser um método não destrutivo (BROWN et al., 2006; VISCARRA ROSSEL et al., 2006).

O espectro de uma amostra de solo é a expressão que registra o fluxo de radiação eletromagnética refletida pelo solo em relação ao fluxo radiante. Como os solos apresentam diferentes constituintes, eles podem ser identificados e, em certos casos, quantificados pela análise espectral. Assim, o comportamento espectral do solo depende diretamente de sua composição química, física, biológica e mineralógica, sendo que os principais constituintes que afetam seu comportamento espectral são a matéria orgânica e os óxidos de ferro.

A vantagem que a ERD tem em relação às metodologias tradicionais de análise do solo, é o fato de ser uma técnica rápida, de baixo custo de análise, não necessitando de reagentes químicos, não destruindo as amostras de solo (AMORIM, 1996; BROWN et al., 2006; VISCARRA ROSSEL et al., 2006), podendo ser realizada *in loco*, com aparelhos portáteis (BAHIA, 2012). No entanto, é necessária a aplicação de métodos quimiométricos para modelar os dados e permitir a quantificação dos atributos do solo.

Demattê et al. (2006), comparando a metodologia tradicional de análise de solo com a metodologia da ERD, concluíram que é possível estimar atributos diagnósticos do solo, utilizando dados espectrais. Fernandes et al. (2004) encontraram concordância entre os valores de matiz obtidos em campo pela Carta de Cores de Munsell com os estimados pela ERD, concluindo que a reflectância difusa é uma técnica eficiente na identificação de óxidos de ferro.

Barrón e Torrent (1986) relatam que a utilização da reflectância difusa na determinação dos espectros é útil não só para a caracterização qualitativa e mais precisa da cor dos solos, mas também para a quantificação da relação dos teores dos óxidos de ferro, principalmente hematita (Hm) e goethita (Gt), pois são altamente correlacionados à coloração do solo. Bahia (2012) também utilizou a ERD para estimar teores de hematita e goethita, encontrando boa correlação com os teores destes mesmos minerais determinados pela difração de RX, mostrando que essa técnica é uma alternativa na quantificação indireta de atributos do solo.

A cor do solo é um indicador seguro da presença de óxidos de Fe e de outras importantes propriedades do solo que covariam com ela (RESENDE et al., 2007). A

cor é uma importante propriedade do solo de mais fácil determinação e que chama a atenção do observador. Sua importância prende-se ao fato de que a cor é uma medida indireta da presença de determinados compostos, orgânicos e inorgânicos, resultantes de processos pedogenéticos ou responsáveis por propriedades importantes, do ponto de vista pedológico e agrônomo (RIBEIRO; OLIVEIRA; ARAÚJO FILHO, 2012).

O matiz do sistema Munsell é o critério mais importante para separar Latossolos, Argissolos, Nitossolos, Luvisolos e outros solos, isso porque o matiz reflete a proporção de hematita e goethita, o que permite fazer inferências sobre as condições de drenagem, comportamento físico e químico e prever, a partir dessas avaliações, o comportamento agrícola dos solos (ALMEIDA; TORRENT; BARRÓN, 2003).

A determinação da cor é realizada pela comparação visual com a Caderneta de Munsell (MUNSELL COLOR COMPANY, 2000), determinando-se o matiz (comprimento de onda da luz), valor (brilho ou tonalidade) e croma (intensidade ou pureza da cor em relação ao cinza). Porém, essa determinação, mundialmente utilizada pelos pedólogos, é baseada na percepção visual, ou seja, subjetiva, e segundo Campos e Demattê (2004), as divergências na percepção das cores podem resultar em erros na classificação dos solos. Neste contexto, o emprego da ERD na determinação dos espectros de cor tem-se mostrado útil para a caracterização qualitativa e mais precisa da cor dos solos.

Uma utilização imediata da cor do solo, segundo Torrent e Barrón (1993), é a determinação do índice de avermelhamento (IAV). Esse parâmetro é uma expressão que combina os três componentes da cor (matiz, valor e croma), obtidos pela ERD. Fernandes et al. (2004) utilizaram três metodologias para a obtenção dos índices de avermelhamento: IV1 (TORRENT; SCHWERTMANN; SCHULZE, 1980), IV2 (BARRÓN; TORRENT, 1986) e o fator de avermelhamento (FV) (SANTANA, 1984). Estes autores observaram que os três índices correlacionaram-se significativamente com a relação  $Hm/(Hm + Gt)$  e com o teor de hematita. Chig et al. (2008), estudando um transecto em microbacias Amazônicas, afirmam que o IAV foi um bom indicador para identificar a drenagem dos solos, e que é importante considerar as informações espaciais deste atributo.

Mesmo com resultados tão promissores, este é um assunto da pedologia que não teve grande avanço, pois muitos cientistas do solo insistem em utilizar o método clássico da avaliação da cor, mesmo sendo esta análise muito mais qualitativa e pessoal do que quantitativa e exata. Assim, estudos que envolvam a análise da cor do solo por meio de métodos precisos, como a ERD, são de extrema importância para o progresso da ciência do solo.

### 3. Referências

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.; REINERT D. J.; BLUME E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Francoarenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p.275-282, 2003.

ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 2, p. 753-760.

ALMEIDA, V. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor do solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 985–1002, 2003.

AMORIM, H.V. **Manual de métodos analíticos para o controle da produção de álcool e açúcar**. 2. ed. Piracicaba: Esalq-USP, 1996.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Avaliação do desempenho dos modelos de previsão da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.6, p. 1046-1049, 2010.

ARAÚJO FILHO, J.C.; CARVALHO, A.; SILVA, F.B.R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001. Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 123-142.

ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; HOLANDA NETO, M. R. Estimativa da erodibilidade de Latossolos do Piauí. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 7, p. 1-6, 2011.

BAHIA, A. S. R. S. **Espectroscopia de reflectância difusa como técnica auxiliar na caracterização da emissão de CO<sub>2</sub> e atributos do solo**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012.

BAJRACHARYA, R. M.; ELLIOT, W. J.; LAL, R. Interril erodibility of some Ohio soils based on field rainfall simulation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 1, p. 267-272, 1992.

BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, p. 645-653, 2008.

BARRÓN, V.; MELLO, J. W. V.; TORRENT, J. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de reflectância difusa. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed) **Tópicos em Ciência do Solo**, v.1, Viçosa: SBCS, 2000. p. 139-162.

BARRÓN, V.; TORRENT, J. Use of the Kubelka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil colour. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, p. 499-510, 1986.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355p.

BLANCO, H.; LAL, R. **Principles of soil conservation and management**, New York: Springer, 2010. 617 p.

BRADY, N.L.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradução técnica: Igo Fernando Lepsch. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704 p.il.

BRENNING, A.; KOSZINSKI, S.; SOMMER, M. Geostatistical homogenization of soil conductivity across field boundaries. **Geoderma**, Amsterdam, v. 143, n. 3-4, p. 254-260, 2008.

BROWN, D. J.; SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G.; MAYS, M. D.; REINSCH, T. G. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 132, n. 3-4, p. 273-290, 2006.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; ALLEONI, L. R. F. Spatial correlation between the composition of the clay fraction and contents of available phosphorus of an Oxisol at hillslope scale. **Catena**, Amsterdam, v., 100, n. 1, p. 100-106, 2013.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JR., J.; PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas de relevo. I - Mineralogia da fração argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2269-2277, 2008a.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Spatial variability of physical attributes of an Alfisol under different hill slope curvatures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 617-630, 2010.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. II - correlação espacial entre mineralogia e agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2279-2288, 2008b.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. Variação espacial da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2485-2492, 2008.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMARGO, L. A. A relação solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto – SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 519-539, 2007.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T. Multivariate analysis of soil attributes for the discrimination of geomorphic surfaces on a sandstone/basalt litosequence. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, p. 429-438, 2012a.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S. de; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. C. Topossequência de solos na transição campos naturais-floresta na região de Humaitá, Amazonas, **Acta Amazônica**, Amazonas v. 42, p. 387-398, 2012b.

CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Agroambiente**, v. 6, p. 102-109, 2012c.

CAMPOS, M.C.C. Relação solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Ambiência**, Guarapuava, v. 8, p. 963-982, 2012.

CAMPOS, R. C.; DEMATTÊ, J. A. M. Cor do solo: uma abordagem da forma convencional de obtenção em oposição à automatização do método para fins de classificação de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 853-863, 2004.

CHARTRES, C. J.; KIRBY, J. M.; AUPACH, M. Poorly ordered silica and aluminosilicates as temporary cementing agents in hard-setting soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, p. 1060–1067, 1990.

CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; NOVAES FILHO, J. P.; RODRIGUES, L. C. M.; JOHNSON, M. S.; WEBER, O. L. S. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, p. 715-722, 2008.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 297-313, 2008.

CORTEZ, L.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PELUCO, R. G.; TEIXEIRA, D. D. B.; SIQUEIRA, D. S. Suscetibilidade magnética para identificação de áreas de manejo específico em citricultura. **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, n. 3, p. 60-70, 2011.

CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N.; PEREIRA, G. T.; LEPSCH, I. F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma sequência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 81–90, 2005.

DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. A hypothetical nine unit land a surface model. **Geomorphology**, v. 12, p. 60-76, 1968.

DANIELS, R. B.; GAMBLE, E. F.; CADY, J. G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. **Advances in Agronomy**, v. 23, p. 51-87, 1971.

DEMATTÊ, J. A. M.; SOUSA, A. A.; ALVES, M. C.; NANNI, M. R.; FIORIO, P. R.; CAMPOS, R. C. Determining soil water status and other soil characteristics by spectral proximal sensing. **Geoderma**, Amsterdam, v. 135, p. 179-195, 2006.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 81 f. Tese (Doutorado) – Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

FERNANDES, R. B. A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F. Quantificação de óxidos de ferro de Latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 245-257, 2004.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 507-514, 1999.

FRANZMEIER, D. P.; CHARTRES, C. J.; WOOD, J. T. Hardsetting soils in Southeast Australia: Landscape and profile processes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 1178-1187, 1996.

FROGBROOK, Z. L.; OLIVER, M.A. Identifying management zones in agricultural fields using spatially constrained classification of soil and ancillary data. **Soil Use and Management**, v. 23, p.40-51, 2007.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. Conceitos sobre solos coesos e *hardsetting*. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 613-620, 2002.

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Universidade Estadual do Maranhão. **Atlas do Maranhão**. São Luís: GEPLAN, 2002. 39p.

IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área sob cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 660-670, 2005.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, característica e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996. Cruz das Almas. **Anais...** Cruz das Almas: EMBRAPA-CPATC e CNPMF /EAUFBA /IGUFBA, 1996. p. 13-26.

JACOMINE, P. K. T. Evolução sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001. Aracaju. **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: **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 4. Viçosa: SBCS, 2005. p. 193-231.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; PESSÔA, S. C. P.; BURGOS, N.; MEDEIROS, L. A. R.; LOPES, O. F.; MÉLO 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).

JOHNSON, C. K.; DORAN, J. W.; DUKE, H. R.; WIENHOLD, B.J., ESKRIDGE, K. M.; SHANAHAN, J.F. Field-scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, p. 1829–1837, 2001.

LANE, L. J.; NEARING, M. A. **USDA - water erosion prediction project: hill slope profile model documentation**. West Lafayette: National Soil Research Laboratory, USDA - Agricultural Research Service, 1989. p. A1-S1. (Report, 2).

LEPSCH, I. F. **19 Lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. p.367-371.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 473-486, 2010.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 467-476, 2004.

MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I. F. Depósitos superficiais neocenoicos, superfícies geomórficas e solos, em Monte Alto-SP. **Geociências**, São Paulo, v.19, p.90-106, 2000.

MARTINS FILHO, M. V. **Modelagem do processo de erosão e padrão espacial da erodibilidade em entressulcos**. 2007. 121 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2007.

MARTINS FILHO, M. V. **Modelagem do processo de erosão entressulcos em Latossolos de Jaboticabal – SP**. 1999. 140 f. Tese. (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

MARTINS FILHO, M. V.; LICCIOTTI, T. T.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R. B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 8-18, 2009.

MARTINS, S. G.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FONSECA, S. Erodibilidade do Solo nos Tabuleiros Costeiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.3, p. 322-327, 2011.

McBRATNEY, A.; MYNASNY, B.; STEPHEN, R.; CATTLE, R.; VERVOORT, W. From pedotransfer functions to soil inference systems. **Geoderma**, Amsterdam. v. 109, p. 41-73. 2002.

MEYER, L. D.; HARMON, W. C. Susceptibility of agricultural soil to interrill erosion. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 5, p. 1152-1157, 1984.

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 Jaboticabal-SP. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, p. 191-199, 2010.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 69-77, 2005.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 1007-1019, 2006.

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 and Management**, v. 25, p. 368-375, 2009.

MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell color soil charts**. Baltimore, 2000.

OOST, K. V.; GOVERS, G.; DESMET, P. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. **Landscape Ecology**, New York, v. 15, p. 577-589, 2000.

PACHEPSKY, Y. A.; TIMLIN, D. J.; RAWLS, W. J. Soil water retention as related to topographic variables. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.65, p.1787-1795, 2001.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia**: Base para distinção de ambientes. 5. ed. rev. Lavras-MG, Editora UFLA, 2007. 322 p.il.

RIBEIRO, L. P. Gênese, evolução e degradação dos solos amarelos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas, **Anais...** Cruz das Almas: EMBRAPA, CPATC; CNPMF; EAUFBA; IGUFBA, 1996. p. 27-35.

RIBEIRO, M. R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA – Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 161-168.

RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. Caracterização morfológica do solo. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: fundamentos**. Viçosa-MG, SBCS, 2012. p.47-80.

RUHE, R. V. Geomorphic surfaces and the nature of soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 82, p. 441-445, 1956.

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 pedoformas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 873-884, 2009.

SANTANA, D. P. **Soil formation in a toposequence of Oxisols from Patos de Minas region, Minas Gerais State, Brazil**. 1984. 129 f. Tese (Doutorado) – PurdueUniversity, West Lafayette, 1984.

SANTOS, H. L. **Variabilidade espacial dos atributos do solo, erosão e suscetibilidade magnética de uma vertente em Gilbués - PI**. 2010. 74 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2010.

SANTOS, H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; MATIAS, S. S. R.; SIQUEIRA, D. S.; MARTINS FILHO, M. V. Erosion factors and magnetic susceptibility in diferente compartments of a slope in Gilbués-PI, Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 33, p. 64-74, 2013.

SCHOORL, J. M.; SONNEVELD, M. P. W.; VELDKAMP, A. Threedimensional landscape process modeling: the effect of DEM resolution. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 25, p. 1025-1034. 2000.

SCHUMACHER, T. E.; LINDSTROM, M. J.; SCHUMACHER, J.A.; LEMME, G. D. Modeling spatial variation in productivity due to tillage and water. **Soil & Tillage Research Res**, Amsterdam, v. 51, p. 331-339, 1999.

SHERIDAN, G. J.; SO, H. B.; LOCH, R. J.; WALKER, C.M. Estimation of erosion model erodibility parameters from media properties. **Australian Journal of Soil Science**, Collingwood, v. 38, n. 2, p. 129-136, 2000.

