

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

**CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DO INSTITUTO FEDERAL
DO MARANHÃO, CAMPUS SÃO RAIMUNDO DAS
MANGABEIRAS, REGIÃO SUL-MARANHENSE**

Jânio Fernandes e Silva

Químico

2018

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

**CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DO INSTITUTO FEDERAL
DO MARANHÃO, CAMPUS SÃO RAIMUNDO DAS
MANGABEIRAS, REGIÃO SUL-MARANHENSE**

Jânio Fernandes e Silva

Orientador: Prof. Dr. José Marques Júnior

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

2018

S586c Silva, Jânio Fernandes e
Caracterização dos solos do Instituto Federal do Maranhão,
Campus São Raimundo das Mangabeiras, região sul-maranhense /
Jânio Fernandes e Silva. -- Jaboticabal, 2018
iv, 63 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018
Orientador: José Marques Júnior
Banca examinadora: Adriana Aparecida Ribon, Livia Arantes
Camargo
Bibliografia

1. Relação solo-paisagem. 2. Geoestatística. 3. Dependência
espacial. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU 631.47

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Jaboticabal/SP - Karina Gimenes Fernandes - CRB 8/7418

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

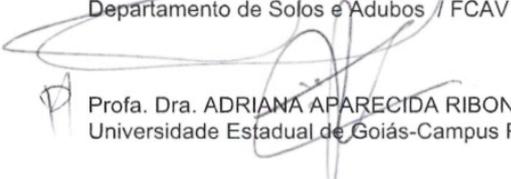
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DO INSTITUTO FEDERAL DO MARANHÃO, CAMPUS SÃO RAIMUNDO DAS MANGABEIRAS, REGIÃO SUL-MARANHENSE

AUTOR: JÂNIO FERNANDES E SILVA

ORIENTADOR: JOSÉ MARQUES JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSÉ MARQUES JUNIOR
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Profa. Dra. ADRIANA APARECIDA RIBON (Videoconferência)
Universidade Estadual de Goiás-Campus Palmeiras de Goiás / Goiás/GO


Dra. LÍVIA ARANTES CAMARGO
Engenheira Agrônoma Autônoma / Ribeirão Preto/SP

Jaboticabal, 20 de junho de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JÂNIO FERNANDES E SILVA – Filho de Raimundo Luís Vieira e Silva (*in memoriam*) e Maria de Lourdes Fernandes e Silva, nasceu em Bacabal-MA, no dia 22 de junho de 1980. Em outubro de 1998, ingressou no Curso de Licenciatura em Química pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Em 2006, foi aprovado para professor da rede estadual em Balsas, também no Estado do Maranhão. Em 2009, nessa mesma cidade, foi chamado, em concurso público, para professor da rede municipal. Em 2010, aprovado para o Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Câmpus São Raimundo das Mangabeiras, onde atua até hoje. Em março de 2011, recebeu convite para exercer o cargo de Diretor de Desenvolvimento na instituição. Em setembro de 2016, eleito Diretor Geral. Em agosto de 2017, ingressou no Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal), na Universidade Estadual Paulista/Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus Jaboticabal-SP, desenvolvendo o projeto de pesquisa *Caracterização e variabilidade espacial de atributos dos solos do semiárido sul-maranhense*. Atua como membro do Grupo de Pesquisa Caracterização do Solo para fins de Manejo Específico (CSME) da Unesp, Câmpus de Jaboticabal, desde 2017.

*A educação é um seguro para a vida e um
passaporte para a eternidade.*

Antonio Guijarro

DEDICO

A meu pai e minha mãe, que não mediram esforços para que seus cinco filhos tivessem a oportunidade de estudar.

Às minhas quatro irmãs, que também muito contribuíram durante toda essa caminhada.

A minha esposa, Cintia Fernandes, que sempre me apoia em todos os sentidos, superando as dificuldades que a vida nos coloca, sendo uma verdadeira companheira.

Aos meus três filhos, Jânio Filho, João Filipe e Jorge Fernando, razões do meu viver! Ser pai é uma coisa inexplicável e sempre agradeço a Deus pela família que tenho!

Sou eternamente grato por todos vocês fazerem parte de minha vida!

Amo todos vocês!!!!!!

A Deus e toda minha família por estarem sempre presentes!

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por todos os ensinamentos.

Aos meus pais, Raimundo Luís Vieira e Silva e Maria de Lourdes Fernandes e Silva, por todo o apoio durante minha vida e pelos exemplos que contribuíram para a educação de meus filhos.

Às minhas irmãs, Jane, Jenivia, Janilde e Josenilde, pela amizade e ensinamentos.

Aos meus familiares, por todas as palavras de apoio durante toda essa caminhada.

A minha esposa, Cintia Fernandes, pela compreensão, cumplicidade e companheirismo. Amo muito você!

Aos meus filhos, a quem amo eternamente! Vocês são a luz do meu dia, o ar que respiro diariamente e a razão do meu viver! Família é tudo de bom que Deus deixou para nós! Obrigado pela minha!

Ao meu orientador, Professor Dr. José Marques Júnior, pela confiança e ensinamentos.

Ao professor Dr. Arthur Bernardes, por todo apoio durante mestrado.

A minha coorientadora, Kathleen Fernandes Lourenço, por todos os ensinamentos e contribuição no decorrer de toda a pesquisa.

Aos membros de minha banca de qualificação, Professor Dr. Marcílio Vieira Martins Filho, Dra. Angélica Santo Rabelo de Souza Bahia e a professora Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra, que ofereceram sugestões significativas para a melhoria do presente trabalho.

Aos membros da banca de defesa, Professora Dra. Adriana Aparecida Ribon e Dr. Diego Silva Siqueira, por se disponibilizarem, prontamente, em contribuir para a melhoria deste estudo e para meu crescimento profissional.

Aos demais amigos e companheiros de trabalho, Laércio Santos, Romário Gomes, Diego Silva Siqueira, Danilo Baldo, Nélida Queiroz, Simone Gomes, Frederico Siansi, Bruno Barbosa Mialichi, Yves Soares Menon, Gustavo Silva de Sousa, Renan Radaeli dos Santos, pela ajuda ao longo das inúmeras etapas de desenvolvimento do projeto, que possibilitaram o desenvolvimento deste estudo, e pelas experiências.

Aos servidores, Márcio Carneiro, Eugênio, Josielton, Clemerson, Richardson, Raimundo, João e Nonato, que ajudaram bastante na coleta das amostras em campo.

Aos funcionários e amigos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, em especial aos do Departamento de Solos e Adubos, que auxiliaram a realização desta pesquisa.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (Unesp Jaboticabal) e ao programa de pós-graduação em Produção Vegetal pela oportunidade de realização do mestrado.

A todos os servidores do IFMA, Câmpus São Raimundo das Mangabeiras, pelas palavras de incentivo e apoio durante o mestrado e, em especial, aos meus amigos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Finalmente, a todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste estudo.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 REVISÃO DE LITERATURA	2
1.2.1 Solos do Maranhão	2
1.2.2 Formação e evolução dos solos	4
1.2.3 Relação solo-paisagem	6
1.2.4 Município de São Raimundo das Mangabeiras e área estudada	7
REFERÊNCIAS	9
CAPÍTULO 2 – Caracterização e variabilidade espacial de atributos dos solos do Semiárido Sul Maranhense	13
RESUMO	13
ABSTRACT	14
2.1 INTRODUÇÃO	15
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	17
2.2.1 Localização da área	17
2.2.2 Planejamento amostral	18
2.2.3 Análises granulométricas e químicas	19
2.2.4 Análises mineralógicas	20
2.2.5 Análise da suscetibilidade magnética	21
2.2.6 Análise da espectroscopia de reflectância difusa – ERD	21
2.2.7 Estatística descritiva	22
2.2.8 Geoestatística: semivariograma simples	22
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
2.3.1 Caracterização de atributos por compartimentos	22
2.3.2 Caracterização dos perfis dos solos	25
2.3.3 Atributos granulométricos dos solos	25
2.3.4 Atributos químicos dos solos	27

2.3.5 Atributos mineralógicos dos solos	31
2.3.6 Variabilidade espacial	33
2.4 CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	39
APÊNDICES	45
APÊNDICE A	46
APÊNDICE B	49
APÊNDICE C	52
APÊNDICE D	55
APÊNDICE E	58
APÊNDICE F	61

CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DO INSTITUTO FEDERAL DO MARANHÃO, CAMPUS SÃO RAIMUNDO DAS MANGABEIRAS, REGIÃO SUL-MARANHENSE

RESUMO – A região sul do Maranhão é a maior produtora de grãos – principalmente soja e milho – do Estado, contribuindo significativamente para a economia, com uma produção de 55,8%. A caracterização da variabilidade dos atributos dos solos dessa região torna-se importante para melhor entendimento dos processos pedogênicos do solo e uso de melhores práticas de manejo, proporcionando maior produtividade, de maneira sustentável. Por meio de ferramentas, como a estatística e geoestatística, é possível entender a relação entre os atributos dos solos e as formas da paisagem, indicando a variabilidade espacial dos atributos da região. Assim, o presente trabalho teve, como objetivo, a caracterização dos solos e distribuição destes na paisagem no semiárido sul-maranhense, município de São Raimundo das Mangabeiras. Foram coletadas 94 amostras na camada de 0 – 0,20 m, no espaçamento de 200 x 200 m e selecionados e classificados seis perfis de solo. Foram feitas análises granulométricas (areia, silte, argila e fracionamento de areia), químicas (soma de bases, fósforo, matéria orgânica e pH H₂O e CaCl₂), mineralógicas (quantificação de óxidos de ferro, caulinita e gibbsita) e análises magnéticas e espectrais. Os dados foram submetidos a análises de estatística descritiva e análises geoestatísticas pela krigagem simples. O estudo dos perfis e amostras foram divididos conforme três compartimentos da paisagem: cônica-linear, cônica e convexo-cônica. Os solos classificados foram LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (LVAd), PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico (FXd), CAMBISSOLO HÁPLCO Ta Distrófico típico (CXvd), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO eutrófico (LVAe), CAMBISSOLO HÁPLCO Ta Eutrófico típico (CXve) e LATOSSOLO AMARELO Distrófico psamítico (LAdp). Dentre os compartimentos analisados, o que apresentou maior coeficiente de variação foi o compartimento I, no qual foi encontrado o solo com destaque para maior fertilidade, e a pedofoma cônica-linear proporcionou maior variabilidade espacial, sobretudo, da fração argila, demonstrando que a forma do relevo condiciona padrões diferenciados de variabilidade. A granulometria apresentou baixa variação. Porém, os atributos P e SB variaram na área de 3,26 a 5,16 mg dm⁻³ e 10,42 a 33,51 cmol_c dm⁻³, respectivamente, e foram expressos nos mapas de atributos espaciais.

Palavras-chave: Dependência espacial, Geoestatística, Relação solo-paisagem

**CHARACTERIZATION OF THE SOILS OF THE FEDERAL INSTITUTE OF
MARANHÃO, CAMPUS SÃO RAIMUNDO DAS MANGABEIRAS, REGION
SOUTH-MARANHENSE**

ABSTRACT – The southern region of Maranhão is the largest producer of grains mainly soybeans and corn, contributing significantly to the economy, with a production of 55.8%. The characterization and variability of the soil attributes of this region becomes important for a better understanding of soil pedogenic processes, and the use of better management practices, providing a higher productivity in a sustainable way. Through tools such as statistics and geostatistics, it is possible to understand the relationship between soil attributes and landscape forms, indicating the spatial variability of the attributes of the region. Thus, the present work had as objective the characterization and variability of the attributes of the soils of the semi - arid south of Maranhão, São Raimundo das Mangabeiras municipality. A total of 94 samples were collected at 0 - 0.20 m depth, at a spacing of 200 x 200 m, and six soil profiles were selected and classified. Granulometric analyzes were done (sand, silt, clay and sand fractionation); (quantities of bases, phosphorus, organic matter and pH); mineralogical (quantification of iron oxides, kaolinite and gibbsite); and magnetic and spectral analyzes. The data were submitted to descriptive statistics analyzes and geostatistical analyzes by simple kriging. The study of the profiles and samples were divided according to three compartments of the landscape: concave-linear, concave and convex-concave. The soils classified were Dystrophic Yellow Red Latosol (LVAd), Dystrophic Haplic Plinthosol (FXd), Dystrophic Yellow Latosol (LAd), Eutrophic Yellow Red Latosol (LVAe), Eutrophic Red Latosol (LVe) and Dystrophic Yellow Latosol (LAdp). Among the compartments analyzed, the one that presented the highest coefficient of variation was the compartment I, where the soil was found with emphasis on higher fertility, and the concave-linear pedoform provided greater spatial variability especially of the clay fraction, demonstrating that the shape of the relief conditions patterns variability. The granulometry presented low variation. However, the P and SB attributes varied in the range of 3.26 to 5.16 mg dm⁻³ and 10.42 to 33.51 mmolc dm⁻³, respectively, and were expressed in spatial attribute maps.

Keywords: Geostatistics, Space dependence, Soil-landscape relationship

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1.1 INTRODUÇÃO

O solo consiste em um material complexo, cuja origem e desenvolvimento são determinados por seus fatores de formação. De acordo com Curi et al. (1993), o solo é definido como o “material mineral e/ou orgânico, inconsolidado na superfície da terra, e que serve como um meio natural para o crescimento e desenvolvimento de plantas terrestres”. O relevo é uma importante ferramenta para os estudos da disposição espacial dos atributos dos solos. As superfícies geomórficas da região dos Cerrados, resultado de múltiplos ciclos de erosão (Bigarella e Andrade, 1965), representam paisagens de grande relevância dentro da atual produção brasileira de grãos. Essas superfícies correspondem àquelas geradas pelos ciclos geomorfológicos Sul-Americano e Velhas (King, 1956; Braun, 1970) e dominam toda a área dos Cerrados, que, por sua vez, abrangem, aproximadamente, 25% do território brasileiro, ou seja, em torno de 200 x 106 ha (Adámoli et al., 1985)

As áreas aluvionares são formadas em ambientes com relevos variados. Podem ocorrer entre relevos íngremes com gradiente baixo da linha de drenagem, resultando na redução da força da corrente, tendo, como consequência, o carreamento de sedimentos maiores (Hardgrove et al., 2009). Assim, os sedimentos erodidos são depositados em locais com topografia favorável a cada evento chuvoso – fenômeno comumente chamado gerações múltiplas de superfícies aluvionais (Frankel e Dolan, 2007).

De acordo com Daniels e Hammer (1992), o fluxo, a distribuição sazonal e a quantidade de água são processos causadores de variabilidade espacial de atributos do solo, pois podem condicionar ambientes com características diferenciadas, a partir da interferência no movimento de bases trocáveis. Para Marques Júnior e Lepsch (2000), pequenas variações no gradiente do declive já são suficientes para causar variabilidade dos atributos do solo.

O relevo é o fator de formação do solo, responsável por alterar sua umidade, a intensidade de ocorrência dos processos de erosão e lixiviação, seu microclima e o nível do lençol freático (Artur et al., 2014). A posição que o solo ocupa na paisagem

tem influência na variabilidade dos atributos (Franzen et al., 2006). Diante disso, vários modelos de paisagem se propõem a estudar e entender as relações entre as condições de solo e relevo. Como exemplo, tem-se o modelo estabelecido por Troeh (1965). Neste, as pedoformas podem variar, desde lineares até as côncavas, passando pelas convexas, cuja curvatura da paisagem é associada ao grau de intemperismo e evolução do terreno. Para que se entendam as relações entre esses modelos de paisagem e os solos, é necessário o uso de Modelos de Elevação Digital (MED) e de técnicas geoestatísticas (Lark, 1999).

Essas superfícies que compõem o relevo (côncavo, convexo e linear) exercem influência na exposição do material de origem, na intensidade e no sentido do fluxo da água do solo (Artur et al., 2014). Isso altera atributos químicos, físicos e mineralógicos e essa alteração pode ser intensificada com práticas de manejo do solo (Guo et al., 2007). Assim, o estudo dessas superfícies torna-se premissa básica nos levantamentos pedológicos, na tomada de decisões em relação ao manejo do solo, intensidade e frequência de amostragem, e gerenciamento de práticas agrícolas e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (Corá et al., 2004).

O mapeamento da variabilidade espacial de atributos do solo é uma preocupação antiga (Vieira, 2000) e seu conhecimento é de fundamental importância para todos aqueles que visam a uma agricultura sustentável (Weirich Neto et al., 2006), pois permite um manejo específico das áreas agricultáveis (Cajazeira et al., 2011). Assim, a análise da variabilidade espacial dos atributos, com suas disposições na paisagem, possibilita a compreensão das relações de causa-efeito da variação de atributos do solo. Diante do exposto, o presente trabalho teve, como objetivo, a caracterização da variabilidade dos atributos dos solos do semiárido sul-maranhense, município de São Raimundo das Mangabeiras.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Solos do Maranhão

O solo é um recurso natural, cuja condição é vital para a produção de alimentos e também para o funcionamento dos ecossistemas (Silveira, 2016). O modelo de

expansão agrícola, que tem se instalado na região dos Cerrados, objetiva aumento de produtividade, utilizando práticas de mecanização, nas quais o solo tem sofrido bastante. As maiores preocupações são voltadas apenas para a resposta econômica, e nenhuma para práticas de manejo e conservação. O Cerrado se estende pelos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins, Bahia, Piauí, Maranhão e Distrito Federal, além de alguns fragmentos espalhados por Roraima, Pará, Amazonas, Rondônia, Amapá, São Paulo e Paraná (Cavalcanti e Joly, 2002).

A superfície ocupada por esse bioma, aproximadamente 2.000.000 km² (Ribeiro e Walter, 2001), representa uma área mais extensa do que a do Pantanal, qualificando o Cerrado como o segundo maior bioma brasileiro, menor apenas do que a Floresta Amazônica. No Maranhão, o Cerrado está situado, principalmente, no planalto da região sudeste. Ocupa cerca de 10 milhões de hectares, isto é, cerca de 30% da área total do estado, abrangendo 33 municípios, 23 dos quais possuem a quase totalidade de suas áreas cobertas por esse tipo de vegetação (Heringer et al., 1977). Na região do Baixo Parnaíba e parte da Bacia do Rio Munim, cujo predomínio de vegetação é Cerrado, tem-se observado a diminuição progressiva e acelerada desta, priorizando, em seu lugar, culturas agrícolas daquela região, em especial, a implantação da soja.

O MATOPIBA é uma região do norte-nordeste brasileiro. Sua denominação resulta das siglas dos estados envolvidos na sua delimitação: Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Miranda et al., 2014). É marcada pela expansão das atividades agrícolas em áreas de Cerrado, baseada em tecnologias de alta produtividade. No MATOPIBA, ocorrem 12 classes de solos, baseando-se no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Embrapa, 2018).

O Latossolo é a classe dominante no MATOPIBA, representado pelos Latossolos Amarelos. São cerca de 28 milhões de hectares (38%) distribuídos em toda a região, caracterizados por um intemperismo acentuado, com fertilidade geralmente baixa, tendo, porém, características físicas favoráveis para o uso agrícola, como boa permeabilidade e alta porosidade (Embrapa, 2018). Encontram-se predominantemente no oeste da Bahia, no Sul do Maranhão e Piauí, nos domínios das bacias sedimentares.

O Neossolo é a segunda maior classe de solos encontrada no MATOPIBA. Ocorre em 18 milhões de hectares (~25%), dividindo-se, praticamente, em duas subordens: Neossolo Quartzarênico (13,3%) e Neossolo Litólico (10,4%). As características mineralógicas desses solos são semelhantes às da rocha fonte e, por isso, são definidos como solos pouco desenvolvidos. Os Neossolos Quartzarênicos são formados, essencialmente, por areias quartzosas, o que confere uma baixa fertilidade natural. Solos profundos, com alta porosidade e permeabilidade, dificultam a retenção da água (Embrapa, 2018). Ocorrem, predominantemente, no sudoeste da Bahia e no norte-nordeste do Tocantins, na região do Jalapão. Quanto aos Neossolos Litólicos, são solos rasos, normalmente associados a terrenos mais declivosos, com ocorrência predominante nas áreas sul do Piauí e do Maranhão.

Em terceiro lugar, estão os Plintossolos, com cerca de 14 milhões de hectares (19,2%). São solos ácidos e de baixa fertilidade natural, também caracterizados pela segregação localizada de ferro, que atua como agente de cimentação. Em geral, formados em condições de restrição à percolação de água, sujeitos, no entanto, ao efeito temporário de excesso de umidade (Embrapa, 2018). Essa variação do lençol freático dá origem ao horizonte plintítico, formado por argila, quartzo, baixo teor de matéria orgânica e alto teor de ferro e alumínio. Os Plintossolos Pétricos respondem por 13,10% dos solos dessa classe. Ocorrem na porção central do Tocantins e no leste do Maranhão e se formam quando há o endurecimento irreversível da plintita.

1.2.2 Formação e evolução dos solos

As noções básicas e conceitos fundamentais de formação do solo, ou pedogênese, encontram-se datadas de 1877, época em que o cientista russo Dokuchaev iniciou estudos em uma ciência atualmente conhecida como Pedologia (Pinto Neto, 2015). Antes desses estudos, sob a ótica geológica, o solo era definido como um manto composto por fragmentos de rocha e produtos de alteração, no qual se encontrava refletida, unicamente, a composição da rocha de origem (Muggler et al., 2005). Com o passar do tempo, constatou-se que havia diferentes tipos de solos, desenvolvidos a partir de um mesmo material de origem, fato que acarretou uma definição de cunho mais genético, que descrevia esse recurso natural como um

material que evolui no tempo, sob a influência de fatores naturais ativos na superfície terrestre (Muggler et al., 2005).

