

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

**CARACTERIZAÇÃO PEDOMÉTRICA DE ATRIBUTOS DE
ARGISSOLOS COESOS DO LESTE MARANHENSE**

José Maria do Amaral Resende
Biólogo – Engenheiro Agrônomo

2013

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

**CARACTERIZAÇÃO PEDOMÉTRICA DE ATRIBUTOS DE
ARGISSOLOS COESOS DO LESTE MARANHENSE**

José Maria do Amaral Resende

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

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

2013

R433c Resende, José Maria do Amaral
Caracterização pedométrica de atributos de Argissolos coesos do Leste Maranhense./ José Maria do Amaral Resende. -- Jaboticabal, 2013
xii, 83 p. ; 28 cm

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

Orientador: José Marques Júnior

Coorientador: Marcílio Vieira Martins Filho

Banca examinadora: Gener Tadeu Pereira, Alan Rodrigo Panoso, Zigomar Menezes de Souza, Milton César Costa Campos

Bibliografia

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

CDU 631.473 (213.54)



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CARACTERIZAÇÃO PEDOMÉTRICA DE ATRIBUTOS DE ARGISSOLOS COESOS DO LESTE MARANHENSE

AUTOR: JOSÉ MARIA DO AMARAL RESENDE

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE MARQUES JUNIOR


CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. MARCILIO VIEIRA MARTINS FILHO


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


Prof. Dr. JOSE MARQUES JUNIOR
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. GENER TADEU PEREIRA
Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO
Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA
Universidade Estadual de Campinas / Campinas/SP


Prof. Dr. MILTON CESAR COSTA CAMPOS
Universidade Federal do Amazonas / Humaita/AM

Data da realização: 15 de abril de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JOSÉ MARIA DO AMARAL RESENDE – nasceu em Carvalhos – MG, em 23 de julho de 1954. Filho de Vicente da Silva Resende e de Rosália Amaral Resende. Concluiu o curso ginásial no Ginásio São José (Machado – MG), em 1968, e o curso técnico agrícola no Colégio Agrícola de Muzambinho (Muzambinho – MG), em 1972. Coursou Ciências Biológicas na Faculdade de Filosofia Ciências e Letras “Prof. José Augusto Vieira”, em Machado – MG, tendo concluído a Licenciatura Plena em 1975. Coursou Agronomia na Escola Superior de Agricultura e Ciências de Machado, tendo concluído o curso em 1978. É Magister Scientiae em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa (1983). Entre julho de 1972 e novembro de 2006, atuou no magistério do ensino superior, nas faculdades mantidas pela Fundação Educacional de Machado onde lecionou várias disciplinas em cursos de graduação e pós-graduação *lato sensu*. Também neste período exerceu várias atividades administrativas nas faculdades da Fundação Educacional de Machado e na própria Fundação, tendo sido seu presidente no quadriênio de 1985-1989. Em 2006 foi aprovado em concurso público para o exercício do magistério de 3º grau, na Universidade Federal do Maranhão, onde leciona disciplinas ligadas à área de solos nos cursos de agronomia e zootecnia, no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais – Câmpus IV, em Chapadinha - MA. No período de agosto de 2010 a março de 2012, foi Diretor Pró-Tempore do Câmpus da Universidade Federal do Maranhão na cidade de São Bernardo – MA. Em 2011, iniciou o Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo) através do DINTER – Doutorado Interinstitucional, ministrado pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, em parceria com a Universidade Federal do Maranhão.

“A mente que se abre para uma nova ideia jamais voltará para o seu tamanho original.” Albert Einstein

Aos meus pais, Vicente e Rosália
e aos meus irmãos, Sérgio, Maria da Glória e Maria José

DEDICO

À minha esposa Liliana
e aos meus filhos, Marina e Yuri

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Maranhão e à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade de cursar o doutorado.

Ao meu orientador e ex-aluno, Prof. Dr. José Marques Júnior, pela amizade, paciência e orientação segura.

Aos Professores: Afonso Lopes, Arthur Bernardes Cecílio Filho, Carolina Fernandes, Gener Tadeu Pereira, Itamar Andrioli, Jairo Oswaldo Cazetta, José Renato Zanini, Marcílio Vieira Martins Filho, Newton La Scala Júnior, Renato de Melo Prado e Tereza Cristina Tarlé Pissarra, pelos ensinamentos recebidos.

Aos amigos do CSME, Ana Beatriz Coelho França, Angélica Santos Rabelo de Souza Bahia, Daniel De Bortoli Teixeira, Diego Silva Siqueira, Fábio Tiraboschi Leal, Frederico Luiz Siansi, Lívia Arantes Camargo, Rafael Gonçalves Peluco e Ronny Sobreira Barbosa, pelo auxílio no trabalho e companheirismo durante o curso.

Aos Professores, Alan Rodrigo Panoso, Milton César Campos e Zigomar Menezes de Souza, pelas valiosas sugestões recebidas

À Ana Zélia Silva, colega de curso e de magistério, pela amizade e carinho dedicados.

À Jussara Silva Dantas, pelas palavras de incentivo e conforto nas horas difíceis e pelo companheirismo no decorrer do trabalho.

Aos proprietários da Fazenda Typuana, Eng^o Agr^o Evaldo Grobner e sua esposa, Marly Aparecida Esmério Grobner, pela acolhida durante a fase experimental.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meus agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1. Solos coesos.....	2
2.2. Variabilidade espacial.....	5
2.3. Espectroscopia de Reflectância Difusa.....	9
2.4. Funções de pedotransferências.....	12
3. REFERÊNCIAS.....	13
CAPÍTULO 2 – VARIABILIDADE ESPACIAL DA COR, DOS ATRIBUTOS GRANULOMÉTRICOS E QUÍMICOS DE SOLOS COESOS DA REGIÃO LESTE MARANHENSE.....	25
1. INTRODUÇÃO.....	27
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.1. Localização, caracterização da área e planejamento amostral....	29
2.2. Análises laboratoriais.....	31
2.3. Avaliação da espectroscopia de reflectância difusa e determinação da cor.....	31
2.4. Análises dos dados.....	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4. CONCLUSÕES.....	45
5. REFERÊNCIAS.....	45
CAPÍTULO 3 – ESTIMATIVA DE ATRIBUTOS GRANULOMÉTRICOS E QUÍMICOS PELA COR DO SOLO.....	49
1. INTRODUÇÃO.....	51
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	53
2.1. Localização, caracterização da área e planejamento amostral....	53
2.2. Análises laboratoriais.....	55
2.3. Avaliação da espectroscopia de reflectância difusa e	55

determinação da cor.....	
2.4. Análise de dados.....	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4. CONCLUSÕES.....	63
5. REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICES.....	69

CARACTERIZAÇÃO PEDOMÉTRICA DE ATRIBUTOS DE ARGISSOLOS COESOS DO LESTE MARANHENSE

RESUMO - O cultivo de solos com maior potencial de resposta ao manejo é condição essencial para o estabelecimento de uma agricultura sustentável de alta tecnologia. O presente trabalho teve como objetivo geral caracterizar, por técnicas pedométricas, a fertilidade a granulometria e a cor dos Argissolos coesos do Leste Maranhense, e por objetos específicos: caracterizar a variabilidade espacial de atributos e cor do solo em áreas agrícolas e mata nativa, no município de Brejo – MA, localizado na região leste do Maranhão; Utilizar os constituintes da cor do solo obtidos por espectroscopia de reflectância difusa na faixa do visível, como indicador de compartimentos específicos do manejo da fertilidade dos solos coesos do Leste Maranhense. Para a instalação do experimento, foram selecionados três compartimentos representados por uma área cultivada com soja e a cobertura vegetal remanescente de três feições de cerrado, denominadas Cerradão, Cerrado Típico e Campo Cerrado. Os compartimentos com cobertura de Cerradão e Cerrado Típico encontram-se localizados em pedoforma côncava, e aquele recoberto por Campo Cerrado, em pedoforma convexa. Os padrões de variabilidade foram diferentes, sendo que o ambiente com maior variabilidade está relacionado com locais de ocorrência de vegetação do tipo Campo Cerrado, em pedoforma convexa, sugerindo ser este o ambiente de menor capacidade de suporte ao manejo da cultura da soja. Em 0,5 g de cada amostra moída e seca ao ar (TFSA), foram determinados os valores de reflectância na faixa de 380 a 780 nm, a partir dos quais foram determinados os valores do matiz, valor e croma. A partir destes constituintes da cor, foi calculado o índice de avermelhamento para cada amostra. Esses valores foram correlacionados com fósforo remanescente, capacidade de troca catiônica, percentagem de saturação de bases e teor de argila das amostras. Os resultados mostraram que os constituintes da cor assim obtidos podem ser utilizados na predição dos atributos da fertilidade, do teor de argila, da pedoforma e da vegetação natural dos solos estudados.

Palavras-chave: Geoestatística, espectroscopia de reflectância difusa, cerrado, pedoforma.

PEDOMETRIC CHARACTERIZATION OF FERTILITY AND COLOR ULTISOL COHESIVE EAST MARANHENSE

ABSTRACT - The cultivation of soils with greater potential for response to land is essential for the establishment of a sustainable agricultural technology. This study aimed to characterize, by pedometrics techniques, color, granulometry and fertility of Ultisols cohesive Eastern Maranhense, and specific objects characterize the spatial variability of soil attributes and color in agricultural areas and native vegetation in town of Brejo, located in the eastern region of Maranhao State, Brasil. Using the constituents of soil color obtained by diffuse reflectance spectroscopy in the visible range, as an indicator of specific compartments of the management of soil fertility. For the experiment, we selected three compartments represented by an area cultivated with soybeans and vegetation cover remaining three features of cerrado, called Savana, Typical Cerrado and Cerrado Field. The compartments coverage Savana and Savannah Typical are located in concave landform, and that covered by Campo Cerrado in convex landform. The variability patterns were different, and the environment with greater variability is related to the occurrence of local vegetation in Campo Cerrado in convex landform, suggesting that this is the environment less able to support the management of soybean. 0.5 g of each sample, milled and air dried were measured reflectance values in the range 380-780 nm, from which was determined the values of hue, value and chroma. From these color components, we calculated the redness index for each sample. These values were correlated with remaining phosphorus, cation exchange capacity, percent base saturation and clay content of the samples. The results showed that the constituents of the color thus obtained can be used in the prediction of the parameters of fertility, clay content, the landform and natural vegetation soils.

Keywords: Geostatistics, diffuse reflectance spectroscopy, savannah, landform

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 Introdução

Introduzida no Brasil no final do século XIX, o cultivo da soja ficou inicialmente restrito ao Estado do Rio Grande do Sul, sendo utilizada nas pequenas propriedades rurais como planta forrageira. Na década de 60 do século XX, tem início a produção em escala comercial e, na década seguinte, atendendo à demanda mundial por proteínas para a nutrição animal, o plantio espalha-se por toda a região Sul e por parte do Sudeste, principalmente no Estado de São Paulo e na região do Triângulo Mineiro. Nos anos 80, a soja chega ao Cerrado da região Centro-Oeste e do sul do Maranhão.

A expansão da sojicultura para a região Leste Maranhense ocorre no início dos anos 90, quando agricultores gaúchos, atraídos pelas terras de custo irrisório, com topografia favorável ao plantio mecanizado e muito próximas do porto de Itaqui, em São Luís – MA, o que favorecia o escoamento da produção e clima favorável para o bom desenvolvimento da cultura, estabeleceram-se na microrregião de Chapadinha, hoje responsável por quase 80% da produção de soja da região.

Entretanto, se o preço da terra, a topografia, a localização e o clima foram favoráveis ao estabelecimento de uma agricultura altamente tecnificada, o mesmo não aconteceu com os solos. Desenvolvido a partir de sedimentos pré-intemperizados da Formação Barreiras, apresentam disponibilidade limitada de nutrientes, com baixos valores de soma de bases, de capacidade de troca catiônica e valores elevados de alumínio trocável e de saturação de alumínio.

Além de pobres e ácidos, estes solos apresentam o caráter “coeso”, que condiciona horizontes do solo que apresentam consistência dura, muito dura e até extremamente dura quando secos, e friável quando úmidos. Estes horizontes limitam o crescimento do sistema radicular das culturas e, conseqüentemente, a produtividade, porque reduzem a infiltração de água e a aeração do solo, promovendo aumento no escoamento superficial, contribuindo para o aumento do processo erosivo. As limitações são mais graves em horizontes coesos mais argilosos, com textura argiloarenosa ou mais fina. Nestes casos, o desenvolvimento

do sistema radicular é limitado pela dureza quando o solo está seco, e pela anoxia no período chuvoso.

Assim, para a implementação de uma agricultura sustentável, torna-se necessário diagnosticar o potencial dos solos para que se possa determinar as áreas que apresentam melhores condições para a prática da agricultura, bem como o tipo de manejo a que devem ser submetidas, evitando sérios danos ambientais. O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo mostra-se como uma ferramenta útil para aperfeiçoar o manejo em áreas agrícolas por meio de um gerenciamento que leve em consideração informações pontuais do solo.

A identificação de locais com diferentes potenciais de resposta para a manutenção da fertilidade do solo pode ser feita com base nas formas da paisagem e na distribuição espacial de atributos mineralógicos. Porém, essa identificação torna-se onerosa por requerer elevado número de amostras. Assim, tem sido sugerido o desenvolvimento de funções de pedotransferência para estimar atributos do solo complexos ou de elevado custo, por meio de atributos mais simples e de baixo custo, como a cor do solo.

O presente trabalho teve como objetivo geral caracterizar por técnicas pedométricas a fertilidade e a cor dos Argissolos coesos do Leste Maranhense, e por objetivos específicos, a caracterização da variabilidade espacial de atributos e da cor do solo em áreas agrícolas e mata nativa, no município de Brejo – MA, localizado na região leste do Maranhão; e utilizar os constituintes da cor do solo obtidos por espectroscopia de reflectância difusa como indicador de compartimentos específicos do manejo da fertilidade dos solos coesos do Leste Maranhense.

2. Revisão de Literatura

2.1 Solos Coesos

Ao longo da costa brasileira, que vai do Amapá até o Rio de Janeiro, existe um pacote de sedimentos continentais denominados Formação Barreiras. A deposição desses sedimentos ocorreu no período Terciário, sob um clima árido ou

semiárido e terminou durante o pleistoceno, com a mudança para um clima quente e úmido (SUGUIU et al., 1985).

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

No Maranhão, a Formação Barreiras aflora a nordeste do Estado, no triângulo formado pelas localidades de Buritis, Urbano Santos e Araiões. É constituída por sedimentos clásticos mal selecionados. As cores predominantes são o amarelo e o vermelho, variando, porém, de local para local. Os arenitos existentes nessa formação são caulíníticos com lentes de folhelhos. Assenta-se discordantemente sobre a Formação Itapecuru, sendo comum encontrar-se também sobre formações mais antigas; não é, porém, recoberta por nenhuma outra formação. Sua datação não é precisa, pela ausência de fósseis; admite-se, no entanto, que seja do Terciário por englobar o calcário fossilífero Pirabas, que pertence ao Mioceno Inferior (GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO, 2002).

Os solos que se desenvolveram a partir dos sedimentos Barreiras são genericamente denominados de Solos de Tabuleiros Costeiros. Predominam os Argissolos e Latossolos Amarelos que têm um material de origem pré-intemperizado, retrabalhado, e que comprovadamente sofreu influência de mudanças climáticas durante a pedogênese (DUARTE et al., 2000). Encontram-se ainda, em menor expressão, Argissolos Acinzentados, Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos e Espodossolos (JACOMINE, 1996; NASCIMENTO, 2001; JACOMINE, 2001; RIBEIRO, 2001). Esses solos apresentam disponibilidade de nutrientes limitada, com baixos valores de soma de bases e de capacidade de troca catiônica, valores

elevados de alumínio trocável e de saturação de alumínio. Valores de CTC inferiores a $7,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, refletem a mineralogia caulinítica do material de origem dos solos (RIBEIRO, 1986; JACOMINE, 1996; SILVA; LIMA NETO et al., 2009).

Os Latossolos e os Argissolos são profundos, com sequência de horizontes A-Bw e A-Bt, com características pedogenéticas semelhantes, com horizonte B espesso, com pouca diferenciação de sub-horizontes, ausência ou pouca presença de minerais facilmente intemperizáveis, baixa relação silte/argila e mesma composição mineralógica (ACHÁ-PANOSO, 1976; MOREAU 2001).

É muito comum nos Solos dos Tabuleiros Costeiros a presença de horizontes subsuperficiais endurecidos. Essa característica manifesta-se normalmente entre 0,3 m e 0,7 m de profundidade nos horizontes BA e/ou parte do Bw e Bt, merecendo por isso a denominação “coeso” (JACOMINE, 1996; REZENDE, 2000; JACOMINE, 2001; RIBEIRO, 2001; LIMA NETO et al., 2009).

O termo “coeso” é empregado para caracterizar horizontes do solo que apresentam consistência dura, muito dura e até extremamente dura quando secos, e friável quando úmidos (JACOMINE, 1996; RIBEIRO, 2001). A gênese dos horizontes coesos tem sido considerada por vários autores como um assunto polêmico, estando associada a vários processos, como a perda do plasma argiloso das camadas superficiais do solo para as camadas subjacentes (argiluviação); agrupamento de partículas de argila face a face; presença de compostos orgânicos pouco polimerizados; presença de sílica secundária, ferro e argila dispersa nos microporos e adensamento por dessecação resultante da alteração da estrutura do solo pela alternância de ciclos de umedecimento e secagem, e contribuição da areia fina (UFV, 1984; RIBEIRO, 1986; PONTE; RIBEIRO, 1990; JACOMINE, 1996; FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999; ARAÚJO FILHO; CARVALHO; SILVA, 2001; REZENDE et al., 2002).

Os solos coesos estão inteiramente relacionados com depósitos sedimentares de textura média a argilosa, muito intemperizados. A mineralogia da fração argila desses solos apresenta a caulinita como mineral dominante, e a fração areia é constituída essencialmente por quartzo. Em função do material de origem, os teores de Fe_2O_3 (ataque sulfúrico) são inferiores a 80 g kg^{-1} , com predomínio de goetita, o que confere aos solos as cores amareladas típicas, no matiz 10YR, com

valores 5 e 6, e cromas entre 3 e 6. Apresentam K_i elevado, entre 1,7 e 2,0, em função da presença dominante de caulinita (REZENDE, 2000; RIBEIRO, 2001; LIMA NETO et al., 2009).

Os horizontes coesos limitam o crescimento do sistema radicular das culturas e, conseqüentemente, a produtividade, porque reduzem a infiltração de água e a aeração do solo, promovem aumento no escoamento superficial, contribuindo para o aumento dos processos erosivos, proporcionando o acúmulo de água nas depressões. A redução do crescimento do sistema radicular contribui para o aumento da deficiência de água em virtude do menor volume de solo explorado. As limitações são mais graves nos horizontes coesos mais argilosos, com textura argiloarenosa ou mais fina. Nestes casos, o desenvolvimento do sistema radicular é limitado pela dureza, quando o solo está seco, e pela falta de aeração, no período chuvoso (REZENDE, 2000; RIBEIRO, 2001).

2.2. Variabilidade espacial

Em uma paisagem natural, as classes de solos apresentam heterogeneidade, tanto no sentido espacial (superfície) como no tridimensional (volumétrico), resultante da interação dos processos que comandam os fatores de sua formação (REICHARDT; VIEIRA; LIMBARDI, 1986). A variabilidade espacial dos solos é resultado de processos pedogenéticos e pode ser demonstrada por resultados dos levantamentos e análises, sendo que os atributos químicos e físicos têm interligações específicas entre si, de tal forma que essas interligações influenciam diretamente sobre o crescimento e o desenvolvimento das culturas (SOUZA et al., 2004a).

Além dos processos pedogenéticos, práticas do manejo do solo e da cultura são causas adicionais de variabilidade. Áreas pedologicamente idênticas podem apresentar variabilidade distinta em seus atributos, quando submetidas a diferentes práticas de manejo. Da mesma forma, áreas pedologicamente diferentes, quando submetidas ao mesmo manejo, podem apresentar-se semelhantes em seus atributos. O manejo pode alterar atributos químicos, físicos, mineralógicos e

biológicos, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (CORÁ, 1997).

O conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo em determinada área é importante para a avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental, assim como é importante para a definição da intensidade de amostragem do solo para sua caracterização, possibilitando, dessa maneira, reduzir o erro-padrão da média, maximizando a eficiência da amostragem, e reduzir os custos e a mão de obra do trabalho (CORÁ et al., 2004).

Os princípios básicos da experimentação, estabelecida por meio do método estatístico clássico, consideram que a variabilidade do solo ocorre de forma inteiramente aleatória, admitindo-se que seus atributos apresentem distribuição de frequência normal (SANTOS; VASCONCELOS, 1987). Entretanto, estes princípios não consideram a distribuição dos dados no espaço, ao contrário da geoestatística, que considera a dependência espacial entre as amostras e sua localização geográfica (VIEIRA, 2000).

Vários estudos têm mostrado que a variabilidade dos atributos químicos e físicos do solo apresenta correlação ou dependência espacial, indicando que o valor em qualquer ponto amostrado depende dos valores dos pontos localizados ao seu redor (SANCHEZ et al., 2005; SILVA et al., 2007; SILVA et al., 2008; SILVA et al., 2010; CHERUBIN et al., 2011; DALCHIAVON et al., 2012).

O valor entre as amostras pode apresentar uma continuidade até certa distância, e a partir deste ponto já não apresenta dependência, e, neste caso, pode-se dizer que as amostras são aleatórias e que uma não exerce influência sobre a outra (GUIMARÃES, 2004). O estudo da dependência espacial de variáveis relacionadas com a agricultura facilita a compreensão do comportamento e da ocorrência dessas variáveis nas áreas estudadas e, conseqüentemente, a interferência das mesmas na produtividade (DURIGON, 2007).

A avaliação conjunta da variabilidade espacial e dos atributos físicos e químicos do solo é uma importante ferramenta na determinação de estratégias de manejo do solo, que procuram aumentar a produtividade agrícola (SILVA et al., 2010). Antes de buscar qualquer relação desses elementos com a cultura, é

importante avaliar a extensão e a intensidade da dependência espacial dessa variação, isoladamente ou em conjunto com outros atributos (GANDAH et al., 2000).

Vários autores têm estudado a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo (CARVALHO; YAKEDA; FREDDI, 2003; CORÁ et al., 2004; SOUZA et al., 2004a; MONTEZANO; CORRAZZA; MURAOKA, 2006; VISCARRA ROSSEL et al., 2006; MARQUES JÚNIOR et al., 2008; MONTANARI et al., 2008; CARVALHO; VILAS BOAS; FADIGAS, 2010; SILVA NETO et al., 2011; VIAN et al., 2012; DALCHIAVON et al., 2012). Outros têm estudado a variabilidade espacial dos atributos do solo associados a modelos de paisagem e à forma de relevo (SOUZA et al., 2004b; CUNHA et al., 2005; MONTANARI et al., 2005; CAMPOS et al., 2007; GOMES et al., 2007; BARBIERI; MARQUES JÚNIOR; PEREIRA, 2008; CAMARGO et al., 2008; SANCHEZ et al., 2009; SOUZA; MARQUES JÚNIOR; PEREIRA, 2009; SIQUEIRA; MARQUES JÚNIOR; PEREIRA, 2010), e ainda, a variabilidade espacial dos atributos do solo associados aos teores foliares de nutrientes e à produtividade (RESENDE et al., 2005; REICHERT et al., 2008; ROSA FILHO et al., 2009; LEÃO et al., 2010).

A geoestatística vem sendo constantemente aplicada em estudos para verificar a distribuição espacial dos atributos químicos do solo. Essa aplicação está baseada na possibilidade de se estudar o comportamento da variabilidade espacial, permitindo ter o conhecimento detalhado dos atributos químicos do solo em diferentes locais de certa zona de manejo, podendo assim, aperfeiçoar a aplicação de corretivos e de fertilizantes (GOOVAERTS, 1998).

Para isto, é recomendável que se faça amostragem representativa da área, para que se possam obter dados com valores que realmente correspondam à realidade da parcela. A amostragem do solo em malha “grid” tem demonstrado ser o método mais eficiente para avaliar a variabilidade espacial da fertilidade do solo, sendo amplamente recomendada e utilizada pelos usuários da tecnologia da agricultura de precisão (FRANCIS; SCHAPERS, 1997; MARQUES JÚNIOR et al., 2008).

Esse método consiste na coleta de amostras sobre uma grade, onde são estipuladas distâncias entre os pontos amostrados, sendo cada ponto georreferenciado e representa uma área determinada pela distância entre os pontos

vizinhos, recebendo tratamento individual para a confecção de mapas de interesse. A determinação da distância entre os pontos amostrados deve ser feita de forma cuidadosa, pois espaçamentos menores aumentam a precisão, mas também os custos com a amostragem, e espaçamentos maiores reduzem os custos mas comprometem a precisão, não representando de maneira confiável as características do solo (KNOB, 2006).