SILVA, E. A.; GOMES, J. B. V.; ARAÚJO FILHO, J. C.; VIDAL-TORRADO, P.; COOPER, M.; CURI, N. Morphology , mineralogy and micromorphology of soils associated to summit depressions of the Northeastern Brazilian coastal plains. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, p. 507-517, 2012.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. F. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.6, p.1811-1820, 2009.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; MATIAS, S. S. R.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; BAFFA, O.; OLIVEIRA, L. C. Correlation of properties of Brazilian Haplustalfs with magnetic susceptibility measurements. **Soil Use and Management**, v. 26, p. 425-435, 2010.

SOUZA, Z. M.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade de fatores de erosão em Latossolo vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, p. 105-114, 2005.

TAVARES FILHO, J.; FELTRAN, C. T. M.; OLIVEIRA, J. F.; ALMEIDA, E.; GUIMARÃES, M. F. Atributos do solo determinantes para a estimativa do índice de estabilidade de agregados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, p. 436-441, 2012.

TORRENT, J.; BARRÓN, V. Laboratory measurements of soil color: theory and practice. In: BIGHAM, J. M.; CIOLKOSZ, E. J. (Ed) **Soil Color**. Soil Science Society of America, Special Publication, 1993. p. 21-33.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; SCHULZE, D.G. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. **Geoderma**, Amsterdam, p 23, p. 191-208, 1980.

TROEH, F.R. Landform equations fitted to contour maps. **Soil Science of Society American Journal**, Madison, v. 263, p. 616-627, 1965.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **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, 1984.153 p.

VEIHE, A. The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana. **Geoderma**, Amsterdam, v. 106, n. 1, p. 101-120, 2002.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: VIDAL-TORRADO, P. et al. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 4, Viçosa: SBCS, 2005. p.145-192.

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. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, p. 623-632, 2012.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; WALVOORT, D. J. J.; MCBRATNEY, A. B.; JANIK, L.J.; SKJEMSTAD, J.O. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, Amsterdam, v.131, n. 1-2, p. 59-75, 2006.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; WEBSTER, R. Discrimination of Australian soil horizons and classes from their visible–near infrared spectra. **European Journal of Soil Science**, Baltimore, v. 62, p. 637-647, 2011.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 25, n. 5, p. 183-189, 1971.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington: U.S. Department of Agriculture, 1978. 58 p. (Handbook, 537).

ZAPAROLI, F. C. M.; GASPARETTO, N. V. L. Distribuição de solos e sua relação com o relevo em uma vertente no município de Florai-PR. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 28, p. 49-63, 2010.

## CAPÍTULO 2 - RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM DA REGIÃO LESTE DO ESTADO DO MARANHÃO

**RESUMO** - A ocorrência dos solos coesos no Brasil está relacionada 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. O objetivo deste trabalho foi 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 (perfis 1, 2 e 3), uma em cada área do estudo com distintas formações vegetais, a área 1: Cerradão, área 2: Cerrado *stricto sensu* e a área 3: transição Campo Cerrado, para a caracterização morfológica, física, química e mineralógica. Os perfis dos solos, sob vegetação nativa, foram amostrados e descritos morfológicamente para fins de classificação. Nas amostras coletadas nos horizontes dos perfis, também foram determinados os atributos físicos, químicos e mineralógicos. 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 1,58 g cm<sup>-3</sup>) e na resistência à penetração (0,68 a 2,18 MPa). Que 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, a qual apresentou solos com maior *status* de fertilidade e matéria orgânica, refletindo na vegetação mais exuberante, caracterizada pelo Cerradão.

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

## **SOIL-LANDSCAPE RELATION IN THE EAST REGION OF THE MARANHÃO STATE, BRAZIL**

**SUMMARY** - The occurrence of cohesive soils in Brazil is related to sandy-clay sediments of Barreiras Formation, which are geologically related to the sedimentary deposits of the Tertiary period, which constitute the geomorphological unit of the Coastal Plains. The objective of this study was to identify the occurrence of cohesive soils in the east region of the state of Maranhão, Brazil, and assess their relationship with the landscape position. The studied area is located on Typuana Farm, region East Maranhão, in Brejo-MA, the geographical coordinates of 03° 36 ' S and 42° 52' W. The predominant vegetation of the area is Cerrado, with adverse floristic composition. Three trenches were dug (depth profiles 1, 2 and 3) one in the study area with distinct vegetation, area 1: Cerradão, area 2: Cerrado stricto sensu and Area 3: transition Campo Cerrado, for morphological, physical, chemical and mineralogical. The profiles of soils under native vegetation were sampled and described morphologically for classification purposes. In samples collected from soil profiles were also determined physical, chemical and mineralogical properties. The kaolinite was the predominant mineral in cohesive layers, but its degree of crystallinity did not influence the changes in soil density (1,40 to 1,58 g cm<sup>-3</sup>) and penetration resistance (0,68 to 2,18 MPa). That the landscape position was essential to the distinction of cohesive soils, and those established in concave landform presented the highest expression of the cohesive character, which resulted in higher soil fertility and organic matter reflecting the more exuberant vegetation, characterized by Cerradão.

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

## 1. 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). Sua ocorrência 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 esta formação estão restritos à zona úmida costeira do litoral oriental das regiões norte, nordeste e sudeste, em climas de estações secas e úmidas bem definidas (Jacomine, 2001; Giarola & Silva, 2002).

O caráter coeso é uma característica estabelecida na distinção de algumas classes de solo: Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos e Argissolos Acinzentados. Estas classes são desenvolvidas a partir de sedimentos da Formação Barreiras e congêneres, mais frequentes no ambiente dos Tabuleiros Costeiros e na região Amazônica (Jacomine, 2005). Esta coesão proporciona fortes limitações agrícolas, como, por exemplo, baixa potencialidade nutricional para as plantas (Corrêa et al., 2008). No entanto, as atividades agrícolas ocorrentes em solos coesos apresentam grande importância no cenário nacional, uma vez que a produção nordestina nas frações de 90 % 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 ocorrem em solos dos Tabuleiros Costeiros (Souza & Souza, 2012).

Os estudos sobre solos coesos no mundo iniciaram-se basicamente há 74 anos. Posteriormente, o tema começou a ser amplamente pesquisado, inclusive no Brasil (Fonseca, 1986; Ribeiro, 1998; Moreau, 2001). Nos últimos cinco anos, as pesquisas com estes 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 destes ambientes evidenciam características bem peculiares, que pode estar associado a vários processos, como por exemplo, o entupimento dos poros com argila iluvial, a presença de compostos orgânicos poucos polimerizados, a presença e acúmulo de sílica secundária, óxido de Fe e argila dispersa nos microporos e 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 uma determinada região, faz-se necessário compreender 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 um 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 pedoformas 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 destas, nessa região. Portanto, o objetivo deste trabalho foi identificar a ocorrência de solos coesos e estudar suas relações com a paisagem na região leste do Estado do Maranhão.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. O meio físico**

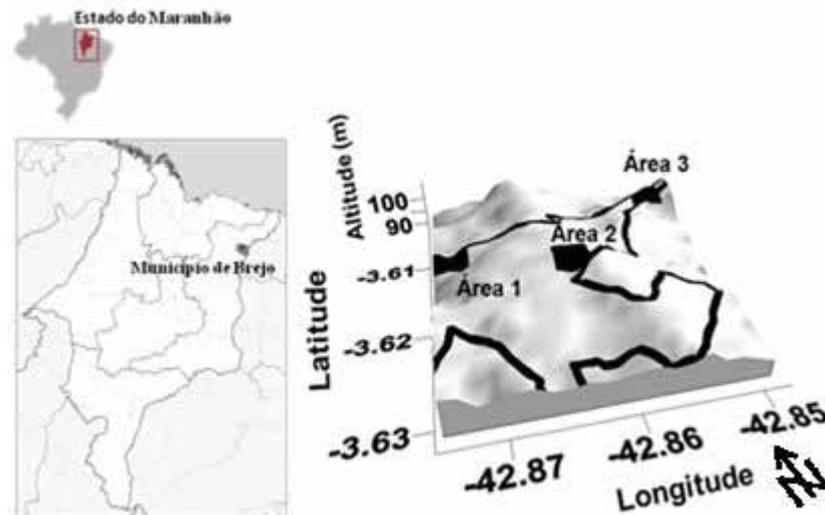
A pesquisa foi conduzida na Fazenda Typuana, situada no município de Brejo, na região leste do Estado do Maranhão (Figura 1), com coordenadas geográficas de 03° 36' S e 42° 52' W. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido (Aw), com temperatura média anual superior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

## 2.2. 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), onde as áreas 1 e 2 se encontram em pedoforma côncava, enquanto a área 3 se encontra em pedoforma convexa (Figura 1).

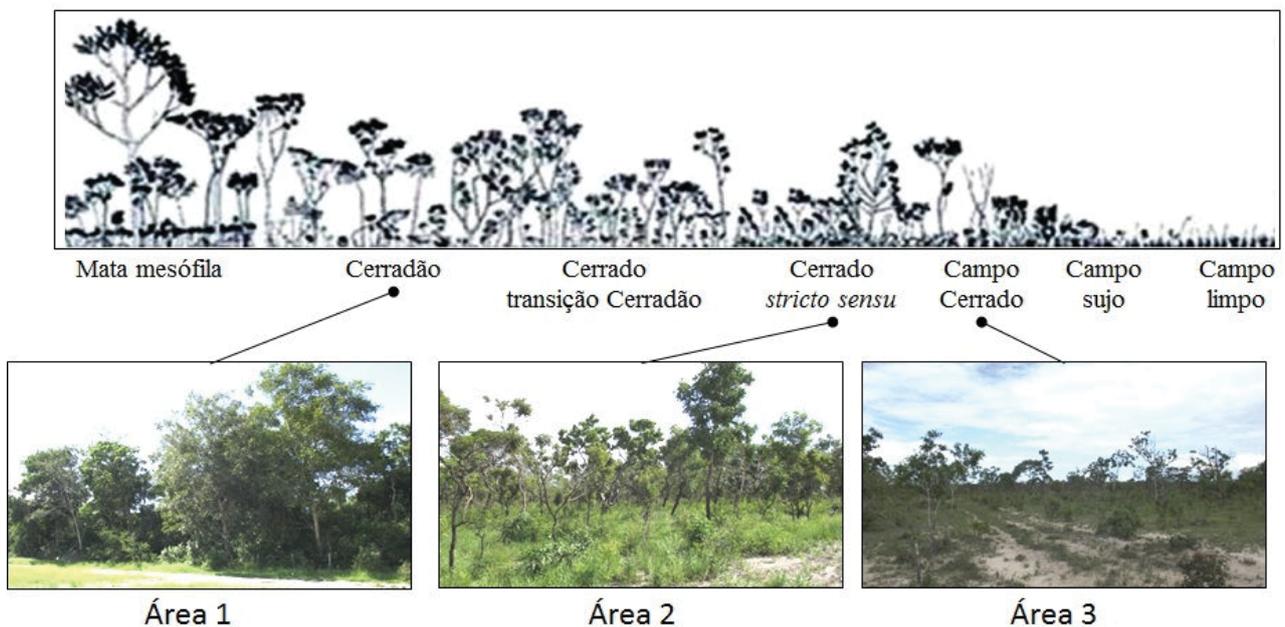


**Figura 1.** Localização dos perfis dos solos estudados em três áreas, por meio do modelo digital de elevação.

As áreas apresentam distintas formações vegetais: a área 1 com vegetação de Cerradão; a área 2 apresenta vegetação de Cerrado *stricto sensu* – Cerrado típico, e

a área 3 apresenta transição de campo/cerrado segundo Oliveira Filho & Ratter, (2002), dentre as espécies mais comuns existentes nestes ambientes encontra-se o *Orbignya speciosa* Mart. (Babaçu), *Copernicia cerífera* (Carnaúba) e *Mauritia vinífera* (Buriti) (Figura 2).

Para a caracterização 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 segundo critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS) (Embrapa, 2006).



**Figura 2.** Áreas com suas respectivas vegetações (adaptada de Costa, 2010).

### 2.3. Análises físicas e químicas

A textura do solo foi determinada pelo método da pipeta, utilizando-se uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de baixa rotação, por 16 horas, seguindo-se metodologia proposta por Day (1965). A fração argila foi separada por sedimentação; as areias grossa e fina, por tamisação; e o silte, calculado por diferença. A argila dispersa em água (ADA) e o grau de floculação da argila (GF) foram calculados conforme Day (1965).

As determinações de densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total (Pt) ocorreram por meio do método descrito pela Embrapa (1997). Estas determinações foram feitas utilizando anéis volumétricos com amostras preservadas coletadas em todos os horizontes coletados. 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 o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio trocáveis e o fósforo disponível, sendo extraídos através do método da resina trocadora de íons, a acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) e a acidez potencial ( $\text{H} + \text{Al}$ ), seguindo a metodologia de Raij et al. (2001). Foram determinados os teores de carbono orgânico por oxidação, segundo a Embrapa (1997), e o de matéria orgânica, multiplicando-se o teor de carbono orgânico pelo fator 1,724. O pH foi determinado, utilizando-se da relação 1:2,5 de solo: em 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  $\text{SiO}_2$ ), segundo a Embrapa (1997). As formas cristalinas de ferro ( $\text{Fe}_d$ ) foram extraídas com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, pelo método de Merha & Jackson (1960). Na extração dos óxidos de ferro mal cristalizados ( $\text{Fe}_o$ ), foi utilizado o oxalato ácido de amônio (Camargo et al., 1986).

#### **2.4. Análise mineralógica**

A argila para a análise de difratometria de raios X (DRX) foi separada da amostra de solo pelo método de centrifugação. Os minerais da fração argila caulinita (Ct) e gibbsita (Gb) foram caracterizados pela DRX, pelo método do pó. Na caracterização da Ct e Gb, a fração argila foi submetida à eliminação dos óxidos de

ferro 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 cobre com filtro de níquel e radiação  $\text{K}\alpha$  (20mA, 30Kv). A velocidade de varredura empregada foi de  $1^\circ 2\theta \text{ minuto}^{-1}$  com amplitude de 5 a  $50^\circ 2\theta$  para a caracterização da Ct e Gb. Os métodos utilizados para a determinação do desordenamento estrutural e do índice de cristalinidade da caulinita foram: Stoch (1974) e Hughes & Brown (1979), respectivamente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Atributos morfológicos

A similaridade morfológica observada entre os perfis (Quadro 1) estão relacionados com o pré-intemperismo dos depósitos sedimentares de textura média a argilosa, referidos ao período Terciário, representados pela Formação Barreiras (Rezende, 2000). É possível observar que existe um padrão de homogeneidade no comportamento da textura, estrutura e consistência. O horizonte A1 se diferencia dos demais horizontes, que apresentaram condições morfológicas similares, a exemplo da textura que, em todos os perfis, apresentou-se franco-arenosa no horizonte A1 e franco-argiloarenosa nos demais horizontes. Segundo Giarola et al. (2001), estas características estão associadas ao comportamento *hardsetting* de solos australianos, que é similar aos solos coesos formados a partir de sedimentos da Formação Barreiras.