Nos solos brasileiros, muitos minerais apresentam estruturas complexas e variadas, herdadas das distintas condições de metamorfismo, intemperismo e da diagênese a que foram sujeitos durante os processos de formação (Carioca et al., 2011). Desse modo, desconsiderou-se a ideia de que os solos são entidades independentes, ocorrendo em pontos específicos. Mediante esse conhecimento interdisciplinar, todas as partes da paisagem estão inter-relacionadas, proporcionando a integração de todos os atributos (Daniels e Nelson, 1987).

A formação dos solos está diretamente relacionada a cinco fatores ambientais: clima, organismos, material de origem, relevo e idade da superfície do terreno. De acordo com Serrat (2002), processos gerais de formação do solo são aqueles que produzem as modificações ocorridas devido à atuação dos fatores de formação deste recurso natural. Estes, por seu turno, consistem em adição, remoção (ou perda), transformação e translocação, podendo ser descritos conforme descrições seguintes.

A adição compreende qualquer contribuição externa ao perfil do solo. Como exemplo de produtos adicionados, é possível citar a matéria orgânica (MO), como restos vegetais e animais, materiais trazidos pelo vento (partículas pequenas, cinza, poeira), materiais depositados por enchentes ou erosão e aditivos agrícolas, como adubos, corretivos e agrotóxicos (Muggler et al., 2005).

Os processos de remoção ou perda compreendem as diversas formas de perdas de materiais - como gases líquidos ou sólidos -, sofridas por uma determinada porção de solo e que podem ser em superfície ou em profundidade. As perdas da superfície envolvem, principalmente, exportação de nutrientes pelas colheitas, perdas de compostos voláteis por queimadas, perdas por erosão hídrica ou eólica, dentre outros. As perdas em profundidade compreendem lixiviação de substâncias inorgânicas e/ou orgânicas, pelo lençol freático e perdas laterais de soluções com íons reduzidos, como Fe^{2+} e Mn^{2+} (Rocha, 2014).

A translocação é caracterizada pelo movimento de materiais de um ponto para o outro, dentro do perfil do solo. O principal exemplo de translocação é a movimentação da argila, por meio dos horizontes, principalmente do A para o B. Além disso, é possível citar o movimento do solo por processos agrícolas, atividades de

animais como cupins, minhocas e formigas e o encaixe de raízes das plantas (Pinto Neto, 2015).

Tem-se, ainda, a transformação referente às modificações físicas, químicas ou biológicas dos constituintes do solo, envolvendo síntese e decomposição. Como exemplo, é possível citar a quebra das rochas e minerais em partículas menores, que pode ser afetada pela ação de raízes, expansão e contração de argilas e quebra por compressão, formação de novos minerais ou transformação dos já existentes (Muggler et al., 2005).

1.2.3 Relação solo-paisagem

As relações solo-paisagem são ferramentas importantes de estudos detalhados dos atributos, mapeamento e levantamento de solos, visto que a associação entre os atributos topográficos (a inclinação e a declividade do terreno, a orientação e a curvatura da superfície terrestre) e as classes de solos são potencialmente úteis para melhorar a predição da ocorrência dos tipos de solos em determinados compartimentos da paisagem (Campos et al., 2006).

De acordo com Sommer (2006), essa relação favorece melhor a compreensão e entendimento dos solos na paisagem por dois aspectos: vislumbrar a variabilidade espaço-temporal dos atributos do solo e permitir a visualização dos processos dinâmicos, por exemplo, transporte de água e sedimentos.

Além disso, segundo com Minasny e McBratney (2001) os modelos solo-paisagem ainda ajudam entender a gênese do solo, não somente pela relação formação e erosão, mas também porque incorporam os processos dinâmicos do fluxo de água e transporte de materiais orgânicos e minerais.

Para compreender as feições da paisagem de determinada região, faz-se necessário perceber a relação solo-paisagem que ocorre no local, ou seja, entender a interação entre o relevo e os componentes do solo (Meireles et al., 2012). A investigação sobre essa relação é importante em todos os estudos no âmbito da ciência do solo; essenciais quando o objetivo é a compreensão da distribuição das diferentes pedoformas de uma região (Campos, 2012).

A aplicação de modelos de paisagem, com vistas à compreensão do

comportamento dos atributos do solo, apresenta-se como uma alternativa eficiente nos estudos das relações solo-paisagem. Permitem vislumbrar o solo no sentido conceitual como corpo natural, ao mesmo tempo em que inter-relaciona todas as possíveis causas de variação (Campos, 2012). De acordo com Motta et al. (2002), os estudos da relação solo-paisagem podem subsidiar levantamentos de solos, constituindo, dessa forma, um poderoso instrumento de predição da feição pedológica de áreas ainda não conhecidas, ao permitir a identificação da topossequência típica e o entendimento da distribuição espacial e das características dos solos de uma região. Cunha et al. (2005) afirmam que os estudos possibilitam a extrapolação de informações disponíveis em mapas de solos em qualquer escala, para locais e objetivos mais específicos, implicando a redução de tempo e de custos para obtenção de dados ambientais básicos.

Apesar da importância e discussão dos conceitos das relações solo-paisagem, poucos trabalhos abordam a temática com vistas a identificar e mapear solos, muito embora esses modelos permitam compreender as relações entre as condições do solo e os aspectos topográficos do terreno (Campos, 2012).

1.2.4 Município de São Raimundo das Mangabeiras e área estudada

São Raimundo das Mangabeiras se emancipou do município de Loreto (MA), no dia 31/12/1948. A lei estadual, que transformou o povoado de São Raimundo das Mangabeiras em município, foi a lei nº 272, de 31/12/1948 (Correia Filho, 2011). A localidade situa-se na mesorregião, intitulada sul-maranhense, segundo o IBGE, na microrregião da Chapada das Mangabeiras (Correia Filho, 2011). Apresentando uma área que totaliza 3.521 km², localiza-se nas coordenadas geográficas -07° 1'12'' de sul e -45° 28' e 48'' oeste (Figura 1) (Correia Filho, 2011).

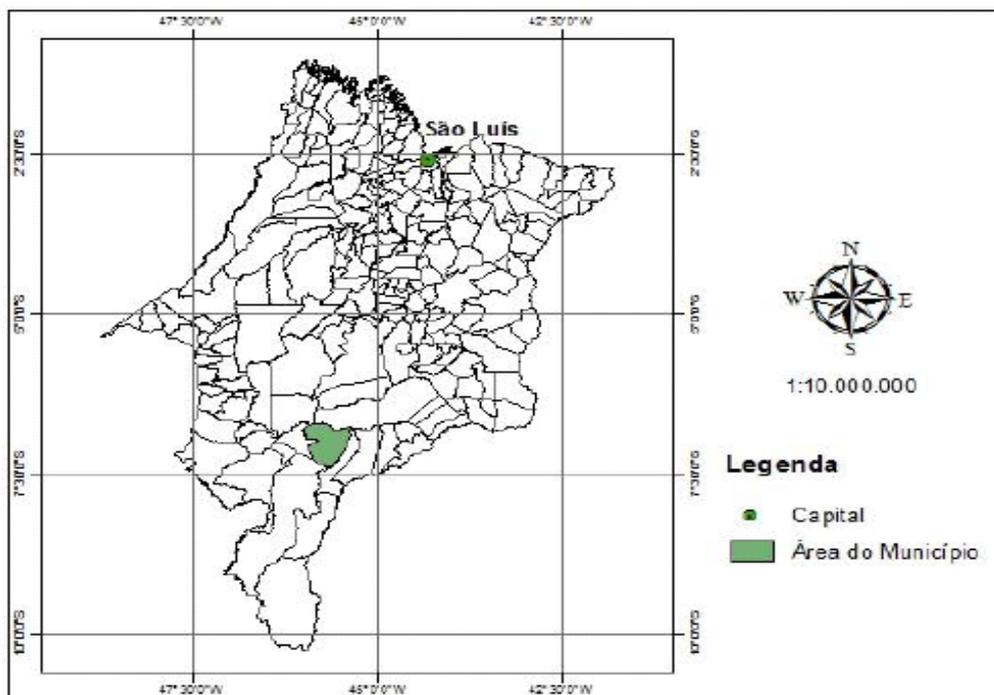


Figura 1. Localização do município de São Raimundo das Mangabeiras. Fonte: Correia Filho (2011).

O município de São Raimundo das Mangabeiras apresenta uma relativa renda per capita, se comparado ao estado do Maranhão. Esse PIB tem crescido desde 2010, mas permanece mangabeirense abaixo da média nacional para o período. Em 2010, o município apresentava um PIB per capita de R\$ 12.554,00. Já no Maranhão, esses números eram de R\$ 7.049,63 e, no Brasil, R\$ 20.371. No ano de 2013, o PIB per capita mangabeirense saltou para a marca de R\$ 14.251,60 por habitante, sendo, portanto, maior do que o maranhense e menor do que o brasileiro (R\$ 9.948,47 e R\$ 26.445 por habitante respectivamente).

A agricultura representa uma das principais atividades na economia brasileira, um setor importante no equilíbrio da balança comercial. Ao analisar o papel da agricultura, amplia-se a perspectiva para o agronegócio, com exclusão da pecuária. Esses valores chegam a alcançar 16% do PIB (Cepea-USP/CNA, 2015) e, aproximadamente, 35% da exportação brasileira. O valor da produção agrícola nacional foi de R\$ 265,5 bilhões – 5,6% a mais do que 2014. Somente a cultura de soja movimentou US\$ 28 bilhões em exportações ao ano, segundo o IBGE.

Com crescimento real de 3,9% em 2014, o Maranhão obteve desempenho econômico maior do que o nacional (0,5%), no mesmo período. Alcançou a 8ª posição

entre os estados com maior crescimento no país. Isso foi resultado do crescimento real nos setores da Agropecuária (9,6%), da Indústria (7,4%) e de Serviços (1,4%), segundo o Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (Imesc).

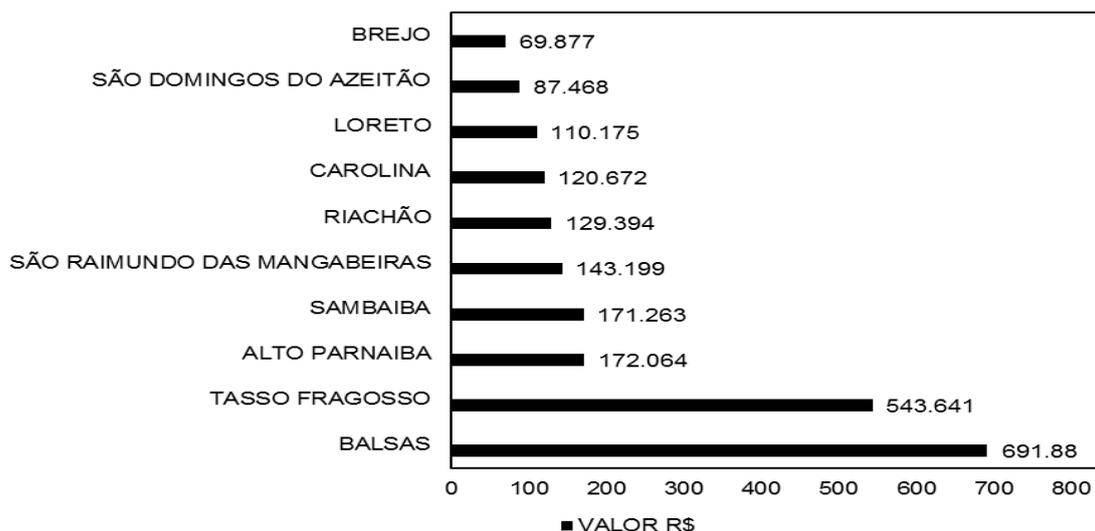


Figura 2. Maiores produtores do Estado do Maranhão.

A região sul do estado é a detentora da maior produção de grãos do Maranhão, com destaque para os municípios de Balsas, com quantidade produzida de 291.297 toneladas, Tasso Fragoso (181.358 t) e São Raimundo das Mangabeiras (97.681 t). Segundo o IBGE, na safra de 2015, o estado produziu 1.397.831 toneladas, com área colhida de 456.746 hectares. Considerando os dados das lavouras da região sul do Maranhão, com o intuito de obter crescimento na produção de grãos, faz-se necessária uma análise dos solos da referida região.

REFERÊNCIAS

Adámoli J, Macedo J, Azevedo LG. Madeira NJS (1985) Caracterização da região dos Cerrados. In: Goeterd WJ (editor) **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Embrapa/Nobel, p. 33-74.

Artur AG, Oliveira DP, Costa MCG, Romer RE, Silva MVC, Ferreira TO (2014) Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 18:141-149.

Bigarella JJ, Andrade GO (1965) Contribution to the study of the Brazilian Quaternary. In: Wright Jr HE, Frey D (editores) International Studies on the Quaternary. **Geological Society of America** 84: 443-451.

Braun OPG (1970) Contribuição à geomorfologia do Brasil Central. **Revista Brasileira de Geografia** 32:3-39.

Cajazeira JP, Assis Júnior RN (2011) Variabilidade espacial das frações primárias e agregados de um Argissolo no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica** 42:258-267.

Campos MCC (2012) Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações **Revista Ambiência** 8:963-982.

Campos MCC, Cardozo NP, Marques Júnior J (2006) Modelos de Paisagem e sua Utilização em Levantamentos Pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra** 6:104-114.

Carioca AC, Ferreira CM (2011) Aplicação da espectroscopia de reflectância difusa na quantificação dos constituintes de bauxita e de minério de ferro. **Revista Escola de Minas** 64:199-204.

Cavalcanti RB, Joly CA (2002) Biodiversity and Conservation priorities in the Cerrado region. In: Oliveira PS, Marquis RJ (editores) **The Cerrados of Brazil - Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. New York: Columbia University Press, p. 351-367.

Cepea – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (2015) **PIB do agronegócio brasileiro**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

Corá JE, Araújo AV, Pereira GT, Beraldo JMG (2004) Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana de açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 28:1013-1021.

Correia Filho FL, Gomes ÉR, Nunes OO, Lopes Filho JB (2011) **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, Estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de São Raimundo das Mangabeiras. Teresina: CPRM.

Cunha P, Marques Júnior J, Curi N, Pereira GT, Lepsch IF (2005) Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma sequência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 29:81-90.

Curi N, Larach JOI, Kampf N, Moniz AC, Fontes LEF (1993) **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: SBCS, 90 p.

Daniels RB, Hammer RD (1992) **Soil geomorphology**. Toronto: John Wiley & Sons.

Daniels RB, Nelson L (1987) Future variability and productivity: Future developments. **Soil Science Society of America Journal** 1984:193-203.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa.

Frankel KL, Dolan JF (2007) Characterizing arid region alluvial fan surface roughness with airborne laser swath mapping digital topographic data. **Journal of Geophysical Research** 112:1-14.

Franzen DW, Nanna T, Norvell WA (2006) A survey of soil attributes in North Dakota by landscape position. **Agronomy Journal** 98:1015-1022.

Guo LB, Wang MB, Gifford R (2007) The change of soil carbon stocks and fine root dynamics after land use change from a native pasture to a pine plantation. **Plant and Soil** 299:251-262.

Hardgrove C, Moersch J, Whisner S (2009) Thermal imaging of alluvial fans: A new technique for remote classification of sedimentary features. **Earth and Planetary Science Letters** 285:124-130.

Heringer EP, Barroso GM, Rizzo JA, Rizzini CT (1977) A flora do cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: USP, 211-232.

King LC (1956) A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia** 18:147-265.

Lark RM (1999) Soil-landform relationships at within-field scales: an investigation using continuous classification. **Geoderma** 92:141-165.

Marques Júnior J, Lepsch IF (2000) Depósitos superficiais neoceno-zóicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. **Geociências** 19:90-106.

Meireles HT, Marques Júnior J, Campos MCC, Pereira GT (2012) Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 42:129-136.

Minasny B, McBratney AB (2001) A rudimentary mechanistic model for soil production and landscape development: II. A two-dimensional model incorporating chemical weathering. **Geoderma** 103:161-180.

Miranda EE, Magalhães LA, Carvalho CA (2014) **Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA**. Nota Técnica 1, p. 1-18.

Motta PEF, Carvalho Filho A, Ker JC, Pereira NR, Carvalho Júnior W, Blancaneaux P (2002) Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 37:869-878.

Muggler, CC, Cardoso IM, Resende M, Fontes MPF, Walter Antônio Pereira Abrahão WAP, Carvalho AF (2005) **Apostila**: conteúdos básicos de geologia e pedologia. Viçosa: UFV, p. 95.

Pinto Neto JN (2015) **Uso de subclasses de relevo para refinamento de mapa pedológico com auxílio de geoprocessamento**. 117 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

Ribeiro JF, Walter BMT (2001) As matas de galeria no contexto do bioma cerrado. In: Ribeiro JF, Fonseca CEL, Sousa-Silva JC (editores) **Cerrado: caracterização e recuperação de Matas de Galeria**. Planaltina: Embrapa-Cerrados, p. 29-47.

Rocha JLA (2014) Fundamentos de geologia e pedologia. Pombal: UFCG, p. 76.

Serrat BM, Lima MR, Garcia CE, Fantin ER, Carnieri IMRSA, Pinto LS (2002) **Conhecendo o solo**. Setor de Ciências Agrárias. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba: UFPR.

Silveira ER (2016) Diversidade e papel funcional da macrofauna do solo na integração lavoura-pecuária. **Revista Técnico Científica do CREA-PR** 1:1-16.

Sommer M (2006) Influence of soil pattern on matter transport in and from terrestrial bio geosystems: a new concept for landscape pedology. **Geoderma** 133:107-123.

Troeh FR (1965) Landform equations fitted to contour maps. **Soil Science Society American Journal** 263:616-27.

Vieira SR (2000) Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais RF, Alvarez VH, Schaefer GR (editores) **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, p. 1-54.

Weirich Neto PH, Júnior OB, Da Rocha JV, Borghi E, Sverzut CB (2006) Um estudo da variabilidade espacial do conteúdo de areia do solo, utilizando diferentes métodos de interpolação. **Ciências Agrárias e Engenharias** 12:41-49.

CAPÍTULO 2 – Caracterização e variabilidade espacial de atributos dos solos do Semiárido Sul Maranhense

RESUMO – A expansão da agricultura, quando não planejada, causa alterações no solo, provocando sua degradação. Entretanto, para o planejamento adequado, deve-se ter amplo conhecimento sobre as características dos solos. Este trabalho teve como objetivo analisar a caracterização e variabilidade espacial de atributos dos solos do semiárido sul-maranhense. Coletaram-se 94 amostras na camada de 0 – 0,20 m, no espaçamento de 200 x 200 m, selecionados e classificados seis perfis de solo. Foram feitas análises granulométricas (areia, silte, argila e fracionamento de areia), químicas (soma de bases, fósforo, matéria orgânica e pH), mineralógicas (quantificação de óxidos de ferro, caulinita e gibbsita), análises magnéticas e espectrais. O estudo dos perfis e amostras foram divididos conforme três compartimentos da paisagem: côncava-linear (I), côncava (II) e convexo-côncavo (III). Os solos foram classificados como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (LVAd), PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico (FXd), CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico (CXvd), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico argissólico (LVAe), CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (CXve) e LATOSSOLO AMARELO Distrófico psamítico (LAdp). Dentre os compartimentos analisados, o que apresentou maior coeficiente de variação foi o compartimento I, no qual foi encontrado o LVAe com destaque para maior fertilidade, e a pedofórmula côncava-linear proporcionou maior variabilidade espacial, sobretudo, da fração argila, demonstrando que a forma da paisagem condiciona padrões diferenciados de variabilidade. A granulometria apresentou baixa variação. Porém, o atributo fósforo (P) apresentou 3,26 a 5,16 mg dm⁻³ considerado baixo e soma de bases (SB) variaram na área de e 10,42 a 33,51 mmolc dm⁻³ considerada média, sendo expressos nos mapas de atributos espaciais.

Palavras-chave: Dependência espacial, Geoestatística, Relação solo-paisagem

Characterization and spatial variability of soil attributes of the south Semi-Arid Maranhense

ABSTRACT – The expansion of agriculture when unplanned can cause changes in the soil, causing its degradation. However, for the proper planning, one must have ample knowledge about the characteristics of the soils. The objective of this work was to analyze the characterization and spatial variability of soil attributes of semi-arid South Maranhão. A total of 94 samples were collected at depths of 0 - 0.20 m, spaced 200 x 200 m and selected and classified six soil profiles. Granulometric analyzes were done (sand, silt, clay and sand fractionation); (quantities of bases, phosphorus, organic matter and pH); mineralogical (quantification of iron oxides, kaolinite and gibbsite); and magnetic and spectral analyzes. The study of the profiles and samples were divided according to three compartments of the landscape: concave-linear, concave and convex-concave. The soils were classified as typical Dystrophic Yellow Red Latosol (LVAd), typical Dystrophic Hapludotic Plinthsol (FXd), Psamytic Dystrophic Yellow Latosol (LAd), Argysolic Eutrophic Yellow Latosol (LVAe), Typical Eutrophic Red Latosol (CXvd) and Dystrophic Yellow Latosol psamítico (LAdp). Among the compartments analyzed, the one that presented the highest coefficient of variation was the compartment I, where the LVAe was found, with a higher fertility, and the concave-linear pedoform provided greater spatial variability, especially the clay fraction, demonstrating that the shape of the landscape conditions patterns variability. The granulometry presented low variation. However, the phosphorus (P) attribute was 3.26 to 5.16 mg dm⁻³ considered low and the sum of bases (SB) varied in the area from e 10.42 to 33.51 mmol_c dm⁻³ considered average, being expressed in spatial attribute maps.