A variabilidade espacial dos atributos químicos é condicionada não só aos fatores de gênese do solo, mas também a fatores temporais, diferentes cultivos e diferentes tratamentos dentro de uma mesma área aparentemente homogênea. Pode-se, então, dizer que cada solo tem suas características próprias e diferem entre si, com maior ou menor variabilidade espacial entre seus atributos, tornando evidente a necessidade de diferentes grades amostrais que demonstrem representatividade em cada área (KNOB, 2006).

Através da análise de variogramas, a geoestatística tem sido a técnica mais utilizada para a caracterização das variabilidades espacial e temporal. Variogramas são gráficos que caracterizam a estrutura da variância do atributo estudado como variável regionalizada, em função da distância no terreno (CARVALHO; VILAS BOAS; FADIGAS, 2010; DALCHIAVON et al., 2012). O variograma fornece uma medida do grau de dependência espacial entre amostras em uma direção e pode crescer até um valor constante (patamar) dentro de determinado intervalo ou, então, crescer continuamente sem apresentar evidências de atingir um patamar. Quanto maior a variância, mais dissimilares são os atributos dos solos em dois locais (COELHO, 2003; CARVALHO; DECHEN; DUFRANC, 2004).

Os modelos de variogramas que apresentam patamar, também denominados transitivos, mais utilizados são: esférico, exponencial e gaussiano, sendo o modelo esférico o mais utilizado e, segundo alguns autores, o mais adaptado para descrever o comportamento de atributos de plantas e solo (TRANGMAR et al., 1987; CAMBARDELLA et al., 1994). Os modelos que não apresentam patamar são utilizados para modelar fenômenos que possuem capacidade infinita de dispersão e podem ser do tipo linear e potência (ISAACKS; SCRIVASTAVA, 1989).

Estabelecido o modelo de variograma que melhor descreva a variabilidade espacial dos dados, ele será utilizado no processo de interpolação pelo método da

krigagem, possibilitando a geração de uma superfície contínua para a área em estudo, através de mapas de isolinhas (MACHADO, 2006).

As técnicas de geoestatística podem ser usadas para descrever e modernizar padrões espaciais (variografia), para prever valores em locais não amostrados (krigagem) e para otimizar malhas de amostragem (REMACRE; UZUMAKI, 1996).

Pode-se definir krigagem como o método de interpolação que procura minimizar o erro de estimação. O problema normalmente é o de estimar o valor de uma variável em locais não amostrados, a partir de valores de locais amostrados (EMBRAPA, 2001).

A krigagem é um meio de estimação local no qual cada estimativa é uma média ponderada dos valores observados em sua vizinhança. A construção de mapas com os valores obtidos por meio da krigagem é importante para a verificação e a interpretação da variabilidade espacial (SOUZA, 1992; CARVALHO; VILAS BOAS; FADIGAS, 2010).

2.3 Espectroscopia de Reflectância Difusa

A cor do solo é a sensação visual que se manifesta na presença da luz, sendo uma dos atributos morfológicos mais importantes, utilizada para identificar e descrever os solos no campo. O enquadramento de algumas classes de solos, já no segundo nível categórico do atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, requer a determinação da cor do horizonte diagnóstico (EMBRAPA, 2006).

A matéria orgânica e os óxidos de ferro são os principais agentes responsáveis pela cor do solo. A matéria orgânica produz as cores escuras, e as cores amarelas, vermelhas e marrons são atribuídas à presença dos óxidos de ferro. As cores acinzentadas estão relacionadas aos ambientes de redução e remoção dos óxidos de ferro em condições hidromórficas. Cores claras e esbranquiçadas são encontradas em solos ricos em quartzo e pobres em matéria orgânica e óxidos de ferro (AZEVEDO; DALMOLIN, 2004; BOTELHO et al., 2006).

A determinação da cor do solo é feita em campo através da comparação visual entre a cor apresentada por elementos estruturais do solo recém-partidos e as cores padrões da carta de Munsell, observando-se o matiz (comprimento de onda da

luz), o valor (brilho ou tonalidade) e o croma (intensidade ou pureza da cor em relação ao cinza) (BARRÓN; MELLO; TORRENT, 2000).

Vários pesquisadores têm relatado que este método de percepção visual apresenta grande subjetividade na interpretação da cor pelo olho humano devido às características da luz incidente sobre o solo, às características da superfície do solo e à qualidade da resposta espectral do olho humano, não sendo fatores controlados, e como resultado disso, erros na classificação dos solos podem ocorrer (MELVILLE; ATKINSON, 1985; POST et al., 1993; CAMPOS; DEMATTÊ, 2004).

No trabalho de Campos e Demattê (2004), no qual comparou as cores determinadas por calorímetro e por percepção visual foi verificado que, neste último método, existe uma clara tendência de se superestimar o matiz, tendo sido verificado maior contribuição do amarelo na amostra. Matizes mais próximos à cor vermelha proporcionaram maior precisão pela percepção visual, devido o olho humano possuir maior resolução espectral na região do vermelho e também devido à maior familiaridade dos pedólogos brasileiros com solos desta cor.

Outra limitação das informações obtida na avaliação da cor com a utilização da carta de Munsell seria a grande distância entre duas páginas consecutivas dos padrões de cores, 2,5 na variação do matiz, obrigando a interpolações nem sempre adequadas, como relatam Sanchez-Marañonet al., (1995).

Objetivando eliminar a subjetividade do método convencional, vêm sendo desenvolvidos métodos que utilizam instrumentos como colorímetros, espectrofotômetros e espectrorradiômetros na determinação da cor, de uma forma mais precisa, sendo o método da reflectância difusa o mais utilizado.

Segundo Barrón e Torrent (1986), o solo pode ser considerado uma mistura de partículas minerais e orgânicas, não sendo totalmente transparentes nem completamente opacas, que parcialmente absorvem e dispersam a luz incidente. Parte da luz que incide sobre uma amostra de solo, sofre reflexão especular, mas a maior proporção o faz em forma difusa. A reflexão difusa é o resultado de múltiplos processos de absorção e de dispersão, em todas as direções, que se produzem sobre a superfície dos componentes do solo. A cor do solo seria resultante da capacidade dos pigmentos para absorver mais a luz de determinados comprimentos de onda em relação a outros. O registro desses fenômenos dá-se na chamada curva

de reflectância difusa, na qual se representa a porcentagem de luz que é difusamente refletida de acordo com o comprimento de onda da luz incidente, a qual é varrida normalmente dentro do espectro visível, entre 400 e 700 nm, podendo também abranger um espectro mais amplo, incluindo o intervalo infravermelho. Por integração da curva de reflectância difusa, obtêm-se os valores X, Y e Z, denominados de valores triestímulos que definem a cor (BARRÓN; MELLO; TORRENT, 2000).

Trabalhos conduzidos por Campos e Demattê (2004), Botelho et al.(2006), Fernandes et al.(2004), que compararam a cor de vários solos, determinada através da utilização do método da percepção visual com o método colorimétrico, mostram maior precisão na determinação da cor do solo quando foi utilizado o colorímetro, empregando a técnica desenvolvida por Barrón et al., (2000). Os primeiros autores enfatizam, ainda, que o procedimento usando aparelhos não está restrito apenas às condições de laboratório. Sua operacionalidade em campo, dadas as características de porte, peso e forma, é plenamente adequada às necessidades dos levantamentos de campo.

Segundo Nunes (2008), o uso da espectroscopia de radiação difusa (ERD) como ferramenta de análise qualitativa e quantitativa são: a técnica é não destrutiva e não invasiva; a manipulação da amostra é mínima, aumentando a rapidez das análises; baixo custo das análises por não usar reagentes ou outros tipos de materiais para o preparo; a técnica permite a determinação de vários atributos sem a necessidade de um procedimento analítico para cada um deles, separadamente; é possível determinar atributos físicos e químicos; em muitos campos de aplicação, a exatidão da técnica é comparável a outras técnicas analíticas.

O mesmo autor aponta, ainda, que como qualquer outra técnica analítica, ela apresenta alguns inconvenientes, tais como: a complexidade do sinal ERD obriga a aplicação de métodos quimiométricos para modelar os dados e permitir a quantificação dos atributos de interesse; a etapa de calibração é geralmente exigente, pois é necessária uma grande quantidade de amostras para assegurar a variabilidade na complexidade da matriz das amostras; torna-se difícil analisar uma amostra-problema que apresente variabilidade física ou química não contemplada na etapa de calibração.

O comportamento espectral do solo depende diretamente de sua composição química, física, biológica e mineralógica. Como os solos apresentam variações em sua composição e com o avanço no conhecimento das relações existentes entre reflectância espectral e características dos solos, podem-se prever, de maneira rápida, confiável e não invasiva, várias características físicas e químicas do solo (SHEPHERD; WALSH, 2002; DALMOLIN et al., 2005).

Essa técnica tem sido considerada por vários autores como promissora para a determinação de vários atributos mineralógicos, físicos e químicos do solo, como para a estimar os teores de óxidos de ferro (BARRÓN; TORRENT, 1986; ALMEIDA; TORRENT; BARRÓN, 2003; FERNANDES et al., 2004; CAMARGO, 2013), a determinação da CTC, K, Ca, N total, C total, Na e Mg (MOUAZEN; BAERDEMAEKER; RAMON, 2006), C total, pH, P disponível e umidade do solo (MOUAZEN et al., 2007); Matéria Orgânica (DEMATTÊ et al., 2011), silte, areia e argila (CEZAR et al., 2012), entre outros.

2.4 Funções de pedotransferências

As funções de pedotransferências (FPT) podem ser definidas como o desenvolvimento de modelos numéricos ou estatísticos, que permitem prever certos atributos do solo de obtenção mais laboriosa e cara, a partir de outras facilmente medidas e rotineiramente obtidas, a custos mais baixos (SCULL et al., 2003; MINASNY et al., 2003).

McBratney et al. (2002), deduziram dois princípios para o uso das funções de pedotransferências (FPT). O primeiro princípio, chamado de princípio do esforço, indica que não deve ser construídas funções de pedotransferências para algo que seja mais fácil de medir do que prever. O segundo princípio, chamado de princípio da incerteza, o qual indica que não devem ser utilizadas funções de pedotransferência se a incerteza associada não pode ser avaliada e se para um problema existe mais do que uma FPT então, o critério de escolha da FPT a usar deve ser a que apresente menor variância.

De acordo com Minasny et al. (2003), várias fontes de informação podem ser utilizadas para prognosticar atributos do solo, podendo ser utilizadas no

estabelecimento de funções de pedotransferência, sendo as fontes mais comumente usadas, os dados de laboratório, as descrições de campo e morfologia de solos, as variáveis ambientais e o espectro eletromagnético.

A espectroscopia de reflectância difusa (ERD) é uma técnica que vem sendo utilizada na avaliação de alguns atributos do solo por apresentar muitas vantagens sobre os métodos convencionais, sendo de determinação rápida, econômica, sem uso de reagentes químicos e destruição das amostras (VISCARRA ROSSEL et al., 2006; BROWN et al., 2006).

A ERD tem sido utilizada para estimar teores de óxidos de ferro (BARRON; TORRENT, 1986; ALMEIDA et al., 2003; FERNANDES et al., 2004), áreas com diferentes potenciais de emissão de CO₂ (BAHIA, 2012), mineralogia e adsorção de fósforo (CAMARGO, 2013), teor de argila (VISCARRA ROSSEL; BEHRENS, 2010; SENOL et al., 2012), Capacidade de Troca Catiônica (BROWN et al., 2006; ZORMOSA et al., 2008).

Segundo Mendonça-Santos (2007), embora os modelos pedométricos tenham uma forte base estatística e matemática é importante levar em conta que esta nova área precisa indispensavelmente do conhecimento pedológico para realizar inferências qualitativas, sendo que a pedometria não poderia funcionar sem o conhecimento qualitativo do solo o qual deve ser incorporado nos processos de construção de modelos.

3. Referências

ACHÁ PANOSO, L. **Latossolo Vermelho Amarelo de “Tabuleiro” do Espírito Santo**: Formação, características e classificação. 1976. 116 f. Tese (Livre Docência) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1976.

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

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

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

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e ambiente**: uma introdução. Santa Maria: Palotti, 2004. 100p

BAHIA, A. S. R. S. **Espectroscopia de reflectância difusa como técnica auxiliar na caracterização da emissão de CO₂ e atributos do solo**. 2012, 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2006.

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

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

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

BOTELHO, M. R.; DALMOLIN, S. D.; PEDRON, F. A.; AZEVEDO, A. C.; RODRIGUES, R.B.; MIGUEL, P. Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1179-1185, 2006.

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

CAMARGO, L. A. **Relações entre mineralogia da argila, suscetibilidade magnética e adsorção de fósforo em Latossolos da região de Jaboticabal – SP**. 2013. 101 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

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

CAMBARDELLA, C. A.; MOOMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEM, D. L.; TURVO, R. F.; KANOPA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 47, p. 1501-1511. 1994.

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

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

CARVALHO, J .R. P.; DECHEN, S. C. F.; DUFRANC, G. Variedade espacial da agregação do solo avaliada pela geometria fractal e geoestatística. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1-9, 2004.

CARVALHO, M. P.; YAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 695-703, 2003.

CARVALHO, S. R. L.; VILAS BOAS, G. S.; FADIGAS, F. S. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da Formação Barreiras. **Cadernos de Geociências**, Salvador, v.7, n. 2, p. 63-79, 2010.

CEZAR, E.; NANNI, M. R.; CHICATI, M. L.; SOUZA JÚNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S. Avaliação e quantificação das frações silte, areia e argila por meio de suas reflectâncias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1157-1165, 2012.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIANA, A. L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n. 13, p.196-219, 2011.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: Manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V., V. H. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, v. 3, 2003.

CORÁ, J. E. **The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage**, 1997. 104 f. Tese (Doutorado) - Michigan State University, East Lansing, 1997.

CORÁ, J. E.; ARAÚJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Viabilidade espacial de atributos do solo para a adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28 p. 1013-1021, 2004.

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

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho distroférico sob Sistema de Plantio Direto. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n.3, p. 453-461, 2012.

DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 481-489, 2005.

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

DUARTE, M. N.; CURI, N.; PÉREZ, D. V.; KÄMPF, N.; CLAESSEN, M. E. C.; Mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos tabuleiros costeiros do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1237-150, 2000.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura de arroz irrigado (*Oryza sativa*)**. 2007. 150 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Avaliação e comparação de estimadores de krigagem para variáveis agrônômicas** – uma proposta. Campinas, SP, 2001.

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

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influencia da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23 p.515-524 1999.

FRANCIS, D.; SCHAPERS, J. S. Selective soil sampling for site-specific nutriente management. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1.,1997.Warwick. **Proceedings...** Warwick, University Conference Center, 1997. p. 119-126.

GANDAH, M.; STEIN, A.; BROUWER, J.; BOUMA, J.; Dynamics of spatial variability of millet growth and yields at three sites in Niger, west Africa and implications for precision agriculture research. **Agricultural Systems**, v. 63, p. 123-140, 2000.

GOMES, N. M.; FARIA, M. A.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p.427-435, 2007.

GOOVAERTS, P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physic-chemical soil properties. **Biology and Fertility of Soils**, Florence, v. 27, n. 4, p. 315-334, 1998.

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

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: UFU, v. 1, 2004. 78 p.

ISAACKS, E. H.; SRIVASTAVA, R.M. **Na introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989, 561p.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS, 1996. Cruz das Almas, **Anais...** Cruz das Almas: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1996. p.13-24.

JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001. Aracaju, **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.19-46.

KNOB, M. J. **Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades**.2006. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS,2006.

LEÃO, M. G. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T. O relevo na interpretação da variabilidade espacial dos teores de nutrientes em folha de citros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p.1152-1159, 2010.

LIMA NETO, J. A.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; LIMA, J. F. W .F.; FERREIRA, R. F. A. L. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.1001-1011, 2009.

MACHADO, G. M. **Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos**. 2006. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas-SP, 2006.

MARQUES JUNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade especial de matéria orgânica, P, K, e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período. **Revista Biologia e Ciência da Terra**, v. 8, n. 1, p.143-152, 2008.

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

MELVILLE, M. D.; ATKINSON, G. Soil color: its measurement and its designation in models of uniform color space. **Journal of Soil Science**, Ottawa v. 36, p. 495-512, 1985.

MENDONÇA SANTOS, M. L. Traditional or digital soil mapping? **Pedometrom**, Gainesville, v. 23, p. 11-15, 2007.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G. **Revisão sobre funções de pedotransferência e novos métodos de predição de classes e atributos do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 50p. (Documento nº 45).

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

MONTANARI, R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PAZETO, R. J.; CAMARGO, L. A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p.1266-1272, 2008.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 839-847, 2006.

MOREAU, A. M. S. S. **Gênese, química e micromorfologia de horizontes coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleiro costeiro no sul da Bahia.** 2001. 139 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2001.

MOUAZEN, A. M.; BAERDEMAEKER, J. de; RAMON, H. Effect of wavelength range on the measurement accuracy of some selected soil constituents using visible-near infrared spectroscopy. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, New York, v. 14, p. 189–199, 2006.

MOUAZEN, A. M.; MALEKI, M. R.; de BAERDEMAEKER, J.; RAMON, H. On-line measurement of some selected soil properties using a VIS-NIR sensor. **Soil Tillage Resources**, London, n. 93, p. 13–27, 2007.

NASCIMENTO, G. B. **Caracterização dos solos e avaliação de propriedades edáficas em ambiente de Tabuleiros Costeiros da região Norte Fluminense (RJ).** 2001. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2001.

NUNES, P. G. A. **Uma nova técnica para a seleção de variáveis em calibração multivariada aplicada às espectrometrias UV-VIS e NIR.** 2008. 106 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa- PB, 2008.

PONTE, C. M.; RIBEIRO, L. P. **Estudo da gênese de horizontes coesos em uma topossequencia na área do Candeal.** Escola de Agronomia da UFBA. Salvador: IGEO/UFBA, 1990.

POST, D. F.; LEVINE, S. J.; BRYANT, R. B.; MAYS, M. D.; BATCHILY, A. K.; ESCADAFAL, R.; HUETE, E. A. Correlations between soil field and laboratory measurements of soil color. In: BIGHAM, J.M.; CIOLKOSZ, E.J. **Soil color.** Madison: Soil Science Society of America, 1993. p.35-49 (Special Publication, 31).

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIMBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 1– 6, 1986.

REICHERT, J. M.; DARIVA, T. A.; REINERT, D. J.; SILVA, V. R. S. Variabilidade espacial de Planossolo e produtividade de soja em várzea sistematizada: análise geoestatística e análise de regressão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p.981-988, 2008.

REMACRE, A. Z.; UZUMAKI, E. T. Variogramas para interpolação em geofísica. **Geociências**, v. 15, p. 17-39, 1996.

RESENDE, A. V.; KRAHL, L. L.; SHIRATSUCHI, L. S.; GOEDERT, W. J.; DÖWICH, I. **Diagnóstico nutricional de uma lavoura de soja a partir de informações georreferenciadas**. Embrapa, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 145, 2005, 30p.

REZENDE, J. O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros**: Limitações agrícolas e manejo. Salvador, SEAGRI, 2000. 117p. (Série Estudos Agrícolas, 1).

REZENDE, J. O.; MAGALHÃES, A. F. J.; SHIBATA, R. T.; ROCHA, E. S.; FERNANDES, J. C.; BRANDÃO, F. J. C.; REZENDE, V. J. R. P. **Citricultura nos solos coesos dos tabuleiros costeiros**: análise e sugestões. Salvador: SEAGRI, SPA, 2002, 94p. (Série Estudos Agrícolas 3).

RIBEIRO, L. P. Sílica em horizontes coesos de solos da Bahia. **Universitas**, n.38, p.59-80, 1986.

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

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; ANDEOTTI, T. G.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; MÁILA, T. G. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.283-293, 2009.

SANCHEZ, R. B.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. & SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de propriedades de Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n.4, p. 489-495, 2005.

SANCHEZ, R. B.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; MARTINS FILHO, M. V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p.1095-1103, 2009.

SANCHEZ-MARAÑÓN, M.; DELGADO, G.; DELLGADO, R.; PEREZ, M. M.; MELGOSA, M. Spectroradiometric and visual color measurements of disturbed and undisturbed soil samples. **Soil Science**, v. 160, p.291-303, 1995.

SANTOS, H. L.; VASCONCELOS, C. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 11 p. 97–100, 1987.

SCULL, P.; FRANKLIN, N. J.; CHADWICK, O. A.; MCARTHUR, D. Predictive soil mapping: a review. **Progress in Physical Geography**, v. 27, p. 171-197, 2003.

SEPOL, H.; AKCUL, M.UJDECI, M.; BASAYIGIT, L. The determination of some physical characteristics of diferente particle sizes in soils with reflection spectroscopy. **African Journal Agricultural Reserch**, v. 7 p. 2225-2235, 2012.

SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G.; Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66 p. 988-998, 2002.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, L. L.; DIM, V. P.; CRUZ, R. S.; PEDRICO, A.; NEVES NETO, D. N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, p. 541-552, 2011.

SILVA, A. J .N.; RIBEIRO, M. R. Caracteriização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: Propriedades químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22 p. 291-299, 1998.

SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C. A. P.; MARQUES JUNIOR, J.; MACHADO, R. V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 401-407, 2007.

SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C. A. P.; VIEIRA, L. H. S.; OLIVEIRA, E. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras v.32, n1, p. 231-241, 2008.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34 p. 15-22, 2010.

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

SOUZA, L. S.; **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**.1992. 162 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Spatial variability of the physical and mineralogical properties of the soil from the áreas with variation in landscap shapes. **Brazilian Archives of Biology Technology** v. 52, p.305-316, 2009.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, p.309-319, 2004a.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar.: **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1763–1771, 2004b.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUES, J. M. L.; FLEXOR, J.; AZEVEDO, A.E.G. Flutuações relativas do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 15, n. 4, p-273-286, 1985.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G.; SUDJADE, M. Spectral variation of soil properties and rice yeld on recently clear edland. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 51, p. 668-674, 1987.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. **Caracterização de solos e avaliação dos principais sistemas de manejo dos Tabuleiros Costeiros do Baixo Rio Doce e das regiões Norte do Estado do Espírito Santo e sua interpretação para uso agrícola**. Viçosa: UFV, 1984. 153 p.

VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; DAMIAN, J. M. Distribuição especial de micronutrientes em áreas de Latossolo irrigado e sequeiro manejadas com a agricultura de precisão. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, p. 408-422, 2012.

VIEIRA, S. R.; Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo: In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAFER, C.E.G.R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2000. v.1, p. 1–55.

VISCARRA ROSSEL, R. A. & BEHRENS, T. Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. **Geoderma**, Amsterdam, v. 158, p. 46-54, 2010.

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

ZORMOSA, R.; GUERRERO, C.; MATAIX-SOLERA, J.; SCOW, K. M.; ARCENEGUI, V. & MATAIX-BENEYTO, J. Near infrared spectroscopy for determination of various physical, chemical and biochemical properties in Mediterranean soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 40, p. 1923-1930, 2008.

CAPÍTULO 2 - VARIABILIDADE ESPACIAL DA COR, DOS ATRIBUTOS GRANULOMÉTRICOS E QUÍMICOS DE SOLOS COESOS DA REGIÃO LESTE MARANHENSE

RESUMO - A caracterização do potencial dos solos é uma das demandas da agricultura sustentável. O objetivo deste trabalho foi o de caracterizar a variabilidade espacial de atributos da granulometria, químicos e cor do solo em áreas agrícolas e mata nativa no município de Brejo – MA. Para a instalação do experimento foram escolhidos três compartimentos de solo representados por uma área cultivada com soja e contígua a essa, uma área com cobertura vegetal remanescente de três feições de cerrado, designadas de Cerradão (A), Cerrado (B), e Campo Cerrado (C). Os compartimentos A e B estão localizados em pedoforma côncava e o compartimento B na pedoforma convexa. Em cada compartimento foi estabelecido malhas de amostragem com 121 pontos e nas áreas com cobertura vegetal foram construídas transeções com 5 pontos espaçados em 20 m. Na camada superficial o compartimento A apresentou maiores alcances médios para atributos granulométricos (117 m), químicos (155 m) e da cor (168). O compartimento B apresentou alcances de 72, 66 e 160 m para atributos granulométricos, químicos e da cor, respectivamente. O compartimento C apresentou alcances de 66, 82 e 56 m para atributos granulométricos, químicos e da cor, respectivamente. Os padrões de variabilidade foram diferentes sendo que o ambiente com maior variabilidade está relacionado com locais de ocorrência de vegetação do tipo Campo Cerrado, em pedoforma convexa, indicando ser este o ambiente de menor capacidade de resposta ao manejo da cultura de soja. Em locais com ausência de vegetação nativa a cor do solo pode ser um indicador dos diferentes padrões de variabilidade da granulometria e fertilidade do solo.