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

características pedológicas e climáticas da região (Corrêa et al., 2008; Lima Neto et al., 2010; Vieira et al., 2012).

**Quadro 1.** Atributos morfológicos dos solos de três perfis, na região Leste Maranhense.

Horizontes	Profundidade cm	Cor		Textura	Estrutura	Consistência		
		Seca -----Munsell-----	Úmida			Seca	Úmida	Molhada
<b>Cerradão – Pedoforma côncava</b>								
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>								
A1	0-25	10YR 5/1	10YR 2/2	FA	2 G MG Bls	ED	MFi	ñPIñPe
AB	25-50	10YR 6/2	10YR 4/2	FAA	2M G Bla	ED	MFi	ñPIñPe
BA	50-82	10YR 8/3	10YR 6/3	FAA	1M GBla	LD	Fr	LgPILgPe
Bt2	82-140	10YR 8/3	10YR 6/6	FAA	1M GBla	LD	Fr	LgPILgPe
Bt3	140+	10YR 8/3	10YR 6/6	FAA	1M GBla	LD	Fr	LgPILgPe
<b>Cerrado <i>stricto sensu</i> - Pedoforma côncava</b>								
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>								
A1	0-30	10YR 4/1	10YR 3/1	FA	2G MG Bla	LD	Fr	ñPIñPe
AB	30-55	10YR 7/2	10YR 5/3	FAA	2M GBla	D	Fr	LgPILgPe
BA	55-85	10YR 8/4	10YR 6/6	FAA	1M GBla	LD	Fr	LgPILgPe
Bt2	85-130	10YR 8/4	10YR 6/6	FAA	1M GBla	LD	Fr	LgPILgPe
Bt3	130+	10YR 8/4	10YR 6/6	FAA	1P MBla	LD	Fr	LgPILgPe
<b>Transição cerrado campo – Pedoforma convexa</b>								
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>								
A1	0-25	7,5YR 7/3	7,5YR 6/4	FA	2M GBls	ED	Fi	ñPIñPe
BA	25-60	7,5YR 8/4	7,5YR 6/6	FAA	2M GBls	LD	Fr	LgPILgPe
Bt1	60-100	7,5YR 8/4	7,5YR 7/6	FAA	1M GBls	LD	Fr	LgPILgPe
Bt2	100+	7,5YR 8/6	7,5YR 6/8	FAA	1M GBls	LD	Fr	LgPILgPe

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

As pedoformas condicionam os processos de formação do solo pelo direcionamento dos fluxos de água, convergentes na forma côncava e divergentes na forma convexa (Silva Júnior et al., 2012; Montanari et al., 2010). A pedoforma côncava favorece a redução do ferro condicionando cores mais amareladas, enquanto, a pedoforma convexa favorece a oxidação que condiciona cores mais avermelhadas (Resende et al., 2007).

Neste estudo, observou-se que o solo da pedoforma côncava apresentou os maiores valores para espessura dos horizontes A+AB+BA e, conseqüentemente, são perfis mais profundos em relação ao P3, que apresentou menor espessura do horizontes A+BA e, conseqüentemente, menor profundidade. Sanchez et al. (2009) também mostram esta mesma tendência para maiores valores de espessura de horizontes em perfis sob pedoforma côncava em Argissolo.

O P1 e o P2 foram classificados como Argissolo Amarelo distrocoeso típico, apresentando seqüência de horizontes A1-AB-BA-Bt2 e Bt3, com profundidades

superiores a 140 cm e 130 cm, respectivamente. Apresentam horizonte A moderado, com textura franco-arenosa. No horizonte A1, não foi observada agregação, com estrutura do tipo forte, grande a muito grande, em blocos subangulares, enquanto nos demais horizontes se observou agregação, expressa por blocos subangulares, estrutura moderada grande a média (BA, Bt2, Bt3), no P1 e P2, respectivamente.

O P3 apresentou sequência de horizontes A1-BA-Bt2 e Bt3, e profundidade superior a 100 cm, sendo classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso típico. O horizonte A1 preenche os requisitos de um A moderado, com textura franco-arenosa. Os demais horizontes apresentam textura franco-argiloarenosa. Os horizontes A1 e BA apresentaram estrutura forte média, em blocos angulares, enquanto os demais apresentam estrutura moderada média a grande, em blocos angulares. A identificação de Argissolos Amarelos e Acinzentados nos Tabuleiros Costeiros foi feita em alguns Estados; entretanto, somente agora a classe dos Argissolos Amarelos foi identificada no Maranhão, o que ocorreu pelo fato de tais solos passarem, recentemente, a constituir classe distinta entre os Argissolos, sendo anteriormente englobada dentro dos Argissolos Vermelho-Amarelos (Jacomine, 2005).

Verificou-se diferenças nos graus de consistência de solos seco e úmido, apresentando os horizontes A1 e AB (P1) e A1 (P3) consistência extremamente dura quando seco, e a consistência friável quando úmida nos demais horizontes, nos três perfis estudados, com exceção dos horizontes A1 e AB (P1), que apresentaram 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 concentrar 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 nos trabalhos dos Estados do Ceará, Bahia e Alagoas (Lima et al., 2004; Corrêa, 2005; Moreau et al., 2006a; Lima Neto et al., 2009).

### 3.2. Atributos físicos

A análise da textura 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 maiores quantidades 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 Côrrea et al. (2008), em estudos micromorfológicos em horizontes coesos de solos vermelhos e amarelos do ambiente Tabuleiros Costeiros.

**Quadro 2.** Atributos físicos dos solos de três perfis, na região Leste Maranhense.

Hor.	Prof. cm	Areia			Silte	Argila	ADA	GF	S/A	Ds	Macro	Micro	Pt	RP
		Grossa	Fina	Total										
		g kg <sup>-1</sup>						%	g cm <sup>-3</sup>		%		MPa	
<b>Cerradão – Pedofoma côncava</b>														
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>														
A1	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
Bt2	82-140	23	276	546	155	299	0	100	0,5	1,47	11	24	35	1,88
Bt3	140+	21	261	526	145	329	0	100	0,4	*	*	*	*	*
<b>Cerrado <i>stricto sensu</i> – Pedofoma côncava</b>														
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>														
A1	0-30	74	390	792	83	125	91	27	0,6	1,58	10	19	2	1,62
AB	30-55	46	366	695	118	187	190	13	0,4	1,51	12	21	3	1,25
BA	55-85	45	331	655	120	225	174	23	0,5	1,53	11	22	3	1,46
Bt2	85-130	28	304	574	128	298	0	100	0,4	1,52	10	25	3	1,86
Bt3	130+	26	277	542	125	333	0	100	0,4	*	*	*	*	*
<b>Transição cerrado campo – Pedofoma convexa</b>														
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>														
A1	0-25	16	363	678	178	144	104	27	1,2	1,63	11	18	2	1,78
BA	25-60	21	281	556	162	282	0	100	0,6	1,41	16	22	3	1,24
Bt1	60-100	25	251	524	155	321	0	100	0,5	1,40	14	24	3	1,45
Bt2	100+	19	253	497	165	338	0	100	0,5	1,40	14	26	4	0,68

Hor.: Horizontes; 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; \*: atributos físicos não calculados.

Os horizontes coesos estudados 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 conteúdo de argila é insuficiente para justificar a formação do mesmo. 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), verifica-se grande similaridade, principalmente nos horizontes classificados como coesos. A granulometria destes 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 apresentam 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 e edafizados. Os maiores valores da relação silte/argila foram observados nos horizontes superficiais, provavelmente devido à 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, e somente para o horizonte A1 do P3, sendo observado um 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 conteúdo de argila muito fina ( $< 0,2 \mu\text{m}$ ), translocada na forma ADA. Já Moreau et al. (2006a) obtiveram as mesmas conclusões apresentadas por Côrrea et al. (2008) para explicar a formação de horizontes coesos de Argissolos no Estado da Bahia.

Estudos realizados por Lima Neto et al. (2010) sugerem 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 fase 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 um 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  $\text{g cm}^{-3}$ , sendo os maiores valores observados nos horizontes coesos, 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 g cm<sup>-3</sup>. A Ds dos horizontes coesos encontra-se na faixa de 1,50 a 1,68 kg dm<sup>-3</sup>, com média de 1,59 kg dm<sup>-3</sup>, estando de acordo com Corrêa, (2005) e Lima Neto et al., (2009), que 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 disto, ocorre a diminuição da macroporosidade e aumento da microporosidade, Ds e RP (Quadro 2). Silva & Cabeda (2005) também observaram o mesmo comportamento em solos coesos.

### 3.3. Atributos químicos

Os teores de matéria orgânica foram abaixo de 20 g kg<sup>-1</sup>, e apenas o horizonte A1 do P1 apresentou teores superiores a 20 g kg<sup>-1</sup>, provavelmente mantidos pela cobertura vegetal do Cerradão presente na área e por estar inserido em pedoforma côncava (Quadro 3). Nos demais horizontes dos três perfis, os níveis de matéria orgânica foram inferiores e atenderam à exigência de teores menores que 2% estabelecida para o comportamento *hardsetting* (Mullins, 1997; Giarola et al., 2001).

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 alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>) e altos valores de saturação por Al<sup>3+</sup> (m) (Quadro 3). Os baixos valores de T, inferiores a 5,2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 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 apresentam pH ácido, associado à SB dos horizontes superficiais, abaixo de 43 %. Os valores muito baixos de SB nos horizontes subsuperficiais refletem por ser um 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, associado à saturação por bases dos horizontes superficiais abaixo de 27% e 39%, em Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos dos Tabuleiros Costeiros, respectivamente.

**Quadro 3.** Atributos químicos de três perfis de solo, na região Leste Maranhense.

Hor	Prof. cm	pH		$\Delta$ pH	M.O. g kg <sup>-1</sup>	P mg kg <sup>-1</sup>	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	SB	T	V	m
		H <sub>2</sub> O	KCl													
<b>Cerradão – Pedofoma côncava</b>																
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>																
A1	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
Bt2	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
Bt3	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
<b>Cerrado <i>stricto sensu</i> – Pedofoma côncava</b>																
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>																
A1	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
Bt2	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
Bt3	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
<b>Transição cerrado campo – Pedofoma convexa</b>																
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>																
A1	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;  $\Delta$ pH: Delta pH; M.O.: matéria orgânica; SB: soma de bases; T: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio.

### 3.4. Atributos mineralógicos

Os menores valores dos óxidos de ferro pelo ataque sulfúrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) foram encontrados nos horizontes do P1 e P2, em pedofoma côncava, e os maiores

teores deste óxido foram encontrados no P3, que está inserido em ambiente de pedoforma convexa. Os teores de ferro apresentaram tendência de diminuição em profundidade, nos três perfis estudados (Quadro 4).

Os menores teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  no P1 são, provavelmente, consequência da maior restrição de drenagem neste perfil. A restrição de drenagem contribui para a intensificação da redução do  $\text{Fe}^{+++}$  para  $\text{Fe}^{++}$ , facilitando sua remoção por lixiviação ou redistribuição (Schwertmann, 1985). De acordo com Corrêa et al. (2008), os baixos teores de ferro sugerem tanto a 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 ferro livre no solo, aumentam a tendência para o aumento da Ds.

**Quadro 4.** Teores dos óxidos do ataque sulfúrico ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de ferro livre extraído por ditionito-citrato-bicarbonato e forma amorfa de ferro extraída por oxalato ácido de amônio e relações entre eles, dos três perfis localizados na região Leste Maranhense.

Hor.	Óxidos do Ataque Sulfúrico			Relações		DCB <sup>(1)</sup>	OAA <sup>(2)</sup>	Relações	
	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	Ki	Kr	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$	$\text{Fe}_d/\text{Fe}_t$
	-----g kg <sup>-1</sup> -----					-----g kg <sup>-1</sup> -----			
<b>Cerradão – Pedoforma côncava</b>									
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>									
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
<b>Cerrado <i>stricto sensu</i> – Pedoforma côncava</b>									
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>									
A1	32	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
<b>Transição cerrado campo – Pedoforma convexa</b>									
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>									
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;  $\text{Fe}_d/\text{Fe}_t$ : relação ferro ditionito/ferro total.

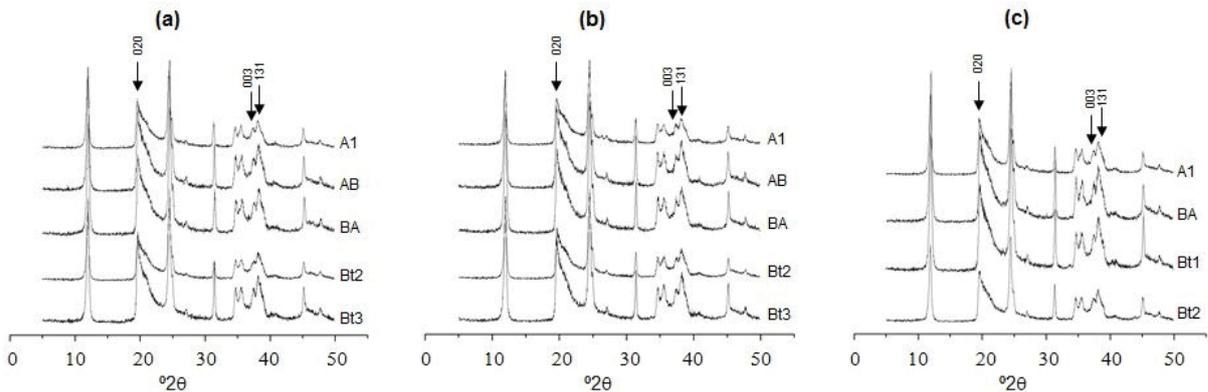
Para os solos desenvolvidos de sedimentos da Formação Barreiras, a tendência do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  obtido pelo ataque sulfúrico é manter-se em teores abaixo de 80

g kg<sup>-1</sup> (Embrapa, 2006). Segundo a Universidade Federal de Viçosa (1984), os solos da Formação Barreiras, ao que parece, estão sofrendo processo ainda atual ou pelo menos subatual de perda de Fe junto 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, ou parte dos óxidos de ferro 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 ferro, corroborando os resultados de Moreau et al. (2006a) e Corrêa et al. (2008). Mas os valores da relação Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub> sugerem predomínio de formas de Fe de baixa cristalinidade em todos os perfis. Provavelmente, a deficiência de aeração conferida pela presença de horizontes coesos favorece a redução do Fe, incrementando as formas menos cristalinas.

Observou-se um 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). Isto indica que este 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, predominando caulinita em todos os horizontes dos três perfis (reflexos 020, 003 e 131) (Figura 3). A natureza caulínica da fração argila observada nos três perfis justifica os valores da relação molecular K<sub>i</sub>, apresentando média de 1,0, variando entre 0,6 e 1,4, indicando solos com alto nível de intemperização (Quadro 4) e permitindo a pedogênese dos horizontes coesos. Tais resultados demonstram avançado estágio de intemperismo, estando coerente com outros autores (Moreau, 2001; Corrêa, 2005).



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

Não foi identificada a gibbsita nos horizontes coesos, sendo estes 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 um 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) afirmam que o ajuste face a face das placas caulíníficas 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). Estes 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.