Keywords: Geostatistics, Space dependence, Soil-landscape relationship

2.1 INTRODUÇÃO

Para o desenvolvimento de atividades agrícolas de maneira sustentável, o conhecimento sobre o solo é muito importante, pois é um recurso não renovável. Além disso, pode-se afirmar que, nos solos brasileiros, muitos minerais apresentam estruturas complexas e variadas, herdadas das distintas condições de metamorfismo, intemperismo e da diagênese a que foram sujeitos, durante o processo de formação (Carioca et al., 2011). Desse modo, desconsidera-se a ideia de que os solos são entidades independentes, ocorrendo em pontos específicos.

Mediante esse conhecimento interdisciplinar, considera-se que todas as partes da paisagem estão inter-relacionadas, proporcionando a integração de todos os atributos do solo (Daniels e Nelson, 1987), ou seja, o solo está diretamente relacionado a cinco fatores de formação: clima, organismos, material de origem, relevo e idade da superfície do terreno.

Segundo Serrat et al. (2002), os processos gerais de formação do solo são aqueles que produzem as modificações do sistema devido à atuação dos fatores de formação desse recurso natural. Consistem em adição, remoção (ou perda), transformação e translocação. No Brasil Central, grande parte da vegetação, original do Cerrado, foi substituída por pastagens e culturas anuais (Carvalho Filho et al., 1998). Na passagem de sistemas naturais para agrícolas, muitos atributos do solo são alterados, alguns dos quais, por estarem relacionados a processos do ecossistema e serem sensíveis a variações, indicam alterações na qualidade geral do sistema (Doran e Parkin, 1996).

Nesse contexto, o modelo de expansão agrícola, que tem sido praticado na região dos Cerrados maranhenses, objetiva aumento de produtividade e utiliza diversas práticas de mecanização, nas quais o solo é bastante prejudicado. Para planejamento e manejo adequado da terra, é necessário dar foco à distribuição, à gênese dos solos e a suas principais características (Sano et al., 2008), o que demanda conhecimento específico, tempo e dinheiro. A quantidade de informações detalhadas ainda é incipiente por conta do alto valor e pela necessidade de tempo requeridos nos levantamentos convencionais (McBratney et al., 2003).

A região sul do Estado do Maranhão é a detentora da maior produção de grãos

(soja e milho), com destaque para os municípios de Balsas – produzindo 291.297 toneladas –, Tasso Fragoso (181.358 t), São Raimundo das Mangabeiras (97.681 t), entre outros (Sagrima, 2016). Nesse contexto, o estudo e caracterização dos solos são importantes para o melhor desenvolvimento agrícola e escolha das melhores práticas de cultivo. A mineralogia é um dos atributos que exerce grande influência nas propriedades químicas e físicas dos solos, sendo muito importante para as práticas agrícolas.

Estudos que abrangem toda essa magnitude de atributos fornecem informações específicas e de extrema relevância acerca de várias ordens de solos, permitindo sistematizar informações mais precisas sobre suas propriedades. Com isso, é possível subsidiar o desenvolvimento de práticas de manejo e uso sustentável e recuperar áreas degradadas (Souza et al., 2010; Santos et al., 2013).

Para a ocorrência desses estudos, faz-se necessária a aplicação de instrumentos que auxiliem a compreensão da variabilidade espacial dos atributos do solo e sua relação com as diferentes variáveis envolvidas na relação solo-paisagem (Martín et al., 2005; Siqueira et al., 2010). Além disso, métodos que utilizam critérios quantitativos para reconhecer e determinar zonas com maior uniformidade desses atributos, são necessários no mapeamento a fim de entender o conceito do solo como um corpo natural da pedosfera (Hudson, 1992).

Para as análises laboratoriais dos atributos, temos que levar em consideração a paisagem, pois é um relevante agente abiótico de manejo dos processos pedogenéticos em proporção regional (Resende et al., 1997). As formas da paisagem monitoram a disposição de água e elementos solúveis, provocando junção desses insumos em regiões côncavas, discordância em zonas convexas e erosão e dispensa em áreas de forma linear, com aparecimento de declive (Huggett, 1975).

A aplicação do estudo da dependência espacial dos atributos do solo – tal como a conexão entre eles na paisagem – possibilita a compreensão das ligações de causa-efeito de suas variações e permite a divisão de áreas homogêneas no campo. Considerando a ampla expansão agrícola da região sul do Maranhão e a falta de estudos detalhados sobre solos, o presente trabalho teve, como objetivo, a caracterização e variabilidade dos atributos dos solos do semiárido sul-maranhense, município de São Raimundo das Mangabeiras.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização da área

O estudo foi realizado na área do Instituto Federal do Maranhão, Câmpus São Raimundo das Mangabeiras, $-07^{\circ} 1' 12''$ Sul e $-45^{\circ} 28' e 48''$ Oeste, com uma área de 317 hectares (ha) (Figura 1). O município apresenta o clima tropical (Aw) subúmido seco, segundo a classificação de Koppen, podendo ser caracterizado por duas estações bem definidas: o verão, que vai de novembro a abril – com precipitações frequentes, atingindo média de 170 mm ao mês –, e o inverno, mais seco, de maio a outubro. Neste, a temperatura oscila entre $20,8^{\circ}$ e $32,1^{\circ}$ (Correia Filho et al., 2011).

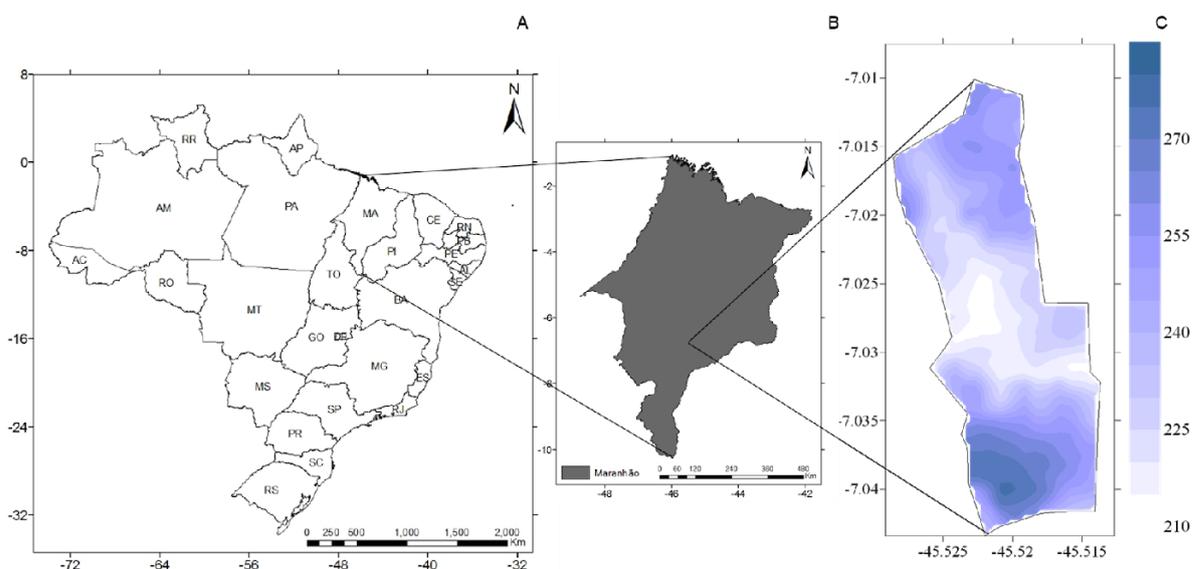


Figura 1. Localização da área de estudo, em relação ao Brasil (A), ao Estado do Maranhão (B), C – Modelo de elevação digital do Instituto Federal do Maranhão, área estudada.

O relevo de São Raimundo das Mangabeiras é caracterizado por planaltos, cuja altitude varia entre 200 e 500 m. Trata-se de um relevo formado por chapadões e depressões. O município está situado em um divisor de águas que segmenta as bacias do rio Parnaíba e do rio Itapecuru (Correia Filho et al., 2011). As depressões são constituídas por arenitos das formações Sambaíba, Pedra de fogo e Piauí (Correia Filho et al., 2011).

A maior parte do município apresenta, como vegetação, a savana arbórea

aberta e a savana densa. Nas áreas mais elevadas, observa-se o campo limpo, o campo sujo e o campo-cerrado (Correia Filho et al., 2011). A área em estudo era utilizada para uma pequena criação de gado com pastagem nativa, preservando, no entanto, a vegetação característica do cerrado. Atualmente, toda a área se encontra destinada a atividades de ensino, pesquisa e extensão, promovidas pela instituição. Além disso, em sua diversidade pedológica, encontram-se, predominantemente, LATOSSOLOS, ARGISSOLOS e PLINTOSSOLOS desenvolvidos de rochas sedimentares (Lepsch, 2002; Embrapa, 2018).

2.2.2 Planejamento amostral

Foram locadas e abertas 6 trincheiras para caracterização dos solos característicos Câmpus (Figura 2). As trincheiras foram abertas e especificadas, conforme o Manual de Descrição e Coleta de Solo em Campo (Santos et al., 2013). Além disso, foram recolhidas 94 amostras na camada de 0 – 0,20 m, para composição do grid.

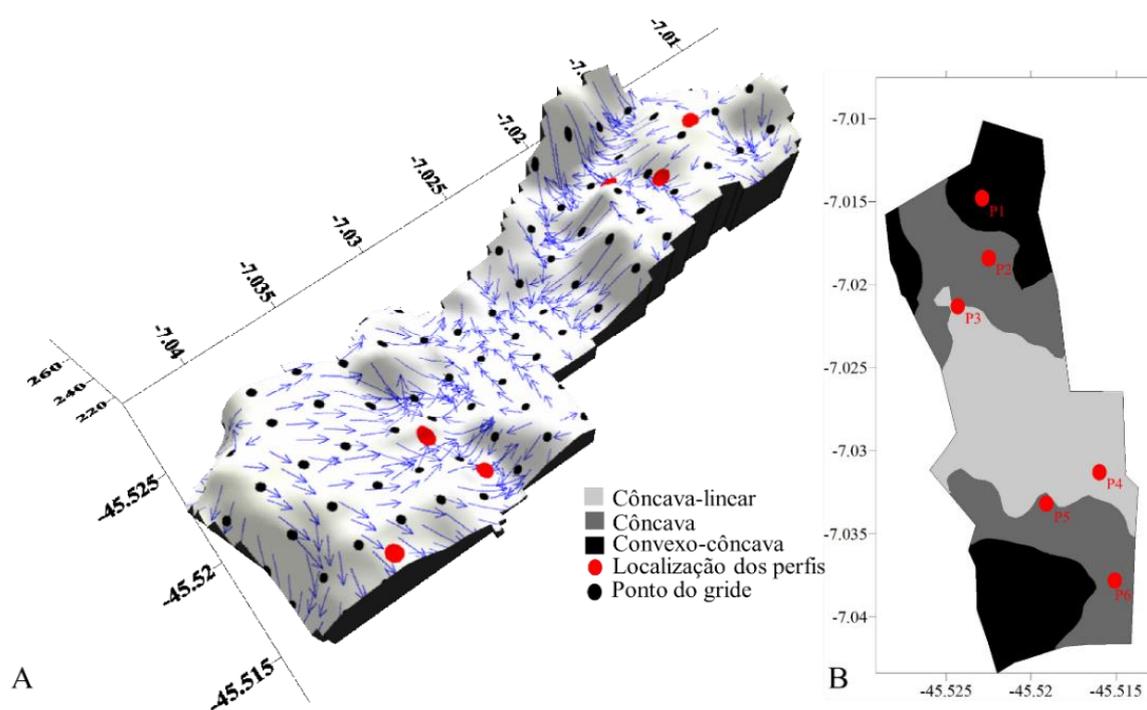


Figura 2. Modelo de elevação digital da área de estudo em 3D (A), e delimitação dos compartimentos (B).

Com o auxílio do modelo digital de elevação (Figura 2A), simulando o fluxo superficial de água e a experiência em campo, foi possível separar a área em diferentes compartimentos da paisagem, seguindo o modelo de Troeh (1965). Definiram-se três compartimentos: I – côncavo-linear; II – côncavo; III – convexo-côncavo (Figura 2B).

2.2.3 Análises granulométricas e químicas

As análises granulométricas foram feitas em 94 amostras do grid e perfis, pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de baixa rotação, por 16 horas, seguindo metodologia preconizada (Embrapa, 2011). O pH foi determinado potenciométricamente, utilizando-se relação 1:2,5 de solo: solução, sendo utilizados três extratores: água, KCl e CaCl₂. Cálcio, magnésio, potássio e o fósforo disponíveis foram extraídos pelo método da resina trocadora de íons (Raij et al., 2001). A acidez trocável (Al³⁺) foi determinada seguindo a metodologia de Raij e Zullo (1977) e o carbono orgânico segundo (Embrapa, 2011), transformado em matéria orgânica (MO) após multiplicação por 1,74.

Para facilitar o estudo da área deve-se analisar os atributos em profundidade, a partir dos perfis de solo. A Figura 2 ilustra a localização dos perfis, sendo que os perfis P3 e P4 estão no compartimento I; perfis P2, P5 e P6, no compartimento II; e P1 no compartimento III. De acordo com Ribeiro et al. (2012) as características morfológicas são a base para definição de qualquer corpo natural, correspondendo a anatomia e ao exame da constituição física do perfil de solo, pela descrição de propriedades, como cor, estrutura, consistência e outros.

O perfil 1 apresentou profundidade de 0 a 150 cm, o perfil 2 de 0 a 230 cm, enquanto que os perfis 3, 4, 5 e 6 apresentaram profundidades de 0 a 170 cm, com horizontes variando em média de 30 a 40 cm de espessura. Também foram observadas consistências semelhantes quanto a morfologia dos solos, diferindo dos em profundidade o que pode ser facilmente explicado em função da posição na paisagem. Além disso, foram detectadas a presença de cascalhos e mosqueados.

2.2.4 Análises mineralógicas

A determinação dos teores de ferro relativos à totalidade dos óxidos de ferro pedogenéticos extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato (Fed) seguiu a metodologia de Mehra e Jackson (1958), feitas em todas as amostras do grid e perfis. A determinação dos teores de ferro, extraídos por oxalato de amônio (Feo), relativos aos óxidos de ferro pedogenéticos de baixa cristalinidade, seguiu a metodologia citada por Camargo et al. (2009), adaptado de Schwertmann (1973).

A argila, para a análise de difratometria de raios x (DRX), foi separada da amostra de solo pelo método de centrifugação (Jackson, 1985), sendo realizadas apenas para os perfis. Os minerais da fração argila hematita (Hm), goethita (Gt), caulinita (Ct) e gibbsita (Gb) foram caracterizados por DRX, em lâminas confeccionadas com material sem orientação (em pó). A caracterização da Hm e da Gt ocorreu após o tratamento da fração argila com NaOH 5 mol L⁻¹ (1 g argila 100 mL solução) e, para a concentração dos mesmos, utilizou-se o método de Norrish e Taylor (1961), modificado por Kämpf e Schwertmann (1983). A razão Gt/(Gt + Hm) foi obtida, após o cálculo das áreas dos reflexos da hematita (012) e goethita (110), nos reflexos dos difratogramas e, nesse caso, a área do pico da Gt (110) foi multiplicada pelo valor 0,35, devido à intensidade de 35% da hematita (012) (Kämpf e Schwertmann, 1998).

Na caracterização da Ct e da Gb, a fração argila foi submetida à eliminação dos óxidos de ferro pelo método ditionito-citrato-bicarbonato (DCB), segundo Mehra e Jackson (1958), e peneirada em malha de 0,10 mm, para todos os perfis. A razão Caulinita/(Caulinita + Gibbsita) [Ct/(Ct + Gb)] foi calculada, empregando as áreas dos reflexos da Ct (001) e da Gb (002) dos difratogramas. O difratômetro utilizado foi o Mini-Flex II, da Rigaku. Usou-se cátodo de cobre com filtro de níquel e radiação α (20mA, 30Kv). A velocidade de varredura empregada foi de 1°2 θ /minuto, com amplitude de 23 a 49°2 θ , para a caracterização da Hm e Gt, e de 11 a 19°2 θ , para a caracterização da Ct e Gb.

Na classificação do solo, foram selecionadas as amostras dos horizontes A e B, com o intuito de determinar os teores de óxidos (SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃,) por ataque com ácido sulfúrico (Embrapa, 1997). Posteriormente, calcularam-se os índices ki e kr (Embrapa, 1997).

2.2.5 Análise da suscetibilidade magnética

A suscetibilidade magnética (SM) foi feita para todas as amostras do grid, determinada na terra fina seca ao ar (TFSA), em laboratório, utilizando equipamento Bartington MS2, acoplado ao sensor Bartington MS2B. Realizou-se avaliação em alta (SMhf) e baixa frequência (SMlf) (Dearing, 1994; Costa et al., 1999). A presença de minerais pedogenéticos será determinada a partir da diferença entre SM medida na baixa e alta frequência, sendo o resultado expresso em percentagem de variação da SM ($\chi_{FD}\%$) (Dearing, 1994), conforme a equação abaixo. Os valores da $\chi_{FD}\%$ foram classificados conforme Dearing (1994).

$$\chi_{FD}\% = \frac{SM_{lf} + SM_{hf}}{SM_{lf}} \times 100$$

Em que: $\chi_{FD}\%$ é a porcentagem da SM em dupla frequência; SMlf é a SM em baixa frequência; SMhf é a SM em alta frequência.

2.2.6 Análise da espectroscopia de reflectância difusa – ERD

Para a obtenção dos espectros de reflectância difusa das amostras do grid, foi moído, aproximadamente, 1 g de solo (TFSA), em almofariz de ágata, até se obter coloração constante. O conteúdo foi colocado em porta-amostras com espaço cilíndrico de 16 mm de diâmetro (Bahia et al., 2015). Os valores de reflectância foram determinados em espectrofotômetro Lambda 950 UV/Vis/NIR, acoplado a uma esfera integradora de 150 mm de diâmetro, feita para todas as amostras do grid. Os espectros, registrados em intervalos de 0,5 nm, com tempo de integração de 2,43 nm s⁻¹ ao longo do intervalo de 380 a 800 nm.

Após a obtenção dos espectros de reflectância das amostras de solo, determinaram-se os valores triestímulo XYZ, definidos pela Comisión Internacional de L'Eclairage (CIE) (Wyszecki e Stiles, 1982) e, a partir dessas coordenadas, foram deduzidos os valores de Munsell, referentes a matiz (H), croma (C) e valor (V), pelo programa Munsell Conversion, versão 6,4. Com base nestes, foram calculados os índices de avermelhamento (IAV) [(10-M) x (C/V)], conforme Torrent (1980).

$$IAV = [(10 - M) \times (C/V)] [(10 - M) \times (C/V)]$$

Em que: IAV é o índice de avermelhamento, M é a matiz, C é o croma e V é o valor.

2.2.7 Estatística descritiva

A estatística descritiva considerou os compartimentos I, II e III, cada um com 31, 31 e 32 pontos, respectivamente. Os dados foram submetidos à estatística descritiva, após finalização das análises laboratoriais, a fim de calcular a média, coeficiente de variância e desvio-padrão, para caracterização e diferenciação dos compartimentos.

2.2.8 Geoestatística: semivariograma simples

Para determinação da existência da dependência espacial, foram modelados semivariogramas simples. Observada a dependência espacial entre as amostras, definida pelo semivariograma, foram estimados valores nos quais a variável não foi medida, fazendo uso da krigagem, segundo Vieira et al. (2002). A confecção dos mapas para os atributos que mais se destacaram (Fed/Feo, SMI_f, χ FD%, IAV, Areia, Argila, SB e V%), com os valores obtidos da krigagem, realizou-se por meio do programa Surfer (1999).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.3.1 Caracterização de atributos por compartimentos

Observou-se uma pequena variação de média, desvio-padrão e coeficiente de variação, em relação aos atributos granulométricos (areia, silte e argila), teores de ferro, suscetibilidade magnética (SM) e índice de avermelhamento (IAV), conforme Tabela 1. As frações da areia tiveram, como maiores médias, a areia grossa (AG) e areia média (AM) no compartimento I, com valores de 0,35 e 2,94, respectivamente.

Já para a areia muito fina (AMF), percebeu-se a maior média no compartimento III. Diante dos valores do coeficiente de variação (CV) dos compartimentos, a variabilidade dos atributos do solo pode ser inferida segundo Warrick e Nielsen (1980), em que o CV é classificado como baixo ($\leq 12\%$), moderado ($12\% < CV < 24\%$) e alto ($CV \geq 24\%$). Assim, a fração areia apresentou média variabilidade espacial no compartimento I e baixa nos demais.

Tabela 1. Estatística descritiva para os atributos granulométricos, Fe, SM e IAV para a área de estudo.