Termos de indexação: geostatística, espectroscopia de reflectância difusa, cerrado

SPATIAL VARIABILITY OF COLOR, PARTICLE SIZE, AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF COHESIVE SOILS OF THE EASTERN REGION MARANHENSE

SUMMARY The characterization of the potential of the soil is one of the demands of sustainable agriculture. The study aimed to characterize the spatial variability of particle size, chemical and soil color and in agricultural areas and native forest in the town of Brejo, State of Maranhão, Brasil. For the experiment, we selected three compartments soil represented by an area cultivated with soybeans and contiguous to this, an area with vegetation cover remaining three features of savanna, designated Cerradão (A), Cerrado (B), and Campo Cerrado (C). The compartments A and B are located on the concave landform, while compartment C in convex. In each compartment was established sampling grids with 121 points and areas with native forest, transects were constructed with 5 points spaced at 20 m. In the surface layer, carrier A had higher texture attributes to medium range (117 m), chemicals (155 m) and color (168) Compartment B showed ranges of 72, 66, 160 m for granulometric chemical and color attributes, respectively. The compartments C showed ranges of 66, 82 and 56 m for granulometric chemical and color attributes, respectively. The variability patterns were different and that the environment with greater variability was related to the occurrence of local vegetation in Campo Cerrado in convex landform, suggesting that this environment less responsive to management of soybean. In areas with no natural vegetation, the soil spectral indexes were indicators of patterns of variability of particle size and soil fertility.

Index terms: geostatistics, diffuse reflectance spectroscopy, savannah

1. INTRODUÇÃO

A expansão da fronteira agrícola, na região Nordeste do Brasil, incorporou ao sistema produtivo, solos de fertilidade marginal, com alto grau de intemperização e que apresentam atributos físicos que limitam o crescimento das raízes das plantas cultivadas e facilitam o desenvolvimento do processo erosivo, como é o caso dos solos coesos, desenvolvidos a partir de material originário da Formação Barreiras.

Esses solos, mesmo quando pertencentes à mesma classe taxonômica, podem apresentar variações em seus atributos, tanto horizontal quanto verticalmente. Essas variações podem ser resultantes dos fatores responsáveis pela formação do solo, pois tanto o material de origem como sua intemperização não ocorrem homoganeamente.

A caracterização detalhada dessas variações dos atributos do solo pode indicar a ocorrência de processos capazes de influenciar na produtividade diferenciada das culturas. E em consequência, possibilita a identificação de locais específicos de manejo do solo e compará-los quanto a sua capacidade de uso (Sanchez et al., 2012).

A vegetação natural, originada juntamente com a evolução desses solos, reflete, em grande parte, as variações específicas dos atributos do solo. O cerrado, vegetação característica de solos de baixa fertilidade e localizados em região de clima estacional, apresenta variadas feições. Assim, solos com maiores teores de areia tendem a apresentar fisionomias mais abertas, denominadas Campo Limpo, Campo Sujo e Campo Cerrado. Ocorrendo compensações parciais, hídricas ou edáficas, as fisionomias tendem a formas mais densas, denominadas Cerrado Denso e Cerradão (Adámoli et al, 1986).

Para a implantação de uma agricultura sustentável, torna-se necessário diagnosticar o potencial dos solos para que se possa determinar as áreas que apresentam melhores condições para a prática da agricultura, bem como ao tipo de manejo a que devem ser submetidas, evitando sérios e irreparáveis danos ambientais (Rockstrom, 2009). Assim, o conhecimento da variabilidade espacial pode ajudar a definir a capacidade de uso do solo e melhores estratégias de gestão (Schaffrath et al., 2008).

Com o objetivo de encontrar um padrão de variabilidade dos atributos do solo que possa ser utilizado para explicar a produção agrícola, tem sido proposto o uso da geoestatística. Outros autores associam o uso dessa ferramenta com a topografia (Noorbakhsh et al., 2008), ou modelos de paisagem, como superfícies geomórficas (Campos et al., 2007), formas de relevo (Souza et al., 2009) e pequenas variações do relevo (Camargo et al., 2008).

A comparação da variação dos atributos do solo em áreas agrícolas já implantadas com a variação em ambientes naturais, matas nativas, pode auxiliar na compreensão das relações de causa e efeito entre fatores e processos de formação do solo, condicionadores da variabilidade natural. Além disso, pode fornecer informações sobre o aumento da variabilidade proporcionado pelas práticas convencionais de manejo do solo. Esses resultados são importantes para balizar a ocupação e o uso do solo por atividades agrícolas, indicando o potencial de uso de acordo com sua capacidade diferenciada de suporte, o que incide diretamente sobre os custos de manejo e impactos ambientais. Essas hipóteses são as mesmas que balizaram trabalhos como o de Santos et al. (2011), que estudaram a variabilidade dos atributos do solo em ambientes naturais e diferentes compartimentos em Gilbués – PI, Sanchez et al. (2012), que estudaram custos de fertilização em cana-de-açúcar, em diferentes compartimentos, bem como o de Montanari et al. (2012), que propuseram um planejamento amostral, conciliando conceitos de modelagem matemática e diferentes compartimentos da paisagem.

Na ausência da vegetação natural, a cor do solo e a forma da paisagem podem ser utilizadas como atributos preditores da variabilidade espacial. O sistema de cor Munsell é o mais utilizado nas áreas de agronomia e pedologia. Por meio da cor, podem-se inferir informações como composição do solo e o processo de gênese. Porém, sua praticidade não compensa sua subjetividade e falta de precisão em informações quantitativas. Nesse sentido, as informações fornecidas por espectroscopia de refletância difusa de amostras (no campo ou laboratório) podem ser utilizadas para refinar o sistema de cor Munsell, gerando nova ferramenta de gestão ainda mais prática e precisa (Barrón et al., 2000). Esse refinamento atribui valores numéricos precisos para cada nova cor gerada, a qual pode ser associada aos valores dos atributos do solo obtidos nas análises convencionais. Viscarra

Rossel (2011) conciliou a quantificação de atributos da cor com o uso da geoestatística, relacionando com diferentes compartimentos geológicos, climáticos e da paisagem.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial de atributos da granulometria, químicos e da cor do solo em áreas agrícolas e matas nativas, no município de Brejo – MA, localizado na Mesorregião Leste do Maranhão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização, caracterização da área e planejamento amostral

O experimento foi desenvolvido no município de Brejo – MA, na Fazenda Typuana, localizado na Mesorregião Leste do Maranhão, Microrregião de Chapadinha – MA, nas coordenadas geográficas de 03°36'82" S e 42°52'51" W (Figura 1a). O clima, segundo a classificação climática de Köppen-Gerger, é do tipo Aw, clima tropical com estação seca de inverno. A estação chuvosa está concentrada entre os meses de novembro e maio, com precipitação pluvial média de 1.835 mm, temperatura média anual acima de 27 °C e umidade relativa anual entre 73 e 79% (Governo do Estado do Maranhão, 2002).

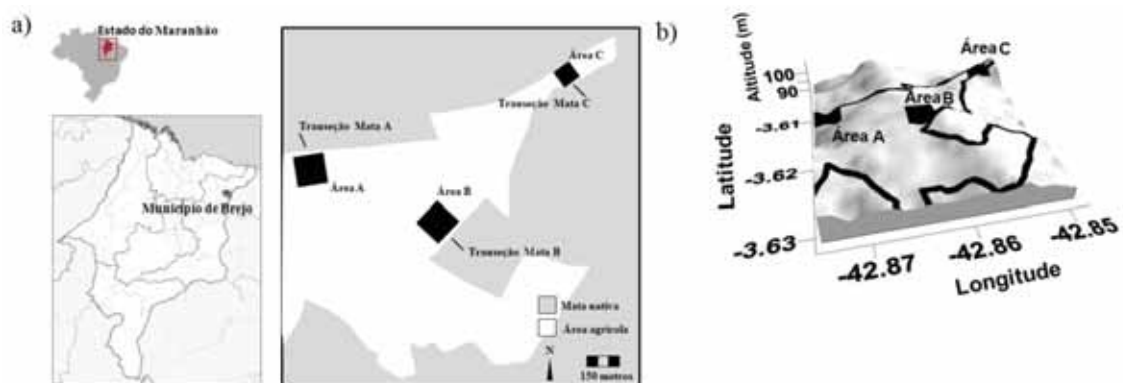


Figura 1. Localização da área, malhas de amostragem e transeções (a) e modelo digital de elevação (b).

Para a instalação do experimento, foram selecionados três compartimentos de solo denominados A, B e C, com base na vegetação nativa, como descrito a seguir. Cada compartimento era composto por dois ambientes, um ambiente de

produção, cultivado com soja e outro, contíguo a esse, com cobertura vegetal remanescente de três feições de cerrado, designadas de Cerradão, Cerrado e Campo Cerrado. Oliveira Filho & Ratter (2002), caracterizam as três feições de cerrado como: - Cerradão, vegetação arbórea variando entre 8 e 12 m de altura, com percentagem de cobertura entre 50 e 90%; - Cerrado ou Cerrado Típico, árvores e arbustos que vão de 3 a 8 m. de altura e cobertura superior a 30%; - Campo Cerrado, árvores dispersas e arbustos com elevada concentração de vegetação herbácea.

O compartimento A apresenta vegetação remanescente da feição de Cerradão. Este compartimento está localizado em pedofoma côncava, relevo suave ondulado. O ambiente de produção vem sendo cultivada há dez anos com soja (Figura 1b). O compartimento B apresenta vegetação remanescente da feição de cerrado denominada Cerrado. Este compartimento está localizado em pedofoma côncava, relevo suave ondulado. O ambiente de produção vem sendo cultivada há seis anos com soja. O compartimento C apresenta vegetação remanescente designada Campo Cerrado. Este ambiente está localizado em pedofoma convexa, relevo suave ondulado. O ambiente de produção vem sendo cultivada há quatro anos com soja.

Para a classificação dos solos, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa 2006), foram abertas e descritas trincheiras em cada um dos compartimentos no ambiente de mata. O solo dos três compartimentos, desenvolvido a partir de material da Formação Barreiras, foi classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso típico.

Nos ambientes de produção dos três compartimentos, é feita a correção da acidez do solo toda vez que a necessidade de calagem calculada pelo método do V% é maior que 1 tonelada de calcário com PRNT de 70% por hectare. A adubação de manutenção tem sido a mesma para os três compartimentos que anualmente tem recebido 16 kg de N, 120 kg de P_2O_5 e 60 kg de K_2O por hectare.

Nos ambientes de produção dos compartimentos A e B, foram estabelecidas malhas de amostragem quadradas com espaçamento regular de 25 m, totalizando 121 pontos de amostragem em uma área de 6,2 ha. No ambiente de produção do compartimento C, foi estabelecida malha de amostragem quadrada com

espaçamento regular de 10 m, totalizando 121 pontos de amostragem em uma área de 2,2 ha. Para fins de comparação da variabilidade dos atributos do solo em ambiente natural e ambiente de produção, foram construídas transeções de 100 m nas matas remanescentes. Foram coletados nas transeções 5 pontos espaçados em 20 m. As amostras das malhas e transeções foram coletadas nas profundidades de 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m.

2.2. Análises laboratoriais

A análise granulométrica foi realizada utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação com aparato de baixa rotação. A argila foi determinada pelo método da pipeta, a areia foi separada por tamisação, e o silte, calculado por diferença (Embrapa, 1997). Para as análises de fertilidade do solo, utilizou-se a metodologia proposta por Raij et al. (2001). Com base nestes resultados, foram calculados os valores da soma de bases (SB), da capacidade de troca catiônica potencial (CTC) e da percentagem de saturação de bases (V%). O fósforo remanescente foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Alvarez V. et al. (2000). Estas análises foram realizadas para todas as amostras coletadas nos compartimentos estudados.

2.3. Avaliação da espectroscopia de reflectância difusa e determinação da cor

Para a obtenção dos espectros de reflectância difusa, as avaliações foram feitas com o sensor de laboratório Lambda 950. Foi moído aproximadamente 0,5 g de TFSA em ágata até obtenção de coloração constante. O conteúdo foi colocado em um porta-amostras com um espaço cilíndrico de 16 mm. Os valores de reflectância foram determinados em espectrofotômetro equipado com esfera integradora de 80 mm, a cada 1 nm, com um tempo de integração de 0,2 segundo, fazendo uma varredura no intervalo de 380 a 780 nm. Após a obtenção dos espectros de reflectância difusa das amostras de solo, foram determinados os valores de triestímulo XYZ definidos pela Comisión Internacional de L'Eclairage. A partir das coordenadas XYZ foram deduzidos os valores Munsell de matiz, croma e valor, utilizando o programa Munsell Conversion versão 6.4, conforme e Barrón et al.

(2000) e ViscarraRossel (2011). Estas determinações foram realizadas para todas as amostras coletadas nos compartimentos estudados.

2.4. Análises dos dados

Foram calculados a média, o coeficiente de variação e o desvio-padrão. Para a avaliação da diferença dos valores médios entre os compartimentos, identificadas com base na vegetação nativa, foi aplicado o teste de Tukey, a 5%. Nas comparações das médias foram considerados os seguintes fatores no esquema fatorial: compartimentos de solos com três níveis, A, B, C, e o fator ambiente com dois níveis, ambiente de produção (AP) e ambiente de mata nativa (MN), o que resultou seis tratamentos: AAP, AMN, BAP, BMN, CAP e CMN. Dessa maneira para a aplicação do teste de Tukey, cada ponto coletado em cada área foi interpretado como sendo uma pseudo-repetição. O teste de Tukey leva em conta o desbalanceamento destas pseudo-repetições..

A modelagem do variograma experimental, seguindo os princípios estabelecidos pela hipótese intrínseca (Isaaks & Srivastava, 1989), foi realizada visando à captação da variabilidade espacial dos atributos da granulometria, químicos e cor do solo. O variograma experimental foi determinado por meio do cálculo da variância em função da distância de separação entre amostras (Equação 1).

$$\hat{\gamma} = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

em que $\hat{\gamma}$, é a variância experimental para uma distância de separação h , $N(h)$ é o número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados pela distância h . A estacionariedade necessária ao uso da geoestatística foi avaliada por meio de análise de tendência, utilizando regressões lineares, para os eixos X, Y e suas interações. Assim, pela diferença entre o valor medido e o valor da superfície do polinômio ajustada, obtiveram-se os valores do resíduo que foi utilizado para a construção do variograma.

A escolha do melhor modelo ajustado aos variogramas baseou-se na soma de quadrado dos resíduos (SQR) e no coeficiente de determinação (R^2).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no ambiente de mata, mostram que os solos dos compartimentos A e B não apresentam diferenças significativas entre si quanto à granulometria, porém diferem, na maioria das frações granulométricas do solo, do ambiente C, que apresenta maiores teores de argila e silte, e menores teores de areias nas duas profundidades estudadas (Quadro 1).

Tais resultados nos permitem inferir que, embora estes solos possuam a mesma denominação taxonômica (Argissolo Amarelo distrocoeso típico) e algumas semelhanças morfológicas, possuem diferentes padrões de variabilidade, tanto em ambiente de produção como em ambiente de mata. Segundo Sanchez et al. (2009), os locais sob a mesma classe de solo e manejo, influenciados por diferentes formas de paisagem e declives, possuem padrões de variabilidade espacial dos atributos do solo diferenciados, estando essas variações associadas ao relevo.

Este fato pode ser explicado pela natureza do material de origem. A Formação Barreiras representa uma cobertura sedimentar terrígena continental, de idade pliocênica, depositada por sistemas fluviais entrelaçados, associados a leques aluviais. As faces de sistemas fluviais entrelaçados apresentam depósitos de granulometria variada com cascalhos e areias grossas e finas, de coloração creme amarelada, com intercalações de microclastos de argila siltica, indicativo de ambiente de sedimentação calmo, como, por exemplo, de planície aluvial. (Alheiros et al., 1988).

Comparando-se os valores dos CV das frações granulométricas do ambiente de mata, com os valores de CV do ambiente de produção, na profundidade de 0,0 – 0,2 m, pode-se afirmar que o solo que apresentou a maior variabilidade de seus atributos devido às práticas agrícolas, considerado um dos fatores responsáveis pela variabilidade granulométrica, foi o solo do compartimento A, seguido do solo do compartimento B, e do solo do compartimento C, indicando que o solo menos impactado pelo manejo foi o do compartimento C.

Também na profundidade de 0,2 – 0,4 m, observa-se que a heterogeneidade decresce do solo do compartimento A para o do compartimento C, da mesma forma que foi observado na camada de 0,0 – 0,2 m, confirmando ser o solo do

compartimento A o mais impactado pelo manejo, e o do compartimento C o menos impactado.

Quadro 1. Valores médios dos atributos granulométricos dos solos estudados nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,2 – 0,4 m.

Atributo	Estatística	Compartimento A		Compartimento B		Compartimento C	
		Produção	Mata	Produção	Mata	Produção	Mata
0,0-0,2 m							
Argila	Média	153,65b	169,60ab	145,41b	142,50b	204,96a	182,00ab
	DP	56,36	3,49	22,82	9,74	30,78	13,21
	CV	36,68	2,06	15,69	6,84	15,02	7,26
Silte	Média	109,48b	93,20bc	80,85c	79,10c	148,18a	157,00a
	DP	16,97	6,82	20,15	4,66	22,82	12,18
	CV	15,50	7,32	24,92	5,89	15,40	7,76
Areia Total	Média	736,85a	737,20a	773,74a	778,40a	647,57b	661,00b
	DP	56,06	5,54	25,95	9,53	34,82	12,39
	CV	7,61	0,75	3,35	1,22	5,38	1,87
Areia Grossa	Média	43,64b	35,00b	51,13a	46,00ab	23,68c	35,00b
	DP	8,50	5,66	12,23	5,00	4,61	8,25
	CV	19,48	16,16	23,92	10,87	19,47	23,56
Areia Fina	Média	400,61b	415,80ab	445,50a	449,80a	322,71c	322,60c
	DP	46,34	10,92	25,05	10,26	25,47	25,80
	CV	11,57	2,63	5,62	2,28	7,89	8,00
0,2-0,4 m							
Argila	Média	202,30b	191,30b	208,85b	224,60b	321,53a	234,40b
	DP	50,65	8,43	22,36	7,50	35,93	17,98
	CV	25,04	4,41	10,71	3,34	11,17	7,67
Silte	Média	114,29b	102,10bc	87,99c	92,60c	135,02a	149,00a
	DP	20,08	5,35	17,98	6,17	14,62	16,69
	CV	17,57	5,24	20,44	6,66	10,83	11,20
Areia Total	Média	683,40a	706,60a	703,16a	682,80a	543,45c	616,60b
	DP	47,01	10,85	19,19	6,10	30,87	17,10
	CV	6,88	1,54	2,73	0,89	5,68	2,77
Areia Grossa	Média	37,24b	28,80bc	44,68a	32,20bc	27,05c	31,80bc
	DP	8,50	3,96	12,90	4,38	4,83	1,30
	CV	22,83	13,76	28,87	13,61	17,87	4,10
Areia Fina	Média	369,17a	399,00a	390,05a	384,60a	265,35c	306,00b
	DP	39,03	15,72	25,44	11,67	19,81	6,24
	CV	10,57	3,94	6,52	3,04	7,47	2,04

Valores de argila, silte, areia total, areia grossa e areia fina expressos em $g\ kg^{-1}$; CV – coeficiente de variação (%); DP – desvio-padrão. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

Os solos dos compartimentos A e B, que apresentam maiores valores de CV, estão localizados em pedofoma côncava que, de acordo com Resende et al. (2007), possui instabilidade maior nas partes mais altas, onde há maior remoção de solo e

maior estabilidade nas áreas mais baixas, onde há maior acúmulo. Segundo Montanari et al. (2005), essas diferentes posições criam situações locais variadas.

O CV não tem sido considerado como um bom indicador da variabilidade espacial dos atributos do solo, quando utilizado individualmente, pois em alguns casos pode mascarar a real interpretação da heterogeneidade espacial sobre os valores médios. Nesse caso, é recomendada a utilização da análise geoestatística (Sampaio et al., 2011).

Os solos dos três compartimentos estudados, no ambiente de mata, não diferem entre si quanto aos atributos químicos do solo, na profundidade de 0,0 – 0,2 m, sendo pobres em Ca, Mg, K e P, apresentando altos valores de acidez ativa determinada em CaCl_2 , baixos valores de CTC potencial, soma de bases e percentagem de saturação de bases, de acordo com Raij et al. (1997). (Quadro 2). Essas condições apresentam-se como desfavoráveis ao ótimo crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas. Tais valores são ainda mais baixos na profundidade de 0,2 – 0,4 m (Quadro 3).

Neste ambiente, os solos apresentam baixos valores de adsorção de fósforo (Alvarez V. et al., 2000), aqui expressa na forma de fósforo remanescente, não diferindo significativamente entre eles, o que pode ser creditado aos baixos teores de argila apresentados pelos solos estudados. Também não houve diferenças significativas entre os teores de matéria orgânica dos nos solos dos três compartimentos estudados, que variam de 12,8 a 18,8 g kg^{-1} , na profundidade de 0,0 – 0,2 m (Quadro 2).

No ambiente de produção, pode-se verificar que os solos responderam de forma diferenciada à adubação, sendo as maiores respostas encontradas no solo do compartimento A, e as menores respostas, no solo do compartimento C. Embora o solo do compartimento A seja aquele manejado há mais tempo, isto por si só não justifica os menores aumentos nos atributos químicos no solo do compartimento C, uma vez que vem recebendo doses maciças de corretivos e fertilizantes minerais.

Em um solo com cultivo intenso de cana-de-açúcar por mais de vinte anos, Sanchez et al. (2009), também verificaram que os maiores valores médios dos atributos químicos ocorreram na pedoforma côncava. Esse comportamento pode ser atribuído às condições de drenagem e às características convergentes da

inclinação dos declives responsáveis pela acumulação dos nutrientes (Resende et al., 2007).

Quadro 2. Valores médios dos atributos químicos dos solos estudados na profundidade de 0,0-0,2 m.

Atributo	Estatística	Compartmento A		Compartmento B		Compartmento C	
		Produção	Mata	Produção	Mata	Produção	Mata
pH	Média	5,12a	3,92cd	4,72b	3,84d	4,26c	4,12cd
	DP	0,45	0,04	0,36	0,05	0,31	0,04
	CV	8,73	1,14	7,70	1,43	7,37	1,09
M.O.	Média	23,28a	18,40ab	17,28b	18,80ab	11,74ab	12,80b
	DP	9,02	5,13	3,45	3,42	2,55	0,84
	CV	38,27	27,87	19,96	18,19	21,68	6,54
P	Média	22,95b	3,60b	36,69a	4,80b	22,12b	3,60b
	DP	23,11	0,89	29,15	1,30	13,65	0,55
	CV	100,69	24,85	79,45	27,16	61,71	15,21
K	Média	1,20a	0,34c	1,05b	0,32c	0,73c	0,52c
	DP	0,55	0,05	0,35	0,04	0,25	0,11
	CV	45,55	16,11	33,93	13,98	34,77	21,07
Ca	Média	24,47a	3,00c	14,53b	2,80c	4,49c	3,00c
	DP	12,95	0,00	5,92	0,45	4,47	0,00
	CV	52,94	0,00	40,75	15,97	99,44	0,00
Mg	Média	17,04a	1,20c	7,01b	1,60c	2,83c	1,40c
	DP	8,19	0,45	4,12	0,55	1,77	0,55
	CV	48,07	37,27	58,74	34,23	62,53	39,12
P - rem	Média	43,14b	35,84b	50,36a	40,72b	51,51a	44,32b
	DP	7,41	2,23	3,85	1,64	2,26	2,36
	CV	17,18	6,23	7,64	4,04	4,39	5,32
H + Al	Média	34,11b	52,80a	34,29b	58,20a	24,07c	25,60bc
	DP	17,90	10,43	10,31	8,14	5,10	1,34
	CV	52,47	19,75	30,05	13,98	21,21	5,24
SB	Média	42,41a	4,54c	23,15b	4,72c	8,05c	4,92c
	DP	21,00	0,43	11,93	0,86	6,19	0,63
	CV	49,16	9,42	51,54	18,13	76,85	12,73
CTC	Média	76,82a	57,34bc	57,44b	62,92ab	32,12c	30,52c
	DP	27,17	10,23	11,33	8,19	6,29	1,79
	CV	35,38	17,84	19,72	13,01	19,57	5,87
V%	Média	54,77a	8,17d	39,91b	7,59d	24,37c	16,09cd
	DP	16,42	1,96	14,12	1,57	11,10	1,42
	CV	29,97	24,02	35,38	20,71	45,55	8,81

DP – desvio-padrão; CV – coeficiente de variação (%); MO – matéria orgânica ; SB – soma de bases; P-rem – fósforo remanescente; H+Al – Acidez potencial ou Acidez total; CTC – capacidade de troca de cátions potencial; V% -percentagem de saturação bases. Os valores de MO são expressos em mg kg⁻¹, de P em mg dm⁻³, de K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC mmolc dm⁻³, P-rem em mg L⁻¹. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

A cobertura vegetal também reflete a capacidade de resposta do solo à adubação. O solo que mais responde à adubação apresenta a vegetação

denominada Cerradão, e o que menos responde, apresenta a vegetação denominada Campo Cerrado.

Quadro 3. Valores médios dos atributos químicos dos solos estudados na profundidade de 0,2-0,4 m.