Observa-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 uma 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 e está inserido na pedoforma côncava do terreno.

**Quadro 5.** Índices de desordenamento e cristalinidade das caulinitas, densidade do solo e óxido de ferro total dos Argissolos Amarelos distrocoesos, localizados na região Leste Maranhense.

Horizonte	IK <sup>(1)</sup>	HB <sup>(2)</sup>	Ds	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
			g cm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>
<b>Cerradão – Pedoforma côncava</b>				
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>				
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
<b>Cerrado <i>stricto sensu</i> – Pedoforma côncava</b>				
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>				
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
<b>Transição cerrado campo – Pedoforma convexa</b>				
<b>Argissolo Amarelo distrocoeso típico</b>				
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); Ds: densidade do solo.

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 pedoforma convexa e está associado aos maiores teores de argila e menores valores de Ds e RP, indicando maior ajuste face a face das caulinitas, concordando com Ferreira et al. (1999) e Resende et al. (2007).

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

#### 4. CONCLUSÕES

1. A caulinita foi o mineral predominante nos horizontes coesos, 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, a qual apresentou solos com maior *status* de fertilidade e matéria orgânica, refletindo na vegetação mais exuberante caracterizada, pelo Cerradão.

## 5. REFERÊNCIAS

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 Agrônomo 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). *Rev. 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, 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, Centro de Ciências Agrárias, 2010, 56 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal).

DAY, P.R. Particle fraction and particle fractionation and particle-size analysis. In: Black, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, Am. Soc. Agron., 1:545-566, 1965.

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.

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 solos 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.

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Universidade Estadual do Maranhão. Atlas do Maranhão. São Luís: GEPLAN, 2002. 39p.

HUGHES, J. C. & BROWN, G. A cristallinity index for soil kaolins and its relation to parent rock, climate and soil nature. J. Soil Sci., 30: 557-563, 1979.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2.ed revista e ampliada. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2012. 271p.

JACOMINE, P.K.T. Evolução sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. Anais. EMBRAPA – Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE, 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: Tópicos em Ciência do Solo, v. 4. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 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. *Pesqui. Agropecu. 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. *Rev. 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 Jaboticabal, SP. *Rev. Ciênc. 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, 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 Managen.*, 25:368-375, 2009.

MULLINS, C.E. *Hardsetting*. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C. & STEWART, B.A., eds. *Methods for assesment of soil degradation*. *Adv. Soil Sci.*, New York, CRC Press, 1997. p.109-128.

OLIVEIRA FILHO, A.T. & RATTER, J.A. Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: OLIVEIRA, P.S. & MARQUIS, R.J. *The cerrado of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savana*. Nova York: Columbia University Press, p. 91-120, 2002.

PACHECO, E.P. & CANTALICE, J.R.B. Compressibilidade, resistência à 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, 2001, 285 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia. Base para distinção de ambientes. 5. ed. Lavras: Editora da UFLA, 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, Seplantec, 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 pedoformas. 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: 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. Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient., 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. & CURI, N. Morphology , mineralogy and micromorphology of soils associated to summit depressions of the Northeastern Brazilian coastal plains. *Ciênc. 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. Agríc. 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.portaldoagronegocio.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 Ilaste ("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. 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, 1984. 153 p.

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. *Rev. Ciênc. Agron.*, 43:623-632, 2012.

### **CAPÍTULO 3 - ERODIBILIDADE DE ARGISSOLOS COESOS EM FUNÇÃO DA COR ESTIMADA POR ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA DIFUSA**

**RESUMO** – A quantificação da erodibilidade do solo ainda é bastante demorada e muito onerosa, uma vez que depende da determinação de outras propriedades do solo. Atualmente, estão sendo utilizadas funções de pedotransferência para estimar atributos de difícil mensuração a partir de atributos de fácil obtenção e menor custo. Neste sentido, objetivou-se prever a erodibilidade de Argissolos coesos em diferentes pedoformas, por meio da determinação dos componentes da cor do solo utilizando a espectroscopia de reflectância difusa. Para a instalação do experimento, foram selecionadas três áreas cultivadas com soja, apresentando cobertura vegetal remanescente de três feições de cerrado. As áreas 1 e 2 estão localizadas em pedoforma côncava, e a área 3, na pedoforma convexa. De cada área foram retiradas 121 amostras na profundidade de 0,00 – 0,20 m. Em 0,5 g de cada amostra, moída e seca ao ar, foram determinados os valores de reflectância na faixa do visível (380 a 780 nm), a partir do qual foram determinados os valores do matiz, valor e croma. A partir destes constituintes da cor, foi calculado o índice de avermelhamento para cada amostra. Foram desenvolvidos modelos para avaliar o efeito de cada componente da cor sobre a erodibilidade em entressulcos ( $K_i$ ) e em sulcos ( $K_r$ ), que apresentaram  $R^2$  variando de 0,37 a 0,70. Os modelos gerados quando comparados ao de Flanagan e Livingston obtiveram  $R^2$  de 0,70 e 0,73, para  $K_i$  e  $K_r$ , respectivamente. Os resultados demonstraram que os componentes da cor do solo estimados pela espectroscopia de reflectância difusa apresentam potencial para prever a erodibilidade em entressulcos e em sulcos de Argissolos Amarelos coesos da Formação Barreiras. E que a forma da paisagem pode ser utilizada para auxiliar na predefinição “em campo” de áreas com diferentes potenciais de erodibilidade em Argissolos Amarelos coesos da Formação Barreiras.

**Termos de indexação:** funções de pedotransferência, cerrado, Formação Barreiras.

## **ERODIBILITY OF COHESIVE ULTISOLS IN FUNCTION OF COLOR ESTIMATED BY DIFFUSE REFLECTANCE SPECTROSCOPY**

**SUMMARY** - The quantification of soil erodibility is still very time consuming and very costly, since this depends on determination of soil properties. But on the other hand, pedotransfer functions for estimating from soil attributes have been used and are easily obtainable and lesser expensive. Following this it has, to predict the erodibility of cohesive Ultisols in different landforms, through the determination of the components of soil color using diffuse reflectance spectroscopy. For the experiment, we selected three areas cultivated with soybeans, with vegetation remaining three features cerrado. Areas 1 and 2 were located in landform concave while area 3 was located at convex landform. In each of those areas 121 soil samples were taken in depth from 0,00 to 0,20 m. 0.5 g of each sample, milled and air dried, values were determined from reflectance in the visible range (380-780 nm), from which was determined the values of hue, chroma values. From these spectro components, we calculated the redness index for each sample. Models were developed to evaluate the effect of each component of the color on the erodibility interrill ( $K_i$ ) and grooves ( $K_r$ ) showed that  $R^2$  ranging from 0,37 to 0,70. The models compared to Flanagan and Livingston obtained  $R^2$  of 0,70 and 0,73 for  $K_i$  and  $K_r$ , respectively. The results demonstrated that the constituents of the color thus obtained could be used in predicting the erodibility interrill and grooves Ultisols cohesive Barreiras Formation. The shapes of the landscape can be used to assist in predefined "field" areas with different potential erodibility in Ultisols cohesive Barreiras Formation.

**Index terms:** pedotransfer functions, cerrado, Barreiras Formation.

## 1. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico e o desenvolvimento da agricultura têm aumentado a demanda por mapas temáticos detalhados que representem de maneira simplificada o conhecimento de determinada região. Tais mapas trazem informações que podem ser utilizadas para balizar a produção vegetal visando minimizar os impactos ao ambiente e com isso diminuir a pressão sobre o uso e ocupação do solo (Rockstrom et al., 2009). Estudos dessa natureza são ainda mais necessários em áreas com alta sensibilidade ambiental ou onde ainda não existem informações para disciplinar a forma de uso e a ocupação do solo.

Uma dessas áreas são os solos coesos que se desenvolveram sobre o Arenito da Formação Barreiras. Estima-se que, no Brasil, as áreas de Latossolos e Argissolos e outros solos que são provenientes de sedimentos da Formação Barreiras que atingem uma extensão de 200.000 km<sup>2</sup>. Na região Nordeste ocupam uma área de 100.000 km<sup>2</sup>, correspondendo a aproximadamente 16% da área total dos Estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Paraíba, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Ceará e Maranhão (Ribeiro, 1996; Ribeiro, 2001).

Esse solo apresenta estado de consistência dura, quando seco, a ponto de dificultar ou mesmo impossibilitar o desenvolvimento das culturas, que é uma característica marcante dos solos coesos. Este mesmo comportamento foi identificado em solos da Austrália, sendo mapeado e denominado de *hardsetting*, os quais apresentam propriedades físicas e morfológicas similares aos solos coesos do Brasil (Giarola et al, 2001).

Nesses ambientes de solos coesos, o conhecimento da taxa de erosão do solo é importante, tanto para a compreensão da evolução do relevo, quanto para avaliar o impacto da atividade humana sobre esses solos (Parsons et al., 2010). Para avaliar essa taxa de erosão, o Water Erosion Prediction Project (WEPP) (Lane & Nearing, 1989) é uma das alternativas para o estudo das perdas por erosão hídrica do solo nestes ambientes. O WEPP é um modelo de estimativa de erosão, o qual é função de fatores ambientais, como a erodibilidade, que representa a suscetibilidade do solo à erosão hídrica.

Dentre os diversos modelos de predição da erosão, há um fator de erodibilidade, que é apenas um dos fatores de erosão. No caso do WEPP a erodibilidade é dividida em entressulcos ( $K_i$ ) e em sulcos ( $K_r$ ) em condições de estado de equilíbrio. A separação do processo de erosão em entressulcos e em sulcos pode ajudar a identificar fontes potenciais de sedimentos, o que é extremamente importante na modelagem da distribuição de insumos agrícolas nas áreas de produção, especialmente daqueles que são fortemente adsorvidos pelas partículas do solo (Martins Filho, 2007).

Por outro lado, a quantificação da erodibilidade do solo ainda é bastante demorada e muito onerosa, uma vez que ela depende da determinação de outras propriedades do solo. Tentando solucionar essas questões, alguns pesquisadores têm proposto o desenvolvimento de funções de pedotransferência para estimar propriedades do solo complexas ou de alto custo de determinação, por meio de outras propriedades mais simples e/ou de menor custo (McBratney et al., 2002). Dentre estas funções destacam-se a determinação de atributos do solo por meio da suscetibilidade magnética (Siqueira et al., 2010; Cortez et al., 2011; Barrios et al., 2012; Santos et al., 2011; Santos et al., 2013); a quantificação do índice de estabilidade de agregados por meio de atributos do solo como a argila, densidade do solo, resistência à penetração, matéria orgânica e pH (Tavares Filho et al., 2012); e a determinação da mineralogia por meio da cor do solo obtida pela espectroscopia de reflectância difusa (ERD) (Barrón et al., 2000; Torrent & Barrón, 2008; Viscarra Rossel et al., 2009; Viscarra Rossel et al., 2010; Viscarra Rossel & Webster, 2011), com a vantagem de que a ERD não requer o uso de insumos químicos, que é uma vantagem do ponto de vista ambiental.

Alguns autores têm utilizado a ferramenta da geoestatística para construir mapas de risco de erosão (Izidorio et al., 2005; Souza et al., 2005; Martins Filho, 2007). Estes trabalhos utilizaram técnicas geoestatísticas e conceitos da relação solo-paisagem, envolvendo compartimentos da paisagem, para criar cenários futuros de erosão em escala espacial e temporal. Porém, apesar de as técnicas geoestatísticas e de os compartimentos da paisagem mostrarem-se promissores para desenvolver novos conceitos e/ou tecnologias, para entendimento dos processos de erosão e práticas de manejo do solo (Campos et al., 2008; Barbieri et

al., 2008; Sanchez et al., 2009; Santos et al., 2013), ainda são técnicas pouco utilizadas em planejamentos conservacionistas.

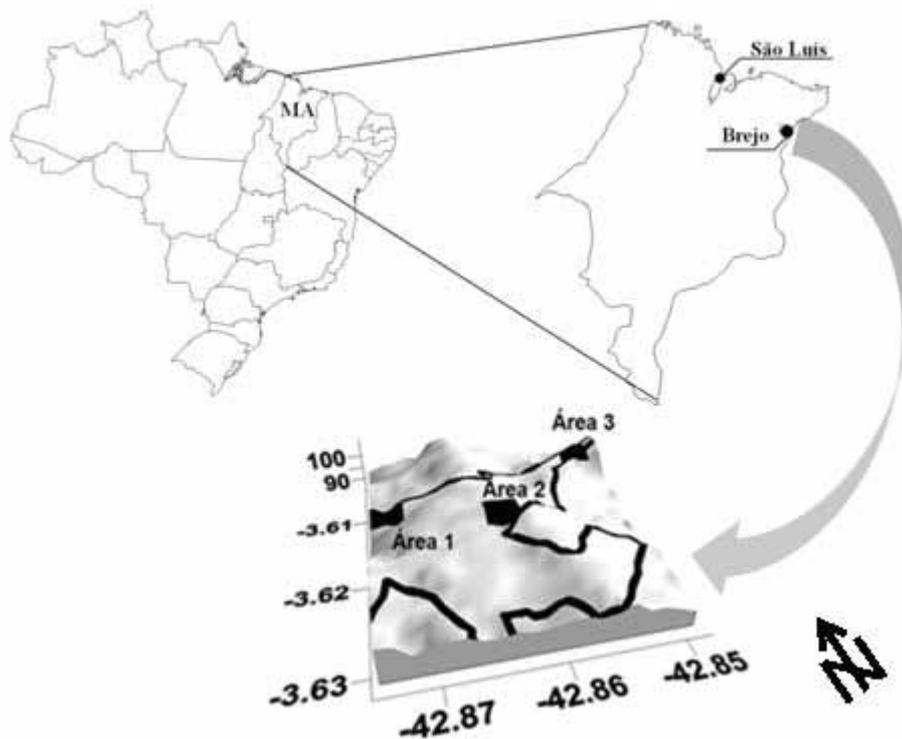
As funções de pedotransferência são expressas por meio de equações matemáticas, que traduzem os dados originados de levantamentos de solos em outras informações de difícil mensuração ou de obtenção mais onerosa (Minasny et al., 2003; Minasny & Hartemink, 2011). O papel da função de pedotransferência é auxiliar no mapeamento digital de solos, fornecendo informações sobre atributos imprescindíveis para o desenvolvimento de mapas detalhados em grandes áreas (Reuter, 1998). Neste sentido, objetivou-se prever a erodibilidade de Argissolos coesos em diferentes pedoformas, por meio da determinação dos componentes da cor do solo utilizando, a espectroscopia de reflectância difusa.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Localização, caracterização da área e planejamento amostral**

As áreas selecionadas para o estudo localizam-se a leste do Estado do Maranhão, no município de Brejo-MA. As coordenadas geográficas são 03° 36' S e 42° 52' W, com altitude média de 100 m acima do nível do mar. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido (Aw), com precipitação média de 1.835 mm, com chuvas concentradas no período de dezembro a maio. A vegetação natural é constituída por cerrado e/ou a transição cerrado/floresta subcaducifólia, sendo o uso atual o cultivo de soja (Governo do Estado do Maranhão, 2002). O material geológico na área estudada está relacionado aos sedimentos da Formação Barreiras, caracterizado pelo ambiente de formação fluvial do período Terciário, conforme Jacomine et al. (1986).