	AREIA	SILTE	ARGILA	AG	AM	AF	AMF	Fe _o /Fe _d	SM _{lf}	SM _{hf}	χ FD	IAV
	-----g Kg ⁻¹ -----								---10 ⁻⁸ m ³ kg ⁻¹ ---		%	
COMPARTIMENTO I												
Méd.	826,94a ^{**}	86,48a	86,6a	0,35a	2,94a	3,25a	1,87b	0,43a	0,26a	0,24a	6,04b	2,1ab
DP	170,05	111,58	76,56	0,23	1,55	0,92	0,94	0,07	0,51	0,48	6,17	1,32
CV	20,56	129,02	88,4	66,45	52,61	28,26	50,53	15,19	194,19	196,42	102,16	62,78
COMPARTIMENTO II												
Méd.	807,88 ^a	137,6a	55,81a	0,26ab	2,13b	3,25a	2,32a	0,41a	0,20a	0,18a	10,63ab	1,58b
DP	99,09	81,79	43,41	0,12	0,72	0,4	0,6	0,05	0,24	0,23	8,73	0,91
CV	12,27	59,44	77,78	46,69	33,78	12,4	25,75	11,82	123,71	130,74	82,11	57,72
COMPARTIMENTO III												
Méd.	788,81 ^a	126,61a	84,58a	0,24b	1,75b	3,01a	2,65a	0,42 ^a	0,15 ^a	0,13 ^a	14,68a	2,52a
DP	77,5	68,48	58,09	0,09	0,57	0,54	0,46	0,06	0,11	0,1	13,45	1,45
CV	9,82	54,08	68,68	38,45	32,8	17,82	17,23	14,28	71,02	78,37	91,59	57,74

*AG – areia grossa; AM – areia média; AF – areia fina; AMF – areia muito fina; Fe_o/Fe_d – relação ferro extraído por oxalato de amônio e ferro extraído por ditionito de sódio; SM_{lf} – suscetibilidade magnética em baixa frequência; SM_{hf} – suscetibilidade magnética em alta frequência; χ FD% - variação da suscetibilidade magnética; IAV – índice de avermelhamento. ** Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

As frações silte e argila apresentaram alta variação no compartimento I. Isso refletiu na heterogeneidade pedomorfológica da área de estudo. Quanto à relação de Fe_o/Fe_d, a variabilidade nos compartimentos não diferiu significativamente, aumentando a homogeneidade dos compartimentos, o que se deve, provavelmente, aos processos de formação do campo e às diferentes feições da paisagem. A SM em baixa frequência, em alta frequência, sua variação e o índice de avermelhamento apresentaram uma alta variabilidade, com CV entre 57,72 a 196,42 %, demonstrando que todos os compartimentos apresentaram comportamento heterogêneo.

Em todos os compartimentos, os atributos químicos apresentaram alta variabilidade com CV entre 50,44 a 162,39%, com exceção do pH em CaCl₂ (Tabela

2). A elevada variabilidade desses atributos pode ser explicada pela forma dos compartimentos, uma vez que a diversidade da paisagem condiciona o carreamento das águas e sedimentos, promovendo a variação das propriedades do solo ao longo da variedade. Essas alterações influenciam o acúmulo de material orgânico, o movimento de água no solo, a compactação e a erosão hídrica (Novaes Filho et al., 2007).

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos químicos para a área de estudo.

	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂			mmol _c dm ⁻³				%
COMPARTIMENTO I										
Méd.	3,26a	16,23a	4,39a	1,83a	19,90a	11,77a	43,84a	33,51a	77,35a	44,02a
DP	1,73	8,18	0,68	1,96	21,14	14,65	71,19	34,77	79,12	20,57
CV	53,14	50,44	15,60	107,19	106,24	124,43	162,39	103,78	102,30	46,72
COMPARTIMENTO II										
Méd.	4,35a	19,55a	3,77b	0,78b	6,90b	3,29b	54,32a	10,97b	65,30a	18,12b
DP	4,44	9,55	0,36	0,70	6,42	2,85	38,11	9,34	41,21	11,50
CV	101,93	48,83	9,45	90,30	92,93	86,74	70,16	85,11	63,11	63,47
COMPARTIMENTO III										
Méd.	5,16a	15,94a	3,88b	0,54b	6,97b	2,91b	42,22a	10,42b	52,64a	19,69b
DP	4,61	6,78	0,67	0,49	9,00	2,84	18,32	10,90	20,09	18,65
CV	89,50	42,52	17,15	90,33	129,15	97,85	43,39	104,60	38,17	94,69

* Matéria orgânica – MO; H + Al – acidez trocável; Soma de bases – SB; Capacidade de troca de cátions – CTC; Saturação por bases – V%. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Sendo assim, o compartimento I possui característica de ambiente deposicional (côncavo-linear), o compartimento II possui características de ambiente de transição (côncavo) e o compartimento III possui características de ambiente erosional (côncavo-convexo), todos sofrendo influência nos processos de formação, sendo que o compartimento I recebe elementos por carreamento das áreas mais acima e do rio, próximo a ele. De acordo com Artur (2014) e Souza et al. (2011), as superfícies que compõem a paisagem exercem influência na exposição do material de origem, no sentido do fluxo da água no solo, na intensidade e ocorrência dos processos de erosão e lixiviação, alterando significativamente os atributos dos solos e a qualidade da área.

2.3.2 Caracterização dos perfis dos solos

Para facilitar o estudo da área, deve-se analisar os atributos em profundidade, a partir dos perfis de solo. A Figura 3 ilustra o corte longitudinal da área, com identificação da altitude e localização dos perfis, sendo que os perfis P3 e P4 estão no compartimento I, perfis P2, P5 e P6, no compartimento II, e P1, no compartimento III. De acordo com Ribeiro et al. (2012), as propriedades estruturais são a base em direção a definição de qualquer corpo natural, correspondendo à anatomia e ao exame da constituição física do perfil de solo, pela descrição de propriedades, como cor, estrutura, consistência e outros.

Os solos LVAd, FXd, CXvd e LAdp apresentaram semelhanças quanto à morfologia, diferindo dos solos CXvd e LVAe em profundidade, o que pode ser facilmente explicado em função da posição na paisagem. Além disso, nos solos CXvd e LVAe, observou-se um aumento característico do conteúdo de argila. No entanto, nos solos FXd e CXvd, constatou-se a presença de mosqueados e concreções de ferro. As diferenças morfológicas encontradas entre os solos LVAd, FXd, CXvd, LAdp e CXvd, LVAe provêm da deposição de sedimentos recentes nos solos, que se encontram no compartimento I. Isso ocorre por conta de sua posição na paisagem. O LVAd apresentou, ainda, características morfológicas (consistência solta, não pegajosa, não plástica, transição difusa e plana) semelhantes às do B latossólico, próprias dessa classe, como explica Oliveira (2008).

2.3.3 Atributos granulométricos dos solos

Uma característica importante do solo é a classe textural, porque varia pouco ao longo do tempo. A alteração ocorrerá, apenas, se houver mudança da composição do solo, devido à erosão seletiva e/ou a processos de intemperismo, que ocorrem em escala de séculos, há milênios (Reinert e Reichert, 2006). Nos perfis, observou-se elevado teor de areia, classificando todos os horizontes como arenosos, com exceção do horizonte B do LVAe, que apresentou características de um solo argiloso (Tabela 3). Comportamento similar foi observado por Anjos (2007). No LAdp, baixos teores de silte e argila. Essas características se apresentaram em todo o perfil amostral.

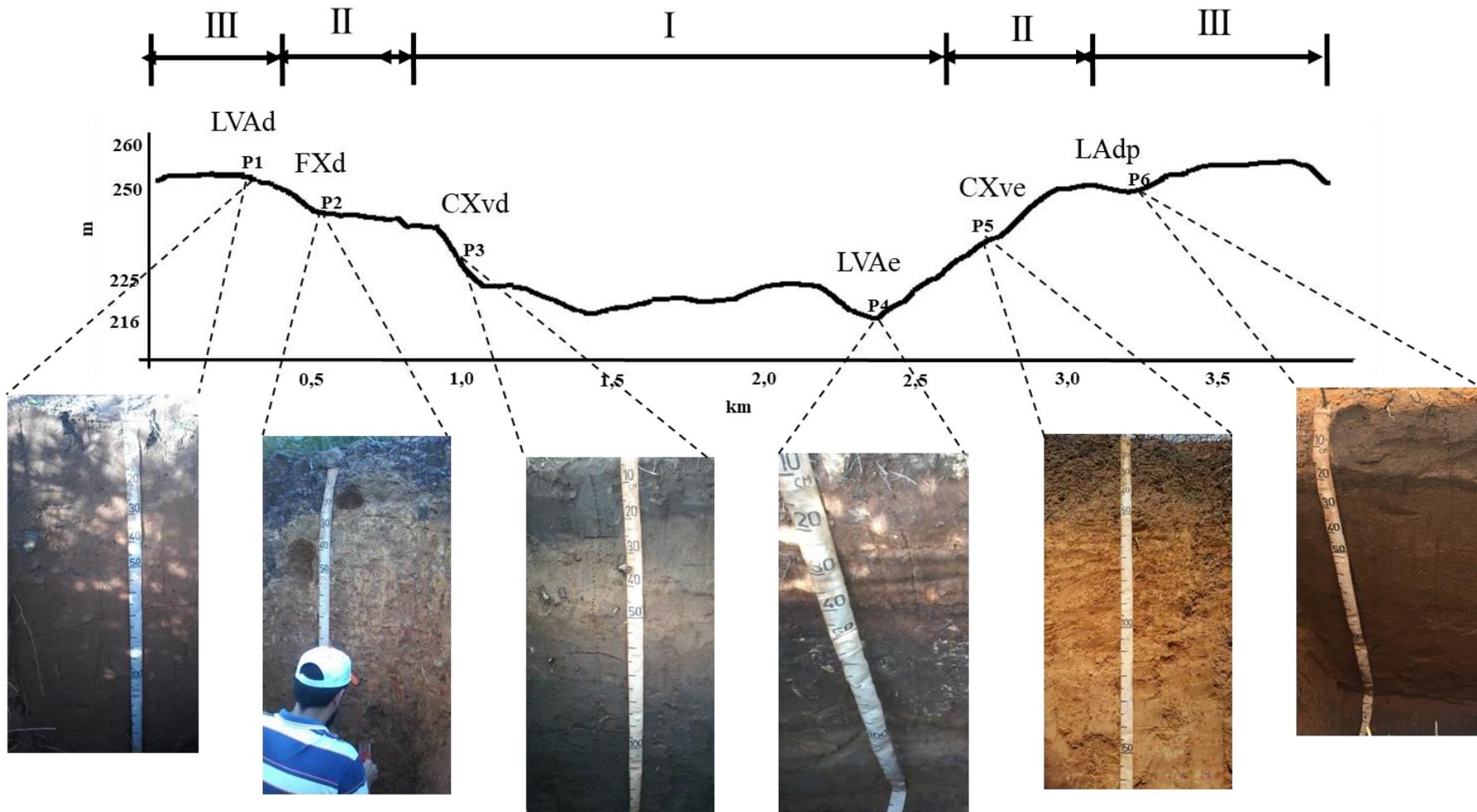


Figura 3. Corte longitudinal da área do IFMA, câmpus São Raimundo das Mangabeiras, com ilustração da elevação digital e localização dos perfis.

* LATOSSOLO VERMELHO Amarelo distrófico (LVAd), PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico (FXd), CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico (CXvd), LATOSSOLO VERMELHO Amarelo eutrófico (LVAe), CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (CXve) e LATOSSOLO AMARELO Distrófico psamítico (LAdp).

O CXvd possui textura média nos horizontes A e B, porém, sem incrementos de argila para caracterização de horizonte textural ou horizonte eluvial (Embrapa, 2018). A relação silte/argila foi variando de 1,70 a 3,27. O LVAe apresentou maior quantidade de argila no horizonte B e os teores de silte não ultrapassaram 42 g kg^{-1} , ao longo do perfil. Além disso, verificou-se uma mudança textural abrupta entre o horizonte A e B, na qual o teor de argila passou de $167,46$ para $576,44 \text{ g kg}^{-1}$. Constatou-se maior relação silte/argila no LVAe. Esses valores, por sua vez, são compatíveis com o processo de intemperismo do solo. Para os perfis e horizontes, fizeram-se análises granulométricas, classificando a areia em: areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF) e areia muito fina (AMF). Considerando o fracionamento da areia, concluiu-se que a areia fina (AF) é predominante na região de aplicação dos trabalhos. De acordo com Lima et al. (2015), esses dados resultam da influência direta da paisagem, interligados ao movimento de água na superfície, que provoca o movimento dessas partículas ao longo de toda área.

2.3.4 Atributos químicos dos solos

Observa-se um aumento da fertilidade dos pontos por compartimento do III para o I. Portanto, esses atributos também foram avaliados em cada perfil (Tabela 3). Os atributos químicos correspondem às quantidades de minerais que o solo apresenta, dando aspecto sobre a fertilidade dos perfis, cujos valores de pH foram muito baixos em CaCl_2 , variando de 3,5 a 4,3. Observou-se, ainda, constância em relação à acidez em profundidade.

Tabela 3. Descrição morfológica, análises granulométricas, químicas e ataque sulfúrico dos perfis estudados.

Hor.	prof. ⁽¹⁾ (m)	COR – ERD				Estrutura	Consistência	Transição	Granulometria (g Kg-1)				AG	AM	AF	AMF							
		Matiz	Valor	Croma	Cor				areia	silte	argila	s/a											
P 1	LVAd	A	0-0,35	6,07	4,95	5,09	bm, fm	cs, np, npe	di, pln	833,48	40,50	126,02	0,32	0,13	1,90	2,79	2,79						
		B	-1,70	8,56	6,94	2,27				770,74	42,50	186,76	0,23	0,21	1,79	2,57	2,87						
P 2	FXd	A	0-0,25	8,05	5,52	5,36	se	cs, np, npe	cl, on	688,55	223,50	87,95	2,54	0,28	1,89	2,27	2,15						
		B	-1,70	6,67	5,76	5,65				770,74	42,50	78,86	0,54	0,24	1,42	2,44	2,37						
P 3	CXvd	A	0-0,25	8,1	3,96	2,75	bp, fr	cs, np, npe	cl, on	824,64	96,50	96,20	1,00	0,36	2,89	2,83	2,13						
		B	-1,70	7,84	4,72	2,76				720,55	199,00	81,08	2,45	0,39	2,65	1,98	2,18						
P 4	LVAe	A	0-0,30	5,9	5,62	7,29	bp, fr	cs, np, npe	di, pln	790,54	42,00	167,46	0,25	0,44	3,78	3,09	1,20						
		B	-1,70	8,38	3,95	2,92				123,56	300,00	576,44	0,52	0,13	0,22	0,21	0,49						
P 5	CXve	A	0-0,50	5,87	4,99	5,24	bp, fo	cs, np, npe	cl, on	709,07	183,00	107,93	1,70	0,12	1,68	3,14	2,05						
		B	-2,30	5,19	5,37	6,3				471,82	404,50	123,68	3,27	0,17	1,44	1,54	1,27						
P 6	LAdp	A	0-0,29	8,15	4,43	3,37	bl, pe, fr	cs, np, npe	di, on	927,00	29,00	44,00	0,66	0,37	2,99	3,59	1,89						
		B	-1,50	7,33	5,31	4,93				773,70	134,50	91,80	1,47	0,35	1,92	2,86	2,25						
Hor	pH	MO	Ca	Mg	K	SB	H+Al	CTC	V	P	Fe _d	Fe _o	Fe _o /Fe _d	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃				
	CaCl ₂	KCl	H ₂ O	g kg ⁻¹	-----mmolc dm ⁻³ -----				%	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	Fe _d	g kg ⁻¹										
P 1	LVAd	A	3,60	2,00	3,40	8,00	2,00	1,00	0,10	3,10	25,00	28,10	11,00	1,00	0,70	0,30	0,40	150	305	15	0,84	0,81	20,33
		B	3,70	2,40	3,90	6,00	2,00	1,00	0,10	3,10	16,00	19,10	16,20	1,00	0,80	0,30	0,30	50	55	37	1,55	1,08	1,49
P 2	FXd	A	3,60	2,50	2,70	8,00	2,00	1,00	0,10	3,10	25,00	28,10	11,00	1,00	0,80	0,30	0,40	60	35	117	2,91	0,93	0,30
		B	3,70	1,90	2,90	6,00	2,00	1,00	0,10	3,10	16,00	19,10	16,20	1,00	0,80	0,40	0,40	150	130	114	1,96	1,26	1,14
P 3	CXve	A	3,50	1,90	2,70	15,00	2,00	1,00	0,10	3,10	80,00	83,10	3,70	1,00	0,60	0,30	0,50	60	40	20	2,55	1,92	2,00
		B	3,50	1,80	2,60	8,00	2,00	1,00	0,10	3,10	58,00	61,10	5,10	1,00	0,80	0,30	0,40	350	160	137	3,72	2,40	1,17
P 4	LVAe	A	4,30	2,30	3,50	7,00	17,00	24,00	1,60	42,60	16,00	58,60	72,70	2,00	0,70	0,30	0,40	350	140	37	4,25	3,63	3,78
		B	4,20	2,20	3,90	18,00	71,00	73,00	1,90	145,90	68,00	213,90	68,20	2,00	0,80	0,40	0,50	150	125	65	2,04	1,53	1,92
P 5	CXve	A	3,80	2,30	3,50	10,00	2,00	4,00	1,40	7,40	28,00	35,40	20,90	1,00	0,80	0,30	0,30	200	255	103	1,33	1,06	2,48
		B	3,90	2,00	3,90	6,00	1,00	9,00	1,10	11,10	34,00	45,10	62,91	1,00	1,10	0,30	0,30	200	130	65	2,62	1,98	2,00
P 6	LAdp	A	4,20	3,40	6,70	12,00	8,00	2,00	1,80	11,80	21,00	32,80	36,00	9,00	0,60	0,30	0,50	150	80	33	3,19	2,52	2,42
		B	3,50	2,90	5,50	6,00	4,00	1,00	0,10	5,10	24,00	29,10	17,50	3,00	2,90	0,30	0,10	50	105	49	0,81	0,62	2,14

*bl – blocos; bm – blocos médios; se – sem estrutura; bp – blocos pequenos; fo – fortes; fr – fracos; cs - consistência solta; np - não plástico, npe - não pegajoso; cd - consistência dura; pl - plástico; pe - pegajoso; di - difusa; co - contínua; on - ondulada; cl - clara; gr - grande; pln - plana; des - descontínua; li - linear; em – estrutura maciça; fm – força média, s/a – relação silte e argila; ag – areia grossa; am – areia média; af – areia fina; amf – areia muito fina, MO: Matéria orgânica; SB: Soma de bases; V%: Saturação por bases; Fe_o: Ferro oxalato; Fe_d: Ferro ditionito; CTC- capacidade de troca de cátions; Fe_o/Fe_d – relação entre ferro oxalato e ferro ditionito, LATOSSOLO VERMELHO amarelo distrófico (LVAd), PLINTOSSOLO HÁPLICO distrófico (FXd), CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Ditrófico típico (CXvd), LATOSSOLO VERMELHO amarelo eutrófico (LVAe), CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Ditrófico típico (CXvd) e LATOSSOLO AMARELO distrófico psamítico (LAdp).

É possível explicar o pH fortemente ácido, dos horizontes de FXd, LVAe, CXvd e LAdp, pela forma da vegetação sob mata. Esta possui grande quantidade de material orgânico que, ao sofrer os processos de degradação, libera inúmeros íons H^+ , que contribuem para a acidificação em superfície.

O LAdp, sob área que já foi agricultável, sofreu correções no solo. Isso justifica um aumento no valor de pH no primeiro horizonte. Ressalte-se que o pH do solo é um fator que influencia diretamente a presença de nutrientes, existindo uma faixa ótima próxima de 6,5, em que se percebe um equilíbrio entre a disponibilidade de todos os nutrientes (Malavolta, 1981). Ao longo do LAdp, ainda foi possível observar uma diminuição de MO, entre 12,0 e 5,0 $g\ kg^{-1}$ de solo, com menores níveis nos horizontes mais profundos. O LVAe sob mata foi o que apresentou maiores níveis de MO no horizonte B, evidenciando baixos valores nos demais. Os horizontes B, do CXvd e LAdp, apresentaram os menores teores de MO.

Observou-se que, em todos os horizontes superficiais dos CXvd, CXvd e LAdp, o teor de MO foi acima de 10 $g\ kg^{-1}$, sendo maiores do que 15 $g\ kg^{-1}$, no horizonte A do CXvd. Ao longo do LAdp, houve baixa disponibilidade de Ca, Mg e K, conferindo aos solos baixa CTC, SB e V%, sendo considerado um solo distrófico. O horizonte A apresentou maior disponibilidade de cátions e menor acidez. Esse fato, provavelmente, favorece a cultura arbórea, devido a seu sistema radicular profundo, quando implantada no sistema de integração.

Dentre todas as classes de solos encontrados, o LVAe apresentou a maior SB e V%, 145,90 $cmol_c\ dm^{-3}$ e 72,70%, respectivamente. Sua CTC também foi a maior dentre todos os horizontes analisados (213,90 $cmol_c\ dm^{-3}$). O CXvd mostrou valor mais alto de CTC dentre todos os horizontes A, demonstrando a influência da maior quantidade de MO. A SB do CXvd maior do que 3 $cmol_c\ dm^{-3}$ em todos os horizontes. Avaliando a variação espacial das propriedades químicas de um CXvd, Matias et al., (2015) também encontraram resultados semelhantes para SB, o que pode ser explicado em função da influência da paisagem.