Atributo	Estatística	Compartimento A		Compartimento B		Compartimento C	
		Produção	Mata	Produção	Mata	Produção	Mata
pH	Média	4,16a	3,84b	3,96b	3,82b	4,03b	4,02b
	DP	0,24	0,05	0,17	0,04	0,18	0,04
	CV	5,77	1,43	4,19	1,17	4,52	1,11
M. O.	Média	15,62a	14,40ab	10,23b	9,40bc	6,65c	9,60bc
	DP	7,10	2,51	2,39	1,34	2,07	0,89
	CV	45,44	17,43	23,35	14,27	31,11	9,32
P	Média	5,67b	3,80b	9,08a	3,20b	6,51b	3,40b
	DP	4,65	0,45	7,67	0,45	4,49	0,55
	CV	81,93	11,77	84,47	13,98	69,03	16,11
K	Média	0,51a	0,24b	0,35b	0,22b	0,47a	0,40ab
	DP	0,21	0,05	0,14	0,04	0,17	0,14
	CV	41,85	22,82	39,80	20,33	37,34	35,36
Ca	Média	7,57a	2,00b	3,60b	2,00b	2,41b	2,20b
	DP	5,47	0,00	1,63	0,00	0,98	0,45
	CV	72,25	0,00	45,18	0,00	40,82	20,33
Mg	Média	4,66a	1,00b	1,85b	1,00b	1,35b	1,00b
	DP	3,35	0,00	1,10	0,00	0,67	0,00
	CV	71,87	0,00	59,32	0,00	49,57	0,00
H + Al	Média	51,23a	46,40ab	43,88b	41,40bc	22,83c	25,00bc
	DP	25,70	8,29	8,87	4,67	3,24	0,00
	CV	50,17	17,88	20,22	11,28	14,20	0,00
SB	Média	12,74a	3,24b	5,80b	3,22b	4,23b	3,60b
	DP	8,70	0,05	2,70	0,04	1,63	0,41
	CV	68,31	1,69	46,53	1,39	38,52	11,45
CTC	Média	63,96a	49,64b	49,68b	44,62bc	27,06c	28,60c
	DP	31,11	8,30	8,33	4,63	2,89	0,41
	CV	48,64	16,73	16,77	10,38	10,68	1,44
V%	Média	19,74a	6,67c	12,00c	7,29c	15,77b	12,57bc
	DP	9,16	1,06	5,99	0,92	6,01	1,24
	CV	46,43	15,91	49,94	12,67	38,13	9,90

DP – desvio padrão; CV – coeficiente de variação (%); M.O – matéria orgânica; SB – soma de bases; H+Al – Acidez potencial ou Acidez total; CTC – capacidade de troca de cátions potencial; V% -percentagem de saturação bases. Os valores de MO são expressos em mg kg⁻¹, de P em mg dm⁻³, de K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC em mmol_c dm⁻³. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

Os elementos constituintes da cor do solo, matiz, valor e croma, determinados pelo método da reflectância difusa, não apresentaram diferenças significativas entre os ambientes de mata e de produção para solos de um mesmo compartimento, mostrando que a cor do solo, é um atributo morfológico não influenciado pelas práticas de manejo (Quadro 4).

Quadro 4. Valores médios dos constituintes da cor dos solos estudados na profundidade de 0,0-0,2 m.

Atributo	Estatística	Compartimento A		Compartimento B		Compartimento C	
		Produção	Mata	Produção	Mata	Produção	Mata
Matiz	Média	9,33b	9,48ab	9,55a	9,45ab	8,62c	8,84c
	DP	0,33	0,11	0,14	0,10	0,30	0,22
	CV	3,58	1,21	1,50	1,08	3,48	2,44
Valor	Média	4,84b	5,03b	4,90b	4,68b	6,42a	6,34a
	DP	0,51	0,21	0,20	0,27	0,21	0,18
	CV	10,52	4,13	4,17	5,66	3,21	2,88
Croma	Média	2,34b	2,60b	2,62b	2,46b	4,12a	3,93a
	DP	0,18	0,11	0,14	0,13	0,32	0,16
	CV	7,60	4,19	5,48	5,39	7,78	4,19

DP – desvio-padrão; CV – coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

Quando se comparam os solos dos diversos compartimentos entre si, verifica-se que os solos dos compartimentos A e B, que apresentam coloração mais amarelada, não diferem entre si, mas diferem do solo do compartimento C, que apresenta coloração com um matiz mais avermelhado. De forma geral, a cor do solo está relacionada com os seguintes aspectos: drenagem, matéria orgânica, fixação de fósforo, fertilidade de uma forma geral, e com o conteúdo e a forma de ferro (Resende, 2007).

Os solos dos compartimentos A e B estão situados em pedoformas côncavas do relevo, enquanto o solo do compartimento C se situa em forma convexa. A forma côncava favorece o armazenamento de água, tornando o ambiente redutor. Assim, o Fe^{+++} , que confere a cor vermelha do solo, é reduzido a Fe^{++} , mais solúvel, que é retirado do sistema, ficando o solo com coloração mais amarelada (Resende et al., 2007).

Aos variogramas experimentais dos valores das granulometrias de todos os solos foram ajustados o modelo esférico (Quadro 5). Esse modelo é o mais utilizado e o mais adaptado para descrever o comportamento de atributos de plantas e solo (Gomes et al., 2008), e normalmente se ajusta aos dados cuja distribuição apresente mudanças abruptas. As mudanças abruptas dos atributos do solo podem estar relacionadas àquelas observadas para os diferentes tipos de material de origem (Isaaks & Srivastava, 1989).

Quadro 5. Modelos e parâmetros ajustados aos variogramas experimentais dos atributos granulométricos dos solos estudados nas profundidades de 0,0-0,2 m e 0,2-0,4 m.

Atributo	Compartimento	Modelo	C0	C0+ C ₁	GDE	Alcance	R ²	SQR
0,0-0,2m								
Argila	A*	Esférico	71,85	1044,03	6,88	87,60	0,65	2,71E+05
	B	Esférico	278,85	517,95	53,84	67,70	0,82	3,75E+03
	C	Esférico	287,57	956,63	30,06	75,45	0,99	2,53E+03
Silte	A	Esférico	19,98	326,95	6,11	131,10	0,98	2,10E+03
	B	Esférico	229,78	404,70	56,78	111,91	0,91	1,99E+03
	C**	Esférico	6,34E-03	1,47E-02	43,19	63,50	0,81	6,57E-06
Areia Total	A	Esférico	4,37	4176,53	0,10	171,49	0,99	4,15E+05
	B	Esférico	274,28	562,40	48,77	50,13	0,84	3,10E+03
	C	Esférico	284,51	1272,72	22,35	60,10	0,98	8,56E+03
Areia Grossa	A	Esférico	33,30	78,80	42,26	108,81	0,90	1,81E+02
	B*	Esférico	64,20	88,38	72,64	60,09	0,81	4,41E+01
	C	Esférico	9,92	19,09	51,96	48,17	0,76	7,98E+00
Areia Fina	A*	Esférico	22,80	780,74	2,92	87,87	0,52	1,68E+05
	B*	Esférico	257,23	432,02	59,54	68,70	0,90	2,10E+03
	C	Esférico	209,32	657,97	31,81	83,60	0,97	4,60E+03
0,2-0,4m								
Argila	A*	Esférico	0,14	949,26	0,01	96,93	0,78	1,53E+05
	B	Esférico	232,95	507,47	45,90	92,75	0,95	1,99E+03
	C	Esférico	553,44	1356,49	40,80	82,62	0,96	1,18E+04
Silte	A*	Esférico	48,55	166,30	29,19	80,37	0,55	6,75E+03
	B**	Esférico	1,40E-02	3,38E-02	41,46	130,03	0,90	3,52E-06
	C	Esférico	126,93	197,54	64,26	56,02	0,89	2,11E+02
Areia Total	A	Esférico	0,16	2735,62	0,01	149,28	0,99	8,98E+04
	B**	Esférico	2,94E-04	4,58E-04	64,24	51,11	0,45	6,10E-09
	C	Esférico	398,00	991,97	40,12	75,69	0,96	7,24E+03
Areia Grossa	A	Esférico	36,77	81,04	45,38	143,75	0,84	3,23E+02
	B	Esférico	38,70	152,48	25,38	160,80	0,97	3,92E+02
	C	Esférico	11,24	24,03	46,80	33,50	0,91	1,72E+00
Areia Fina	A*	Esférico	26,07	730,80	3,57	95,70	0,71	1,24E+05
	B	Esférico	233,04	707,10	32,96	158,73	0,96	8,58E+03
	C**	Esférico	2,90E-03	5,67E-03	51,09	47,32	0,81	6,73E-07

C₀ – efeito pepita; C₀+ C₁ – patamar; GDE – grau de dependência espacial (C₀/ C₀+ C₁); R² coeficiente de determinação; SQR - soma de quadrado dos resíduos; * retirada de tendência; ** transformação logarítmica.

Os solos apresentaram dependência espacial para as granulometrias nas duas profundidades estudadas, apresentando Grau de Dependência Espacial (GDE) de moderada a forte, segundo classificação de Cambardella et al. (1994), a qual

permite classificar o GDE em dependência espacial forte, quando $\leq 25\%$, dependência espacial moderada, quando $25\% < \text{GDE} \leq 75\%$, e dependência espacial fraca, quando $\text{GDE} > 75\%$. Na profundidade de 0,0 – 0,2 m, os valores médios do Grau de Dependência Espacial (GDE) foram de 11,65 %; 58,31 % e 46,66 %, respectivamente, nos solos dos compartimentos A, B e C, e na profundidade de 0,2 – 0,4 m, os valores médios do Grau de Dependência Espacial (GDE) foram de 15,66 %; 27,51 % e 31,23 %, respectivamente, nos solos dos compartimentos A, B e C.

O alcance representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si. Diferentes valores de alcance foram encontrados para as várias frações granulométricas, nos diferentes solos e profundidades estudadas. Na profundidade de 0,0 – 0,2 m, o solo do compartimento A apresentou os maiores alcances em todas as frações granulométricas estudadas, quando comparado aos solos dos demais compartimentos. Os valores médios foram de 117, m, 72 m e 66 m, para os solos dos compartimentos A, B e C respectivamente. Na profundidade de 0,2 - 0,4 m, os alcances médios foram de 113 m; 119 m e 59 m, para os solos dos compartimentos A, B e C, respectivamente.

A análise dos valores de alcance (Quadro 5) e dos valores de CV (Quadro 1) permitem melhor compreensão do comportamento da variabilidade dos atributos do solo. Assim, os resultados médios de alcance dos variogramas contradizem a variabilidade inferida unicamente por meio da estatística descritiva demonstrando que a menor variabilidade ocorre no solo do compartimento A, e a maior, no solo do compartimento C. Como o solo do compartimento A é o manejado há mais tempo, e o solo do compartimento C é manejado há menos tempo, fica assim demonstrada a contribuição do manejo para a homogeneização da camada superficial.

Todos os valores dos atributos químicos dos solos, dos três compartimentos, quando houve dependência espacial, foram ajustados ao modelo esférico. O ajuste dos atributos químicos do solo a este modelo também foi obtido por Silva Neto et al. (2011), além de outros autores (Quadros 6 e 7).

Quadro 6. Modelos e parâmetros ajustados aos variogramas experimentais dos atributos químicos dos solos estudados na profundidade de 0,0-0,2 m.

Atributo	Compartimento	Modelo	C ₀	C ₀ + C ₁	GDE	Alcance	R ²	SQR
pH	A	Esférico	0,13	0,22	57,15	153,07	0,94	4,20E-04
	B**	Esférico	3,40E-03	4,50E-03	75,46	65,96	0,94	2,92E-08
	C	Esférico	3,99E-02	9,14E-02	43,65	50,22	0,96	2,72E-05
M.O.	A	Esférico	1,00E-01	1,12E+02	0,09	182,37	0,98	3,83E+02
	B	Esférico	6,38	12,09	52,74	53,98	0,83	1,60E+00
	C**	Esférico	1,92E-02	3,81E-02	50,35	40,06	0,81	1,89E-05
P	A**	Esférico	0,30	0,50	60,64	151,29	0,94	2,14E-03
	B**	Esférico	0,26	0,38	68,81	69,84	0,81	9,11E-04
	C	Esférico	51,44	95,27	53,99	32,69	0,87	4,19E+01
K	A	Esférico	0,15	0,34	45,80	165,19	0,84	6,38E-03
	B**	EPP	0,13	---	---	---	---	---
	C**	Esférico	5,37E-02	8,46E-02	63,49	73,33	0,87	5,77E-05
Ca	A	Esférico	78,48	196,60	39,92	179,50	0,91	1,29E+03
	B**	Esférico	8,26E-02	1,19E-01	69,14	61,63	0,86	1,00E-04
	C**	Esférico	5,86E-02	9,32E-02	62,91	80,39	0,68	3,28E-04
Mg	A	Esférico	30,77	82,14	37,46	193,26	0,97	6,65E+01
	B**	EPP	0,16	---	---	---	---	---
	C**	Esférico	0,12	0,16	69,80	66,02	0,76	5,16E-04
P – rem	A*	Esférico	9,65	18,90	51,05	63,02	0,68	1,17E+01
	B	Esférico	10,43	14,57	71,61	76,31	0,70	3,05E+00
	C	Esférico	3,08	4,44	69,43	65,15	0,87	1,03E-01
H + Al	A**	Esférico	0,07	0,27	26,78	178,91	0,97	1,15E-03
	B	Esférico	68,43	91,90	74,46	99,90	0,78	1,85E+02
	C	Esférico	12,95	25,93	49,93	74,00	0,86	1,43E+01
SB	A	Esférico	197,00	532,21	37,02	184,74	0,96	4,35E+03
	B**	Esférico	6,67E-02	9,59E-02	69,58	49,58	0,96	7,40E-06
	C	Esférico	3,15	8,76	35,95	176,01	0,93	2,83E+00
CTC	A*	Esférico	64,00	379,85	16,85	101,20	0,91	5,20E+03
	B	Esférico	36,55	92,77	39,40	48,77	0,84	8,99E+01
	C	Esférico	14,38	24,97	57,57	73,09	0,94	3,76E+00
V%	A	Esférico	176,23	298,53	59,03	147,04	0,94	7,25E+02
	B**	EPP	0,11	---	---	---	---	---
	C**	Esférico	0,06	0,16	33,76	169,95	0,92	1,39E-03

EPP – efeito pepita puro; C₀ – efeito pepita; C₀+ C₁ – patamar; GDE – grau de dependência espacial (C₀/ C₀+ C₁); R² - coeficiente de determinação; SQR - soma de quadrado dos resíduos; MO – matéria orgânica; P – rem – fósforo remanescente; SB – soma de bases; CTC – capacidade de retenção de cátions; V% - saturação por bases; * retirada de tendência; ** transformação logarítmica.

Quadro 7. Modelos e parâmetros ajustados aos variogramas experimentais dos atributos químicos dos solos estudados na profundidade 0,2 – 0,4 m.

Atributo	Compartimento	Modelo	C ₀	C ₀ + C ₁	GDE	Alcance	R ²	SQR
pH	A	Esférico	2,29E-02	5,09E-02	45,04	65,69	0,73	9,02E-05
	B**	Esférico	7,42E-04	1,23E-03	60,31	57,06	0,89	8,53E-09
	C**	Esférico	7,76E-04	1,87E-03	41,45	50,40	0,88	4,62E-08
M.O.	A**	Esférico	0,02	0,22	7,02	214,81	0,98	1,09E-03
	B	Esférico	1,74	3,61	48,22	44,03	0,88	1,21E-01
	C**	Esférico	0,04	0,07	50,15	49,52	0,92	5,55E-05
P	A**	Esférico	0,09	0,16	56,77	179,80	0,94	3,69E-04
	B**	EPP	0,37	---	---	---	---	---
	C**	Esférico	0,07	0,11	58,80	42,91	0,85	5,26E-05
K	A**	Esférico	9,55E-03	1,77E-02	53,95	155,50	0,85	9,09E-06
	B**	EPP	0,11	---	---	---	---	---
	C**	Esférico	0,05	0,13	37,30	34,40	0,84	1,57E-04
Ca	A**	Esférico	0,16	0,46	33,50	176,94	0,99	1,15E-03
	B**	EPP	0,14	---	---	---	---	---
	C**	EPP	0,07	---	---	---	---	---
Mg	A**	Esférico	0,23	0,62	37,01	192,06	0,94	1,04E-02
	B**	EPP	0,23	---	---	---	---	---
	C**	Esférico	0,07	0,14	54,04	47,08	0,70	5,39E-04
H + Al	A**	Esférico	1,00E-04	0,22	0,04	160,30	0,98	1,22E-03
	B**	Esférico	2,00E-02	3,58E-02	55,94	78,48	0,94	6,12E-06
	C**	Esférico	6,78E-03	1,88E-02	36,15	53,60	0,96	2,39E-06
SB	A	Esférico	42,30	87,32	48,44	156,6	0,971	1,76E+01
	B	EPP	0,11	---	---	---	---	---
	C**	Esférico	2,36E-02	3,83E-02	61,73	42,592	0,694	2,51E-05
CTC	A	Esférico	602,49	1105,00	54,52	150,3	0,711	8,45E+04
	B	Esférico	37,57	70,10	53,60	57,0623	0,94	2,14E+01
	C**	Esférico	3,78E-03	1,03E-02	36,84	59,004	0,96	4,71E-07
V%	A	EPP	0,20	---	---	---	---	---
	B**	Esférico	1,02E-01	1,27E-01	79,99	75,0646	0,721	9,42E-05
	C**	Esférico	2,49E-02	4,29E-02	58,01	46,0889	0,873	1,77E-05

EPP – efeito pepita puro; C₀ – efeito pepita; C₀+ C₁ – patamar; GDE – grau de dependência espacial (C₀/ C₀+ C₁); R² - coeficiente de determinação; SQR - soma de quadrado dos resíduos ; MO – matéria orgânica; SB – soma de bases; CTC – capacidade de retenção de cátions; V% - saturação por bases; *retirada de tendência; ** transformação logarítmica.

A grande maioria dos atributos químicos do solos estudados nas duas profundidades dos solos dos três compartimentos apresentou dependência espacial moderada a forte. Na profundidade de 0,0 a 0,2 m, à exceção do potássio, magnésio e percentagem de saturação por bases no solo do compartimento B, que

apresentaram Efeito Pepita Puro, todos os demais atributos químicos do solo apresentaram GDE moderada a forte, sendo o GDE moderado predominante na maioria dos atributos. Os valores médios de GDE foram de 39,14 %; 55,42 % e 54,83 % para os solos dos compartimentos A, B e C, respectivamente.

Na profundidade de 0,2 a 0,4 m, apresentaram Efeito Pepita Puro (EPP), no solo do compartimento A, a percentagem de saturação por bases; no solo do compartimento B, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e soma de bases, e no solo do compartimento C, cálcio. Isto indica ausência de dependência espacial para estes atributos. Nestas condições, a avaliação destes atributos é feita exclusivamente pela estatística descritiva. Nesta profundidade, os valores médios do GDE foram de 36,68 %; 45,74 % e 39,91 % para os solos dos compartimentos A, B e C, respectivamente.

A forte dependência espacial dos atributos do solo é atribuída a fatores intrínsecos enquanto a dependência espacial moderada é atribuída a fatores extrínsecos (Carvalho et al., 2003). Assim, Silva Neto et al. (2011), creditaram a forte dependência espacial encontrada para os atributos químicos do solo a qualquer um dos fatores de formação do solo, principalmente ao material de origem e relevo, enquanto a dependência espacial moderada seria devido à homogeneização do solo que as adubações e calagens proporcionam ao solo.

Os atributos químicos do solo apresentaram diferentes alcances nos compartimentos e profundidades estudadas, entretanto, verificou-se que o solo do compartimento A, com exceção dos atributos P-rem e V% na camada superficial, apresentou os maiores valores de alcance para todos os atributos, nas duas profundidades. O alcance médio para a camada superficial foi de 155 m; 66 m e 82 m para os solos dos compartimentos A, B e C, respectivamente.

Na camada de 0,2 a 0,4 m, as médias dos alcances foram de 161; 80, e 55 m para os solos dos compartimentos A, B e C, respectivamente. Também os valores dos alcances mostram a maior homogeneidade do solo do compartimento A em relação aos demais solos. Observa-se que, tanto para os atributos da granulometria quanto para os atributos químicos, nas duas profundidades estudadas, que os valores médios dos alcances são sempre maiores nos solos dos compartimentos A e B estão localizados em áreas côncavas, e menores no solo do compartimento C, localizado em área convexa, mostrando a influência do relevo no comportamento

destes atributos. Dados semelhantes foram encontrados por Barbieri et al (2008). Para Marques Júnior & Lepsch (2000), o entendimento das causas da variabilidade do solo está intimamente relacionado ao conhecimento dos processos do solo que operam em locais específicos. Tais processos estão relacionados à água, sendo o relevo o principal controlador de sua intensidade e de seu fluxo em uma determinada área.

Segundo McBratney & Webster (1983), o conhecimento do alcance é importante na definição da ótima intensidade de amostragem, visando a reduzir o erro-padrão da média, além de aumentar a representatividade da amostra. Para Montanari et al. (2005), o número de amostras varia segundo o relevo. Os locais da paisagem sob a mesma classe de solo e manejo semelhante, influenciados pela pedofoma e declive, apresentam padrões de variabilidade espacial dos atributos químicos do solo diferenciados, devendo-se considerar a paisagem como fator relevante em estratégia de amostragem de solo.

Todos os constituintes da cor do solo apresentaram GDE, sendo considerado forte para o parâmetro matiz no solo do compartimento A, fraco para o parâmetro matiz no solo do compartimento B e moderado para os demais solos (Quadro 8).

Quadro 8. Modelos e parâmetros estimados dos variogramas ajustados aos dados dos constituintes da cor dos solos estudados na profundidade 0,0-0,2 m.

Atributo	Compartimento	Modelo	C ₀	C ₀ + C ₁	GDE	Alcance	R ²	SQR
Matiz	A	Esférico	1,00E-04	1,42E-01	0,07	157,61	1,00	1,34E-04
	B*	Esférico	9,58E-03	1,20E-02	80,17	100,30	0,89	3,24E-07
	C	Esférico	3,37E-02	7,21E-02	46,73	52,45	0,84	6,36E-05
Valor	A	Esférico	1,00E-04	3,47E-01	0,03	173,32	0,97	5,97E-03
	B	Esférico	1,57E-02	4,90E-02	31,99	210,29	0,94	7,00E-05
	C	Esférico	2,27E-02	3,65E-02	62,16	59,92	0,80	1,80E-05
Croma	A	Esférico	9,98E-03	1,91E-02	52,25	172,50	0,96	3,94E-06
	B	Esférico	1,25E-02	2,18E-02	57,29	168,22	0,91	6,84E-06
	C	Esférico	5,87E-02	9,58E-02	61,28	62,89	0,84	1,23E-04

EPP – Efeito pepita puro; C₀ – efeito pepita; C₀+ C₁ – patamar; GDE – grau de dependência espacial (C₀/ C₀+ C₁); R² - coeficiente de determinação; SQR - soma de quadrado dos resíduos (SQR); * retirada de tendência.

Os maiores alcances para matiz valor e croma foram observados nos solos dos compartimentos A e B, localizados em pedofoma côncava e originalmente sob vegetação de Cerradão e Cerrado, respectivamente. Os menores alcances para

todos os constituintes da cor foram observados no solo do compartimento C, localizado em pedoforma convexa e originalmente sob vegetação de Campo Cerrado. O alcance médio dos constituintes da cor do solo foi de 168 m, 160 m e 56 m para os solos dos compartimentos A, B e C, respectivamente.

Estes resultados indicam que na ausência da vegetação natural, utilizada por pedólogos para inferir variações de solo, a cor determinada pela espectroscopia de reflectância difusa na faixa do visível e a forma da paisagem podem ser utilizadas como atributos preditores da variabilidade espacial dos atributos químicos e da granulometria do solo.

4. CONCLUSÕES

1. Os padrões de variabilidade espacial dos atributos do solo foram diferentes, sendo que o ambiente com maior variabilidade espacial corresponde ao ambiente de menor potencial de resposta ao manejo da cultura de soja, e está relacionado aos locais de ocorrência da vegetação denominada Campo Cerrado, em pedoforma convexa.
2. Para estudos da fertilidade do solo, devem ser levados em consideração os padrões de vegetação e relevo que refletem a variabilidade do solo.
3. Em locais com ausência de vegetação nativa, a cor do solo pode ser um indicador dos diferentes padrões de variabilidade da granulometria e dos atributos químicos do solo.
4. O relevo, associado à vegetação nativa, pode ser utilizado no mapeamento de áreas mínimas de manejo.

5. REFERÊNCIAS

ADÂMOLI, J.; MACÊDO, J.; AZEVEDO, L.G. & MADEIRA NETTO, J. Caracterização da região dos cerrados. In: GOEDERT, W. J. Solos dos cerrados, Tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo: Nobel, 1986. p.33-96.

ALHEIROS, M.M.; LIMA FILHO, M.F.; MONTEIRO, F.A.J. & OLIVEIRA FILHO, J.S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988. Anais. Belém. 1988.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo da SBCS, 25:27-32, 2000.

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

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

CAMARGO, L.A.; MARQUES JR, J. & PEREIRA, G.T. & HORVAT, R.A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas de relevo. I - Mineralogia da fração argila. R. Bras. Ci. Solo, 32:2269-2277, 2008.