Foram selecionadas três áreas na área experimental (Figura 1), que segundo o modelo digital de elevação (MDE) e de acordo com a classificação proposta por Troeh (1965), as áreas 1 e 2 situam-se em pedoforma côncava, enquanto a área 3 se situa em pedoforma convexa (Figura 1).



**Figura 1.** Localização dos perfis dos solos estudados em três áreas por meio do modelo digital de elevação (MDE).

Para fins de intensidade do levantamento de solos existente nas áreas de mata nativa, foram feitas trincheiras em cada uma das 3 áreas de mata nativa, sendo os solos classificados como Argissolo Amarelo distrocoeso típico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Embrapa, 2006). No Quadro 1, são apresentados os atributos físicos e químicos da caracterização dos solos dos três perfis da área experimental.

Nas áreas de produção de soja foram delimitadas 3 malhas de amostragem quadradas contendo 121 pontos. As malhas das áreas 1 e 2 apresentam espaçamento regular entre amostras de 25 m e área total de 6,2 ha. A malha localizada na área 3 apresenta espaçamento regular de 10 m, totalizando 2,2 ha. Nas três áreas, foram coletadas 121 amostras nos pontos de cruzamento da malha, na profundidade de 0,00-0,20 m.

**Quadro 1.** Atributos físicos e químicos de três perfis dos solos pertencentes à área experimental no Leste Maranhense\*.

Hor	Prof. cm	Cor Munsell seca	Areia total -----g kg <sup>-1</sup> -----	Silte	Argila	DS g cm <sup>-3</sup>	pH H <sub>2</sub> O	M.O. g kg <sup>-1</sup>	T cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> g kg <sup>-1</sup>
<i>Área 1 – Argissolo Amarelo distrocoeso típico – Pedoforma côncava</i>										
A1	0-25	10YR 5/1	747	106	147	1,45	5,7	21,0	4,9	3,3
AB	25-50	10YR 6/2	687	128	185	1,56	4,5	10,0	3,4	5,6
Bt2	82-140	10YR 8/3	546	155	299	1,56	5,5	4,0	1,9	8,8
<i>Área 2 – Argissolo Amarelo distrocoeso típico – Pedoforma côncava</i>										
A1	0-30	10YR 4/1	792	83	125	1,58	5,3	17,0	5,2	3,3
AB	30-55	10YR 7/2	695	118	187	1,51	5,1	7,0	3,3	7,2
Bt2	85-130	10YR 8/4	574	128	298	1,52	5,3	4,0	1,7	12,3
<i>Área 3 – Argissolo Amarelo distrocoeso típico – Pedoforma convexa</i>										
A1	0-25	7,5YR 7/3	678	178	144	1,63	5,5	13,0	2,3	7,9
BA	25-60	7,5YR 8/4	556	162	282	1,41	5,3	6,0	2,2	12,3
Bt2	100+	7,5YR 8/6	497	165	338	1,40	4,7	2,0	1,8	17,7

\*Dados de Dantas (2013). Hor. = horizontes do solo; Prof. = profundidade; Cor determinada pela Carta de Cores de Munsell (amostra seca); DS = densidade do solo; M.O.= matéria orgânica; T = capacidade de troca catiônica; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = teor de fósforo pelo ataque sulfúrico.

## 2.2. Análises laboratoriais

A textura do solo foi determinada pelo método da pipeta, utilizando-se de uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de baixa rotação, por 16 horas. A fração argila foi separada por sedimentação; as areias grossa e fina, por tamisação; e o silte, calculado por diferença, de acordo com a metodologia adotada pela Day (1965).

A caracterização da fertilidade do solo foi feita mediante a determinação de cálcio, magnésio, potássio, sódio, e fósforo disponível, os quais foram extraídos através do método da resina trocadora de íons; a acidez trocável (Al<sup>3+</sup>) e a acidez potencial (H + Al) foram obtidas seguindo a metodologia de Raij et al. (2001). Os teores de carbono orgânico foram determinados por oxidação úmida, segundo a metodologia descrita pela Embrapa (1997), e o de matéria orgânica, multiplicando-se o teor de carbono orgânico pelo fator 1,724. O pH foi determinado utilizando-se da relação 1:2,5 de solo em água (Embrapa, 1997).

### 2.3. Erodibilidade em entressulcos (Ki) e em sulcos (Kr)

Os valores de  $K_i$  e  $K_r$  foram estimados a partir dos atributos do solo pelo uso de equações oriundas de procedimentos de regressão, utilizou-se de valores dos atributos físicos e químicos do solo para as 363 amostras correspondentes as 3 malhas de coleta.

Esses valores foram obtidos por meio da metodologia descrita por Flanagan & Livingston (1995) (equações 1 e 2), os quais apresentaram estimativas de  $K_i$  ( $\text{kg s m}^{-4}$ ) e  $K_r$  ( $\text{s m}^{-1}$ ) em solos com teores de areia  $\geq 30\%$ .

$$K_i = 2728000 + 192100 \times AMF \quad (1)$$

$$K_r = 0,00197 + 0,00030 \times AMF + 0,03863e^{(-1,81 \times MO)} \quad (2)$$

Em que, AMF é a areia muito fina (%), e MO é o conteúdo de matéria orgânica (%).

### 2.4. Espectroscopia de reflectância difusa

Para a obtenção dos espectros de reflectância difusa, as avaliações foram feitas com o sensor de laboratório Lambda 950. Foi moído aproximadamente 0,5 g de TFSA em cadinho de ágata até a obtenção de coloração constante. O conteúdo foi colocado em um porta-amostras com um espaço cilíndrico de 16 mm. Os valores de reflectância foram determinados em espectrofotômetro equipado com esfera integradora de 80 mm, a cada 1nm, com um tempo de integração de 0,2 segundo fazendo uma varredura no intervalo de 380 a 780 nm. Após a obtenção dos espectros de reflectância difusa das amostras de solo, foram determinados os valores de triestímulo XYZ, definidos pela Comisión Internacional de L'Eclairage-CIE (Wyszecki & Stiles, 1982). A partir das coordenadas XYZ, foram deduzidos os valores Munsell de matiz, croma e valor, utilizando o programa Munsell Conversion, versão 6.4, conforme Barrón et al. (2000) e Viscarra Rossel et al. (2010). Com base nos valores de matiz, valor e croma obtidos pela análise de espectroscopia de reflectância difusa, foi calculado o índice de avermelhamento (IAV), conforme a equação 3 descrita por Barrón et al. (2000).

$$IAV = \frac{(10-H)}{V} \times C \quad (3)$$

Em que, V e C são valores numéricos do valor e do croma Munsell, respectivamente, e o H é correspondente ao número que procede o YR no matiz.

## 2.5. Análise dos dados

Os dados foram avaliados pela análise de variância e teste F, considerando as diferentes áreas estudadas como fator de variação. A comparação entre as médias foi realizada por meio do teste de Tukey a 1%.

A obtenção dos modelos de estimativa da erodibilidade em entressulcos e em sulcos foi realizada, utilizando-se as variáveis: matiz, valor, croma e IAV. Foram desenvolvidos modelos para avaliar o efeito de cada variável sobre  $K_i$  e  $K_r$ . Posteriormente, os modelos com maior valor de  $R^2$  foram selecionados e submetidos ao procedimento de validação externa. Para este procedimento, cerca de 10% (N=36) dos pontos foram separados antes do início das análises (Siqueira et al., 2010) e utilizados na comparação entre os valores observados e estimados pelas funções selecionadas.

Os coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e raiz do erro quadrático médio (RMSE) (equação 4) foram utilizados para avaliar, respectivamente, a precisão e a acurácia dos modelos obtidos. Menores valores de RMSE estão associados a modelos mais acurados de predição; valores próximos a 40 % indicam precisão satisfatória, com valores de  $R^2$  próximos de 85 %, enquanto valores de  $RMSE > 71$  % indicam que o modelo representa menos de 50 % da variabilidade dos pontos de validação (Hengl, 2009).

$$RMSE = \frac{\left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - \hat{z}(x_i)]^2 \right\}^{0,5}}{\sigma_i} \quad (4)$$

Em que, n é o número de amostras,  $z(x_i)$  é o valor observado da propriedade no ponto i,  $\hat{z}(x_i)$  é o valor estimado da propriedade no ponto i e  $\sigma$  é o desvio padrão das variáveis observadas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores valores médios de  $K_i$  ( $6843010 \text{ kg s m}^{-4}$ ) e  $K_r$  ( $6,15 \times 10^{-3} \text{ s m}^{-1}$ ) foram encontrados na área 3 (Quadro 2). Estes altos valores devem-se ao fato da área 3 estar localizada em pedoforma convexa, o que propicia maiores perdas de solo por erosão (Sanchez et al., 2009), conferindo maior potencial de degradação dessas áreas, sendo este solo o que apresenta a menor espessura de horizontes (Quadro 1). Em estudo realizado por Santos et al. (2013), foram observadas maiores perdas de solo por erosão em pedoformas convexas. A pedoforma côncava favorece a concentração de água, enquanto a pedoforma convexa favorece a dispersão e a perda de água do sistema (Resende et al., 2007). Sanchez et al. (2009), estudando fatores de erosão em diferentes pedoformas, em Argissolo Vermelho Amarelo textura média, afirmam que as maiores perdas de solo, risco de erosão, potencial de erosão e menor espessura do solo ocorrem na pedoforma convexa.

Os componentes da cor do solo (matiz, valor e croma) determinados pela ERD, apresentaram diferenças significativas entre as áreas estudadas (Quadro 2). Os solos das áreas 1 e 2 apresentam coloração mais amarelada, enquanto a área 3 apresenta coloração mais avermelhada, sendo o IAV de 0,89; 0,33 e 0,24 nas áreas 3; 1 e 2, respectivamente. De forma geral, a cor do solo está relacionada com os aspectos de drenagem, teor de matéria orgânica e conteúdo e forma de ferro (Azevedo & Dalmolin, 2004).

**Quadro 2.** Valores médios, valores do teste F da ANOVA e coeficiente de variação da erodibilidade em entressulcos, erodibilidade em sulcos, matiz, valor, croma e índice de avermelhamento.

		$K_i^{(1)}$	$K_r^{(2)}$	Matiz <sup>(3)</sup>	Valor <sup>(3)</sup>	Croma <sup>(3)</sup>	IAV
Área	1	5696187 b	$1,23 \times 10^{-3}$ c	9,33 b	4,82 b	2,34 c	0,33 b
	2	5139365 c	$2,20 \times 10^{-3}$ b	9,55 a	4,90 b	2,62 b	0,24 c
	3	6843010 a	$6,15 \times 10^{-3}$ a	8,62 c	6,42 a	4,12 a	0,89 a
F		610,27**	270,89**	354,41**	876,13**	2036,31**	434,16**
CV		6,37	52,51	3,00	6,11	7,53	36,46

(N=121) <sup>(1)</sup> $K_i$ : erodibilidade em entressulcos,  $\text{kg s m}^{-4}$ ; <sup>(2)</sup> $K_r$ : erodibilidade em sulcos,  $\text{s m}^{-1}$ ; <sup>(3)</sup>Componentes da cor do solo obtidos por ERD; IAV: Índice de avermelhamento (adimensional); F: valores do teste F da ANOVA; CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,01$ ).

O valor, croma e IAV apresentaram diferenças significativas entre as áreas, sendo os maiores valores médios encontrados na área 3 (Quadro 2). Os solos das áreas 1 e 2 estão situados em pedoformas côncavas do ambiente, enquanto o solo da área 3 se situa em pedoforma convexa. A pedoforma côncava (áreas 1 e 2) favorece o armazenamento de água, tornando o ambiente fortemente redutor (Resende et al., 2007). Assim, o  $Fe^{+++}$ , responsável pela cor vermelha do solo, é reduzido a  $Fe^{++}$ , sendo este mais solúvel, e portanto facilmente retirado do sistema, permanecendo o solo com coloração mais amarelada (Bortoluzzi et al., 2008; Brady & Weil, 2013).

Em solos sujeitos aos ciclos de umedecimento e secagem, conseqüentemente causam redução e oxidação do íon ferro, e posteriormente argiluviação. Nestes ambientes ocorre o processo de erosão seletiva manifestando-se através do carreamento preferencial de partículas finas em razão do fluxo superficial de água e em detrimento das partículas grosseiras. Já, nos horizontes subsuperficiais, o processo de neoformação de argila pode ocorrer em certas condições. Em ambientes de redução, a dissolução e o transporte de  $Fe^{++}$ , como também de outros cátions, para horizontes mais profundos, constituem processo preferencial de enriquecimento de materiais em subsuperfície (Quadro 1) (Bortoluzzi et al., 2008; Brady & Weil, 2013).

A variabilidade dos atributos do solo pode ser inferida por meio do coeficiente de variação (CV) (Souza et al., 2007). De acordo com a classificação de Warrick & Nielsen (1980), os atributos  $K_i$ , matiz, valor e croma apresentam baixa variabilidade ( $CV \leq 12\%$ ), enquanto o  $K_r$  e o IAV se enquadram na classe alta de variabilidade ( $CV \geq 24\%$ ). Os altos valores de CV encontrados para o  $K_r$  são característicos desta propriedade (Singh et al., 2012).

Os maiores CVs verificados para o IAV podem estar relacionados à predominância de Argissolos Amarelos nas áreas de estudo (Quadro 2). De acordo com Novaes Filho et al. (2007), há uma correspondência bastante satisfatória entre os intervalos do IAV do horizonte diagnóstico dos solos e a nomenclatura do segundo nível categórico (subordem) de Argissolos e Latossolos, sendo que os intervalos do IAV são próximos para solos Vermelho-Amarelos e solos Vermelhos.

Todos os atributos avaliados produziram modelos lineares simples significativos, evidenciando a dependência do  $K_i$  e  $K_r$  com a cor do solo (Quadro 3). O atributo valor e croma destacaram-se como as variáveis preditoras que proporcionaram maiores valores de  $R^2$  (0,70 e 0,72) na predição do  $K_i$  e  $K_r$ , respectivamente.

**Quadro 3.** Modelos para a estimativa da erodibilidade em entressulcos ( $K_i$ ) e em sulcos ( $K_r$ ), em solos coesos do Leste Maranhense.

Modelo	Função de pedotransferência	$R^2$
1	$K_i = 1442923 + 828662 \text{ Valor}$	0,70*
2	$K_i = 3529641 + 782088 \text{ Croma}$	0,64*
3	$K_i = 16178411 - 1121418 \text{ Matiz}$	0,44*
4	$K_i = 5079166 + 1670378 \text{ IAV}$	0,49*
5	$K_r = - 0,0118 + 0,00279 \text{ Valor}$	0,69*
6	$K_r = - 0,00537 + 0,00283 \text{ Croma}$	0,72*
7	$K_r = 0,0352 - 0,00349 \text{ Matiz}$	0,37*
8	$K_r = 0,000513 + 0,00551 \text{ IAV}$	0,46*

\*Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Estudos realizados por Tavares Filho et al. (2012), utilizando atributos do solo como determinantes para a estimativa do índice de estabilidade de agregados, mostram que foi possível estimar o índice de estabilidade de agregados com precisão ( $R^2 = 0,90$ ) a partir de funções de pedotransferência. Cañasveras et al. (2010) estimaram os índices de estabilidade dos agregados dos solos do Mediterrâneo utilizando as técnicas de ERD.