A CTC também foi alta em todos os horizontes, chegando a 83,10 $cmol_c\ dm^{-3}$ e o valor da MO bastante elevado (15,00 $g\ kg^{-1}$). Em comparação aos outros horizontes superficiais, observa-se uma correlação positiva entre teor de MO e CTC, corroborando o estudo realizado por Souza et al. (2010), em área cultivada com cana-

de-açúcar. Dito de outro modo, demonstra que a CTC do solo é um parâmetro considerável, visto que está ligada à disponibilidade de bases no solo. Em solos com elevada acidez potencial, no entanto, deve-se atentar para o uso desse atributo.

A V% no LVAe ficou acima de 68 % nos horizontes, caracterizando um solo eutrófico, com excelente fertilidade. Os LVAd, FXd, CXvd e LAdp apresentaram valores de V% menores do que 50%, caracterizando-os como solo distrófico, com baixa fertilidade.

A disponibilidade de cargas do solo é uma de suas propriedades mais importantes, concentradas, em maior parte, na fração coloidal do solo. Todavia, para determinação de atividade da fração argila, a CTC do solo é considerada, apresentando, assim, a diferença de cargas entre os minerais de argila e MO (Oliveira, 2008), o que torna a CTC um dos grandes atributos indicadores da disponibilidade de cargas, que deve ser indicada com cuidados, por considerar os níveis de H+Al.

A CTC aponta em quais pontos do solo pode haver disponibilidade de nutrientes a serem absorvidos pelas plantas. Esses pontos (cargas) fixam os nutrientes de modo que não sejam lixiviados e possam ser absorvidos pelas plantas. Dessa forma, quanto maior a CTC, maior a disponibilidade de nutrientes às plantas (Lepsch, 2011). De acordo com Lepsch (2011), a CTC do solo pode se originar de quatro fontes: pela quantidade de argila dos solos, pela quantidade de húmus, pela atividade das argilas e pela acidez do solo.

Foi possível observar que o nível de P nos LVAd, FXd, CXvd e CXvd pode ser classificado como muito baixo, para espécies florestais, anuais, perenes e/ou hortaliças (Raij et al., 1997). Para o LAdp, os teores de P nos horizontes A e B foram, 9 mg dm^{-3} e 3 mg dm^{-3} , respectivamente. Essa diferença na disponibilidade de P, provavelmente, pode ser explicada pelo tipo de mineral predominante e pela quantidade de MO. De modo geral, a disponibilidade de P foi baixíssima para os LVAd, FXd, CXvd, LVAe e CXvd. Souza et al. (2010) afirmam que a maior parte de P está na forma não lábil, o que reduz sua disponibilidade e ocasiona as deficiências. A disponibilidade de P também está relacionada ao material de origem dos solos. Diante do exposto, os solos apresentaram baixos teores de P, o que consegue estar creditado aos baixos teores de argila mostrados pelos solos avaliados. Em todos os horizontes, o Ca^{2+} e Mg^{2+} foram os que mais contribuíram para o complexo de bases, sendo o

LVAe com os maiores valores de Ca e Mg, no horizonte B.

Apenas os LVAe, CXvd e LAdp apresentaram valores de K^+ maiores do que $1,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, nos horizontes superficiais. Os demais perfis apresentaram valores abaixo de $0,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Pereira et al. (2010) também observaram baixos valores de K^+ , ao estudarem Cambissolos e Latossolos desenvolvidos sob substrato de rochas pelíticas. Campos et al. (2006), Sanchez et al., (2009) e Siqueira et al. (2010) descrevem, em seus trabalhos, que a variabilidade dos atributos químicos do solo é reflexo de interações nos processos de sua formação, de práticas de manejo do solo e da cultura, com impacto, principalmente, nas camadas superficiais.

2.3.5 Atributos mineralógicos dos solos

O conteúdo dos óxidos de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 variaram de 50 a 350 g kg^{-1} , 35 a 305 g kg^{-1} e 15 a 135 g kg^{-1} , respectivamente (Tabela 3). A amplitude desses valores indica intensidades distintas de formação do solo, o que pode ser confirmado pelos valores de K_i , variando de 0,81 a 4,25 e K_r de 0,62 a 3,63. Essas diferenças nos teores de óxidos ocorrem em função da diversidade geomorfológica, isto é, a paisagem da região, consistente com outros estudos, que consideraram o fator condicionador dos minerais pedogênicos (Santos et al., 2010).

O conteúdo de óxidos de ferro dos LVAd, CXvd, LVAe e LAdp é classificado como hipoférrico ($< 80 \text{ g kg}^{-1}$), o CXvd, classificado como mesoférrico ($80 \text{ a } 180 \text{ g kg}^{-1}$) (Embrapa, 2018), a depender do horizonte avaliado. Apenas o CXvd classificado como mesoférrico obteve uniformidade no teor de Fe_2O_3 ($114 \text{ a } 117 \text{ g kg}^{-1}$), ao longo do perfil, o que resulta da presença de plintita, conforme constatado pelos mosqueados avermelhados e amarelados do solo. De modo geral, os baixos teores de óxidos de ferro refletem a natureza do material de origem do solo, arenito da Formação Sambaíba, Pedra de Fogo e Piauí (Embrapa, 2018).

Considerando o índice de intemperismo do solo (K_i e K_r), os valores revelam dominância de caulinita no sistema para os perfis LVAd, FXd, LVAe e LAdp, em virtude da dominância de SiO_2 , Al_2O_3 e menores de Fe_2O_3 . Constataram-se maiores valores de K_i nos CXvd e LVAe, situados nas áreas côncavas (baixadas), revelando menor intensidade de intemperismo que os demais perfis. Esses dados também foram

reportados por Canelas et al. (2000). Para os autores, na posição mais baixa da paisagem, a convergência de água e MO favorece o processo de resignificação dos minerais da fração argila, condicionando, portanto, valores mais elevados dos índices Ki e Kr. Baseado em tais índices, pode-se concluir que a caulinita e os oxi-hidróxidos de Fe Al são importantes constituintes da mineralogia da fração argila dos solos analisados (Tabela 3). Pelos valores de CTC da fração argila, os valores de Ki e os solos do semiárido, podemos considerar que para os CXve apresentam mineralogia 2:1.

Outro ponto importante diz respeito à posição dos perfis na paisagem. A ocorrência de CXvd e LVAe nas menores cotas da paisagem – em que predominam as condições mais redutoras, como umidade prolongada e acúmulo de MO – proporcionou a redução de Fe^{3+} a Fe^{2+} . Isso justifica os menores teores de óxidos de Fe encontrados.

Tal fato remete à influência da paisagem na formação desses óxidos, tornando-os importantes pedoindicadores ambientais (Kämpf e Curi, 2000), mesmo em ambientes com baixo teor de Fe_2O_3 , conforme Silva (2016). Essa característica permite a interpretação do estágio menos avançado de pedogênese dos solos em questão, cujo valores de elevados Ki e Kr ($> 0,75$) e a ausência de Gb são fortes indicadores de que os solos são essencialmente cauliniticos. Resultados semelhantes foram constatados em outros estudos (Santos et al., 2010; Hanke et al., 2015). Para os autores, a ausência de Gb está relacionada ao menor grau de intemperismo do solo. Aliado a isso, os valores elevados de Ki permitem a inferência de que grande parte do Al pode estar combinada com o Si na forma de Ct, processo denominado neoformação.

No LVAe, a proximidade com os mananciais, ou seja, condições de umidade prolongadas e acúmulo de MO, acarretou a redução de Fe^{3+} a Fe^{2+} , o que justifica os menores teores de óxidos de Fe encontrados, corroborando o ambiente de formação preferível da Gt, com acúmulo de MO e drenagem dificultada. Incremento no teor de Hm ocorreu nos perfis localizados no topo da paisagem, caracterizado pela boa drenagem interna do solo, ou seja, sob condições redutoras, ao contrário da Hm.

No CXvd, observou-se melhor disposição da área superficial da Ct nos horizontes. Mestdagh et al. (1980) afirma que as variações, observadas na área

superficial dos minerais Ct, ocorrem em função da disponibilidade de Fe na estrutura do mineral. Aliás, esse fenômeno pode ser observado nos FXd, CXvd, LVAe, CXvd e LAdp, indicando maior quantidade de Fe e, conseqüentemente, maior área superficial da Ct nesses horizontes.

Nas Figuras 4 e 5, observaram-se os difratogramas para Ct e Gb e óxidos de ferro, respectivamente. Quando se trata da fração de argila desferrificada, a Ct tem predomínio em todos os solos estudados. Embora haja semelhanças, o LVAd apresentou picos de menores intensidades, quando comparado aos demais perfis. O predomínio de minerais como a Ct, devido a sua formação estrutural, imprime ao solo maior adensamento, como pode ser observado nas discussões anteriores, segundo Gomes et al. (2004).

Para os óxidos de ferro, observa-se que os LVAe, CXvd e LAdp apresentaram os maiores picos para Gt (110) e Hm (012), enquanto os demais perfis apresentaram picos menos expressivos. Não foi possível observar diferenças numéricas entre cristalinidade e áreas dos picos. Apenas as intensidades e formas dos picos demonstram pequenas variações para a mineralogia dos solos estudados.

2.3.6 Variabilidade espacial

Com o intuito de caracterizar os atributos dos solos observados, bem como os preditos por ambas as técnicas indiretas, foram submetidos à análise geoestatística. O resultado mostrou que todos os atributos analisados apresentaram dependência espacial, expressa por meio dos ajustes dos variogramas (Vieira, 2000). Pode-se observar que os dados dos atributos estudados se ajustaram adequadamente aos modelos matemáticos esférico e exponencial (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros dos variogramas esféricos e exponenciais de melhor ajuste aos atributos do solo.

Atributos	Modelo	Co	Co + C ₁	GDE %	A (m)	R ²
Fed/Feo	Exponencial	0,0003	0,003	88,00	560,00	0,94
SM _f	Esférico	0,0075	0,015	50,00	1100,00	0,93
χFD%	Exponencial	0,0024	0,017	87,00	900,00	0,93
IAV	Esférico	0,7800	1,640	52,40	1400,00	0,96
AREIA	Exponencial	230,00	8538,00	97,00	1600,00	0,99
ARGILA	Exponencial	358,00	2,949,0	88,00	500,00	0,91
SB	Esférico	97,60	256,90	37,99	1482,00	0,99
V%	Esférico	156,70	438,70b	35,72	1434,00	0,95

*SM- suscetibilidade magnética; Co- efeito pepita; Co+C₁- patamar; GDE- grau de dependência espacial $[Co/(Co+C_1)] \times 100$; A- alcance; R²- coeficiente de determinação do modelo ajustado.

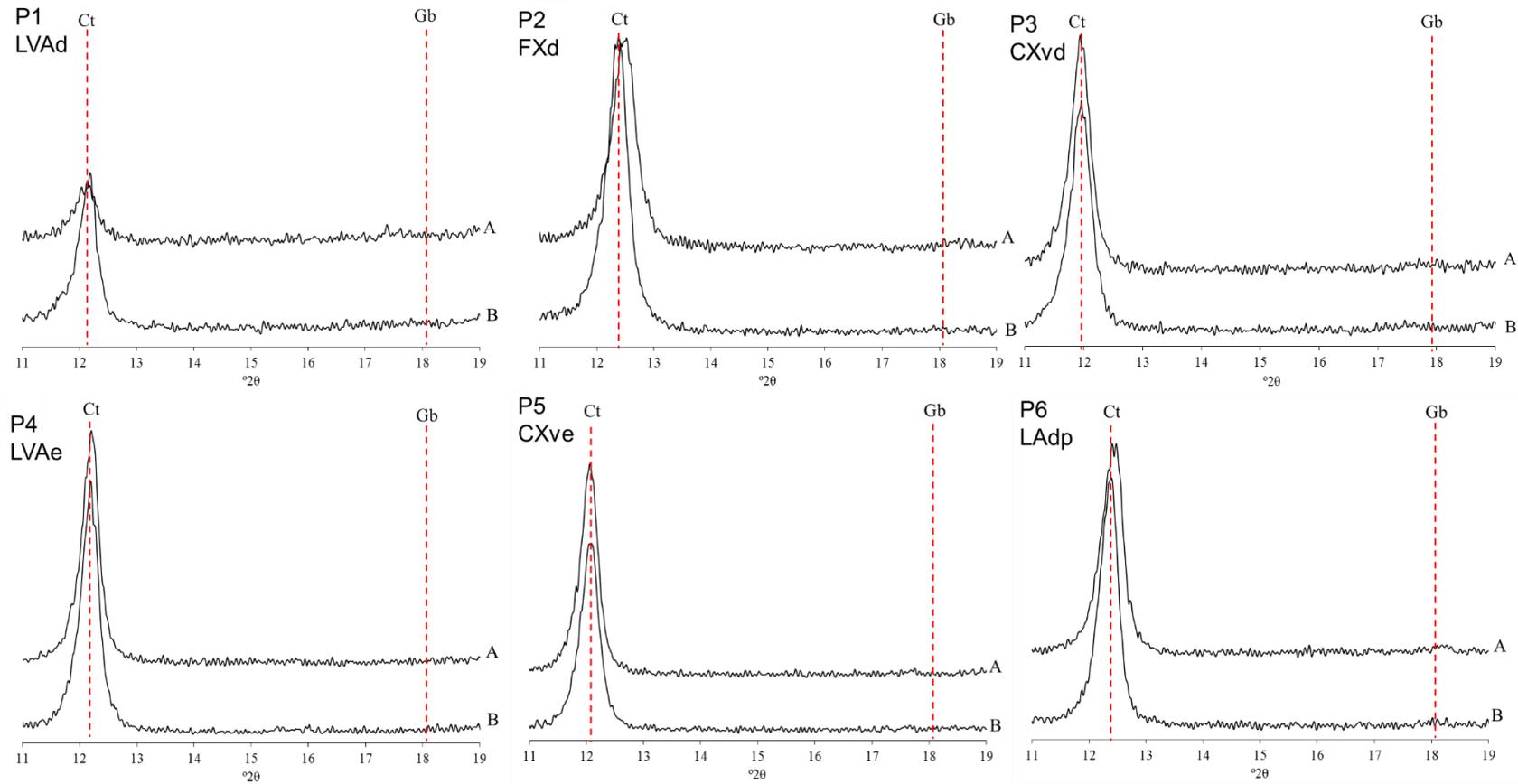


Figura 4. Difratogramas de raios-x da caulinita (Ct) e gibbsita (Gb) da fração argila.

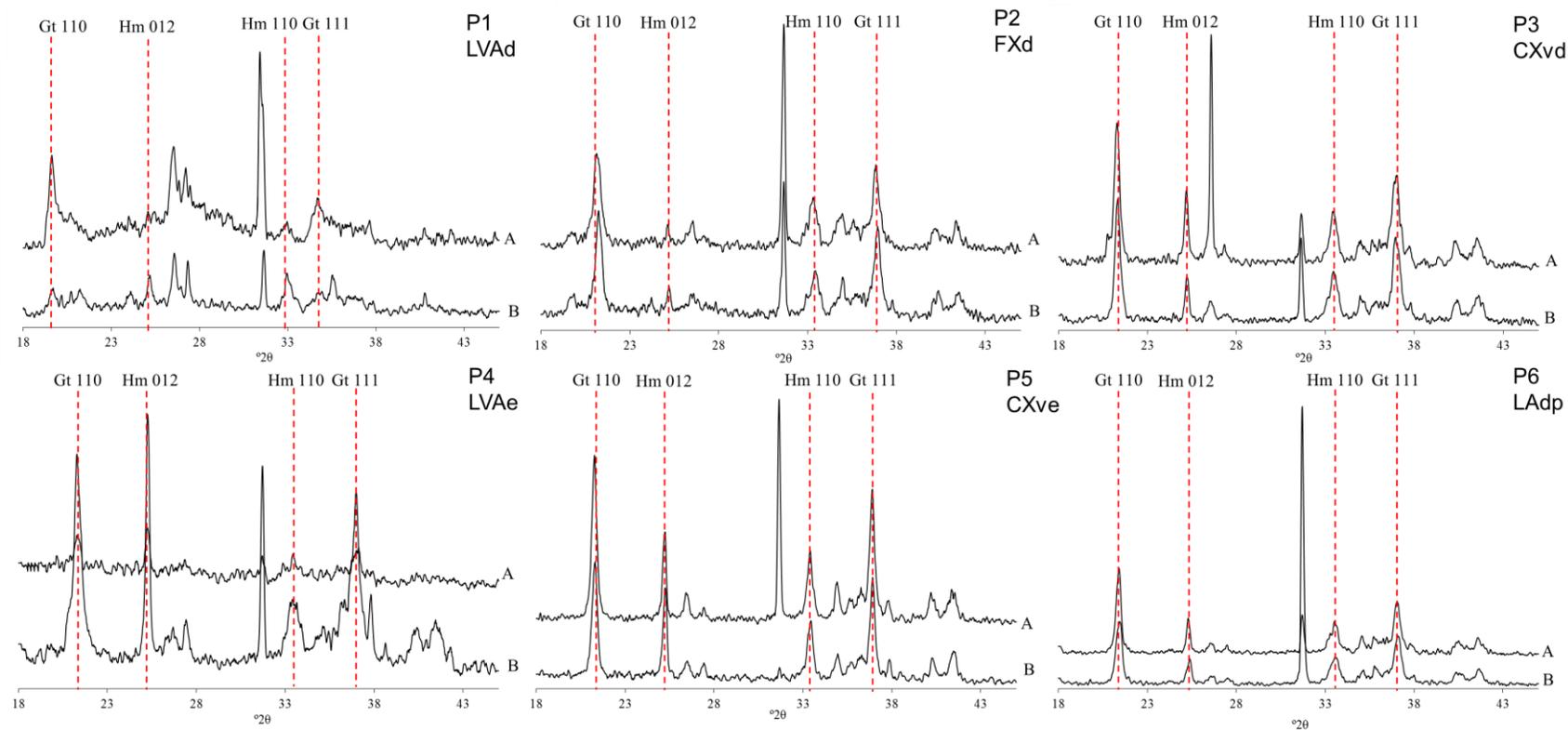


Figura 5. Difratoigramas de raios-x dos minerais de óxidos de ferro hematita (Hm) e Goethita (Gt).

Apesar do modelo esférico ser considerado, por muitos autores, como o que melhor se ajusta aos atributos do solo (Siqueira et al., 2008; Guedes Filho et al., 2010), para as variáveis analisadas, o modelo esférico foi ajustado para os atributos SMI_f, IAV, SB e V% e para os atributos Fed/Feo, χ FD%, Areia e Argila. O modelo exponencial foi o que apresentou melhor ajuste aos variogramas. O esférico se ajusta a características que mostram alterações abruptas por toda a paisagem (Cambardella et al., 1994; Vieira, 2000). Estas, por sua vez, podem apresentar-se relacionadas as variedades de substâncias de início (Rauch, 2011), relevo (Siqueira et al., 2010; Camargo et al., 2013) e solo (Montanari et al., 2012).

Todos os atributos apresentaram elevados coeficientes de determinação (R^2), acima de 0,91, indicando que 91% da variabilidade espacial é explicada pelos modelos ajustados. Observa-se forte influência da forma da paisagem na variação espacial as propriedades do solo, como pode ser visto na região de transição entre os materiais de origem, depósitos aluvionar e colúvio eluvionar (Figura 6). Outros trabalhos também relataram a influência da forma da paisagem nas propriedades físicas do solo (Bird et al., 2002; Le Bissonnais et al., 2002; Souza et al., 2004).

Essas observações são o primeiro indício de uma provável associação entre esses motivos e a descrição precisa da variedade espacial e a definição de unidades de mapeamento (Vidal-Torrado et al., 2005). Nenhum dos atributos apresentou grau de dependência espacial forte ($GDE \leq 25\%$) (Cambardella et al., 1994). No entanto, os atributos SMI_f, IAV SB e V% apresentaram GDE moderado ($25\% < GDE \leq 75\%$) e os atributos Fed/Feo, χ FD%, areia e argila, apresentaram baixo GDE ($GDE > 75\%$).

O maior valor de alcance foi encontrado para areia (1.600 m) e percebeu-se até então que os atributos analisados compreenderam alcances diversos, sendo o menor deles para argila (500 m). Nesse contexto, apresentaram alcances acima de 500 m, indicando a maior continuação do arranjo espacial das características. De acordo com Montanari et al. (2012), o alcance do variograma é usado tal como indicador da uniformidade do atributo analisado e pode, também, ser utilizado no planejamento amostral.