CAMBARDELLA, C.A.; MOOMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEM, D.L.; TURVO, R.F. & KANOPA, A.E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:1501-1511, 1994.

CAMPOS, M.C.C.; MARQUES JR., J.; PEREIRA, G.T.; MONTANARI, R. & CAMARGO, L.A. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto - SP. R. Bras. Ci. Solo, 31:519-539, 2007.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y. & FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). R. Bras. Ci. Solo, 27:695-70, 2003,

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA -. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GOMES, J.B.V.; BOLFE, E.L.; CURI, N.; FONTES, H.R.; BARRETO, A.C. & VIANA, R.D. Variabilidade espacial de atributos dos solos em unidades de manejo em área-piloto de produção integrada de coco. R. Bras. Ci. Solo, 32:2471-2482, 2008.

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

ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. Applied geostatistics. Nova York, Oxford University Press, 1989. 561p.

MARQUES JÚNIOR, J. & LEPSCH, I.F. Depósitos superficiais neocenozóicos em superfícies geomórficas e solos em Monte Alto – SP. Geociência, 19:90-106, 2000.

MCBRATNEY, A.B. & WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 135:177-183, 1983.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. & SOUZA, Z.M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. Pesqui. Agropec. Bras., 40:69-77, 2005.

MONTANARI, R.; SOUZA, G.S.A.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D.S & SIQUEIRA, G.M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. Precision Agric., 13:01-11, 2012.

NOORBAKHS, S.; SCHOENAU, J.; SI, B.; ZELEKE, T. & QIAN, P. Soil properties, yield, and landscape relationships in South-Central Saskatchewan, Canada. J. Plant Nutrition, 31:539-556, 2008.

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

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

RAIJ, B.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo – Boletim Técnico nº 100, 2. ed. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 5. ed. Lavras, Editora da UFLA, 2007. 322p.

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

SAMPAIO, M.S.; ALVES, M.C.; SILVA, F.M.; POZZA, E.A. & OLIVEIRA, M.S. Avaliação do comportamento da variabilidade espacial do fósforo remanescente no solo de lavoura cafeeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 15.,2011. Anais. Curitiba, 2011. p.9203-9210.

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

SANCHEZ, R.B.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; NETO, J.B.; SIQUEIRA, D.S. & SOUZA, Z.M. Mapeamento das formas do relevo para estimativa de custos de fertilização em cana-de-açúcar. *Eng. Agríc.*, 32:280-292, 2012.

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

SCHAFFRATH, V.R.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J. & GONÇALVES, A.C.A. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1369-1377, 2008.

SILVA NETO, S.P.; SANTOS, A.C.; LEITE, R.L.L.; DIM, V.P.; CRUZ, R.S.; PEDRICO, A. & NEVES NETO, D.N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. *Semina ciênc. Agrar.*, 32:541-552, 2011.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR.; J. & PEREIRA, G.T.. Spatial variability of the physical and mineralogical properties of the soil from the areas with variation in landscape shapes. *Braz. Arch. of Biol. Technol.*, 52:305-316, 2009.

VISCARRA ROSSEL, R.A. Fine-resolution multiscale mapping of clay minerals in Australian soils measured with near infrared spectra. *Journal Geophysical Reserch*, 116:1-15, 2011.

CAPÍTULO 3 – ESTIMATIVA DE ATRIBUTOS GRANULOMÉTRICOS E QUÍMICOS PELA COR DO SOLO

RESUMO – O cultivo de solos com maior potencial de resposta ao manejo é condição essencial para o estabelecimento de uma agricultura sustentável de alta tecnologia. Com o objetivo de diagnosticar o potencial de resposta dos solos por meio de funções de pedotransferência, os componentes da cor do solo, matiz, valor e croma, obtidos por espectroscopia de reflectância difusa, utilizando a faixa do visível, além do índice de avermelhamento, foram utilizados como indicadores de áreas de manejo específicos da fertilidade dos solos coesos do Leste Maranhense. Para a instalação do experimento, foram selecionados três compartimentos de solo cultivados com soja, que originalmente apresentavam cobertura vegetal de três feições de cerrado, designadas de Cerradão (A), Cerrado (B) e Campo Cerrado (C). Os compartimentos A e B estão localizados em pedoforma côncava, e o compartimento C na pedoforma convexa. De cada compartimento, foram retiradas 121 amostras. Em 0,5 g de cada amostra, moída e seca ao ar (TFSA), foram determinados os valores de reflectância na faixa de 380 a 780 nm, a partir dos quais foram determinados os valores do matiz, valor e croma. A partir destes constituintes da cor, foi calculado o índice de avermelhamento para cada amostra. Estes valores foram correlacionados com fósforo remanescente, capacidade de troca catiônica, percentagem de saturação de bases e teor de argila das amostras. Os resultados mostraram que os constituintes da cor assim obtidos podem ser utilizados na predição dos atributos da fertilidade, do teor de argila, da pedoforma e da vegetação natural dos solos estudados.

Palavras-chave :pedometria, cerrado, pedoforma, solos coesos.

ESTIMATION OF GRANULOMETRIC AND CHEMICAL ATTRIBUTES BY COLOR SOIL

SUMMARY - In order to analyze the soils that have better conditions for stabilising the sustainable agriculture, spectro reflectance spectroscopy was applied and related as indicators of specific areas of management of soil fertility cohesive soils of Eastern Maranhão State, Brazil. For the experiment, we selected three compartments of soil planted with soybeans, which originally had cover features three savanna systems, designated Cerradão (A), Cerrado (B) and Campo Cerrado (C). The compartments A and B are located in concave landform, and compartment C in convex. Each compartment 121 samples were taken. In 0.5 g of each sample, milled and air dried were measured reflectance values in the range 380-780 nm, from which was determined the hue and chroma values. From these spectral components we calculated the redness index for each sample. These values spectral characteristics were correlated with remaining phosphorus, cation exchange capacity, percent base saturation and clay content of the samples. The results indicate that the constituents of the spectral reflectance could be used in the prediction of the parameters of fertility, clay and the landform and natural vegetation soils.

Keywords: pedometrics, savannah, landform, cohesive soils.

1. INTRODUÇÃO

A cor do solo é a sensação visual que se manifesta na presença da luz, sendo um dos atributos morfológicos mais importantes utilizado para identificar e descrever os solos no campo, e empregado como atributo diferencial para o nível categórico de Subordem para Latossolos, Argissolos e Nitossolos, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006).

Esse atributo morfológico do solo tem sido determinado a campo pela comparação visual de amostras secas e úmidas, utilizando-se da carta de Munsell para solos, observando-se o matiz (comprimento de onda da luz), o valor (brilho ou tonalidade) e o croma (intensidade ou pureza em relação ao cinza). Esse sistema, embora fácil e prático, em função de sua subjetividade da interpretação da cor pelo olho humano, apresenta imprecisões que o invalidam quando se pretende obter informações quantitativas sobre a cor (Barrón et al., 2000).

O solo pode ser considerado como uma mistura de partículas minerais e orgânicas que parcialmente absorvem e dispersam a luz incidente. Baseados nesse princípio, Torrent & Barrón (1993), propuseram a determinação, em laboratório, da cor de amostras de solo pela espectroscopia de reflectância difusa (ERD), usando os mesmos aparelhos espectrofotométricos comuns de laboratórios, com pequenas adaptações (Fernandes et al., 2004).

De acordo com essa técnica, a luz incidente sobre uma amostra de solo é refletida de maneira difusa, produzindo uma curva de reflectância, dentro do intervalo de comprimento de onda considerado, normalmente de 400 a 700 nm. As informações dos espectros obtidos são convertidos diretamente em valores triestímulos X, Y e Z, a partir dos quais se deduzem os valores de Munsell de matiz, croma e valor (Barrón et al., 2000; Campos et al., 2003; Viscarra Rossel et al., 2010).

O comportamento espectral do solo depende diretamente de sua composição química, física, biológica e mineralógica. Como os solos apresentam variações em sua composição e com o avanço no conhecimento das relações existentes entre reflectância espectral e características dos solos, podem-se prever, de maneira

rápida, confiável e não invasiva, várias características físicas e químicas do solo (Shepherd & Walsh, 2002; Dalmolin et al., 2005).

Essa técnica tem sido considerada por vários autores como promissora para a determinação de vários atributos mineralógicos, físicos e químicos do solo, como para estimar os teores de óxidos de ferro (Barrón & Torrent, 1986; Almeida et al., 2003; Fernandes et al., 2004; Camargo, 2013), para a determinação da CTC, K, Ca, N total, C total, Na e Mg (Mouazen et al., 2006), C total, pH, P disponível e umidade do solo (Mouazen et al., 2007); Matéria Orgânica (Demattê et al., 2011), silte, areia e argila (Cezar et al., 2012), entre outros.

Para o estabelecimento de uma agricultura sustentável de alta tecnologia, torna-se necessário diagnosticar o potencial dos solos para que se possa determinar áreas que apresentam melhores condições para a prática da agricultura, bem como o tipo de manejo a que devem ser submetidas, evitando sérios danos ambientais (Rockstrom, 2009). Assim, o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos da granulometria e da fertilidade poderá ajudar a definir a capacidade de uso do solo e melhores estratégias de gestão (Schaffrath et al., 2008).

Uma das alternativas para identificação de locais com diferentes potenciais de resposta para a manutenção da fertilidade do solo, é a identificação de áreas de manejo específico com base nas formas da paisagem (Barbieri et al., 2009) e na distribuição espacial de atributos mineralógicos (Camargo et al., 2012). Porém, este tipo de caracterização e delineamento de áreas de manejo específico requer um elevado número de amostras, tornando-o inviável para ser aplicado em áreas comerciais. Tentando resolver este problema, alguns pesquisadores têm proposto o desenvolvimento de funções de pedotransferência para estimar atributos do solo complexos ou de custo elevado por meio de outros atributos mais simples e de baixo custo (McBratney et al., 2002), como a suscetibilidade magnética (Cortez et al., 2011; Siqueira et al., 2010; Santos, 2011; Barrios et al., 2012), e a cor do solo (Barrón et al., 2000).

Nesse sentido, o objetivo do trabalho é utilizar os constituintes da cor do solo obtidos por espectroscopia de reflectância difusa na faixa do visível, bem como o índice de avermelhamento, como indicadores de áreas de manejo específicos da fertilidade dos solos coesos do Leste Maranhense

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização, caracterização da área e planejamento amostral

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Typuana, no município de Brejo – MA, localizado na Mesorregião Leste do Maranhão, Microrregião de Chapadinha – MA. As coordenadas são: latitude 03°52' S e longitude 43°01' W (Figura 1a). O clima, segundo a classificação climática de Köppen-Gerger, é do tipo Aw, clima tropical com estação seca de inverno. A estação chuvosa está concentrada entre os meses de novembro e maio, com precipitação pluvial média de 1.835 mm, temperatura média anual acima de 27 °C e umidade relativa anual entre 73 e 79% (Governo do Estado do Maranhão, 2002).

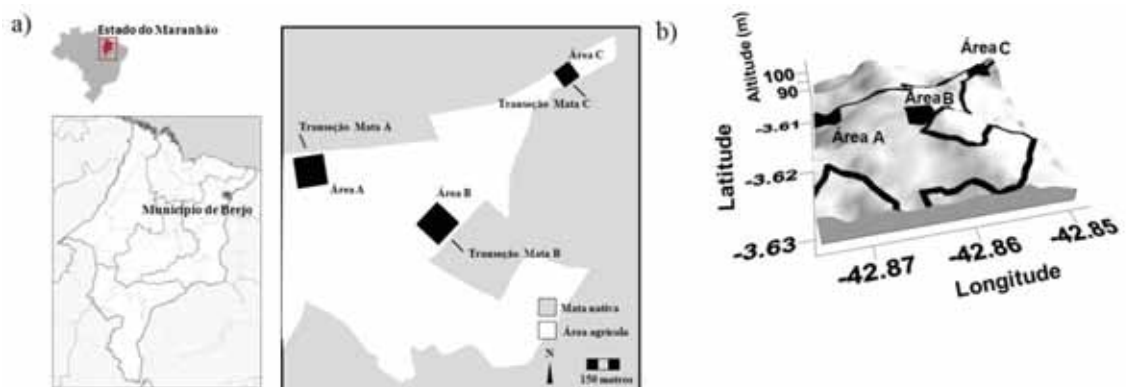


Figura 1. Localização da área, malhas de amostragem e transeções (a) e modelo digital de elevação (b).

Para a instalação do experimento, foram selecionados solos de três compartimentos cultivados com soja que originalmente possuíam cobertura vegetal de três feições de cerrado, designadas de Cerradão, Cerrado e Campo Cerrado. Oliveira Filho & Ratter (2002) caracterizam as três feições de cerrado como: Cerradão, vegetação arbórea variando entre 8 e 12 m de altura, com percentagem de cobertura entre 50 e 90 %; Cerrado ou Cerrado Típico, árvores e arbustos que vão de 3 a 8 m de altura e cobertura superior a 30 %; Campo Cerrado, árvores dispersas e arbustos com elevada concentração de vegetação herbácea.

O compartimento A apresentava originalmente vegetação denominada Cerradão. Esse compartimento está localizado em pedoforma côncava, relevo suave

ondulado, e vem sendo cultivado há dez anos com soja (Figura 1b). O compartimento B apresentava originalmente vegetação denominada Cerrado ou Cerrado Típico. Esse compartimento está localizado em pedoforma côncava, relevo suave ondulado, e vem sendo cultivado há seis anos com soja. O compartimento C apresentava originalmente vegetação designada Campo Cerrado. Este ambiente está localizado em pedoforma convexa, relevo suave ondulado, e vem sendo cultivado há quatro anos com soja.

Para a classificação dos solos, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa 2006), foram abertas e descritas trincheiras em cada um dos compartimentos em ambiente de mata, contíguo a área de produção de soja. O solo dos três compartimentos, desenvolvido a partir de material da Formação Barreiras, foi classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso típico, cujos principais atributos constam do Quadro 1.

Quadro 1. Principais atributos morfológicos, físicos e químicos dos perfis dos solos dos três compartimentos estudados.

Hor.	Prof. cm	Cor Munsell seca	Areia total g.kg ⁻¹	Silte g.kg ⁻¹	Argila g.kg ⁻¹	pH H ₂ O	M.O. g.kg ⁻¹	SB --cmol.c.kg ⁻¹ --	T %	V% %	Fe ₂ O ₃ g.kg ⁻¹
Solo do compartimento A – Argissolo Amarelo distrocoeso típico – Pedoforma côncava											
A1	0-25	10YR 5/1	747	106	147	5,7	21,0	2,1	4,9	43	3,3
Bt2	140+	10YR 8/3	526	145	329	5,3	3,0	0,2	1,7	12	16,8
Solo do compartimento B – Argissolo Amarelo distrocoeso típico – Pedoforma côncava											
A1	0-30	10YR 4/1	792	83	125	5,3	17,0	0,5	5,2	10	3,3
Bt2	85-130	10YR 8/4	574	128	298	5,3	4,0	0,2	1,7	12	12,3
Solo do compartimento C – Argissolo Amarelo distrocoeso típico – Pedoforma convexa											
A1	0-25	7,5YR 7/3	678	178	144	5,5	13,0	0,3	2,3	13	7,9
Bt2	100+	7,5YR 8/3	497	165	338	4,7	2,0	0,2	1,8	11	17,7

M.O. – Matéria orgânica. SB – Soma de bases. T – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0. V% - porcentagem de saturação de bases.

Dados de Dantas, (2013).

Nos solos dos três compartimentos cultivados com soja, é feita a correção da acidez do solo toda vez que a necessidade de calagem calculada pelo método do V% é maior que 1 tonelada de calcário, com PRNT de 70% por hectare. A adubação de manutenção tem sido a mesma para os três compartimentos que anualmente têm recebido 16 kg de N, 120 kg de P₂O₅ e 60 kg de K₂O por hectare.

Nos compartimentos A e B, foram estabelecidas malhas de amostragem quadradas com espaçamento regular de 25 m, totalizando 121 pontos de amostragem, em uma área de 6,2 há, em cada um dos compartimentos. No

compartimento C, foi estabelecida malha de amostragem quadrada com espaçamento regular de 10 m, totalizando 121 pontos de amostragem, em uma área de 2,2 ha. As amostras das malhas foram coletadas na profundidade de 0,0 – 0,2 m

2.2. Análises laboratoriais

A análise granulométrica foi realizada utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação com aparato de baixa rotação (Embrapa, 1997). A argila foi determinada pelo método da pipeta. Para as análises de fertilidade do solo, utilizou-se a metodologia proposta por Raij et al. (2001). Com base nestes resultados, foram calculados os valores da capacidade de troca catiônica potencial (CTC) e da percentagem de saturação de bases (V). O fósforo remanescente foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Alvarez et al. (2000). Essas análises foram realizadas para todas as amostras coletadas nos compartimentos estudados.

2.3. Avaliação da espectroscopia de reflectância difusa e determinação da cor

Para a obtenção dos espectros de reflectância difusa, as avaliações foram feitas com o sensor de laboratório Lambda 950. Foi moído aproximadamente 0,5 g de TFSA em ágata até a obtenção de coloração constante. O conteúdo foi colocado em um porta-amostras com um espaço cilíndrico de 16 mm. Os valores de reflectância foram determinados em espectrofotômetro equipado com esfera integradora de 80 mm, a cada 1nm, com um tempo de integração de 0,2 segundo, fazendo uma varredura no intervalo de 380 a 780 nm. Após a obtenção dos espectros de reflectância difusa das amostras de solo, foram determinados os valores de triestímulo XYZ definidos pela Comisión Internacional de L'Eclairage - CIE (Wyszecki & Stiles, 1982). A partir das coordenadas XYZ, foram deduzidos os valores Munsell de matiz, croma e valor, utilizando o programa Munsell Conversion, versão 6.4, conforme Barrón et al., (2000) e Vicascarra Rossel (2011). Com base nos valores de croma, valor e matiz, obtidos pela análise de espectroscopia de reflectância difusa, foi calculado um índice de avermelhamento (IAV), conforme equação 1 (BARRÓN et al. 2000).

$$IAV = \frac{(10-H) \times C}{V} \quad (1)$$

Em que: V e C são os valores numéricos do valor e do croma Munsell, respectivamente, e H é o número que precede o YR no matiz.

2.4 Análises dos dados

Foram elaborados gráficos de dispersão e linhas de tendências ajustadas para os atributos da cor e para o índice de avermelhamento para os teores de argila, fósforo remanescente (P-rem), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação de bases (V%). Com base nas linhas de tendências ajustadas, foram desenvolvidas funções de pedotransferência, para estimar os valores desses teores em função dos atributos da cor do solo, utilizando a espectroscopia de refletância difusa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados apresentados no Quadro 2, mostram que não houve diferença significativa entre as concentrações de P-rem nos solos dos compartimentos B e C, porém diferem das concentrações do solo do compartimento A, sendo menor neste último, ou seja, o solo do compartimento A adsorve mais fósforo que os solos dos demais compartimentos. As maiores concentrações de P-rem foram observadas no solo do compartimento C, que é aquele que apresentou maior teor de argila, deixando claro que a maior adsorção de fósforo não depende apenas e tão somente de sua quantidade, mas também, de sua qualidade (Novais & Melo, 2007).

O solo do compartimento A apresentou maior amplitude de variação nos teores de P-rem, que os solos dos outros dois compartimentos (Figura 2),, que apresentam menor variação na amplitude de concentração. Isso fica também demonstrado pelos maiores valores de CV apresentados no Quadro 2. Essa variação pode ser creditada à variabilidade textural e mineralógica do pacote sedimentar, característica dos sedimentos da Formação Barreiras (Alheiros et al., 1988).

Quadro 2. Valores médios dos atributos dos solos dos compartimentos A, B, e C nos ambientes de produção.

Atributo	Estatística	Compartimentos		
		A	B	C
Matiz (YR)	Média	9,33b	9,55a	8,62c
	CV	3,58	1,50	3,48
Valor	Média	4,84b	4,90b	6,42a
	CV	10,52	4,17	3,21
Croma	Média	2,34b	2,62b	4,12a
	CV	7,60	5,48	7,78
IAV	Média	0,33b	0,24c	0,89a
	CV	58,22	34,55	26,41
P rem	Média	43,14b	50,36a	51,51a
	CV	17,18	7,64	4,39
CTC	Média	76,82a	57,44b	32,12c
	CV	35,38	19,72	19,57
V %	Média	54,77a	39,91b	24,37c
	CV	29,97	35,38	45,55
Argila	Média	153,65b	145,41b	204,96a
	CV	36,68	15,69	15,02

Matiz, Valor e Croma obtidos por ERD. IAV – Índice de avermelhamento (adimensional), P-rem – Fósforo remanescente (mg L^{-1}), CTC – Capacidade de Troca Catiônica ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$). V% - Percentagem de saturação de bases (%). Teor de argila (g kg^{-1}). CV – Coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5%.

As equações apresentadas na Figura 2 mostram que o fósforo remanescente (P-rem) apresenta coeficientes de determinação significativos ($p < 0,01$) com o valor e croma, e não apresenta correlação com o matiz nem com o índice de avermelhamento. Peluco (2013), trabalhando com Latossolos do Estado de São Paulo, não encontrou correlação entre o teor de fósforo adsorvido e o índice de avermelhamento.

O matiz do solo está relacionado com as cores vermelha, amarela e das misturas de ambas, estando estas cores relacionadas aos teores de hematita e goetita do solo (Embrapa, 2006), que são também responsáveis pela adsorção de fósforo em solos intemperizados tropicais. Estima-se que tanto a hematita quanto a goetita, se encontram em pequenas quantidades nos solos estudados, o que reflete na baixa adsorção de fósforo e, conseqüentemente, em maiores concentrações de P-rem (Quadros 1 e 2).

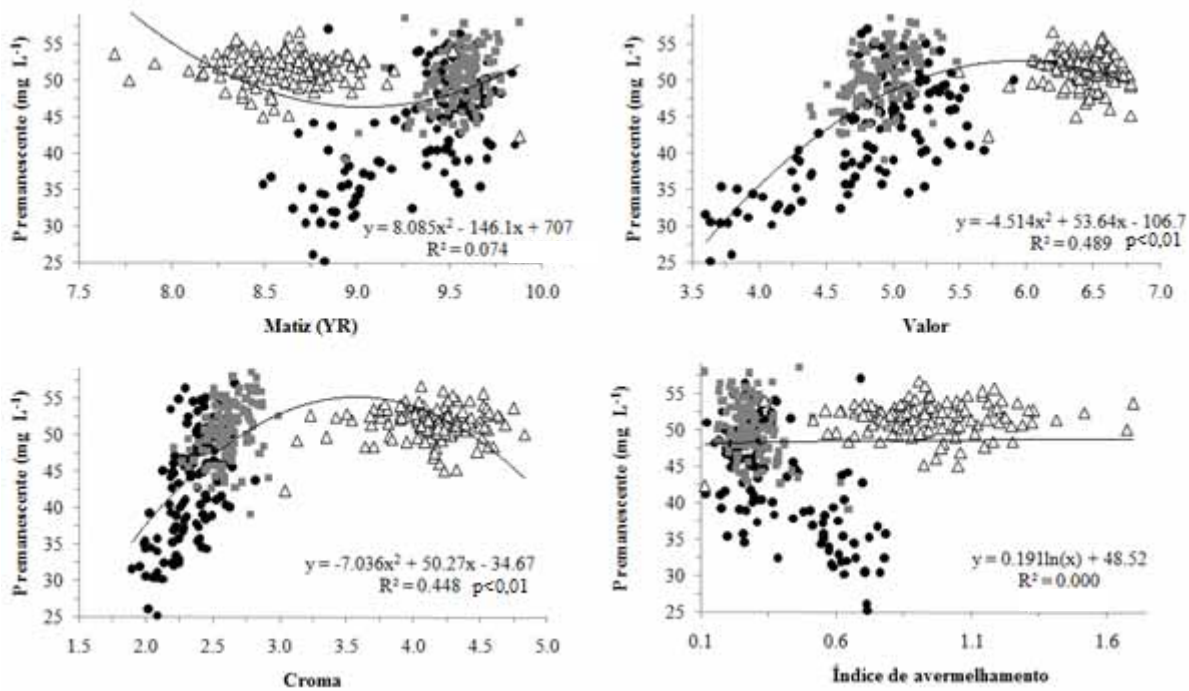


Figura 2. Gráficos de dispersão e linhas de tendências ajustadas para valor, croma, matiz e índice de avermelhamento para P-rem (área A -● ; área B -■ ; área C -△).

Os coeficientes de determinação significativos, R^2 de 0,48 e 0,44 ($p < 0,01$), entre a concentração de P-rem e o valor e o croma, mostram que estes dois constituintes da cor podem ser utilizados como preditores da concentração de P-rem. Valor e croma estão relacionados com a luminosidade (preto) e a pureza da cor em relação ao cinza, respectivamente (Demattê et al., 2011).