A cor do solo é um atributo seguro para ser utilizado como preditor em funções de pedotransferência, pois está intimamente relacionada com a presença de óxidos de Fe e de outras importantes propriedades do solo que covariam com ela (Resende et al., 2007). Em estudo realizado por Demattê et al. (2011), na quantificação da matéria orgânica do solo por meio de modelos matemáticos, utilizando colorimetria no sistema Munsell, os autores utilizando os componentes da cor (valor e croma) demonstraram que os componentes predizeram a matéria orgânica do solo, apresentando coeficiente de regressão de 0,73 e 0,72, respectivamente.

A presença do croma no modelo final para a estimativa da erodibilidade em sulcos (Quadro 3), pode estar relacionada aos baixos teores de matéria orgânica

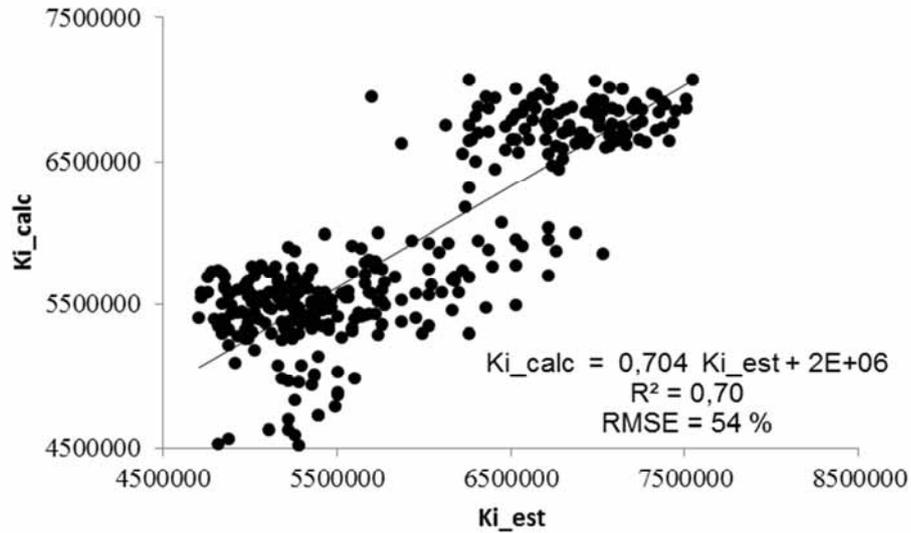
encontrados nas áreas (Quadro 1). Demattê et al. (2011) verificaram que os valores dos componentes valor e croma são inversamente proporcionais ao teor de matéria orgânica do solo. Neste mesmo trabalho verificou-se que o componente valor, isoladamente, não foi adequado para a predição da matéria orgânica no solo; no entanto, em conjunto com o croma, completou o modelo de predição ( $R^2 = 0,66$ ). Esse padrão pode ser confirmado, visualmente na Carta de Cores de Munsell, cujos valores mais elevados de valor e croma, em solos de cores mais claras, correspondem geralmente a menores teores de matéria orgânica.

Por meio da cor determinada pela carta de Munsell, podem-se inferir informações como composição do solo e o processo de gênese (Ribeiro et al., 2012). Porém, sua praticidade não compensa sua subjetividade e a falta de precisão para informações quantitativas. Nesse sentido, as informações fornecidas por meio da ERD em amostras (no campo ou no laboratório) podem ser utilizadas para refinar o sistema de cor de Munsell, gerando nova ferramenta de gestão ainda mais prática e precisa (Torrent & Barrón, 2008). Esse refinamento atribui valores numéricos precisos para cada nova cor gerada, que pode ser associada aos valores dos atributos do solo obtidos nas análises convencionais. Viscarra Rossel (2011) e Viscarra Rossel et al. (2010) conciliaram a quantificação de atributos da cor com o uso de análises geoestatísticas, relacionando os resultados com diferentes compartimentos climáticos e da paisagem.

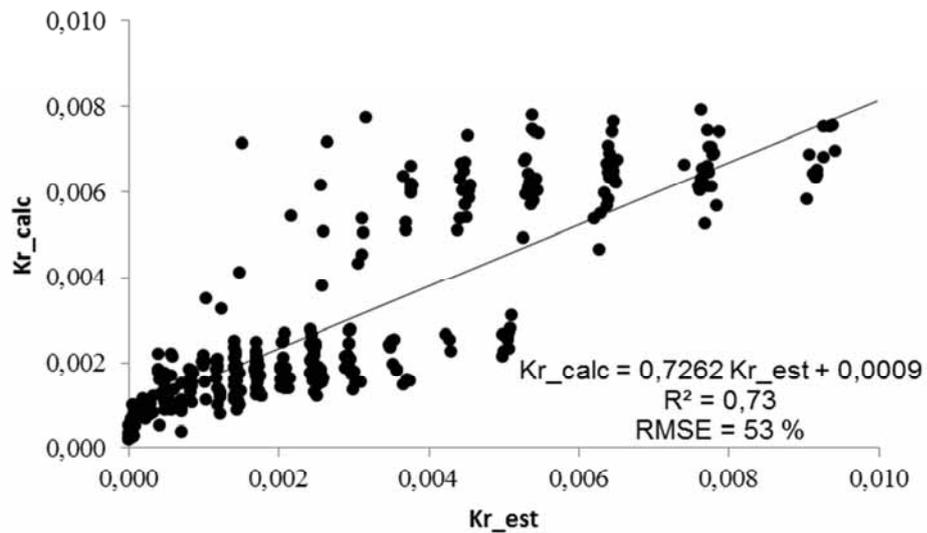
Os modelos com maiores valores de  $R^2$  (1 e 6) (Quadro 3) foram utilizados para comparar os valores preditos neste trabalho com aqueles obtidos, utilizando as equações de Flanagan & Livingston (1995) (Figura 2). A comparação entre as duas formas de predição utilizadas neste trabalho (Figura 2) propiciou a obtenção de valores de  $R^2$  de 0,70 e 0,73, e RMSE de 54% e 53% para  $K_i$  e  $K_r$ , respectivamente. O RMSE fornece informação quanto à acurácia do modelo para cada variável (Chirico et al., 2007). Quanto menor seu valor, menor a dispersão dos dados em torno do modelo. Assim, os valores observados neste estudo mostram que os modelos gerados apresentaram acurácia e precisão na predição dos valores de  $K_i$  e  $K_r$  a partir das funções de pedotransferência obtidas. Segundo Cohen et al. (2007), existem evidências de que, por meio de processos analíticos de reflectância

espectral do solo, vários atributos podem ser estimados com grande acurácia, principalmente aqueles de difícil mensuração.

a.



b.



**Figura 2.** Relação entre os valores de erodibilidade em entressulcos (a) e erodibilidade em sulcos (b) determinados pela equação de Flanagan & Livingston (1995) e os estimados a partir das equações:  $Ki = 1442923 + 828662 \text{ Valor}$  (a) e  $Kr = - 0,00537 + 0,00283 \text{ Cromax}$  (b), para solos coesos no Leste Maranhense.

Os resultados mostram que o uso dos componentes da cor, determinados pela ERD, são uma alternativa promissora nos estudos da erodibilidade em entressulcos e em sulcos, revelando-se boa preditora para a estimativa destes atributos no Leste Maranhense. Desta forma, esta técnica surge como alternativa para viabilizar o mapeamento de grandes áreas, uma vez que o estudo espectral não apresenta restrições e dificuldades na obtenção dos dados. A alta sensibilidade desta metodologia pode auxiliar na identificação e no mapeamento de ambientes com características específicas da região tropical, principalmente nas regiões que apresentam baixos teores de ferro, como Argissolos e Latossolos originados de sedimentos da Formação Barreiras.

As informações obtidas pela determinação da cor do solo pela ERD, aliadas à identificação das pedoformas, também podem ser utilizadas na identificação de áreas propícias à erodibilidade, as quais devem apresentar manejos específicos, visando à redução nas perdas de solo pela erosão.

#### **4. CONCLUSÕES**

1. Os componentes da cor do solo estimados pela espectroscopia de reflectância difusa apresentam potencial para prever a erodibilidade em entressulcos e em sulcos de Argissolos Amarelos coesos da Formação Barreiras.
2. A forma da paisagem pode ser utilizada para auxiliar na predefinição “em campo” de áreas com diferentes potenciais de erodibilidade em Argissolos Amarelos coesos da Formação Barreiras.

#### **5. REFERÊNCIAS**

AZEVEDO, A.C. & DALMOLIN, R.S.D. Solos e ambiente: uma introdução. Palotti, 2004. 100p.

BARBIERI, D.M.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. *Eng Agríc.*, 28:645-653, 2008.

BARRIOS, M.R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PANOSSO, A.R.; SIQUEIRA, D.S. & LA SCALA JR., N. Magnetic susceptibility to identify landscape segments on a detailed scale in the region of Jaboticabal, São Paulo, Brazil. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:1073-1082, 2012.

BARRÓN, V.; MELLO, J.W.V. & TORRENT, J. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de reflectância difusa. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. *Tópicos em Ciência do Solo*. SBCS, 2000. v.1, p.139-162.

BORTOLUZZI, E.C.; PERNES, M. & TESSIER, D. Mineralogia de partículas envolvidas na formação de gradiente textural em um Argissolo subtropical. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:997-1007, 2008.

BRADY, N.L. & WEIL, R.R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. Tradução técnica: Igo Fernando Lepsch. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704 p.il.

CAMPOS, M.C.C.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. & BARBIERI, D.M. Variação espacial da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. *Cienc. Rural*, 38:2485-2492, 2008.

CAÑASVERAS, J.C; BARRÓN, V.; DEL CAMPILLO, M.C.; J. TORRENT, J. & GÓMEZ, J.A. Estimation of aggregate stability indices in Mediterranean soils by diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma* 158:78–84, 2010.

CHIRICO, G. B.; MEDINA, H. & ROMANO, N. Uncertainty in predicting soil hydraulic properties at the hill slope scale with indirect methods. *J. Hydrology*, 334: 405–422, 2007.

COHEN, J.; BARLOW, M.; KUSHNER, P. & SAITO, K. Stratosphere-troposphere coupling and links with Eurasian land surface variability. *Journal of Climate*, 20:5335-5343, 2007.

CORTEZ, L.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PELUCO, R.G.; TEIXEIRA, D.B. & SIQUEIRA, D.S. Suscetibilidade magnética para identificação de áreas de manejo específico em citricultura. R. Energ. Agric., 26:60-70, 2011.

DANTAS, J.S. Relação solo-paisagem e predição da erodibilidade de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros no Estado do Maranhão. Jaboticabal, Faculdade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita", 2013, 84 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo).

DAY, P.R. Particle fraction and particle fractionation and particle-size analysis. In: Black, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, Am. Soc. Agron., v.1, p. 545-566, 1965.

DEMATTE, J.A.M.; BORTOLETTO, M.A.M.; VASQUES, G.M. & RIZZO, R. Quantificação de matéria orgânica do solo através de modelos matemáticos utilizando colorimetria no sistema Munsell de cores. Bragantia, 70:590-597, 2011.

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.

FLANAGAN, D.C. & LIVINGSTON, S.J. Water erosion prediction project: WEEP user summary. West Lafayette: National Soil Research Laboratory & USDA - Agricultural Research Service, 1995. p. 25-26. (Report, 11).

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.

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Universidade Estadual do Maranhão. Atlas do Maranhão. São Luís: GEPLAN, 2002. 39p.

HENGL, T. A practical guide to geoestatistical mapping. 2. ed. Amsterdam, University of Amsterdam, 2009. 291 p.

IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M.V.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M. & PEREIRA, G.T. Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área sob cana-de-açúcar. *Eng. Agríc.*, 25:660-670, 2005.

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).

LANE, L.J. & NEARING, M.A. Water erosion prediction project: hill slope profile model documentation. West Lafayette: National Soil Research Laboratory, USDA - Agricultural Research Service, 1989. p. A1-S1. (Report, 2).

MARTINS FILHO, M.V. Modelagem do processo de erosão e padrão espacial da erodibilidade em entre sulcos. Jaboticabal, Faculdade Estadual Paulista, 2007. 121p. (Tese de Livre-Docência).

MCBRATNEY, A.B.; MINASNY, B.; CATTLE, S.R. & VERVOORT, R.W. From pedotranfer functions to soil inference systems. *Geoderma*, 109:41-73, 2002.

MINASNY, B. & HARTEMINK, A.E. Predicting soil properties in the tropics, *Earth-Science Reviews*, 106:52-62, 2011.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A.B.; MENDONÇA-SANTOS, M.L. & SANTOS, H.G. Revisão sobre funções de pedotransferência (FTP) e novos métodos de predição de classes e atributos do solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 50 p. Documento n. 45.

NOVAES FILHO, J.P.; COUTO, E.G.; OLIVEIRA, V.A.; JOHNSON, M.S.; LEHMANN, J. & RIHA, S.S. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia meridional. *R. Bras. Ci. Solo*, 31: 91-100, 2007.

PARSONS, A.J.; WAINWRIGHT1, J.; FUKUWARA, T. & ONDA, Y. Using sediment travel distance to estimate medium-term erosion rates: a 16-year record. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2010.

RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

RIBEIRO, L.P. Gênese, evolução e degradação dos solos amarelos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas, Anais... Cruz das Almas: EMBRAPA, CPATC; CNPMF; EAUFBA; IGUFBA, 1996. p. 27-35.

RIBEIRO, M R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos tabuleiros costeiros. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. 2001, Aracaju. Anais... Aracaju: EMBRAPA – Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 161-168.

RIBEIRO, M.R.; OLIVEIRA, L.B. & ARAÚJO FILHO, J.C. Caracterização morfológica do solo. In: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.; VIDAL-TORRADO, P., eds. Pedologia: fundamentos. 1. Ed. Viçosa-MG, SBCS, 2012. p.47-80.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia: Base para distinção de ambientes. 5 ed. rev. Lavras, MG, Editora UFLA, 2007.322 p.il.

REUTER, D.J. Developing indicators for monitoring catchment health: the challenges. Aust. J. Exp. Agr., 38:637-648, 1998.

ROCKSTROM, J.A. Safe operating space for humanity. Revista Nature, 461:472-475, 2009.

SANCHEZ, R.B.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. & MARTINS FILHO, M.V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. Bragantia, 68:873-884, 2009.

SANTOS, H.L.; MARQUES JÚNIOR, J.; MATIAS, S.S.R.; SIQUEIRA, D.S. & PEREIRA, G.T. Suscetibilidade magnética na identificação de compartimentos da paisagem em uma vertente. Agrária, 6:710-716, 2011.

SANTOS, H.L.; MARQUES JÚNIOR, J.; MATIAS, S.S.R.; SIQUEIRA, D.S. & MARTINS FILHO, M.V. Erosion factors and magnetic susceptibility in different compartments of a slope in Gilbués-PI, Brasil. Eng. Agríc. 33:64-74, 2013.