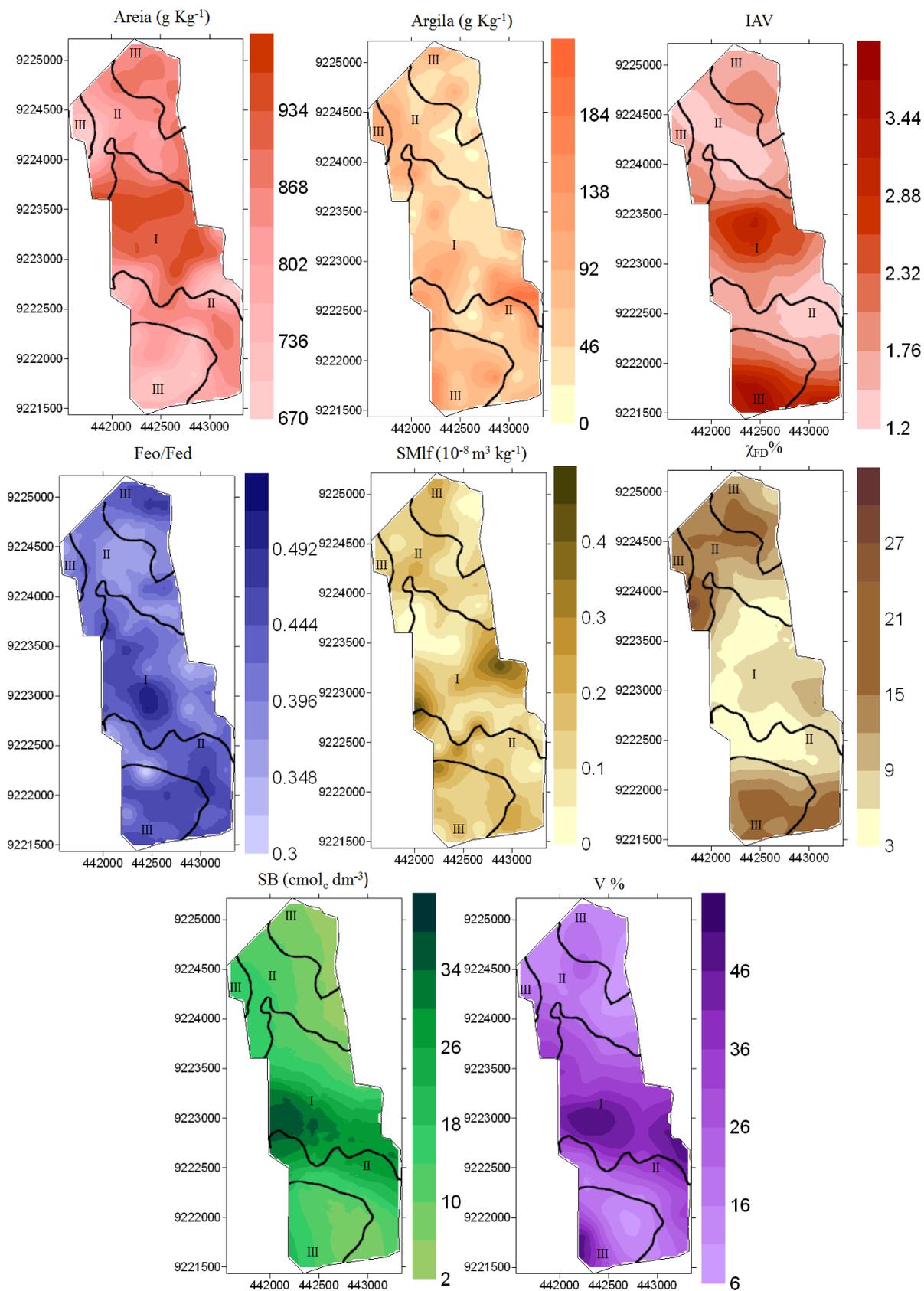


Figura 6. Mapas de distribuição espacial dos atributos do solo estudados.

De acordo com Cambardella et al. (1994), quanto mais forte a dependência espacial, maior será a possibilidade de se afirmar que uma variável é influenciada pelas propriedades intrínsecas do solo, como a densidade, porosidade e teor de água. Quanto aos atributos com dependência fraca, são mais influenciados por fatores extrínsecos ou externos, como o manejo do solo e o pisoteio animal. Os atributos que apresentaram um GDE moderado mostram que eles sofrem muito mais influências ocasionadas pela paisagem. A dependência existente entre os pontos de uma área estabelece a relação entre o intervalo e eles

Nesses locais, os maiores valores dos atributos granulométricos, principalmente o teor de argila, podem ser atribuídos ao arraste de partículas do solo das áreas convexas para as áreas côncavas (Troeh, 1965). Assim, o carreamento de partículas contendo, das cotas mais altas para as mais baixas do terreno, reflete na variabilidade dos óxidos de ferro e da SM, evidenciando a influência das formas da paisagem na variabilidade espacial dos atributos granulométricos e mineralógicos do solo (Souza et al., 2004).

Tabela 5. Sugestão de práticas de manejo para área em estudo.

Aptidão Agrícola		Condições agrícolas dos compartimentos para os níveis de manejo		
Compartimentos	Deficiência de Fertilidade	Suscetibilidade à erosão	Impedimento à mecanização	Indicação
I	maior média para SB, CTC, V%	área com menor suscetibilidade à erosão por ser mais plana	baixo impedimento (côncavo-linear)	Lavouras
II	menores médias caracterizando ambiente de baixa fertilidade	área com maior declividade mais suscetível à erosão	médio impedimento (côncavo)	*ILPF
III	menores médias caracterizando ambiente de baixa fertilidade	área com maior declividade mais suscetível à erosão	alto impedimento (convexo-côncavo)	área de preservação

*ILPF – Integração Lavoura Pecuária Floresta. Fonte: Quadro-guia adaptado de Ramalho Filho e Beek, 1995.

Tendo em vista que o IFMA, Câmpus São Raimundo das Mangabeiras, é uma instituição voltada para ensino, pesquisa e extensão, o estudo será de grande valia para a instituição, uma vez que serve de subsídio para futuras pesquisas que serão

desenvolvidas. Além disso, agora, com esses resultados, será possível realizar, de maneira precisa, a alocação das culturas, experimentos e área de preservação ambiental, levando em conta toda a variabilidade espacial dos atributos analisados neste estudo. Nesse contexto, o compartimento III poderia ser destinado a áreas de preservação, o compartimento II, para Integração lavoura pecuária floresta (ILPF) e o compartimento I, para cultivo de grandes culturas, conforme tabela 5.

2.4 CONCLUSÃO

A caracterização dos solos no contexto da paisagem permitiu conhecer a lógica de sua distribuição, o que está corroborado com a variabilidade de seus atributos.

Os solos, embora originados de materiais arenosos, foram classificados em diferentes ordens de LATOSSOLOS, dois CAMBISSOLOS e um PLINTOSSOLO. A posição da paisagem diferencia dois LATOSSOLOS dos demais, que estão em depósito colúvio-aluvionar. Os atributos estudados possuem dependência espacial, permitindo sua diferenciação na paisagem.

REFERÊNCIAS

Anjos LHC, Pereira MG, Pérez DV, Ramos DP (2007) Caracterização e classificação de Plintossolos no município de Pinheiro-MA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 31:1035-1044.

Artur AG, Oliveira DP, Costa MCG, Romer RE, Silva MVC, Ferreira TO (2014) Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 18:141-149.

Bahia ASRS, Marques Júnior J, Siqueira DS (2015) Procedures using diffuse reflectance spectroscopy for estimating hematite and goethite in Oxisols of São Paulo, Brazil. **Geoderma** 5:150-156.

Bird SB, Herrick JE, Wander MM, Wright SF (2002) Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. **Environmental Pollution** 116:445-455.

Camargo AO, Moniz AC, Jorge JA, Valadares JMAS (2009) Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do **Instituto Agrônomo de Campinas** 106:212. (Boletim Técnico, 106).

Camargo LA, Marques Júnior J, Pereira GT, Alleoni LRF (2013) Spatial correlation between the composition of the clay fraction and contents of available phosphorus of an Oxisol at hillslope scale. **Catena** 100:100-106.

Cambardella CA, Moorman TB, Parkin TB, Karlen DL, Novak JM, Turco RF (1994) Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal** 58.

Canellas LP, Berner PG, Silva SG, Silva MB, Santos GA (2000) Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 35:133-143.

Carioca AC, Ferreira CM (2011) Aplicação da espectroscopia de reflectância difusa na quantificação dos constituintes de bauxita e de minério de ferro. **Revista Escola de Minas** 64:199-204.

Carvalho Filho A (1998) A cobertura pedológica e as interações com as rochas, o relevo e a cobertura vegetal. In: Blancaneaux P (editor) **Interações ambientais no Cerrado**: microbacia piloto de Morrinhos, Estado de Goiás, Brasil. Brasília: Embrapa.

Correia Filho FL, Gomes ÉR, Nunes OO, Lopes Filho JB (2011) **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, Estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de São Raimundo das Mangabeiras. Teresina: CPRM.

Costa ACS, Bigham JM, Rhoton FE, Traina SJ (1999) Quantification and characterization of maghemite in soils derived from volcanic rocks in southern Brazil. **Clays and Clay Minerals** 47:466-473.

Daniels RB, Nelson L (1987) Future variability and productivity: Future developments. **Soil Science Society of America Journal** 1984:193-203.

Dearing JA (1994) Environmental magnetic susceptibility using the Bartington MS2 System. **Interpretation a Journal of Bible and Theology** 52.

Doran JW, Parkin TB (1996) Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. **Methods for Assessing Soil Quality** 49:25-37.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2011) **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa Solos, p. 230.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018) **Manual de Métodos de análise** de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa/Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212 p.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa.

Gomes JBV, Curi N, Schulze DG, Marques Júnior J, Ker GSM, Motta JC (2004) Mineralogia, morfologia e análise microscópica de solos do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 1:679-694.

Guedes Filho, FO, Vieira RS, Chiba MK, Nagumo CH, Dechen SCF (2010) Saptial and temporal var-iability of crop yield and Rhodic Hapluodox proper-ties underno-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 34:1-14.

Hanke D, Melo VFR, Dieckow J, Dick DP, Bognola I (2015) A. Influência da matéria orgânica no diâmetro médio de minerais da fração argila de solos desenvolvidos de basalto no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 39:1611-1622.

Hudson HD (1992) The soil survey as a paradigm-based science. **Soil Science Society of America Journal** 841:836-841.

Huggett RJ (1975) Soil landscape systems: A model of soil genesis. **Geoderma** 13.

Kämpf N, Curi N (2000) Óxidos de ferro: Indicadores de atributos e ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: Novais RF, Alvarez V, Schaefer CEGR (editores) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.107-138.

Kämpf, N, Schwertmann U (1998) Avaliação da estimativa de substituição de fe por al em hematitas de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 22:209-213.

Jackson ML (1985) **Soil chemical analysis**. 2. ed. Madison: Wiley, 930 p.

Le Bissonnais Y, Cros-Cayot S, Gascuel-Odoux C (2002) Topographic dependence of aggregate stability, overland flow and sediment transport. **Italian Journal of Agronomy** 3:77-78.

Lepsch IF (2002) **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de textos.

Lepsch IF (2011) **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos.

Lima FV, Silvino GS, Melo RSS, Lira EC, Ribeiro TS (2015) Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. **Revista Caatinga** 28:53–63.

Malavolta E (1981) **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 594 p.

Martín NF, Bollero G, Bullock DG (2005) Associations between field characteristics and soybean plant performance using canonical correlation analysis. **Plant and Soil** 273:39-55.

McBratney AB, Mendonça Santos ML, Minasny B (2003) On digital soil mapping. **Geoderma** 117.

Mehra OP, Jackson ML (1958) Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals** 7:317-327.

Mestdagh MM, Vielvoye L (1980) **Iron in kaolinite**: II. The relationship between and iron content. **Clay Minerals** 15:1-13.

Montanari R, Souza GSA, Pereira GT, Marques Júnior J, Siqueira DS, Siqueira GM (2012) The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture** 13:542-552.

Norrish K, Taylor RM (1961) The isomorphous replacement of iron by aluminium in soil goethites. **Journal of Soil of Science** 12:294-306.

Novaes Filho JP, Couto EG, Oliveira VA, Johnson MS, Lehmann J, Riha SS (2007) Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia meridional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 31:91-100.

Oliveira JB (2008) **Pedologia aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 592 p.

Pereira TTC, Ker JC, Shaefer EGR, Barros NF, Neves JCL, Almeida CC (2010) Gênese de Latossolos e Cambissolos desenvolvidos de rochas pelíticas do grupo Bambuí - Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 34:1283-1295.

Raij BV, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JÁ (2001) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 285 p.

Raij BV, Cantarella H, Quaggio JÁ, Furlani AMC (1997) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 285 p. (Boletim Técnico, 100).

Raij BV, Zullo MAT (1977) **Métodos de análise de solos**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. (Circular 63).

Rauch JN (2011) Global distributions of Fe, Al, Cu, and Zn contained in Earth's derma layers. **Journal of Geochemical Exploration** 110:193-201.

Reinert DJ, Reichert JM (2006) **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: UFSM, 18 p.

Resende M, Curi N, Rezende SB, Corrêa GF (1997) **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 2. ed. Viçosa: NEPUT, 367 p.

Ribeiro MR, Oliveira LB, Araújo Filho JC (2012) Caracterização morfológica do solo. In: Ker JC, Cur N, Schaefer CEGR, Vidal-Torrado P (editores) **Pedologia**: fundamentos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 81-146.

Sanchez RB, Marques Júnior J, Souza ZM, Pereira GT, Martins Filho MV (2009) Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia** 68:1095-1103.

Sagrima – Secretária de Agricultura do Maranhão (2016) **Perfil da agricultura maranhense**. São Luís: SEM, 18 p. (Boletim técnico).

Sano EE, Rosa R, Luís J, Brito S, Ferreira G (2008) Notas Científicas Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 43:153-156.

Santos RD, Lemos RC, Santos HG, Ker JC, Anjos LHC, Shimizu SH (2013) **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Santos AC, Pereira MG, Anjos LHC, Bernini TA, Cooper, M, Nummer AR, Francelino MR (201) Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros do médio vale do Paraíba do Sul, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 34:1297-1314.

Schwertmann U (1968) Use of oxalate for Fe extraction from soils. **Canadian Journal of Soil Science** 53:244-246

Serrat BM, Lima MR, Garcia CE, Fantin ER, Carnieri IMRSA, Pinto LS (2002) **Conhecendo o solo**. Setor de Ciências Agrárias. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba: UFPR.

Silva LS (2016) **Mineralogia da fração argila dos solos do Planalto Ocidental Paulista**. 83 f. Dissertação (Mestre em Agronomia Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Siqueira DS, Marques Júnior J, Matias SSR, Barrón V, Torrent J, Baffa O, Oliveira LC (2010) Correlation of properties of Brazilian Haplustalfs with magnetic susceptibility measurements. **Soil Use and Management** 26:425-431.

Siqueira GM, Vieira SR, Ceddia MB (2008) Variabilidade espacial de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Bragantia** 67:693-699.

Souza MD, Ligo MAV, Skorupa LA, Pires AMM, Filizola HF (2011) **Atributos físicos e químicos de área degradada tratada com lodo de esgoto**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 6 p. (Circular técnica, 21).

Souza ZM, Marques Júnior J, Pereira GT (2004) Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 28:937-944.

Souza ZM, Cerri DGP, Magalhães PSG, Siqueira DS (2010) Spatial variability of soil attributes and sugarcane yield in relation to topographic location. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 14:250-1256.

Surfer. **Software surfer**. 1999.

Troeh FR (1965) Landform equations fitted to contour maps. **Soil Science Society American Journal** 263:616-27.

Torrent J, Schwertmann U, Schulze DG (1980) Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. **Geoderma** 23:191=208.

Vidal-Torrado P, Lepsch IF, Castro SS (2005) Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos em Ciência do Solo**:145-192.

Vieira SR (2000) Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais RF, Alvarez VH, Schaefer GR (editores) **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, p. 1-54.

Vieira SR, Millete J, Topp GC, Reynolds WD (2002) Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: Alvares VVH, Schaeffer CEGR, Barros NF, Mello JWV, Costa LM (editores) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-45.

Warrick AW, Nielsen DR (1980) Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel D (editor) **Applications of soil physics**. New York: Academic, p. 319-344.

Wyszecki G, Stiles WS (1982) **Concepts and methods, quantitative data and formulae**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons.

APÊNDICES

APÊNDICE A

PERFIL 1 – LATOSSOLO VERMELHO Amarelo distrófico típico (LVAd)

Data – 20/04/17

Localização, município, estado e coordenadas – Instituto Federal do Maranhão (IFMA)
Campus São Raimundo das Mangabeiras, Fazenda escola. São Raimundo das Mangabeiras – MA, Brasil.

Cobertura vegetal – Área utilizada anteriormente para cultivo de milho, Fazenda de cima.

Litologia – Compõe-se de arenito com estratificação cruzada e de folhelhos e siltitos com estratificação incipiente.

Formação Geológica – Sambaíba, Pedra de Fogo e Piauí.

Pedregosidade – Não aparente.

Rochosidade – Não aparente.

Relevo local – Ondulado.

Vegetação Primária – Cerrado.

Descrição Morfológica

A – 0-35 cm, estrutura blocos médios, de força média, de consistência solta, não plástico e não pegajoso, transição difusa e plana.

A/B – 35-70 cm, estrutura blocos médios, de força média, de consistência solta, não plástico e não pegajoso, transição difusa e plana.

B1 – 70-170 cm, estrutura blocos médios, de força média, de consistência solta, não plástico e não pegajoso, transição difusa e plana.

Tabela 1A. Atributos químicos, físicos e mineralógicos do Perfil 1.

Hor	Prof	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	m	mmol _c dm ⁻³						%
A	0,0 - 0,35	0,10	2,00	1,00	25,00	3,10	28,10	11,03
AB	0,35 - 0,70	0,20	2,00	1,00	20,00	3,20	23,20	13,79
B	0,70 - 1,70	0,10	2,00	1,00	16,00	3,10	19,10	16,23
		P resina	MO	pH				
		mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	KCl	H ₂ O		
A		1,00	8,00	3,60	1,95	3,44		
AB		1,00	8,00	3,60	2,40	3,88		
B		1,00	6,00	3,70	-	-		
	AREIA	SILTE	ARGILA	AMG	AG	AM	AF	AMF
	g Kg ⁻¹							
A	833,48	40,50	126,02	0,01	0,13	1,90	2,79	2,79
AB	767,83	85,00	147,17	0,00	0,13	1,83	2,79	2,82
B	770,74	42,50	186,76	0,01	0,21	1,79	2,57	2,87
		Fed	Feo	Feo/Fed	SMlf	SMhf	χFD%	
		g kg ⁻¹			10 ⁻³ m ³ kg ⁻¹			
A		0,70	0,28	0,41	0,00	0,00	0,00	
AB		0,79	0,30	0,39	0,00	0,00	0,00	
B		0,81	0,28	0,34	0,00	0,00	0,00	
	Matiz	Valor	Croma	IAV	COR	LMA_CT	LMA_GB	Ct/Ct+Gb
A	6,07	4,95	5,09	4,04		0,25	0,00	1,00
AB	5,29	5,21	6,08	5,50		0,22	0,00	1,00
B	8,56	6,94	2,27	0,47		0,19	0,00	1,00
	LMA				Gt/Gt+Hm	Gt	Hm	
	Gt 110	Gt 111	Hm 110	Hm 012	g kg ⁻¹			
A	0,15	0,28	0,38	0,17	0,18	1,18	4,87	
AB	0,17	0,32	0,23	0,06	0,76	5,82	1,67	
B	0,24	0,32	0,14	0,25	0,77	6,57	1,78	

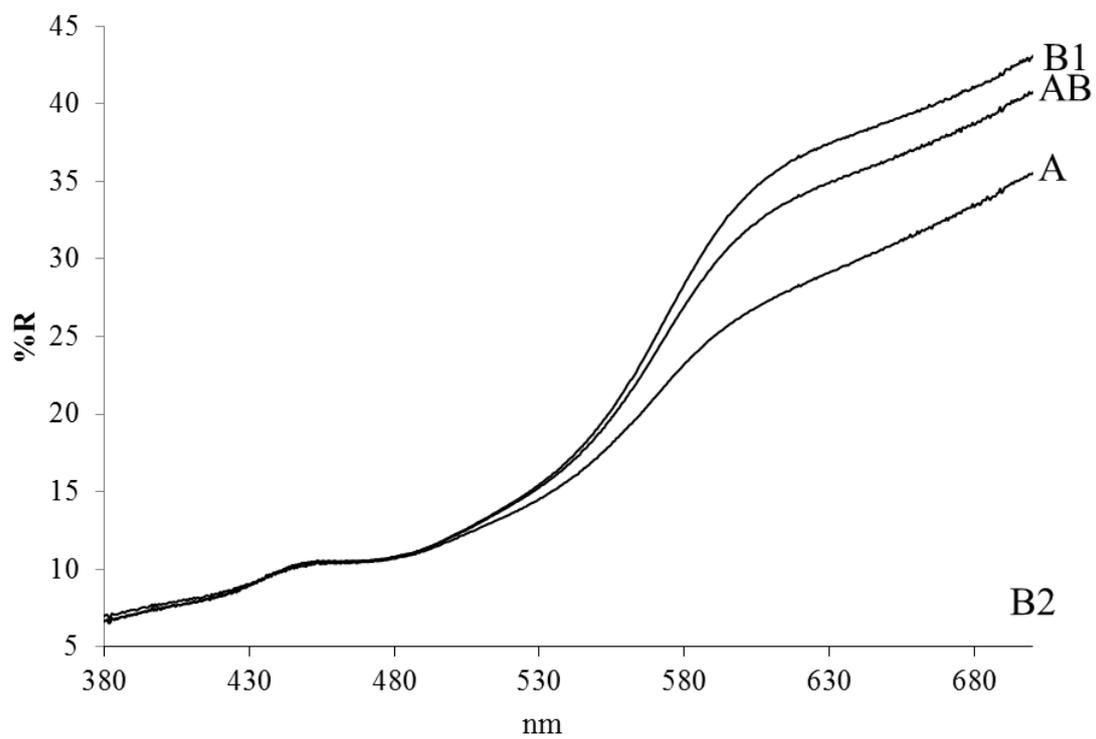


Figura 1A. Curvas espectrais para o Perfil 1.