Pela análise das Figuras 2 a 5, fica demonstrado que o valor e o croma podem ser utilizados com segurança para a estratificação de ambientes. Os solos dos compartimentos A e B, localizados em pedoforma côncava (Figura 1), apresentam valores inferiores a 5,9 e croma inferior a 2,82. O solo do compartimento C, situado em pedoforma convexa, apresentou os maiores valores numéricos de valor e croma em todas as situações estudadas.

Como pode ser verificado pelos gráficos da Figura 3 e pelo Quadro 2, os solos estudados possuem valores que podem ser classificados como mediano, baixo e muito baixo de CTC, que diferem entre si, nos solos dos compartimentos A, B e C, respectivamente. A capacidade de troca catiônica está relacionada com o teor de matéria orgânica e com a constituição mineralógica da argila do solo. Segundo

Viscarra Rossel, (2011), a fertilidade é diretamente ligada à mineralogia do solo devido à presença de cargas e elevada superfície específica.

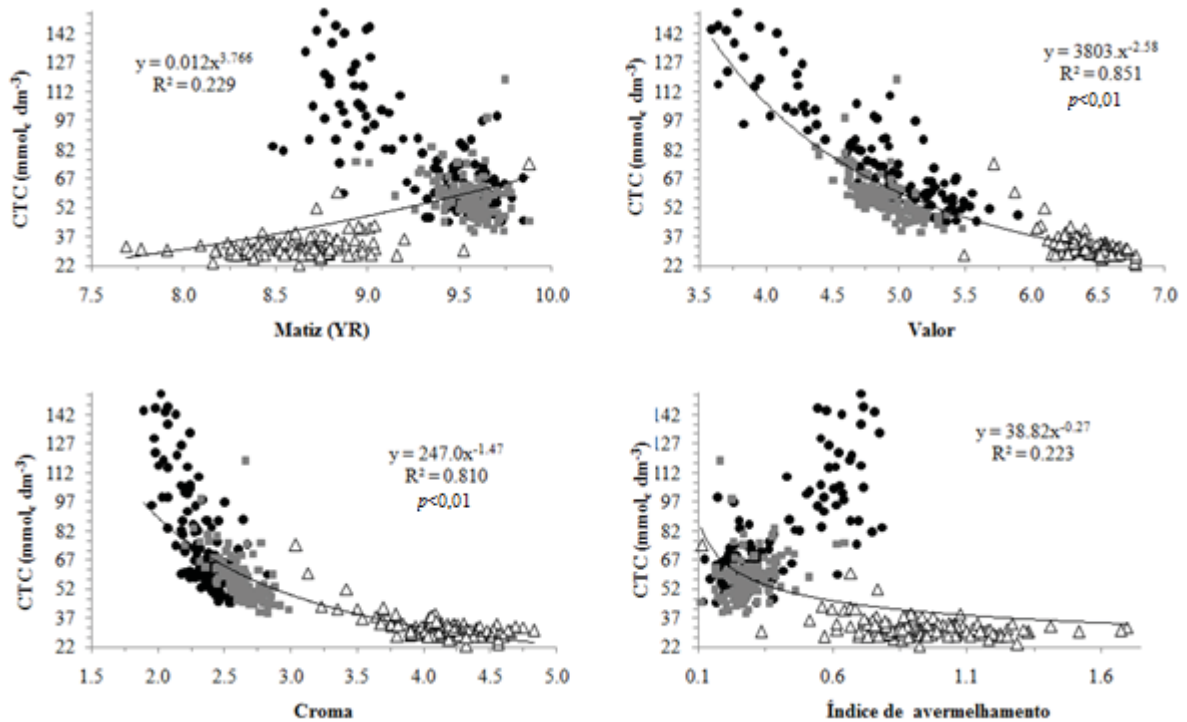


Figura 3. Gráficos de dispersão e linhas de tendências ajustadas para valor, croma, matiz, índice de avermelhamento para a CTC (área A -● ; área B -■ ; área C -△).

Esses solos foram originados de sedimentos da Formação Barreiras que têm um material de origem pré-intemperizado, retrabalhado (Duarte et al., 2000). A mineralogia da fração argila desses solos apresenta a caulinita como mineral dominante, e a fração areia é constituída essencialmente por quartzo (Rezende, 2000; Ribeiro, 2001; Lima Neto, 2009).

O modelo exponencial foi ajustado aos dados, com valores de R² variando de 0,22 para o índice de avermelhamento a 0,85 para o valor, sendo que os melhores ajustes foram obtidos para os constituintes valor e croma, com R² de 0,85 e 0,81, respectivamente, evidenciando a alta capacidade preditiva dos valores da CTC a partir dos valores numéricos destes constituintes da cor do solo obtidos pela espectroscopia de reflectância difusa. Pesquisadores como Brown et al.(2006) e Zormosa et al.(2008), desenvolveram equações de predição da CTC, que

apresentaram valores significativos de R^2 , de 0,92 e 0,77, respectivamente, usando a espectroscopia de reflectância difusa no comprimento de onda do infravermelho próximo (NIR). Ressalta-se que, no presente estudo, os altos valores de R^2 foram encontrados na faixa do visível.

Os dados apresentados no Quadro 2 mostram que não houve diferenças significativas para valor e croma nos solos dos compartimentos A e B, porém diferem significativamente do solo do compartimento C. Pela observação dos gráficos da Figura 3, mais uma vez fica evidenciada a capacidade destes constituintes em estratificar as pedoformas côncava e convexa (Figura 1).

O solo que apresenta a menor CTC, que se encontra localizado em pedoforma convexa, recoberto pela vegetação denominada Campo Cerrado, também apresenta os menores valores de matiz, ou seja, mais avermelhado, e os maiores valores numéricos de valor, croma e índice de avermelhamento.

A Figura 4 mostra que o modelo exponencial foi ajustado aos dados para matiz, valor, croma e índice de avermelhamento para a saturação de bases, de forma semelhante à CTC.

Os valores da percentagem de saturação de bases dos solos dos três compartimentos estudados diferiram significativamente entre si, sendo o maior valor encontrado no solo do compartimento A, situado em pedoforma côncava, e o menor, no solo do compartimento C, situado em pedoforma convexa, corroborando os valores da CTC. Quanto aos atributos da cor, verificou-se que o matiz e o índice de avermelhamento apresentaram diferenças significativas entre os solos dos três compartimentos, enquanto o valor e o croma não diferiram entre si nos solos dos compartimentos A e B, situados em pedoforma côncava, mas diferem significativamente do solo do compartimento C, situado em pedoforma convexa (Quadro 2).

De forma semelhante aos atributos anteriormente estudados, os maiores valores de R^2 , de 0,36 e 0,46, foram encontrados para os constituintes valor e croma, respectivamente. Assim, fica também demonstrado que esses atributos da cor podem ser utilizados não somente como preditores da percentagem de saturação de bases, como também da pedoforma do solo.

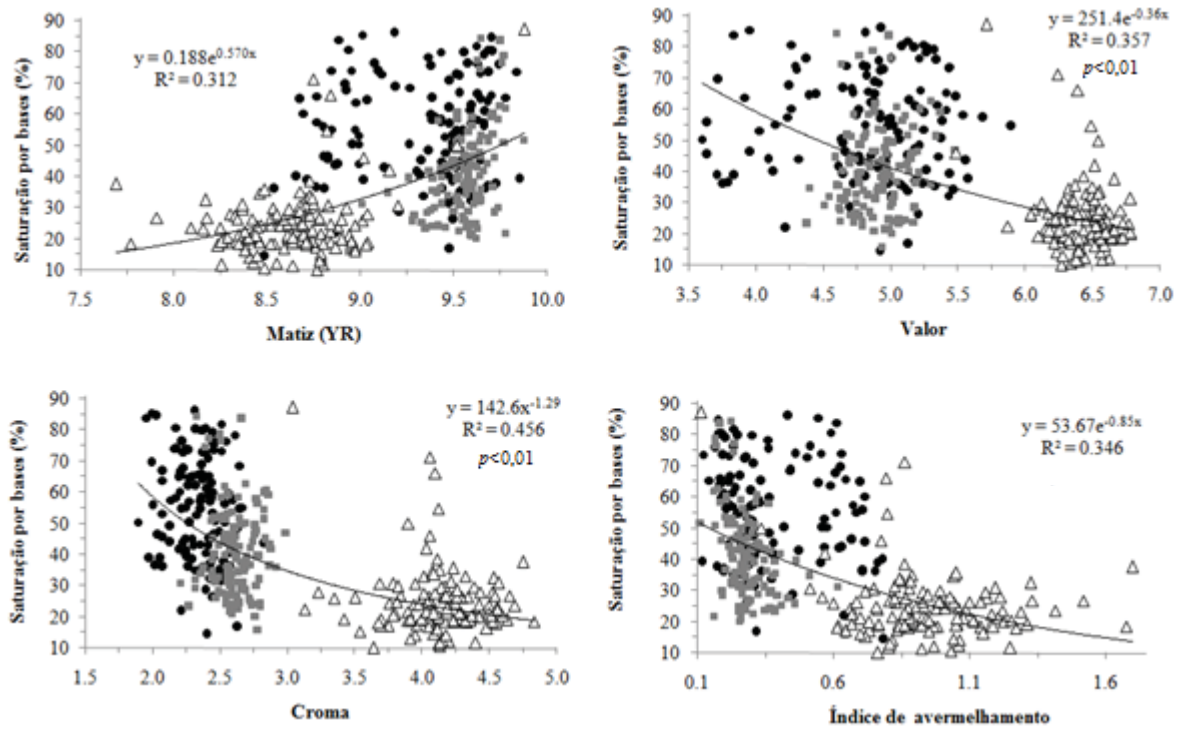


Figura 4. Gráficos de dispersão e linhas de tendências ajustadas para valor, croma, matiz, índice de avermelhamento para a saturação por bases (área A -● ; área B -■ ; área C -△).

O conteúdo de argila é o atributo que apresenta maior número de estudos, correlacionando-o com a cor do solo, em função de sua influência sobre a estrutura, através da formação de agregados e na dinâmica da água e aeração do solo (Stenberg et al., 2010), sendo considerado o atributo que apresenta melhor desempenho nas predições a partir da cor. Segundo Sorensen & Delsagaard (2005), a espectroscopia de reflectância difusa (ERD) constitui uma técnica potencial para a determinação rápida e rentável da argila nos solos.

A Figura 5 mostra que o teor de argila apresentou coeficientes de determinação significativos com o matiz, valor, croma e índice de avermelhamento. Os maiores valores de R^2 foram de 0,57 para o valor e de 0,54 para o matiz. Os ajustes foram linear para o matiz, quadrático para valor e croma, e logarítmico para o índice de avermelhamento.

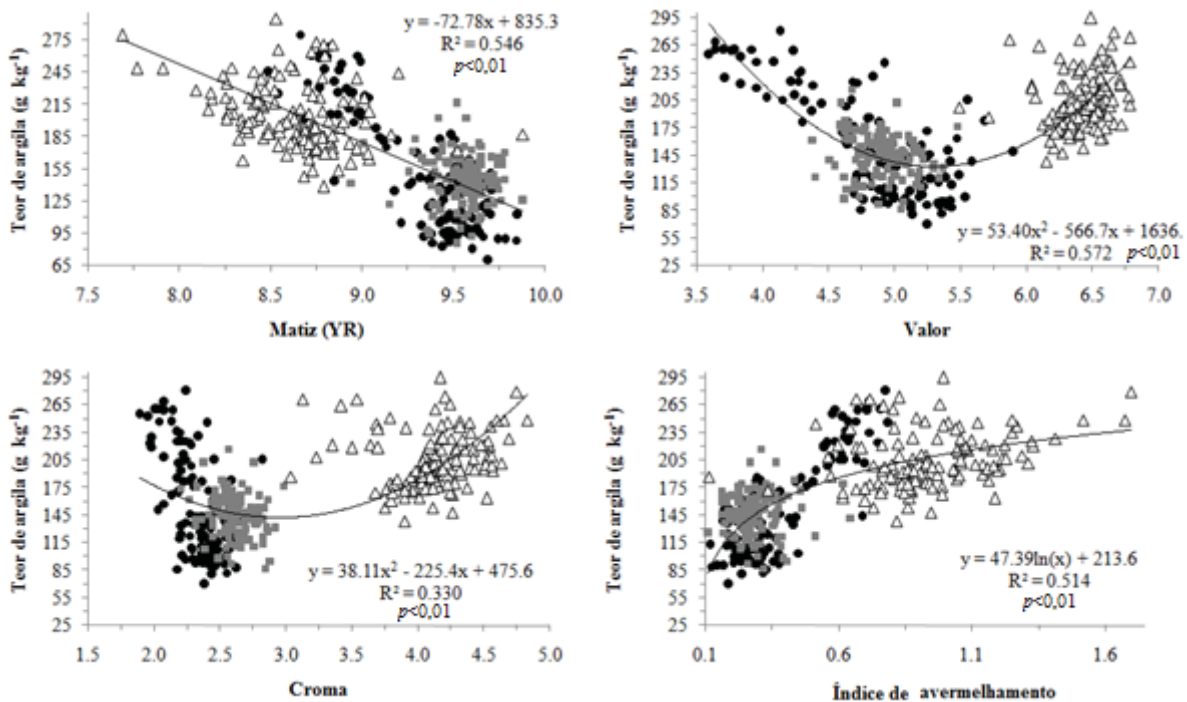


Figura 5. Gráficos de dispersão e linhas de tendências ajustadas para valor, croma, matiz, índice de avermelhamento para teor de argila (área A - ● ; área B - ■ ; área C - △).

Valores de R^2 obtidos na calibração dos teores de argila, determinados por ERD, utilizando comprimento de onda no infravermelho próximo (NIR) de 0,79, foi encontrado por Senol et al. (2012), entre 0,77 e 0,88 por Viscarra Rossel e Behrens (2010), e Viscarra Rossel et al. (2009), de 0,91 por Nanni & Demattê (2006), em solos do Estado de São Paulo, e de 0,92 por Moron & Cozzolino (2003), em solos do Uruguai.

Embora, de acordo com o valor de R^2 , os melhores preditores do conteúdo de argila do solo foram o matiz e o valor, para a estratificação da pedoforma, valor e croma foram os melhores preditores (Figura 5). Os solos localizados em pedoforma côncava apresentam matiz mais amarelado, enquanto aquele localizado em pedoforma convexa apresenta matiz mais avermelhado. Segundo Resende et al.(2007), a forma côncava favorece o armazenamento de água, tornando o ambiente redutor. Assim, o Fe^{+++} , responsável pela cor avermelhada do solo, é reduzido a Fe^{++} , mais solúvel, que é retirado do sistema, ficando o solo com coloração mais amarelada. Pelas análises apresentadas no Quadro 1, verifica-se o maior teor de Fe_2O_3 no solo do compartimento C e o menor no solo do compartimento A.

De acordo com o Quadro 2, os teores de argila dos compartimentos A e B, localizados em pedoforma côncava e de solos de coloração mais amarelada, não diferiram significativamente entre si; entretanto, diferiram do teor de argila do solo do compartimento C, de coloração mais avermelhada, localizado em pedoforma côncava. Também, neste caso, fica demonstrada a capacidade dos atributos da cor do solo em predizer não somente o teor de argila, mas também a pedoforma do solo. Considerando que as pedoformas estudadas apresentam diferentes padrões de vegetação natural, estes atributos poderão ser igualmente utilizados como preditores da vegetação natural do solo.

4. CONCLUSÕES

1. Os constituintes da cor obtidos por espectroscopia de reflectância difusa, na faixa do visível, podem ser utilizados como preditores dos atributos, fósforo remanescente, capacidade de troca catiônica, percentagem de saturação de bases, e do teor de argila do solo, em Argissolos coesos originados da Formação Barreiras.
2. Os constituintes da cor do solo, valor e croma, determinados por espectroscopia de reflectância difusa, na faixa do visível, podem ser usados como preditores da pedoforma dos solos e, por associação, também da vegetação natural daqueles solos.

5. REFERÊNCIAS

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

ALMEIDA, J.A.; TORRENT, J. & BARRÓN, V. Cor do solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-sul do Brasil. R. Bras.Ci.Solo, 27:985-1002, 2003.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L. E. & OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo da SBCS, 25:27-32, 2000.

BARBIERI, D.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; ALEONI, L.R.F.; GARBUIO, F.J. & CAMARGO, L.A. Hillslope curvature. Clay mineralogy, and phosphorus adsorption in alfissol cultivated. *Sci. Agric.* 66:819-826, 2009.

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

BARRÓN, V. & TORRENT, J. Use of the Kubelka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil color. *Soi ISci. Soc. Am. J.* 37: 499-510, 1986.

BARRÓN, V.; MELLO, J.W.V. & TORRENT, J. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de reflectância difusa. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.& SCHAEFER, C.E.G.R., eds. *Tópicos de Ciência do Solo*. v. 2. Viçosa, SBCS, 2000. p. 139-162.

BROWN, D. J.; SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G.; MAYS, M. D. & REINSCH, T. G. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma* 132:273-290, 2006.

CAMARGO, L. A. Relações entre mineralogia da argila, suscetibilidade magnética e adsorção de fósforo em Latossolos da região de Jaboticabal – SP. 2013. 101 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

CAMARGO, L.A. MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA G.T. & ALEONI, L.R.F. Spatial correlation between the composition of the clay fraction and contents of available phosphorus of an oxissol at hillslope scale. *Catena*, 100:100-106, 2012.

CAMPOS, R.C. & DEMATTÊ, J.A.M. Cor do solo: Uma abordagem da forma convencional de obtenção em oposição à automatização do método para fins de classificação de solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:853-863, 2004.

CAMPOS, R.C.; DEMATTÊ, J.A.M. & QUARTAROLI, C. Determinação indireta do teor de hematita no solo a partir de dados de colorimetria e radiometria. *Pesqui. Agropec. Bras.*, 38:521-528, 2003.

CEZAR, E.; NANNI, M. R.; CHICATI, M.L.; SOUZA JÚNIOR, I.G. & COSTA, A. C. S. Avaliação e quantificação das frações silte, areia e argila por meio de suas reflectâncias. R. Bras. Ci. Solo, 36: 1157-1165, 2012.

CORTEZ, L.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PELUCO, R.G.; TEIXEIRA, D.B. & SIQUEIRA, D.S. Suscetibilidade magnética para identificar áreas de manejo específico em citricultura. Energia na Agricultura, 26:60-79, 2011.

DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; KLAMT, E. & DICK, D.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. Ciênc. Rural, 35:481-489, 2005.

DANTAS, J.S. Relação solo-paisagem e predição da erodibilidade de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros no Estado do Maranhão. 2013. 80 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

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

DUARTE, M.N.; CURI, N.; PÉREZ, D. V.; KÄMPF, N.; CLAESSEN, M.E.C.; Mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos tabuleiros costeiros do Espírito Santo. Pesqui. Agropec. Bras., Bras., 35:1237-150, 2000.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa/CNPS, 2006. 306p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa/CNPS, 1997. 212p.

FERNANDES, R.B.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. & FONTES, M.P.F. Quantificação de óxidos de ferro de Latossolos brasileiros por espectroscopia de reflectância difusa. R. Bras. Ci. Solo, 28:245-257, 2004.

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. Atlas do Maranhão. São Luís, GEPLAN, 2002. 39p.

LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; LIMA, J.F.W.F. & FERREIRA, R.F.A.L. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. R. Bras. Ci Solo, 33:1001-1011, 2009.

McBRATNEY, A.B.; MYNASNY, B.; CATTLE, S.R. & VERVOORT, R.W. From pedotransfer functions to soil inference systems. Geoderma, 109:41-73. 2002.

MORON, A. & COZZOLINO, D. The potential of near-infrared reflectance spectroscopy to analyze soil chemical and physical characteristics. J. Agr. Eng. Res., 140:65-71, 2003.

MOUAZEN, A.M.; BAERDEMAEKER, J. & RAMON, H. Effect of wavelength range on the measurement accuracy of some selected soil constituents using visible-near infrared spectroscopy. J. Near Infrared Spec., 14:189–199, 2006.

MOUAZEN, A.M.; MALEKI, M.R.; BAERDEMAEKER, J. & RAMON, H. On-line measurement of some selected soil properties using a VIS-NIR sensor. Soil Till. Res., 93:13–27, 2007.

NANNI, M.R. & DEMATTÊ, J.A.M. Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 393-407, 2006.

NOVAIS, R.F. & MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C. Fertilidade do Solo. Viçosa: SBCS, 2007. 1017p.

NUNES, P.G.A. Uma nova técnica para a seleção de variáveis em calibração multivariada aplicada às espectrometrias UV-VIS e NIR. 2008. 106 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa- PB, 2008.

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

PELUCO, R.G. Técnicas indiretas na identificação de áreas de manejo específico para cana-de açúcar. 2013. 83 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

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

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 5. ed. Lavras, Editora da UFLA, 2007. 322p.

REZENDE, J.O. Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: Limitações agrícolas e manejo. Salvador, SEAGRI, 2000. 117p. (Série Estudos Agrícolas, 1).

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

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

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

SCHAFFRATH, V.R.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J. & GONÇALVES, A.C.A. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1369-1377, 2008.

SENOL, H.; AKCUL, M.; UJDECI, M. & BASAYIGIT, L. The determination of some physical characteristics of different particle sizes in soils with reflection spectroscopy. *Afr. J. Agric. Res.* 7:2225-2235, 2012.

SHEPHERD, K.D. & WALSH, M.G. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:988-998, 2002.

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

SÖRENSEN, L.K & DALSGAARD, S. Determination of clay and other soil properties by near infrared spectroscopy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 69:159–167, 2005.

STENBERG, B.O.; VISCARRA ROSSEL, R.A.; MOUAZEN, A.M. & WETTERLIND, J. Visible and near infrared spectroscopy in soil science. In: SPARKS, D.L. (Ed.). *Advances in Agronomy*, Burlington, Academic Press, 2010, v. 107:163-215.

TORRENT, J. & BARRÓN, V. Laboratory measurement of soil color: theory and practice. In: BIGHAM, J.M. & CIOLKOSZ, E.J. *Soil color*. Madison: SSSA, 1993. p. 21-33 (Special Publication, 31).

VISCARRA ROSSEL, R.A. Fine-resolution multiscale mapping of clay minerals in Australian soils measured with near infrared spectra. *J. Geophys. Res.*, 116:1-15, 2011.

VISCARRA ROSSEL, R.A. & BEHRENS, T. Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. *Geoderma*, 158:46-54, 2010.

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

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

ZORMOSA, R.; GUERRERO, C.; MATAIX-SOLERA, J.; SCOW, K.M.; ARCENEGUI, V. & MATAIX-BENEYTO, J. Near infrared spectroscopy for determination of various physical, chemical and biochemical properties in Mediterranean soils. *Soil Biol. Biochem.*, 40: 1923-1930, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Variogramas dos atributos granulométricos dos solos.

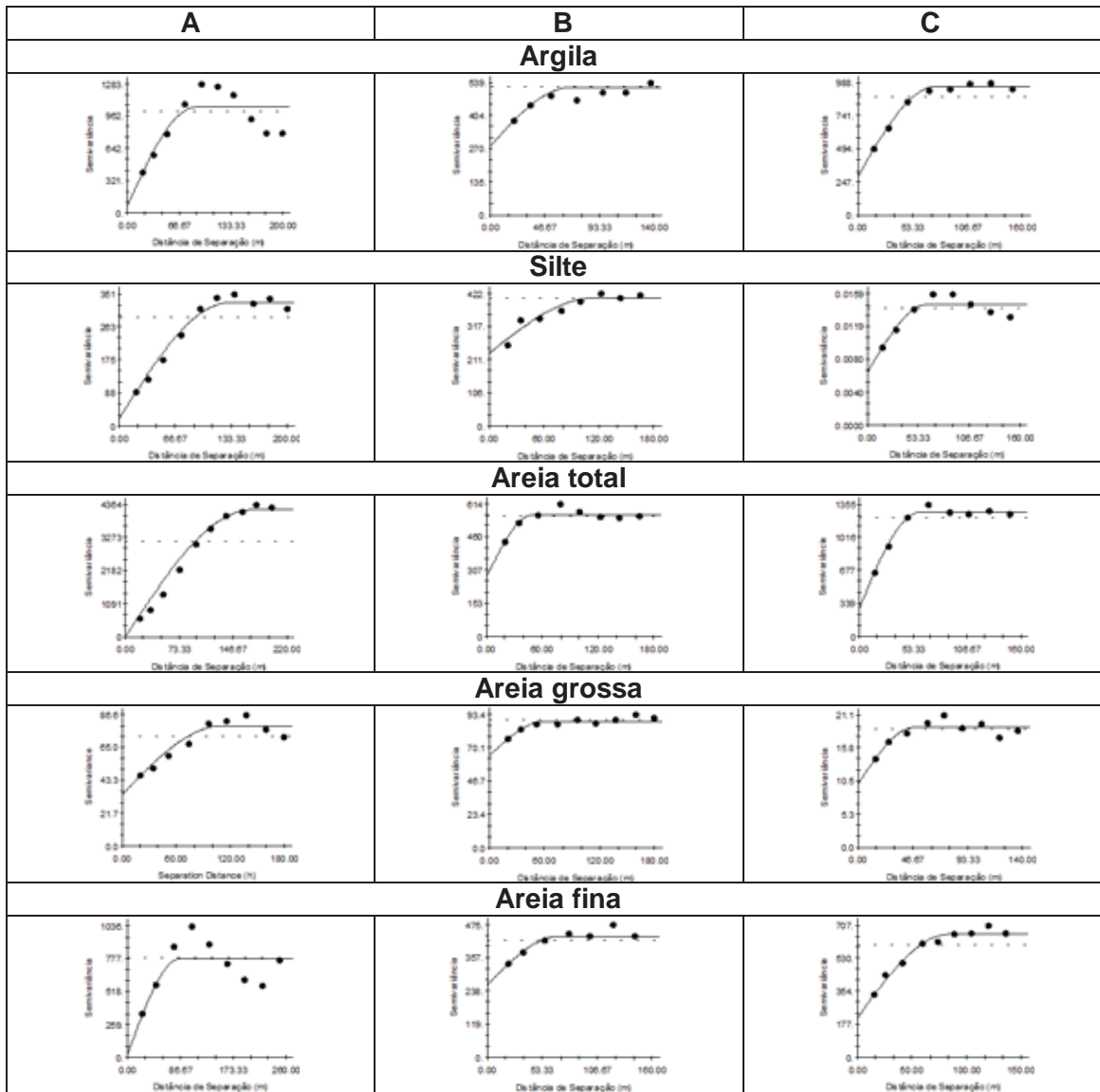


Figura 1A. Variogramas dos atributos granulométricos dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,0 - 0,2 m.