SINGH, R.K.; PANDA, R.K.; SATAPATHY, K.K. & NGACHAN, S.V. Runnoff and sediment yield modeling for a theated hilly watershed in Eastern Himalaya using the water erosion prediction project model. *Water Resour Manage*, 26:643-665, 2012.

SIQUEIRA, D.S., MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. *Geoderma* 155:55-66, 2010.

SOUZA, Z.M.; BARBIERI, D.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. & CAMPOS, M.C.C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. *Ciência Agrotecnologia*, 31, 371-377, 2007.

SOUZA, Z.M.; MARTINS FILHO, M.V.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T. Variabilidade de fatores de erosão em Latossolo vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. *Eng. Agríc.*, 25:105-114, 2005.

TAVARES FILHO, J.; FELTRAN, C.T.M.; OLIVEIRA, J.F.; ALMEIDA, E. & GUIMARÃES, M.F. Atributos do solo determinantes para a estimativa do índice de estabilidade de agregados. *Pesq. Agropec. Bras.*, 47:436-441, 2012.

TORRENT, J. & BARRÓN, V. Diffuse reflectance spectroscopy. In: A.L. Ulery and L.R. Drees, Editors, *Methods of Soil Analysis. Part 5. Mineralogical Methods*, SSSA Book Series vol. 5, Soil Science Society of America, 2008, p. 367-387.

TROEH, F.R. Landform equations fitted to contour maps. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 263:616-627, 1965.

VISCARRA ROSSEL, R.A., BUI, E.N.; CARITAT, P. & MCKENZIE, N.J. Mapping iron oxides and the color of Australian soil using visible–near-infrared reflectance spectra, *J. Geophys. Res.*, 115, F04031, doi:10.1029/2009JF001645., 2010.

VISCARRA ROSSEL, R.A. & WEBSTER, R. Discrimination of Australian soil horizons and classes from their visible–near infrared spectra. *European Journal of Soil Science*, 62: 637-647, 2011.

VISCARRA ROSSEL, R.A.; CATTLE, S.; ORTEGA, A. & FOUAD, Y. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by VIS-NIR spectroscopy. *Geoderma*, 150: 253-266, 2009.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics. New York: Academic, 1980, p. 319-344.

WYSZECKI, G. & STILES, W.S. Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae (2. ed.). John Wiley & Sons. New York, 1982, 976 p.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A.** Descrição Geral: Perfil de Argissolo Amarelo distrocoeso (PAd1).

## 1A - DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL Nº1

DATA - 23.07.2012

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico, A moderado, textura média, cerradão subcaducifólio, relevo plano.

UNIDADE DE MAPEAMENTO -PAd

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Lado direito da estrada que liga a sede do município de Brejo a Anapurus, aproximadamente 11 km, Brejo (MA), 03°36'78" S e 42°52'52" W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Trincheira situada em área plana da paisagem, com 0 a 3% de declive, sob vegetação nativa.

ALTITUDE - 91 metros.

LITOLOGIA - Cobertura de material areno-argiloso.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Cobertura de arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito dos sedimentos da Formação Barreiras.

CRONOLOGIA – Terciário.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto de alteração do material supracitado.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL –Plano.

RELEVO REGIONAL –Plano.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA –Cerradão subcaducifólio.

USO ATUAL – Reserva de vegetação nativa (Cerradão).

CLIMA: Aw', segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO: Jussara Silva Dantas e José Marques Júnior

2A. Descrição morfológica do perfil de (PAd1).

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A<sub>1</sub> – 0–25 cm, bruno muito escuro (10YR 2/2, úmida), cinzento (10YR 5/1, seca); franco-arenosa; muito grande a grande que se desfazem em médios blocos subangulares; extremamente duro; muito firme; não-plástico; não-pegajoso; transição gradual.

AB – 25–50cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmida), cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca); franco-argiloarenosa; grandes a médios que se desfazem em pequenos blocos subangulares; extremamente duro; muito firme; não-plástico; não-pegajoso; transição gradual.

BA – 50–82cm, bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3, úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/3, seca); franco-argiloarenosa; grandes a médios que se desfazem em pequenos blocos subangulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico; ligeiramente pegajoso; transição gradual.

Bt<sub>2</sub> – 82–140cm, amarelo-brunado (10YR 6/6, úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/3, seca); franco-argiloarenosa; grandes a médios que se desfazem em pequenos blocos subangulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico; ligeiramente pegajoso; transição gradual.

Bt<sub>3</sub> – 140cm+, amarelo-brunado (10YR 6/6, úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/3, seca); franco-argiloarenosa; grandes a médios blocos subangulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico; ligeiramente pegajoso; transição gradual; presença de plintita.

RAÍZES – Muitas e espessas no horizonte Bt<sub>2</sub>; comuns e finas nos horizontes A<sub>1</sub>, AB e BA; ausentes no horizonte Bt<sub>3</sub>.

3A. Análises químicas, físicas e mineralógicas do perfil de (PAD1).  
Análises químicas, físicas e mineralógicas

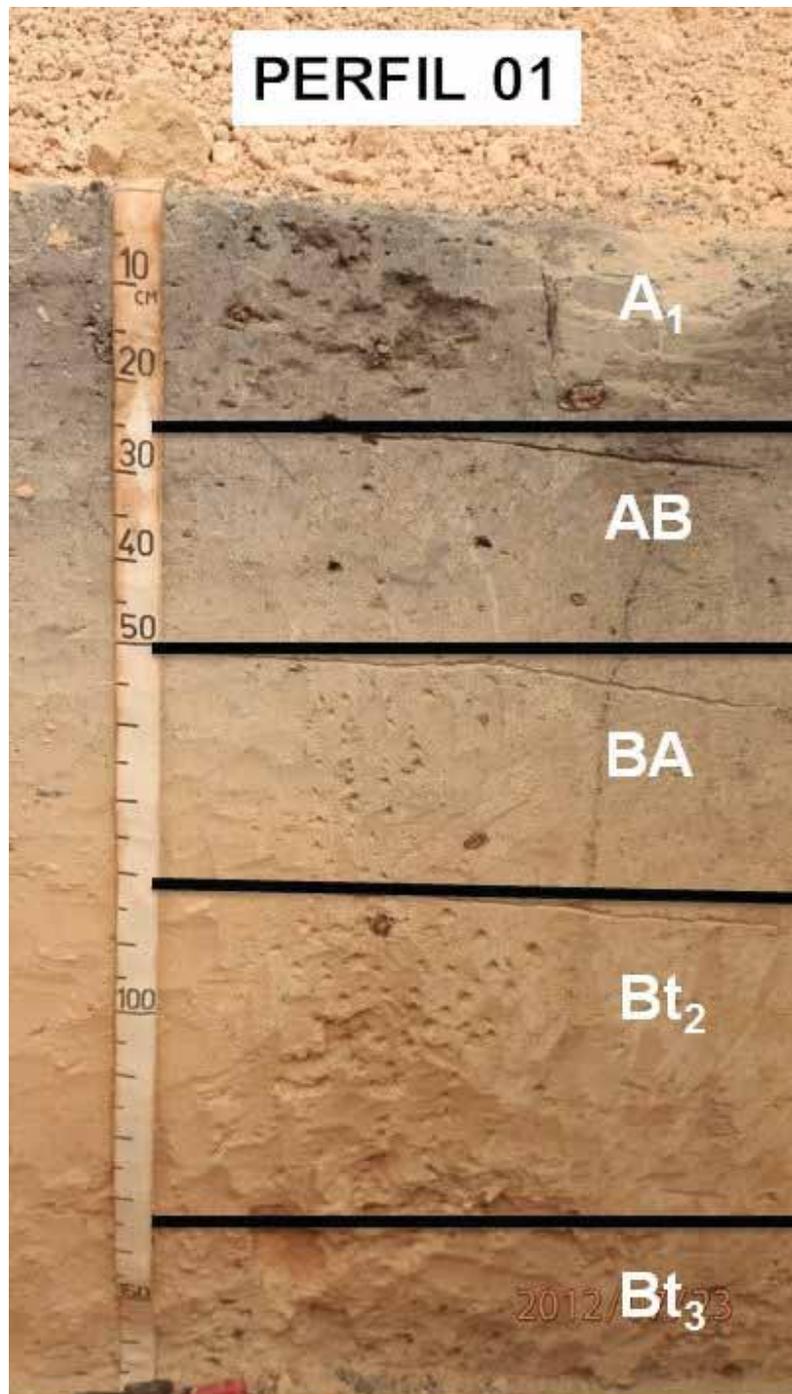
Horizonte	pH	CaCl <sub>2</sub>	Água	Kcl	Delta pH	MO	Presina	Bases Trocáveis	SB	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC	V	m
Símbolo	Prof.	AMG	AG	AM	AF	AMF	Argila	ADA	GF	S/A	Ds	Dp	Ds	Dp
cm	cm	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	%									
A <sub>1</sub>	0-25	7	38	107	421	174	106	147	83	44	0,7	1,45	*	25,0
AB	25-50	9	38	114	364	162	128	185	164	16	0,6	1,56	*	31,0
BA	50-82	11	26	72	348	189	130	224	78	65	0,6	1,56	*	33,0
Bt <sub>2</sub>	82-140	4	23	97	276	146	155	299	0	100	0,5	1,47	*	35,0
Bt <sub>3</sub>	140+	3	21	52	261	189	145	329	0	100	0,4	*	*	*

Horizonte	Composição Granulométrica										Silte	Argila	ADA	GF	S/A	Densidade	Porosidade
Símbolo	Prof.	AMG	AG	AM	AF	AMF	AMF	Ki	Kr	Fe <sub>0</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>t</sub>					
cm	cm	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>										
A <sub>1</sub>	0-25	7	38	107	421	174	106	147	83	44	0,7	1,45	*	25,0			
AB	25-50	9	38	114	364	162	128	185	164	16	0,6	1,56	*	31,0			
BA	50-82	11	26	72	348	189	130	224	78	65	0,6	1,56	*	33,0			
Bt <sub>2</sub>	82-140	4	23	97	276	146	155	299	0	100	0,5	1,47	*	35,0			
Bt <sub>3</sub>	140+	3	21	52	261	189	145	329	0	100	0,4	*	*	*			

Prof.: profundidade; AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; ADA: Argila dispersa em água; GF: grau de flocculação; S/A: Relação silte/argila; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; \*atributos físicos não calculados.

Hor.	Óxidos do ataque sulfúrico			Relações			Óxidos de ferro			Relações		
	SiO <sub>2</sub>	FeO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>0</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>0</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>0</sub> /Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>0</sub> /Fe <sub>t</sub>
	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
A <sub>1</sub>	64,5	3,3	80	1,4	1,3	1,5	1,7	1,5	0,88	0,51	0,51	0,51
AB	52,5	5,6	115	0,8	0,7	2,0	2,5	2,0	0,80	0,45	0,45	0,45
BA	83,5	6,7	125	1,1	1,1	1,6	3,1	1,6	0,52	0,46	0,46	0,46
Bt <sub>2</sub>	120,5	8,8	195	1,0	1,0	0,5	4,5	0,5	0,11	0,51	0,51	0,51
Bt <sub>3</sub>	133,0	16,8	235	1,0	0,9	0,3	7,4	0,3	0,04	0,44	0,44	0,44

4A. Perfil de Argissolo Amarelo distrocoeso (PA<sub>d1</sub>), Fotografia – Delimitação dos horizontes.



**APÊNDICE B.** Descrição Geral: Perfil de Argissolo Amarelo distrocoeso (PAd2).

## 1B - DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL Nº 2

DATA - 24.07.2012

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico, A moderado, textura média, cerrado subcaducifólio, relevo plano.

UNIDADE DE MAPEAMENTO –PAd

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Lado direito da estrada que liga a sede do município de Brejo a Anapurus, aproximadamente 11 km, Brejo (MA), 03°37'26" S e 42°51'74" W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Trincheira situada em área plana da paisagem, com 0 a 3% de declive, sob vegetação nativa.

ALTITUDE - 103 metros.

LITOLOGIA - Cobertura de material areno-argiloso.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Cobertura de arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito dos sedimentos da Formação Barreiras.

CRONOLOGIA – Terciário.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto de alteração do material supracitado.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cerrado subcaducifólio.

USO ATUAL – Reserva de vegetação nativa (Cerrado típico).

CLIMA: Aw', segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO: Jussara Silva Dantas e José Marques Júnior.

2B. Descrição morfológica do perfil de (PAd2).

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A<sub>1</sub> – 0–30cm, cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmida), cinzento-escuro (10YR 4/1, seca); franco-arenosa; muito grande a grande que se desfazem em médios blocos subangulares; ligeiramente duro; friável; não-plástico; não-pegajoso; transição gradual.

AB – 30–55cm, bruno (10YR 5/3, úmida), cinzento-claro (10YR 7/2, seca); franco-argiloarenosa; grandes a médios que se desfazem em pequenos blocos subangulares; duro; friável; ligeiramente plástico; ligeiramente pegajoso; transição gradual.

BA – 55–85cm, amarelo-brunado (10YR 6/6, úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/4, seca); franco-argiloarenosa; grandes a médios que se desfazem em pequenos blocos subangulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico; ligeiramente pegajoso; transição gradual.

Bt<sub>2</sub> – 85–130 cm, amarelo-brunado (10YR 6/6, úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/4, seca); franco-argiloarenosa; grandes a médios que se desfazem em pequenos blocos subangulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico; ligeiramente pegajoso; transição gradual.

Bt<sub>3</sub> – 130cm+, amarelo-brunado (10YR 6/6, úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/4, seca); franco-argiloarenosa; grandes a médios blocos subangulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico; ligeiramente pegajoso; transição gradual.

RAÍZES – Muitas no horizonte BA; poucas e finas nos horizontes A<sub>1</sub>, Bt<sub>2</sub> e Bt<sub>3</sub>; ausentes no horizonte AB.