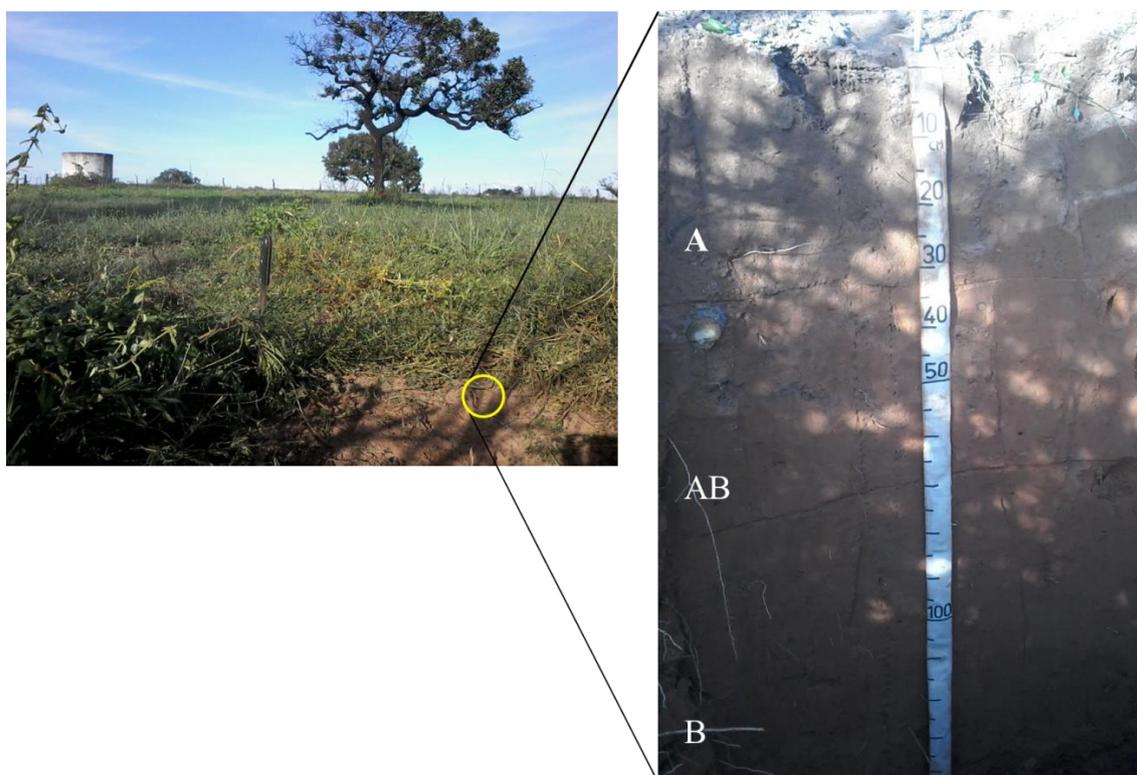


Figura 2A. Localização do Perfil 1.

APÊNDICE B

PERFIL 2 – PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico (FXd)

Data – 20/04/17

Localização, município, estado e coordenadas – Instituto Federal do Maranhão (IFMA)
Campus São Raimundo das Mangabeiras, Fazenda escola. São Raimundo das
Mangabeiras – MA, Brasil.

Cobertura vegetal – Vegetação natural, Fazenda de cima.

Elevação –

Litologia – Compõe-se de arenito com estratificação cruzada e de folhelhos e siltitos
com estratificação incipiente.

Formação Geológica – Sambaíba, Pedra de Fogo e Piauí.

Pedregosidade – Muito pedregosa

Rochosidade – Rochosa

Relevo local – Ondulado

Vegetação Primária – Cerrado

Descrição Morfológica

A – 0-25 cm, sem estrutura, consistência solta, não plástico e não pegajoso, transição
clara e ondulada. Presença de muitos cascalhos e rochas de até 10 cm de diâmetro,
perfazendo mais de 30% do horizonte.

A/B – 25-70 cm, estrutura blocos médios, de força média, de consistência solta, não
plástico e não pegajoso, transição difusa e plana. Mosqueados amarelos, brancos e
vermelhos, que ocupam cerca de 30% do horizonte, com diâmetro entre 5 – 15 mm.

B1 – 70-170 cm, estrutura maciça, de consistência dura, não plástico e não pegajoso,
transição difusa e plana. Mosqueados amarelos, brancos e vermelhos, que ocupam
cerca de 20% do horizonte, com diâmetro entre 10 – 15 mm.

Tabela 1B. Atributos químicos, granulométricos e mineralógicos do Perfil 2.

Hor	Prof	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	m	mmol _c dm ⁻³						%
A	0,0 - 0,25	0,10	2,00	1,00	25,00	3,10	28,10	11,03
AB	0,25 - 0,70	0,20	2,00	1,00	20,00	3,20	23,20	13,79
B	0,70 - 1,70	0,10	2,00	1,00	16,00	3,10	19,10	16,23
		P resina	MO	pH				
		mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	KCl	H ₂ O		
A		1,00	8,00	3,60	2,45	2,66		
AB		1,00	8,00	3,60	-	-		
B		1,00	6,00	3,70	1,88	2,88		
	AREIA	SILTE	ARGILA	AMG	AG	AM	AF	AMF
	g Kg ⁻¹							
A	688,55	223,50	87,95	0,00	0,28	1,89	2,27	2,15
AB	668,27	180,00	151,73	0,00	0,25	1,55	2,34	2,35
B	678,07	188,60	133,33	0,00	0,24	1,42	2,44	2,37
	Fed	Feo	Feo/Fed	SMlf	SMhf	χFD%		
	g kg ⁻¹			10 ⁻³ m ³ kg ⁻¹				
A		0,78	0,29	0,37	0,04	0,03	25,00	
AB		0,72	0,28	0,39	0,02	0,01	50,00	
B		0,83	0,36	0,43	0,00	0,00	0,00	
	Matiz	Valor	Croma	IAV	COR	LMA_CT	LMA_GB	Ct/Ct+Gb
A	8,05	5,52	5,36	1,89		0,20	0,00	1,00
AB	7,47	5,52	5,60	2,57		0,23	0,00	1,00
B	6,67	5,76	5,65	3,27		0,22	0,00	1,00
	LMA				Gt/Gt+Hm	Gt	Hm	
	Gt 110	Gt 111	Hm 110	Hm 012	g kg ⁻¹			
A	0,18	0,15	0,19	0,15	0,87	6,74	0,92	
AB	0,24	0,24	0,31	0,21	0,80	5,62	1,25	
B	0,20	0,23	0,13	0,20	0,63	4,74	2,53	

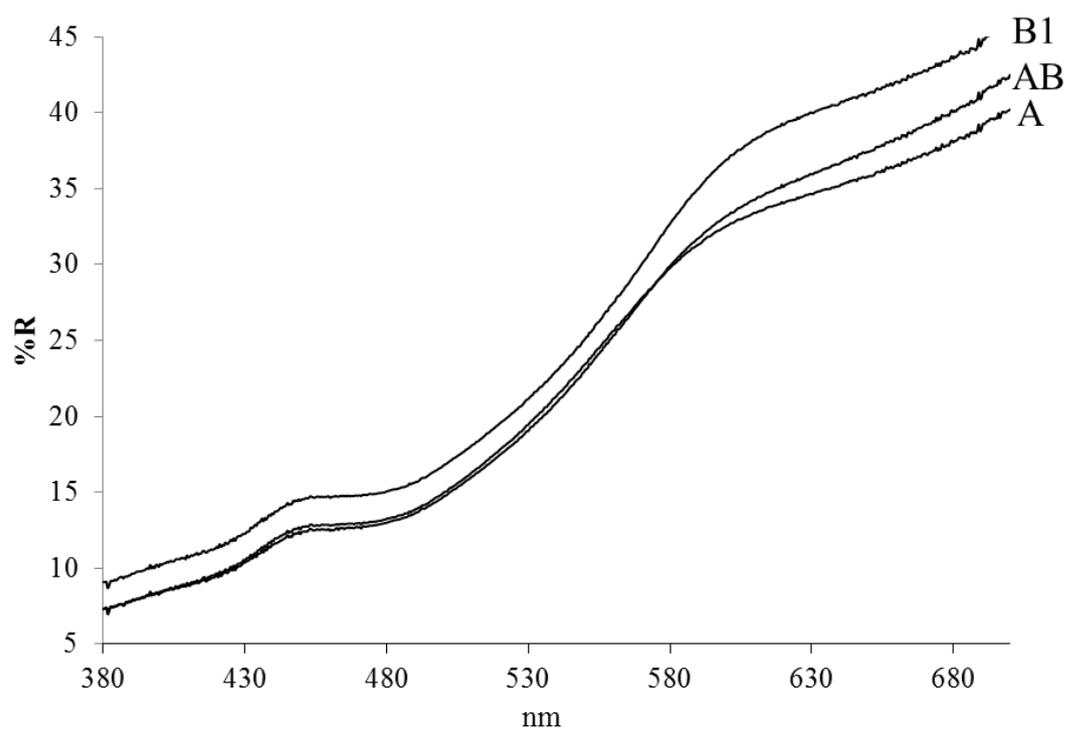


Figura 1B. Curvas espectrais para o Perfil 2.

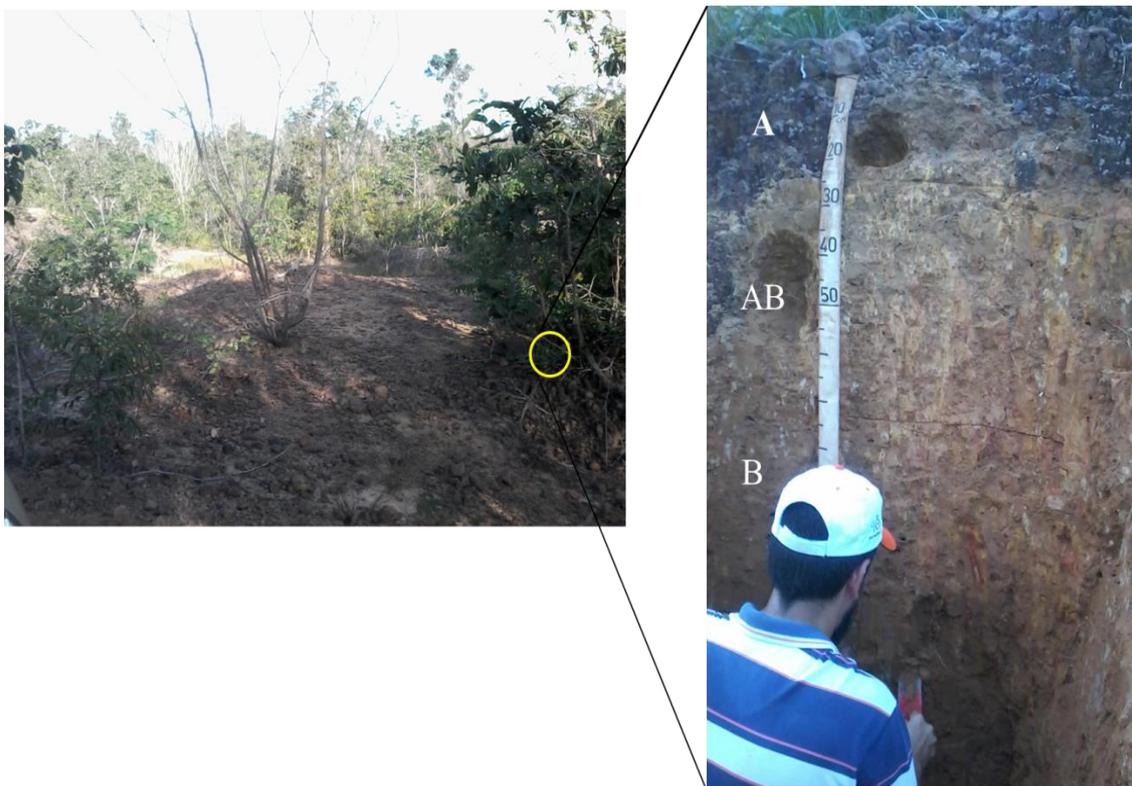


Figura 2B. Localização do Perfil 2.

APÊNDICE C

PERFIL 3 – CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico típico (CXvd)

Data – 20/04/17

Localização, município, estado e coordenadas – Instituto Federal do Maranhão (IFMA)
Campus São Raimundo das Mangabeiras, Fazenda escola. São Raimundo das
Mangabeiras – MA, Brasil.

Cobertura vegetal – Vegetação natural, Fazenda de cima.

Litologia – Compõe-se de arenito com estratificação cruzada e de folhelhos e siltitos
com estratificação incipiente.

Formação Geológica – Sambaíba, Pedra de Fogo e Piauí.

Pedregosidade – Não aparente

Rochosidade – Não aparente

Relevo local – Ondulado

Vegetação Primária – Cerrado

Descrição Morfológica

A – 0-25 cm, estrutura blocos pequenos e fracos, de consistência solta, não plástico
e não pegajoso, transição clara e ondulada.

A/B – 25-65 cm, estrutura blocos pequenos e fracos, de consistência solta, não
plástico e não pegajoso, transição clara e ondulada.

B/A – 65-95 cm, estrutura blocos pequenos e fortes, de consistência dura, plástico e
pegajoso, transição clara e ondulada. (Aumento característico no conteúdo de argila).

B1 – 95-170 cm, estrutura blocos pequenos e fortes, de consistência dura, plástico e
pegajoso, transição clara e ondulada. Presença de mosqueados vermelhos (Aumento
característico no conteúdo de argila).

Tabela 1C. Atributos químicos, granulométricos e mineralógicos do Perfil 3.

Hor	Prof	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V		
	m	mmol _c dm ⁻³						%		
A	0,0 - 0,25	0,10	2,00	1,00	80,00	3,10	83,10	3,73		
AB	0,25 - 0,65	0,10	2,00	1,00	18,00	3,10	21,10	14,69		
BA	0,65 - 0,95	0,10	2,00	1,00	58,00	3,10	61,10	5,07		
B	0,95 - 1,70	0,10	2,00	1,00	52,00	3,10	55,10	5,63		
		P resina	MO	pH						
		mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	KCl	H ₂ O				
A		1,00	15,00	3,50	1,90	2,65				
AB		1,00	5,00	3,70	-	-				
BA		1,00	8,00	3,50	1,82	2,62				
B		1,00	7,00	3,50	-	-				
		AREIA	SILTE	ARGILA	AMG	AG	AM	AF	AMF	
		g Kg ⁻¹								
A		824,64	96,50	96,20	0,03	0,36	2,89	2,83	2,13	
AB		902,00	18,00	80,00	0,03	0,51	4,09	2,99	1,50	
BA		720,55	199,00	81,08	0,00	0,39	2,65	1,98	2,18	
B		710,42	208,50	82,09	0,00	0,43	2,39	2,06	2,13	
		Fed	Feo	Feo/Fed	SMlf	SMhf	χFD%			
		g kg ⁻¹			10 ⁻³ m ³ kg ⁻¹					
A		0,63	0,33	0,52	0,04	0,03	25,00			
AB		0,79	0,29	0,36	0,00	0,00	0,00			
BA		0,80	0,33	0,41	0,00	0,00	0,00			
B		0,65	0,33	0,50	0,00	0,00	0,00			
		Matiz	Valor	Croma	IAV	COR	LMA_CT	LMA_GB	Ct/Ct+Gb	
A		8,10	3,96	2,75	1,32		0,18	0,00	1,00	
AB		8,27	5,05	3,39	1,16		0,25	0,00	1,00	
BA		7,84	4,72	2,76	1,26		0,22	0,00	1,00	
B		7,64	4,65	2,59	1,31		0,22	0,00	1,00	
		LMA				Gt/Gt+Hm	Gt	Hm		
		Gt 110	Gt 111	Hm 110	Hm 012	g kg ⁻¹				
A		0,16	0,19	0,19	0,16	0,65	3,12	1,50		
AB		0,05	0,16	0,15	0,07	0,48	3,85	3,75		
BA		0,35	0,38	0,60	0,19	0,35	2,63	4,43		
B		0,34	0,37	0,43	0,27	0,47	2,41	2,47		

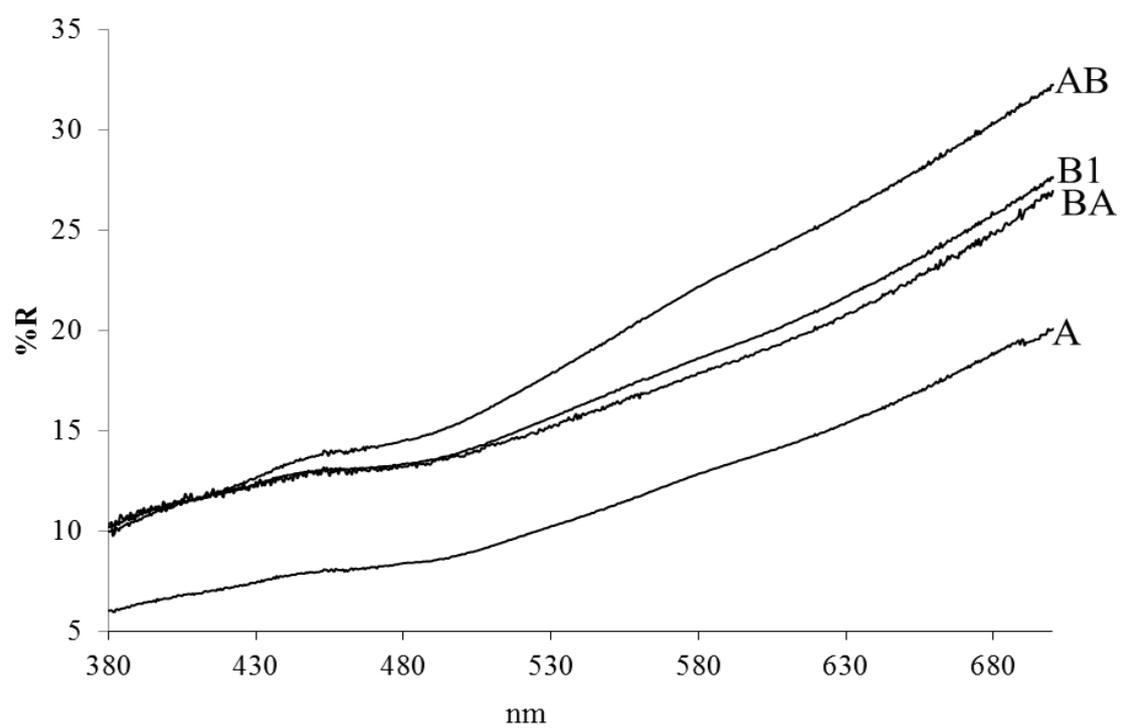


Figura 1C. Curvas espectrais para o Perfil 3.

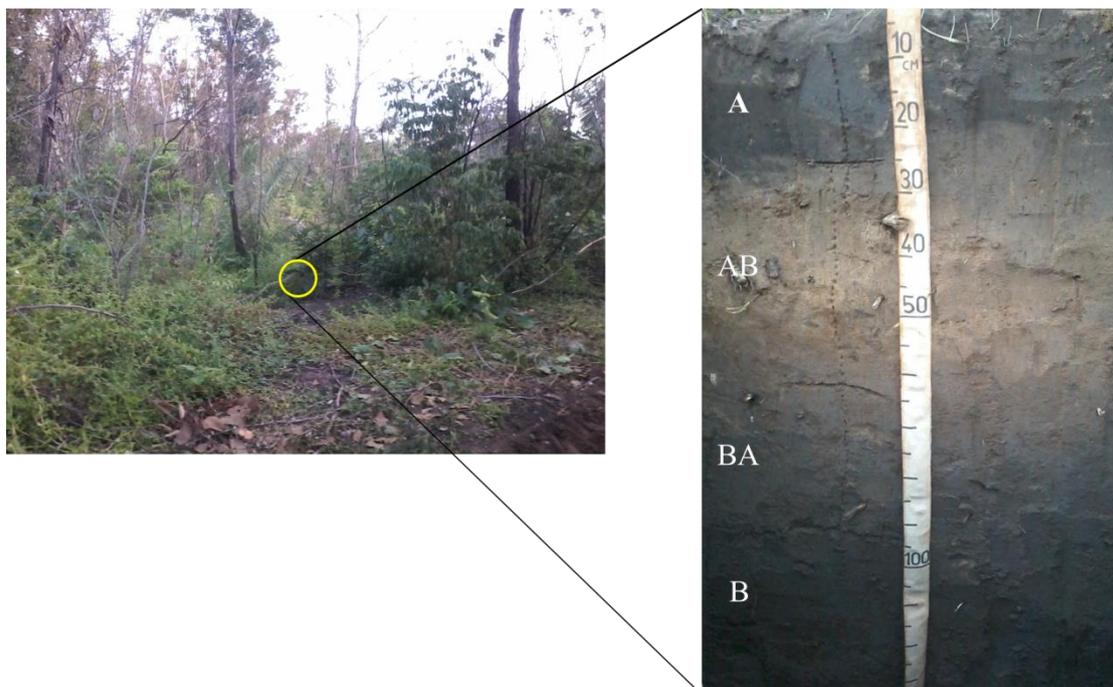


Figura 2C. Localização do Perfil 3.