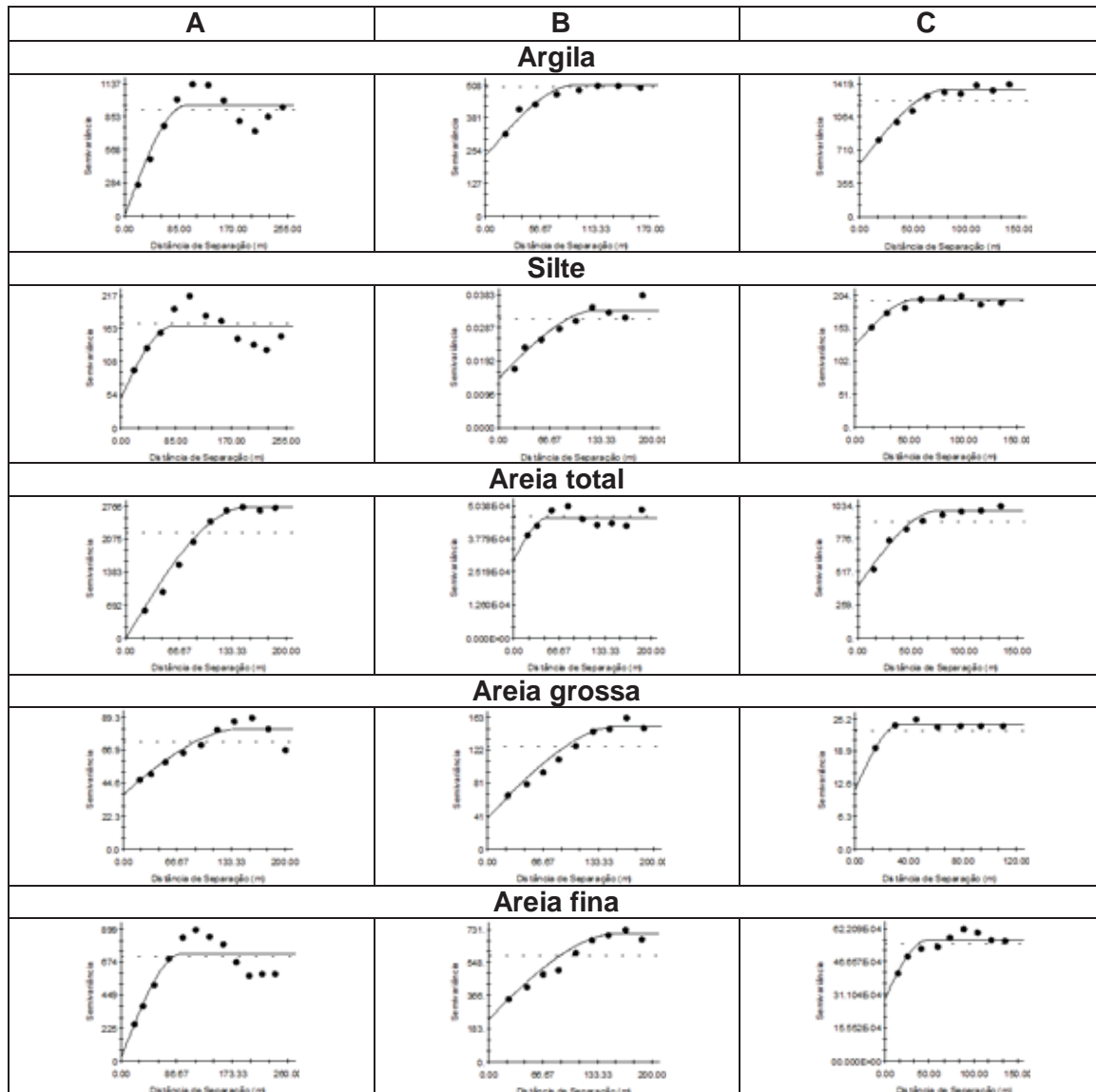


Figura 2A. Variogramas dos atributos granulométricos dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,2 - 0,4 m.

APÊNDICE B. Variogramas dos atributos químicos dos solos.

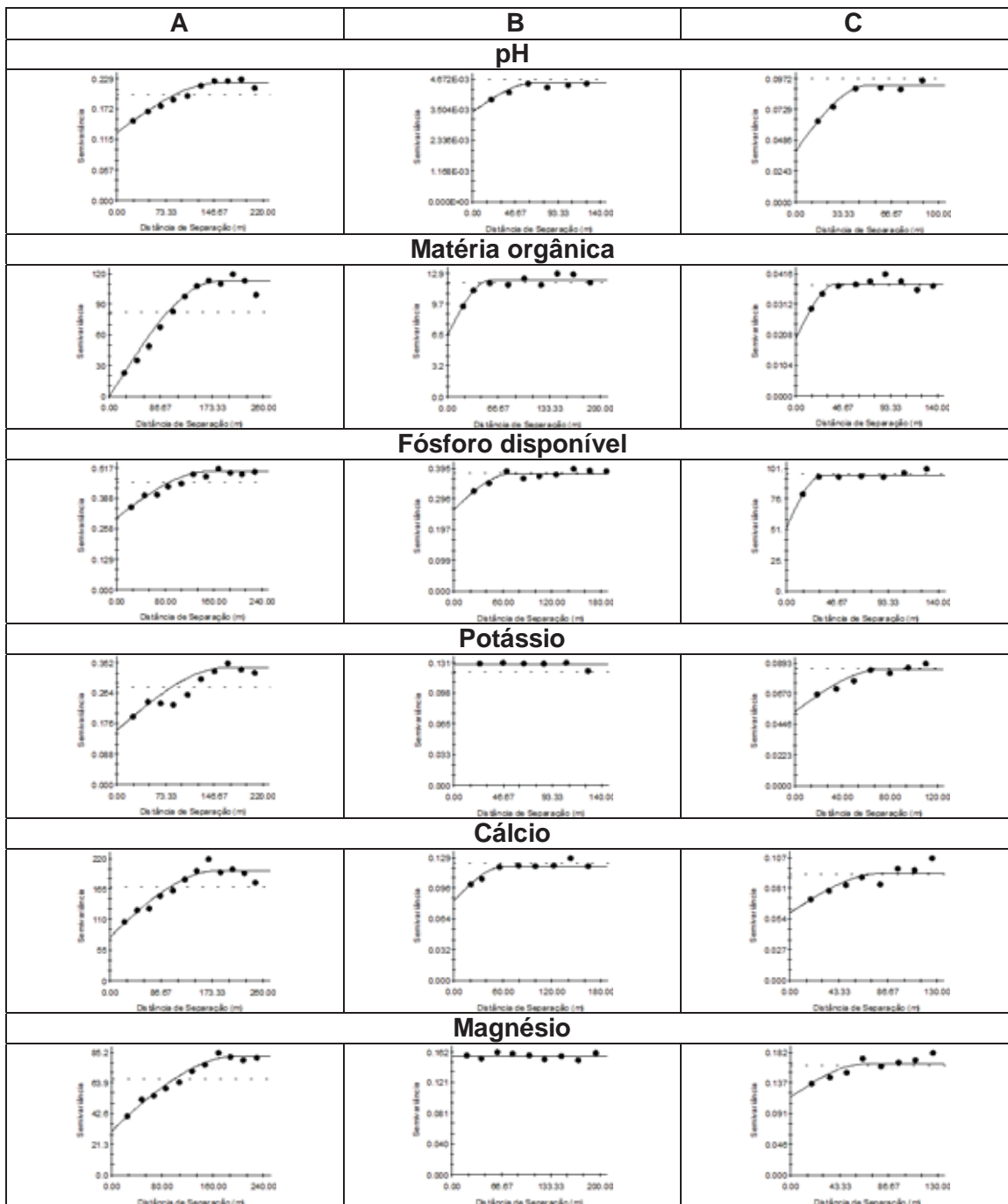


Figura 1B. Variogramas dos atributos químicos do solo, pH, matéria orgânica, fósforo disponível, potássio, cálcio e magnésio dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,0 - 0,2 m.

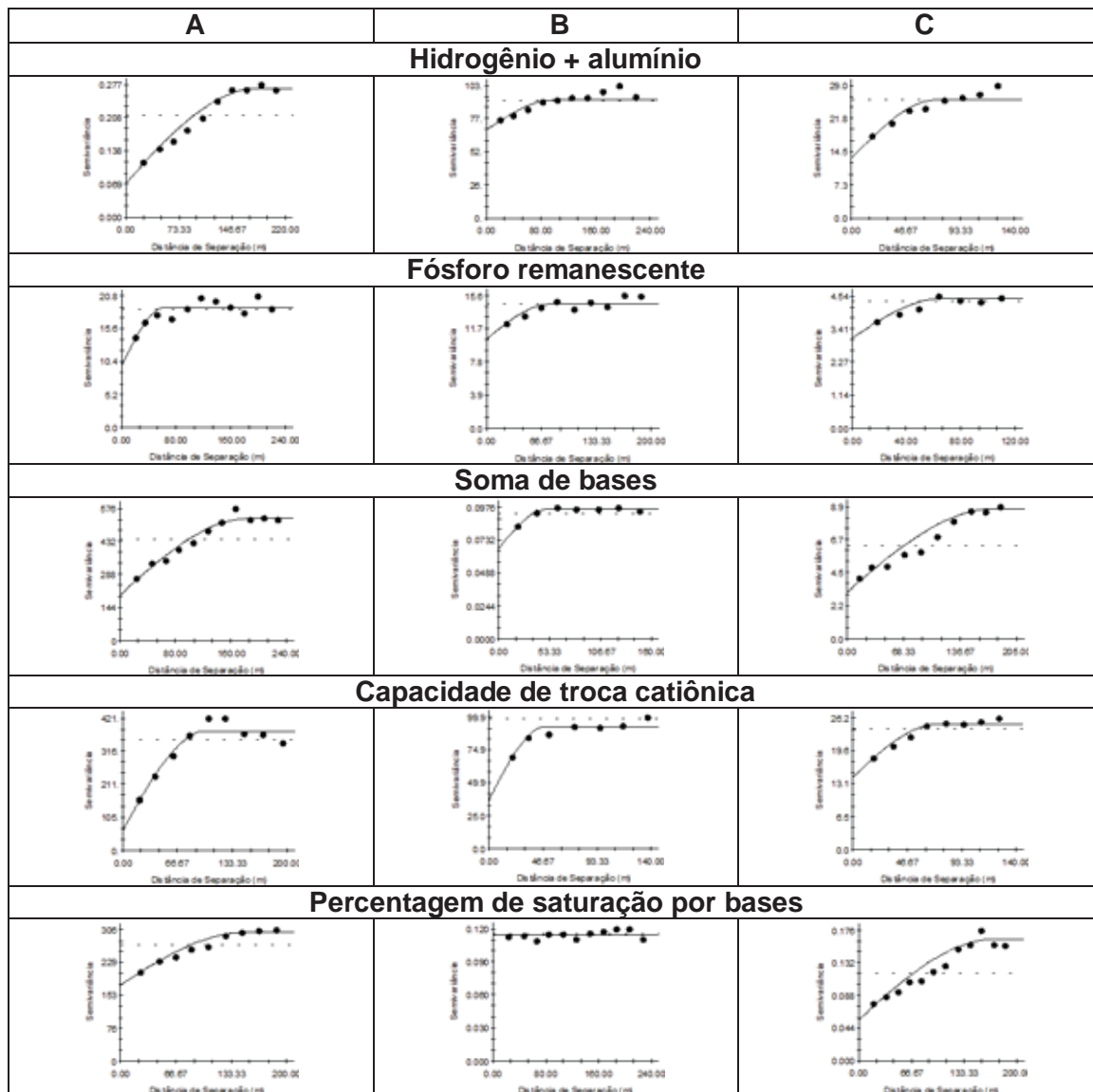


Figura 2B. Variogramas dos atributos químicos do solo, fósforo remanescente, hidrogênio + alumínio, soma de bases, capacidade de troca catiônica e percentagem de saturação por bases dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,0 - 0,2 m.

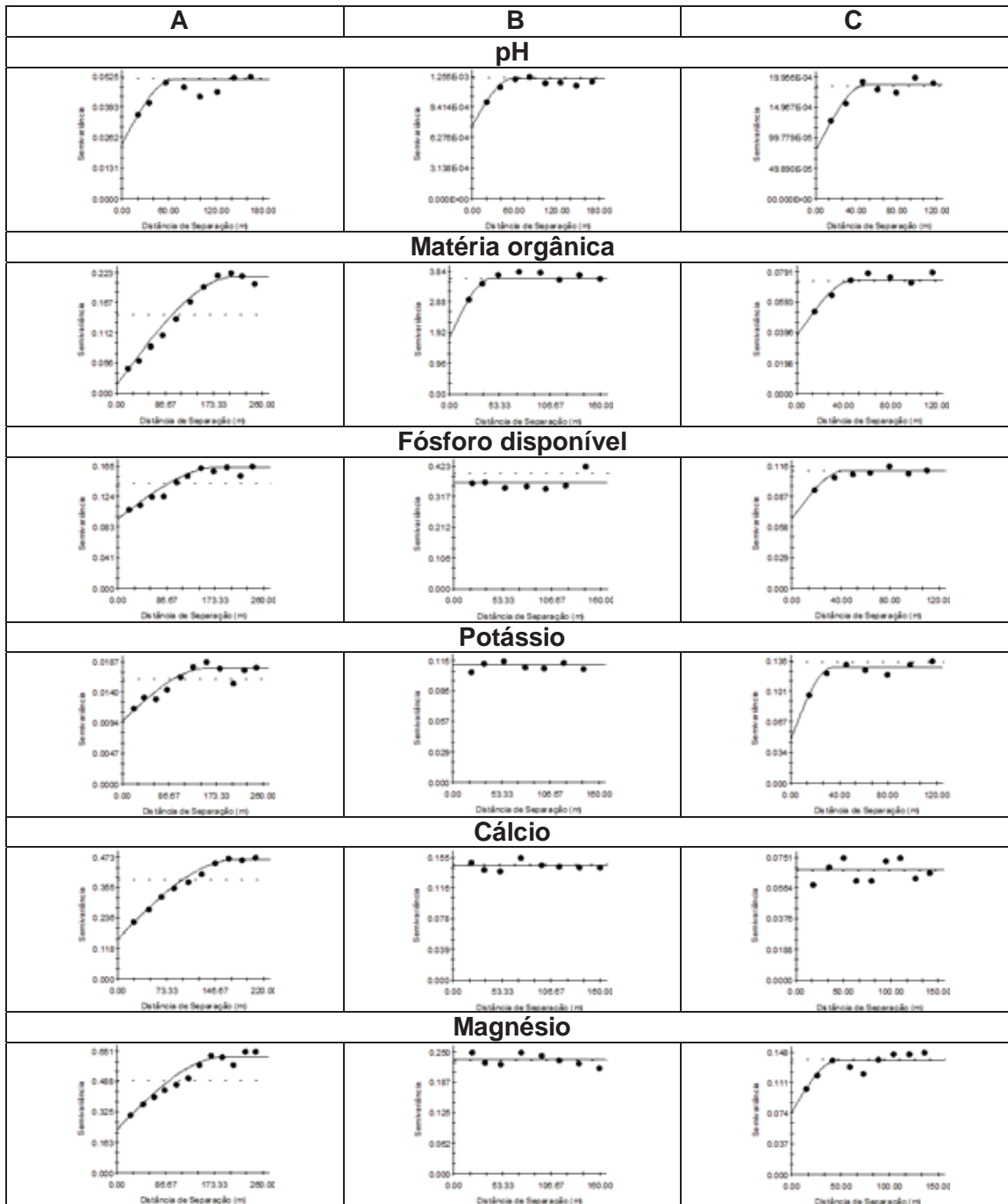


Figura 3B. Variogramas dos atributos químicos do solo, pH, matéria orgânica, fósforo disponível, potássio, cálcio e magnésio dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,2 – 0,4 m.

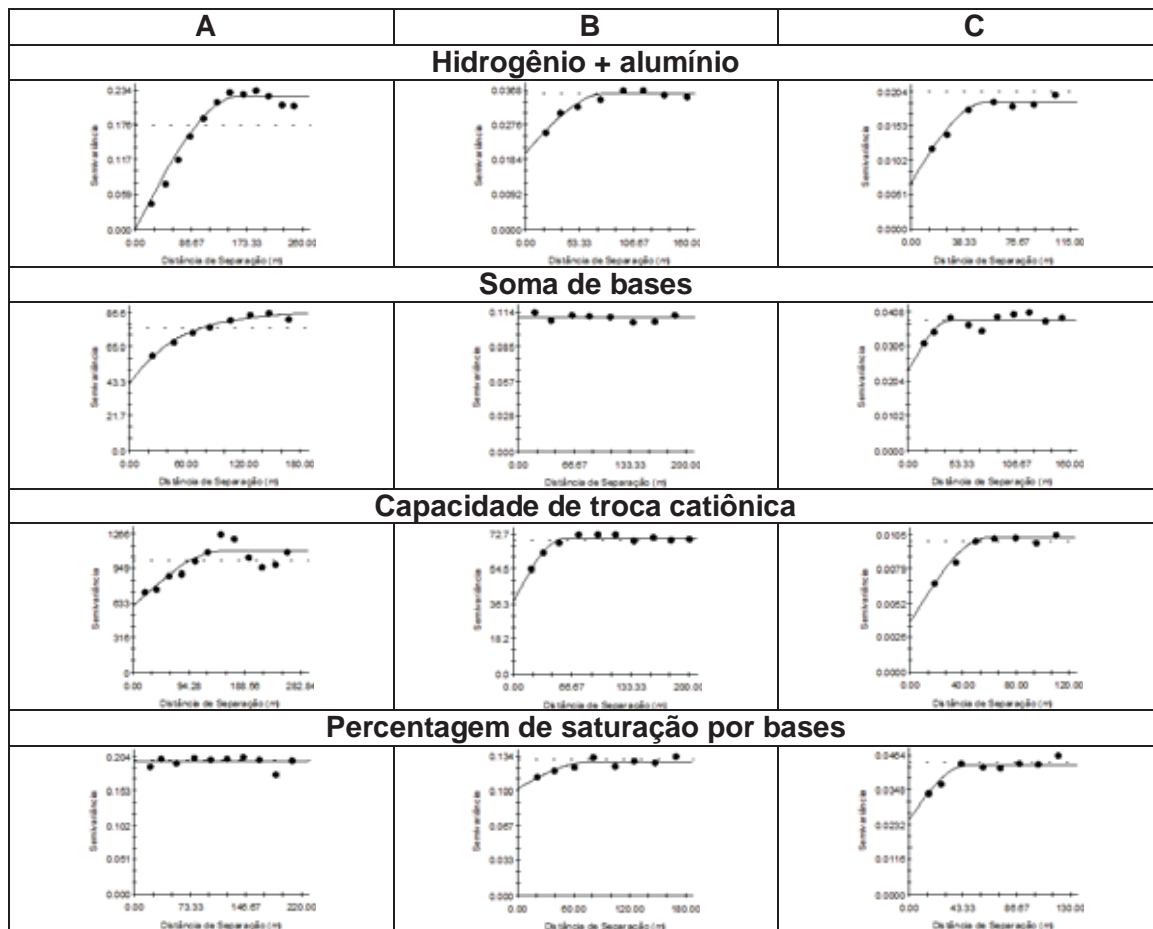


Figura 4B. Variogramas dos atributos químicos do solo, hidrogênio + alumínio, soma de bases, capacidade de troca catiônica e percentagem de saturação por bases dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,2 – 0,4 m.

APÊNDICE C. Variogramas dos atributos da cor dos solos.

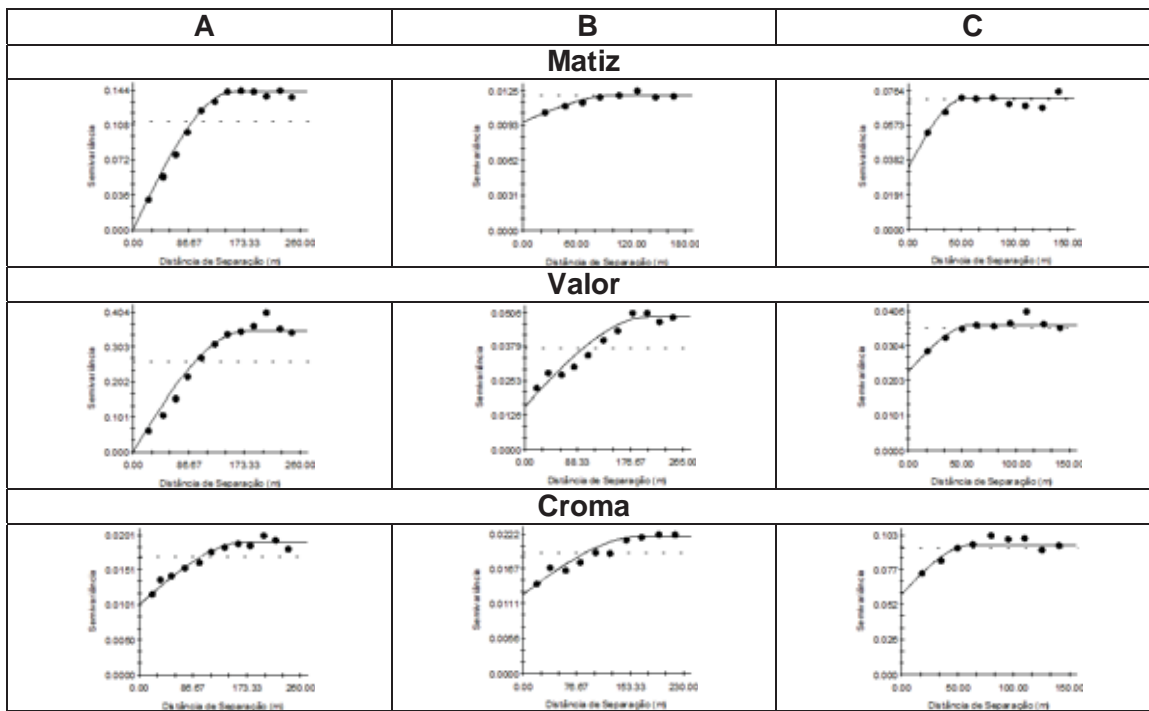


Figura 1C. Variogramas dos constituintes da cor, matiz, valor e croma dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,0 – 0,2 m.

APÊNDICE D. Mapas de krigagem dos atributos granulométricos dos solos.