3B. Análises químicas, físicas e mineralógicas: Perfil de (PAD2).  
Análises químicas, físicas e mineralógicas

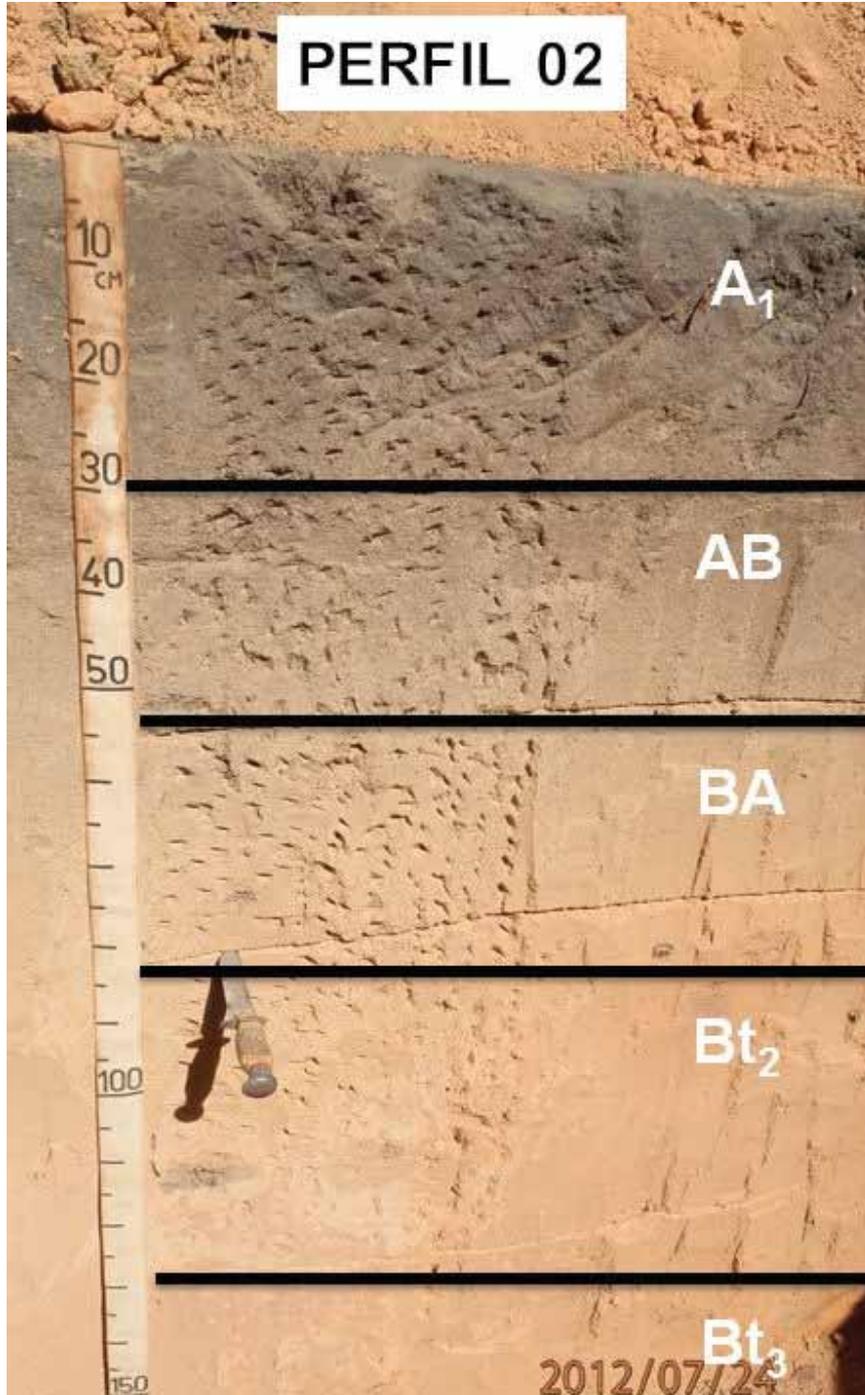
Horizonte	pH	CaCl <sub>2</sub>	Água	Kcl	Delta pH	MO	Presina	Bases Trocáveis	SB	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC	V	m		
Símbolo	Prof.	CaCl <sub>2</sub>	Água	Kcl	Delta pH	MO	Presina	Bases Trocáveis	SB	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC	V	m		
cm		g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	%	%	%	%		
A <sub>1</sub>	0-30	4,0	5,3	4,0	-1,3	17,0	2,0	0,3	0,2	0,03	0,5	0,8	4,7	5,2	10	61
AB	30-55	3,9	5,1	4,1	-1,0	7,0	1,0	0,1	0,1	0,01	0,2	0,8	3,1	3,3	6	80
BA	55-85	3,9	5,3	4,2	-1,1	5,0	1,0	0,1	0,1	0,01	0,2	0,5	1,8	2,0	10	71
Bt <sub>2</sub>	85-130	4,2	5,3	4,3	-1,0	4,0	1,0	0,1	0,1	0,00	0,2	0,2	1,5	1,7	12	50
Bt <sub>3</sub>	130+	4,2	5,4	4,5	-0,9	3,0	2,0	0,1	0,1	0,00	0,2	0,1	1,5	1,7	12	33

Horizonte	Composição Granulométrica						Silte	Argila	ADA	GF	S/A	Densidade	Porosidade	
Símbolo	Prof.	AMG	AG	AM	AF	AMF	g kg <sup>-1</sup>	%	g kg <sup>-1</sup>	%	g cm <sup>-3</sup>	Dp		
cm														
A <sub>1</sub>	0-30	0	74	217	390	111	83	125	91	27	0,6	1,58	*	29,0
AB	30-55	3	46	146	366	134	118	187	190	13	0,4	1,51	*	33,0
BA	55-85	6	45	144	331	129	120	225	174	23	0,5	1,53	*	33,0
Bt <sub>2</sub>	85-130	6	28	93	304	143	128	298	0	100	0,4	1,52	*	35,0
Bt <sub>3</sub>	130+	5	26	96	277	138	125	333	0	100	*	*	*	*

Prof.: profundidade; AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; ADA: Argila dispersa em água; GF: grau de flocculação; S/A: Relação silte/argila; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; \* atributos físicos não calculados.

Hor.	Óxidos do ataque sulfúrico			Relações			Óxidos de ferro			Relações		
	SiO <sub>2</sub>	FeO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ki	Kr	Kl	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>t</sub>	
	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>				
A1	32	3,3	85	0,6	0,6	0,6	2,2	1,2	0,60	0,61		
AB	79,5	7,2	125	1,0	1,0	1,0	3,8	1,9	0,50	0,53		
BA	89,0	7,9	160	1,0	1,0	1,0	4,3	1,2	0,28	0,54		
Bt2	113,5	12,3	185	1,0	1,0	1,0	6,9	0,7	0,10	0,56		
Bt3	134,5	13,0	225	1,0	1,0	1,0	7,4	0,5	0,07	0,57		

4B. Perfil de Argissolo Amarelo distrocoeso (PAd2), Fotografia – Delimitação dos horizontes.



**APÊNDICE C.** Descrição Geral: Perfil de Argissolo Amarelo distrocoeso (PAd3).

## 1C - DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL Nº 3

DATA - 23.07.2012

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico, A moderado, textura média, cerrado subcaducifólio, relevo plano.

UNIDADE DE MAPEAMENTO - PAd

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS - Lado direito da estrada que liga a sede do município de Brejo a Anapurus, aproximadamente 11 km, Brejo (MA), 03°36'33" S e 42°50'93" W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Trincheira situada em área plana da paisagem, com 0 a 3% de declive, sob vegetação nativa.

ALTITUDE - 96 metros.

LITOLOGIA - Cobertura de material areno-argiloso.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Cobertura de arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito dos sedimentos da Formação Barreiras.

CRONOLOGIA – Terciário.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto de alteração do material supracitado.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO - Não aparente.

DRENAGEM - Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Transição cerrado-campo subcaducifólio.

USO ATUAL – Reserva de vegetação nativa (Transição cerrado-campo).

CLIMA: Aw', segundo a classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO: Jussara Silva Dantas e José Marques Júnior.

## 2C. Descrição morfológica do perfil de (PAd3).

## DESCRIPÇÃO MORFOLÓGICA

A<sub>1</sub> – 0–25cm, bruno-claro (7,5YR 6/4, úmida), rosado (7,5YR 7/3, seca); franco-arenosa; grandes a médios blocos angulares; extremamente duro; firme; não-plástico; não-pegajoso; transição difusa.

AB – 25–60cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, úmida), rosado (7,5YR 8/4, seca); franco-argiloarenosa; grandes a médios que se desfazem em pequenos blocos angulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico; ligeiramente pegajoso; transição difusa.

Bt<sub>1</sub> – 60–100cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 7/6, úmida), rosado (7,5YR 8/4, seca); franco-argiloarenosa; grandes a médios que se desfazem em pequenos blocos angulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico; ligeiramente pegajoso; transição difusa.

Bt<sub>2</sub> – 100 cm+, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmida), amarelo-avermelhado (7,5YR 8/6, seca); franco-argiloarenosa; grandes a médios que se desfazem em pequenos blocos angulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico; ligeiramente pegajoso; transição difusa; presença de mosqueados.

RAÍZES –Muitas e espessas no horizonte AB, muitas e finas no horizonte A<sub>1</sub> e poucas nos horizontes Bt<sub>1</sub> e Bt<sub>2</sub>.

3C. Análises químicas, físicas e mineralógicas: Perfil de (PAd3).  
Análises químicas, físicas e mineralógicas

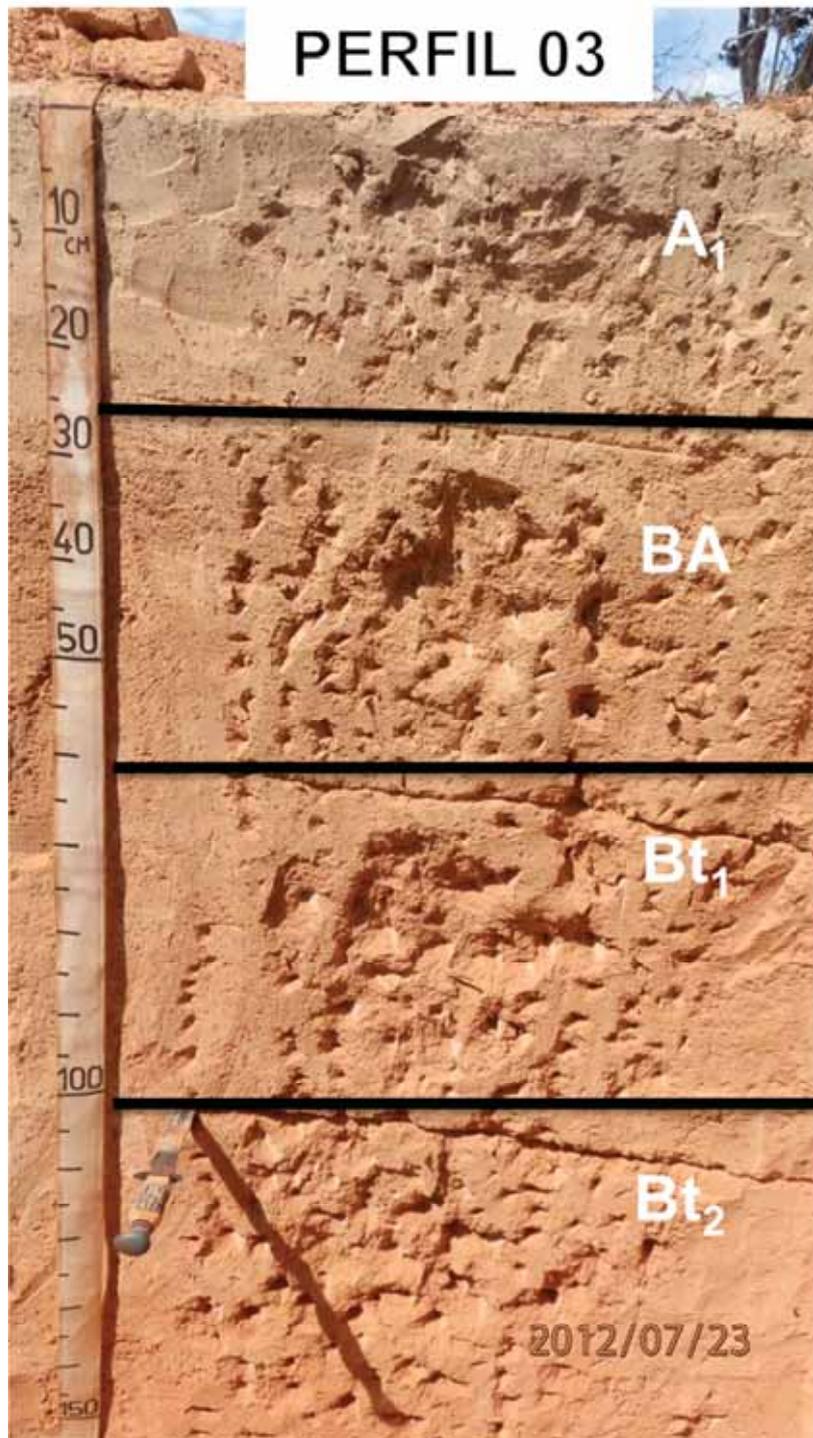
Horizonte		pH		Delta pH		MO	Presina	Bases Trocáveis		SB	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC	V	m	
Símbolo	Prof.	CaCl <sub>2</sub>	Água	Kcl				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>						
cm		g kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		%		%		
A <sub>1</sub>	0-25	4,2	5,5	4,4	-1,1	13,0	1,0	0,2	0,1	0,05	0,3	0,4	2,0	2,3	13	57
BA	25-60	4,1	5,3	4,3	-1,0	6,0	1,0	0,1	0,1	0,01	0,2	0,5	2,0	2,2	9	71
Bt <sub>1</sub>	60-100	4,0	5,0	4,2	-0,8	3,0	3,0	0,1	0,1	0,01	0,2	0,4	1,6	1,8	11	66
Bt <sub>2</sub>	100+	4,0	4,7	4,1	-0,6	2,0	3,0	0,1	0,1	0,00	0,2	0,4	1,6	1,8	11	66

Horizonte		Composição Granulométrica						Slite	Argila	ADA	GF	S/A	Densidade	Porosidade	
Símbolo	Prof.	AMG	AG	AM	AF	AMF						Ds	Dp		
cm		g kg <sup>-1</sup>						%		%		g cm <sup>-3</sup>		%	
A <sub>1</sub>	0-25	5	16	75	363	219	178	144	104	27	1,2	1,63	*	29,0	
BA	25-60	8	21	72	281	174	162	282	0	100	0,6	1,41	*	38,0	
Bt <sub>1</sub>	60-100	5	25	83	251	160	155	321	0	100	0,5	1,40	*	38,0	
Bt <sub>2</sub>	100+	11	19	68	253	146	165	338	0	100	0,5	1,40	*	40,0	

Prof.: profundidade; AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; ADA: Argila dispersa em água; GF: grau de flocculação; S/A: Relação silte/argila; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; \*atributos físicos não calculados.

Hor.	Óxidos do ataque sulfúrico			Relações			Óxidos de ferro			Relações		
	SiO <sub>2</sub>	FeO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ki	Kr	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>t</sub>	
g kg <sup>-1</sup>												
A1	45,5	7,9	100	0,8	0,7	3,6	0,7	0,19	0,19	0,46	0,46	
BA	110,5	12,3	175	1,0	1,0	6,7	0,3	0,04	0,04	0,54	0,54	
Bt1	126,5	13,4	210	1,0	1,0	6,7	0,8	0,12	0,12	0,50	0,50	
Bt2	145,0	17,7	230	1,0	1,0	9,6	0,8	0,08	0,08	0,54	0,54	

4C. Perfil de Argissolo Amarelo distrocoeso (PAd2), Fotografia – Delimitação dos horizontes.



**APÊNDICE D.** Fotografias das áreas de estudo.



Figura 1D. Área 1 – Vegetação Cerradão



Figura 2D. Área 2 – Vegetação Cerrado típico



Figura 3D. Área 3 – Vegetação Campo Cerrado



Figura 4D. Área de produção de soja, Fazenda Typuana, Brejo-MA.