APÊNDICE D

PERFIL 4 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico argissólico (LVAe)

Data – 20/04/17

Localização, município, estado e coordenadas – Instituto Federal do Maranhão (IFMA)
Campus São Raimundo das Mangabeiras, Fazenda escola. São Raimundo das Mangabeiras – MA, Brasil.

Cobertura vegetal – Sob vegetação natural (próximo ao rio)

Litologia – Compõe-se de arenito com estratificação cruzada e de folhelhos e siltitos com estratificação incipiente.

Formação Geológica – Sambaíba, Pedra de Fogo e Piauí.

Pedregosidade – Não aparente

Rochosidade – Não aparente

Relevo local – Ondulado

Vegetação Primária – Cerrado

Descrição Morfológica

A – 0-30 cm, estrutura blocos pequenos e fracos, de consistência solta, não plástico e não pegajoso, transição difusa e plana.

A/B – 30-45 cm, estrutura blocos pequenos e fracos, de consistência solta, não plástico e não pegajoso, transição gradual e descontínuo. Horizonte descontínuo com presença de características morfológicas do horizonte A e do horizonte B.

B1 – 45-100 cm, estrutura blocos pequenos e fortes, de consistência dura, plástico e pegajoso, transição clara e linear. (Aumento característico no conteúdo de argila).

B2 – 100-170 cm, estrutura blocos pequenos e fracos, de consistência solta, não plástico e não pegajoso, transição clara e linear.

Tabela 1D. Atributos químicos, granulométricos e mineralógicos do Perfil 4.

Hor	Prof	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V		
	m	mmol _c dm ⁻³						%		
A	0,0 - 0,30	1,60	17,00	24,00	16,00	42,60	58,60	72,70		
AB	0,30 - 0,45	0,80	17,00	26,00	20,00	43,80	63,80	68,65		
B1	0,45 - 1,00	1,90	71,00	73,00	68,00	145,90	213,90	68,21		
B2	1,00 - 1,70	0,30	4,00	5,00	10,00	9,30	19,30	48,19		
		P resina	MO	pH						
		Mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	KCl	H ₂ O				
A		2,00	7,00	4,30	2,34	3,49				
AB		1,00	7,00	4,10	-	-				
B1		2,00	18,00	4,20	2,19	3,88				
B2		1,00	4,00	4,30	-	-				
		AREIA	SILTE	ARGILA	AMG	AG	AM	AF	AMF	
g Kg ⁻¹										
A	790,54	42,00	167,46	0,02	0,44	3,78	3,09	1,20		
AB	800,20	183,00	16,80	0,00	0,58	3,81	2,72	1,24		
B1	123,56	300,00	576,44	0,02	0,13	0,22	0,21	0,49		
B2	948,95	49,50	1,55	0,04	0,05	0,31	5,39	3,73		
		Fed	Feo	Feo/Fed	SMlf	SMhf	χFD%			
		g kg ⁻¹			10 ⁻³ m ³ kg ⁻¹					
A		0,69	0,28	0,40	0,00	0,00	0,00			
AB		0,72	0,29	0,40	0,00	0,00	0,00			
B1		0,81	0,40	0,49	0,06	0,03	50,00			
B2		0,58	0,28	0,48	0,00	0,00	0,00			
		Matiz	Valor	Croma	IAV	COR	LMA_CT	LMA_GB	Ct/Ct+Gb	
A	5,9	5,62	7,29	5,60		0,29	0	1		
AB	5,35	4,35	4,51	4,82		0,28	0	1		
B1	8,38	3,95	2,92	1,19		0,24	0	1		
B2	8,93	5,80	2,12	0,39		0,20	0	1		
		LMA				Gt/Gt+Hm	Gt	Hm		
		Gt 110	Gt 111	Hm 110	Hm 012	g kg ⁻¹				
A		0,34	0,52	0,34	0,47	0,27	1,80	4,33		
AB		0,32	0,32	0,35	0,33	0,46	3,15	3,31		
B1		0,83	0,67	0,57	0,81	0,58	3,82	2,51		
B2		0,06	0,86	0,28	0,19	0,29	1,37	3,06		

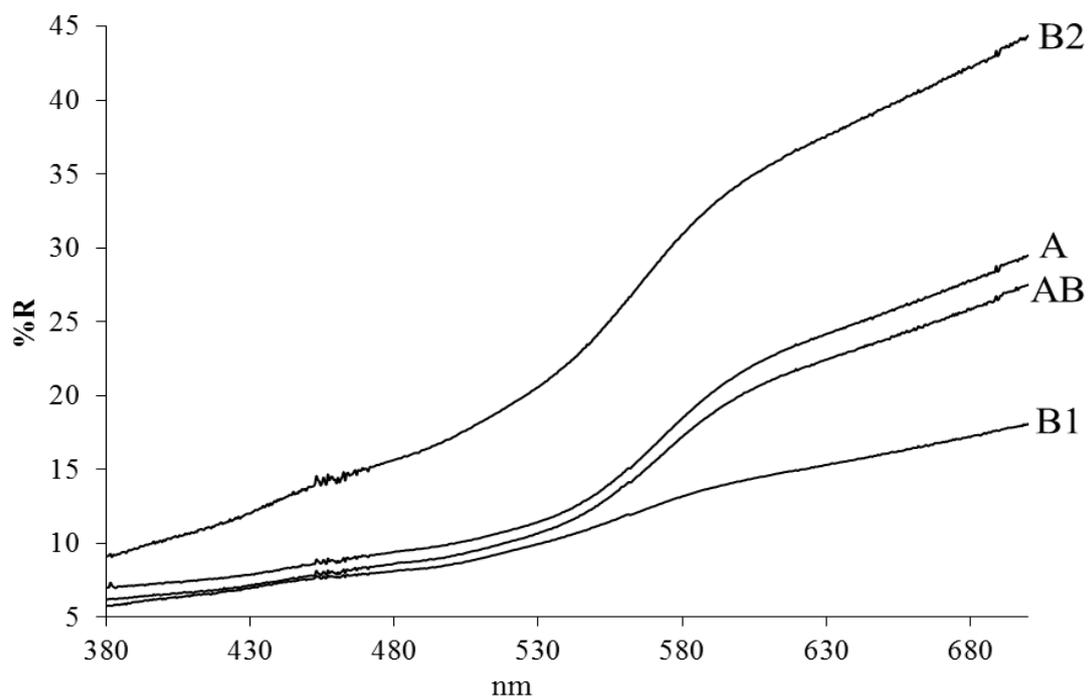


Figura 1D. Curvas espectrais para o Perfil 4.



Figura 2D. Localização do Perfil 4.

APÊNDICE E

PERFIL 5 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (CXve)

Data – 20/04/17

Localização, município, estado e coordenadas – Instituto Federal do Maranhão (IFMA)
Campus São Raimundo das Mangabeiras, Fazenda escola. São Raimundo das
Mangabeiras – MA, Brasil.

Cobertura vegetal – Sob vegetação natural

Litologia – Compõe-se de arenito com estratificação cruzada e de folhelhos e siltitos
com estratificação incipiente.

Formação Geológica – Sambaíba, Pedra de Fogo e Piauí.

Pedregosidade – Muito pedregosa

Rochosidade – Rochosa

Relevo local – Ondulado

Vegetação Primária – Cerrado

Descrição Morfológica

A – 0-50 cm, estrutura blocos pequenos e fortes, de consistência solta, não plástico e
não pegajoso, transição clara e ondulada. Presença de muitos cascalhos, e
concreções de ferro que perfazem cerca de 20 % do horizonte, com tamanho médio
de 05-15 mm.

B1 – 50-120 cm, estrutura maciça, de consistência solta, não plástico e não pegajoso,
transição gradual e ondulada. Presença de concreções de ferro, distintas, perfazendo
cerca de 15 % do horizonte, com tamanho pequeno a médio.

B2 – 120-230 cm, estrutura maciça, de consistência solta, não plástico e não pegajoso,
transição difusa e contínua. Presença de concreções de ferro e mosqueados
amarelados, distintos, perfazendo cerca de 15 % dos horizontes, de tamanho médio
a grande.

Tabela 1E. Atributos químicos, granulométricos e mineralógicos do Perfil 5.

Hor	Prof	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	m	mmol _c dm ⁻³						%
A	0,0 - 0,50	1,40	2,00	4,00	28,00	7,40	35,40	20,90
B1	0,50 - 1,20	1,10	1,00	9,00	34,00	11,10	45,10	24,61
B2	1,20 - 2,30	1,40	16,00	25,00	25,00	42,40	67,40	62,91
	P resina	MO	pH					
	Mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	KCL	H ₂ O			
A	1,00	10,00	3,80	2,30	3,49			
B1	1,00	6,00	3,90	-	-			
B2	1,00	4,00	3,90	1,95	3,88			
	AREIA	SILTE	ARGILA	AMG	AG	AM	AF	AMF
g Kg ⁻¹								
A	709,07	183,00	107,93	0,07	0,12	1,68	3,14	2,05
B1	471,82	404,50	123,68	0,04	0,17	1,44	1,54	1,27
B2	592,08	255,50	152,42	0,05	0,16	2,36	1,92	1,27
	Fed	Feo	Feo/Fed	SMlf	SMhf	χFD%		
g kg ⁻¹			10 ⁻³ m ³ kg ⁻¹					
A	0,85	0,28	0,33	0,07	0,06	14,29		
B1	1,06	0,28	0,27	0,10	0,06	40,00		
B2	0,78	0,28	0,36	0,00	0,00	0,00		
	Matiz	Valor	Croma	IAV	COR	LMA_CT	LMA_GB	CT/CT+GB
A	5,87	4,99	5,24	4,34		0,31	0,00	1,00
B1	5,19	5,37	6,30	5,64		0,25	0,00	1,00
B2	5,80	5,53	6,19	4,70		0,27	0,00	1,00
LMA				Gt/Gt+Hm		Gt	Hm	
	Gt 110	Gt 111	Hm 110	Hm 012	g kg ⁻¹			
A	0,30	0,35	0,33	0,30	0,71	6,44		
B1	0,27	0,31	0,31	0,28	0,53	6,53		
B2	0,24	0,30	0,29	0,37	0,70	5,60		

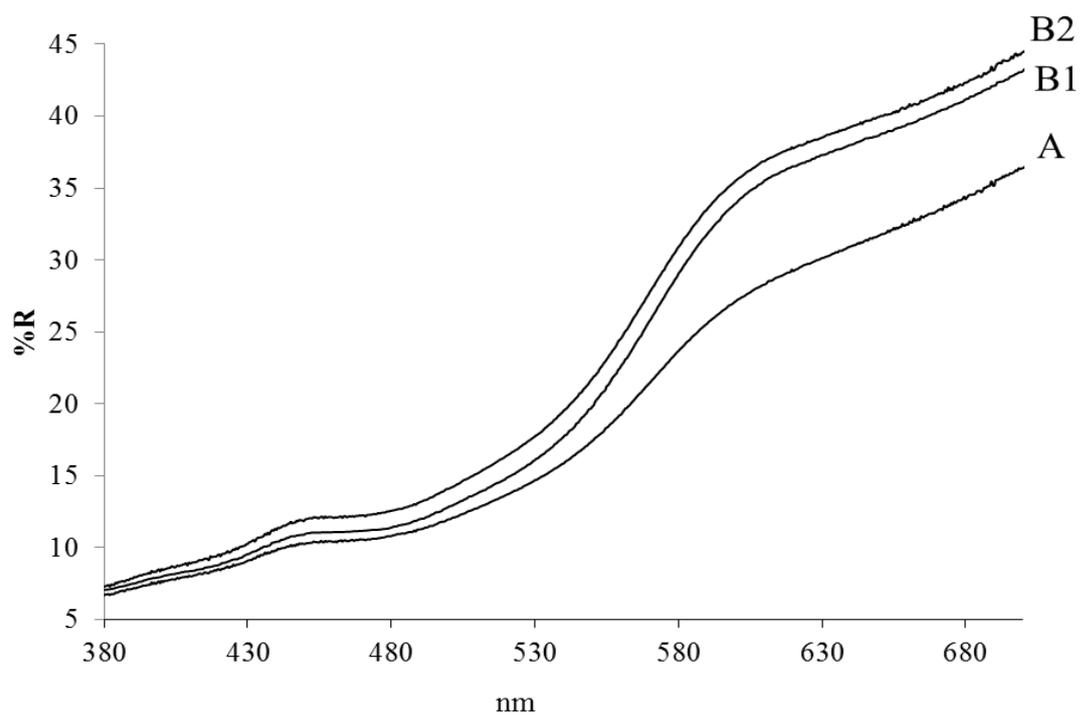


Figura 1E. Curvas espectrais para o Perfil 5.

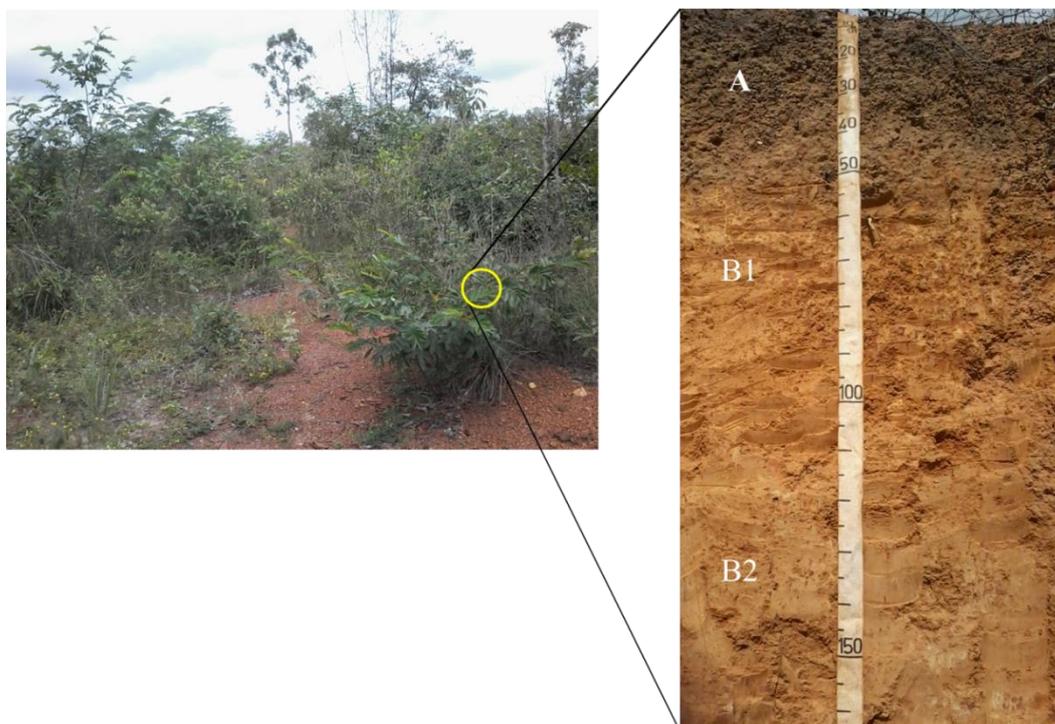


Figura 2E. Localização do Perfil 5.

APÊNDICE F

PERFIL 6 – LATOSSOLO AMARELO Distrófico psamítico (LAdp)

Data – 20/04/17

Localização, município, estado e coordenadas – Instituto Federal do Maranhão (IFMA)
Campus São Raimundo das Mangabeiras, Fazenda escola. São Raimundo das Mangabeiras – MA, Brasil.

Cobertura vegetal – Sob cultivo de feijão

Litologia – Compõe-se de arenito com estratificação cruzada e de folhelhos e siltos com estratificação incipiente.

Formação Geológica – Sambaíba, Pedra de Fogo e Piauí.

Pedregosidade – Não aparente

Rochosidade – Não aparente

Relevo local – Ondulado

Vegetação Primária – Cerrado

Descrição Morfológica

A – 0-29 cm, blocos pequenos e fracos, de consistência solta, não plástico e não pegajoso, transição difusa e ondulada.

A/B – 29-48 cm, blocos pequenos e fracos, de consistência solta, não plástico e não pegajoso, transição difusa e contínua.

B1 – 48-85 cm, blocos pequenos e fracos, de consistência solta, não plástico e não pegajoso, transição difusa e contínua.

B2 – 85-150 cm, blocos médios e fracos, de consistência solta, não plástico e não pegajoso, transição difusa e contínua.

Tabela 1F. Atributos químicos, granulométricos e mineralógicos do Perfil 6.

Hor	Prof	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	m	mmol _c dm ⁻³						%
A	0,0 - 0,29	1,80	8,00	2,00	21,00	11,80	32,80	35,98
AB	0,29 - 0,48	0,20	2,00	1,00	24,00	3,20	27,20	11,76
B1	0,48 - 0,85	0,10	4,00	1,00	24,00	5,10	29,10	17,53
B2	0,85 - 1,50	0,10	3,00	1,00	19,00	4,10	23,10	17,75
		P resina	MO	pH				
		Mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	KCL	H ₂ O		
A		9,00	12,00	4,20	3,44	6,72		
AB		6,00	7,00	3,60	-	-		
B1		3,00	6,00	3,50	2,85	5,46		
B2		1,00	5,00	3,60	-	-		
	AREIA	SILTE	ARGILA	AMG	AG	AM	AF	AMF
	g Kg ⁻¹							
A	927,00	29,00	44,00	0,00	0,37	2,99	3,59	1,89
AB	843,53	26,50	129,97	0,03	0,33	2,21	3,55	2,17
B1	773,70	134,50	91,80	0,06	0,35	1,92	2,86	2,25
B2	746,86	189,00	64,14	0,02	0,32	1,88	2,89	2,34
	Fed	Feo	Feo/Fed	SMlf	SMhf	χFD%		
	g kg ⁻¹			10 ⁻³ m ³ kg ⁻¹				
A		0,58	0,28	0,48	0,00	0,00	0,00	
AB		0,61	0,28	0,46	0,00	0,00	0,00	
B1		2,94	0,29	0,10	0,00	0,00	0,00	
B2		0,83	0,27	0,33	0,00	0,00	0,00	
	Matiz	Valor	Croma	IAV	COR	LMA_CT	LMA_GB	CT/CT+GB
A	8,15	4,43	3,37	1,41		0,24	0,00	1,00
AB	7,55	4,82	4,23	2,15		0,25	0,00	1,00
B1	7,33	5,31	4,93	2,48		0,22	0,38	0,88
B2	6,83	5,58	5,76	3,27		0,26	0,00	1,00
	LMA				Gt/Gt+Hm	Gt	Hm	
	Gt 110	Gt 111	Hm 110	Hm 012	g kg ⁻¹			
A	0,21	0,35	0,23	0,09	0,49	2,30	2,18	
AB	0,17	0,15	0,20	0,19	0,83	4,27	0,81	
B1	0,32	0,35	0,35	0,32	0,67	28,46	12,34	
B2	0,22	0,39	0,18	0,13	0,28	2,46	5,77	

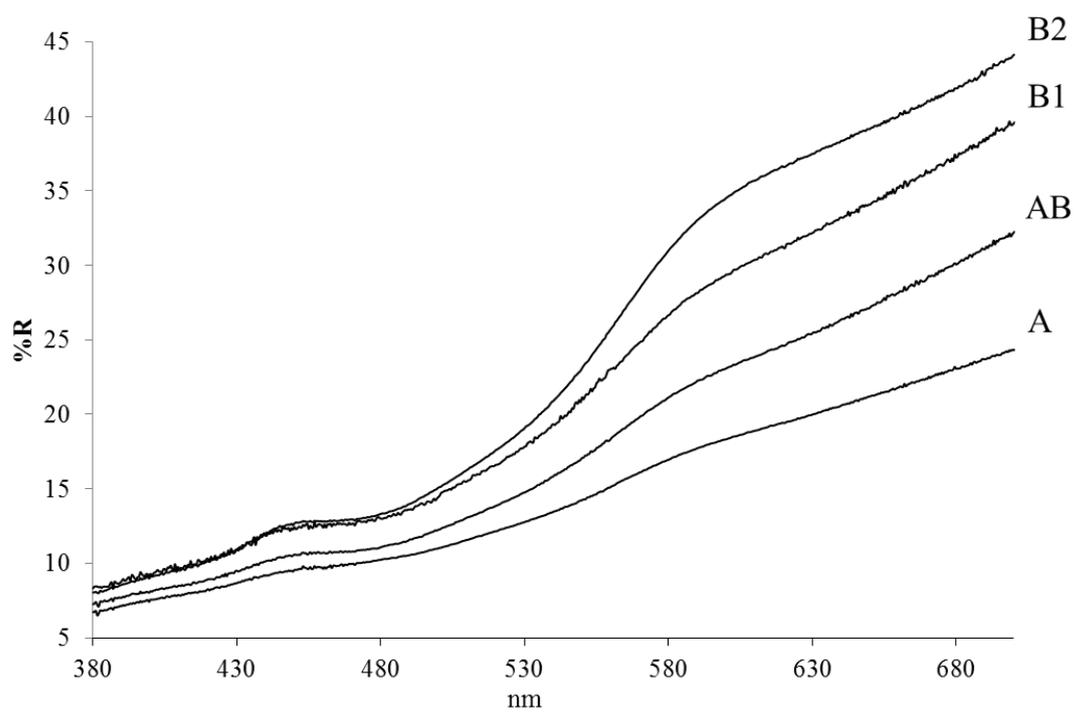


Figura 1F. Curvas espectrais para o Perfil 6.



Figura 2F. Localização do Perfil 6.