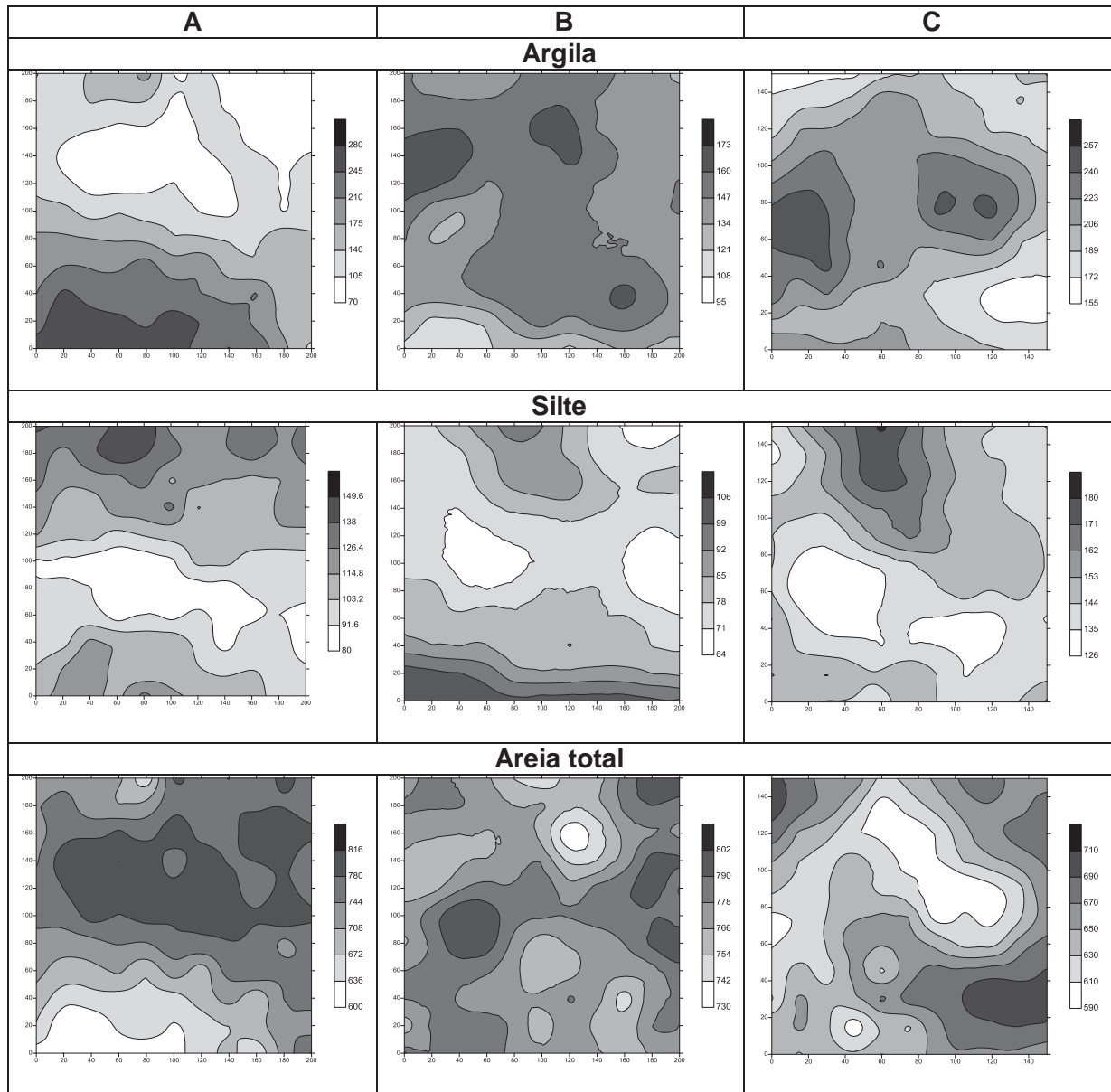


Figura 1D. Mapas de Krigagem dos atributos granulométricos, argila, silte e areia total dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,0 – 0,2 m.

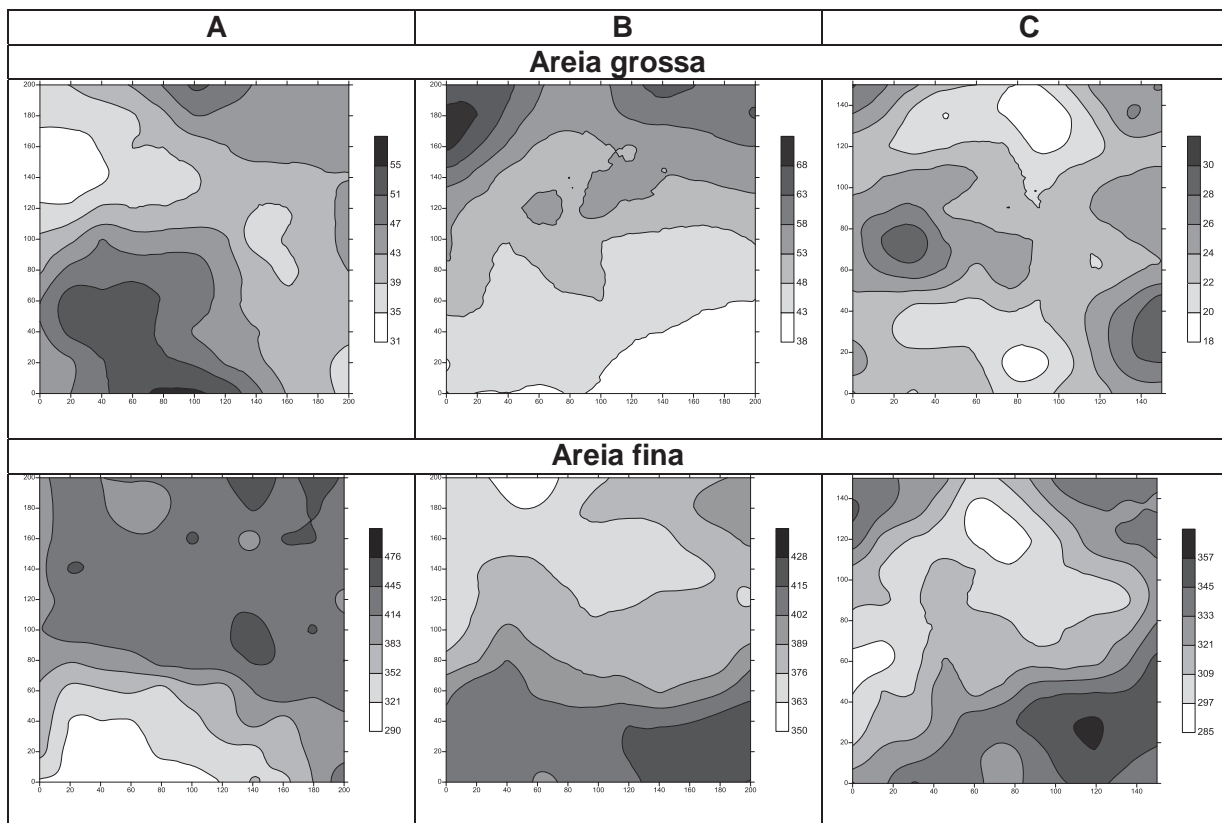


Figura 2D. Mapas de Krigagem dos atributos granulométricos, areia grossa e areia fina dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,0 – 0,2 m.

APÊNDICE E. Mapas de krigagem dos atributos químicos dos solos.

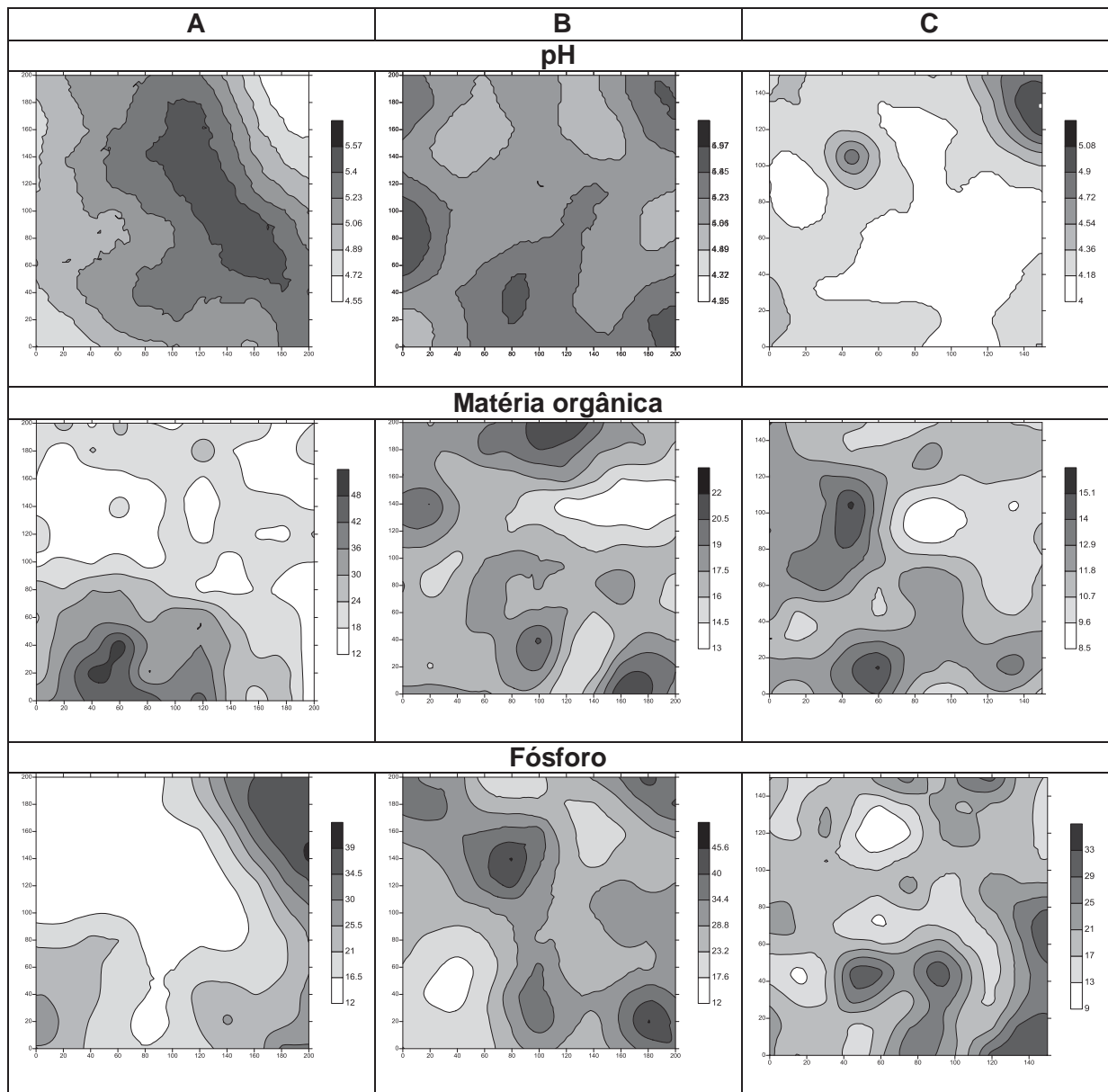


Figura 1E. Mapas de Krigagem dos atributos químicos do solo, pH, matéria orgânica e fósforo disponível dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,0 – 0,2 m.

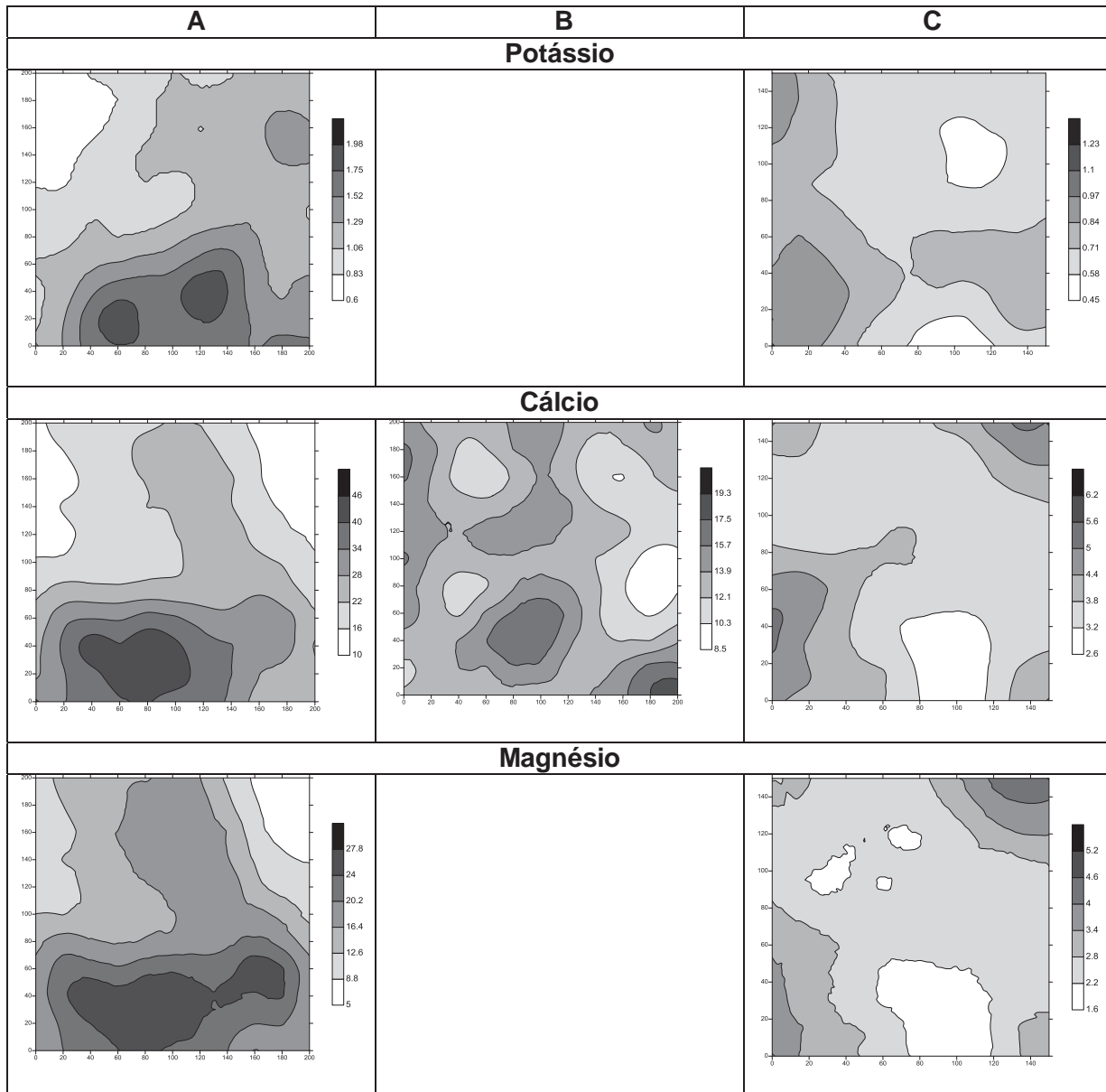


Figura 2E. Mapas de Krigagem dos atributos químicos do solo, potássio, cálcio e magnésio dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,0 – 0,2 m.

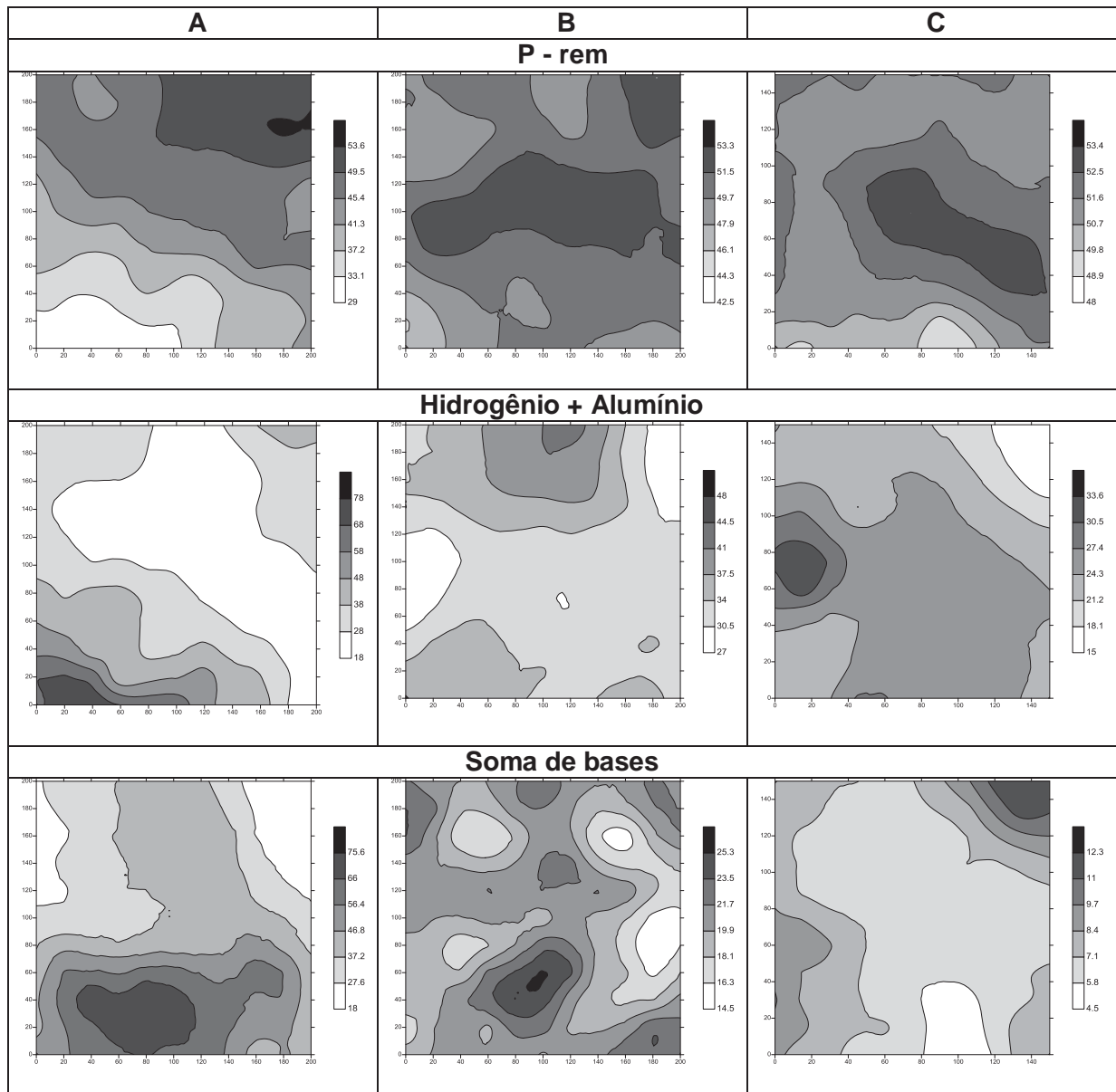


Figura 3 E. Mapas de Krigagem dos atributos químicos do solo, fósforo remanescente, hidrogênio + alumínio e soma de bases dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,0 – 0,2 m.

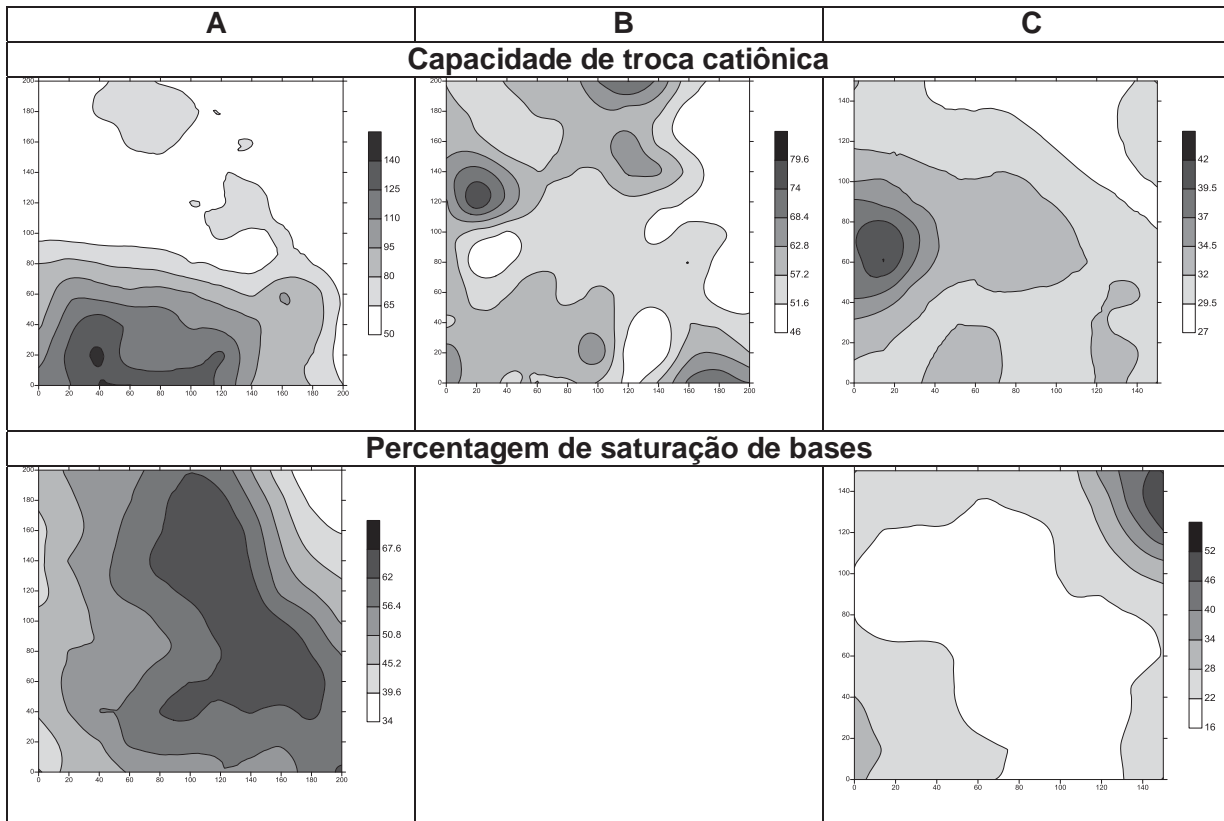


Figura 4E. Mapas de Krigagem dos atributos químicos do solo, capacidade de troca catiônica e porcentagem de saturação de bases dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,0 – 0,2 m.

APÊNDICE F. Mapas de krigagem dos constituintes da cor dos solos.

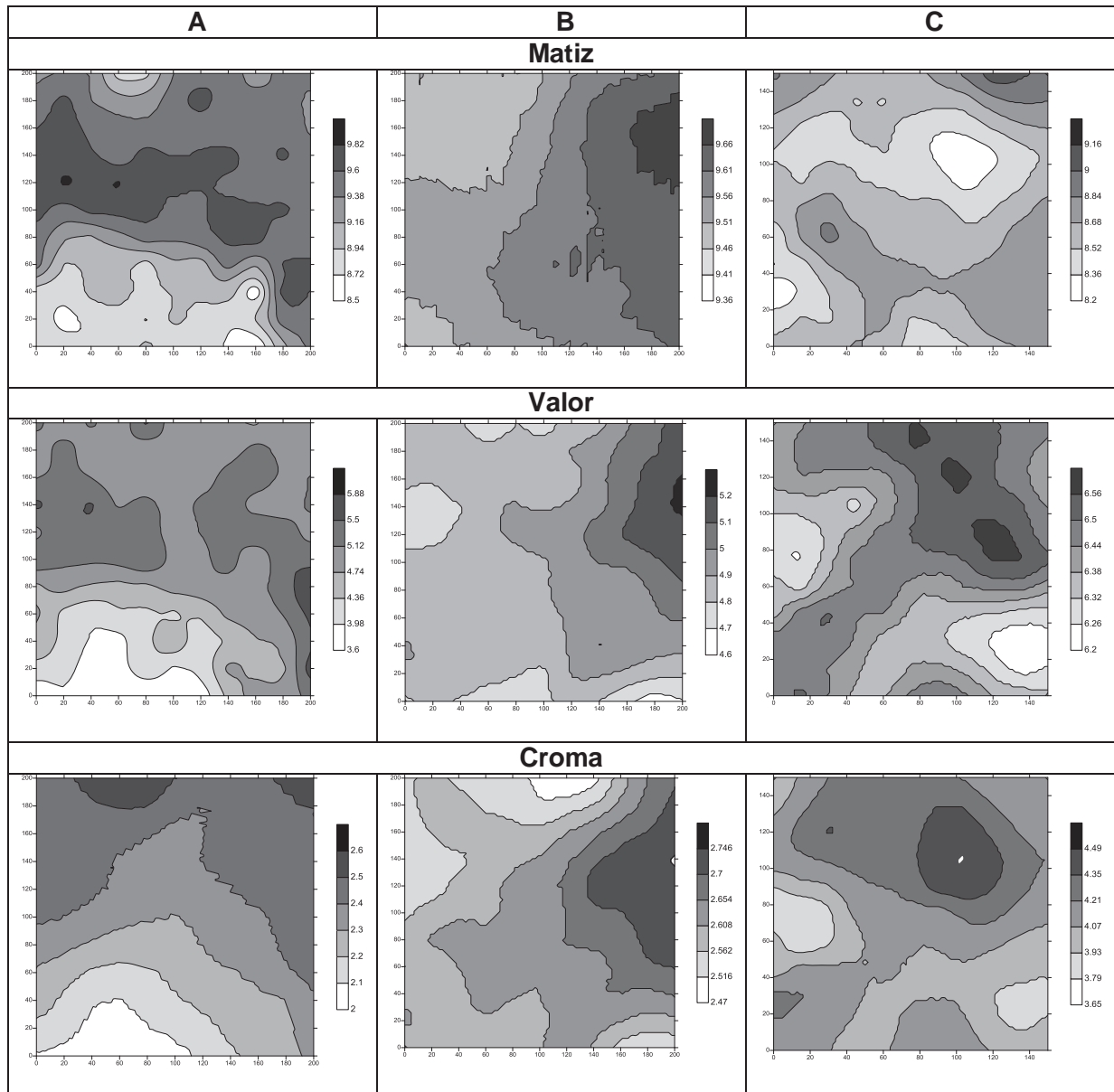


Figura 1F. Mapas de Krigagem dos constituintes da cor, matiz, valor e croma dos solos (compartimentos A, B e C) na profundidade de 0,0 – 0,2 m.