

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

DEPENDÊNCIA ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E
SUSCETIBILIDADE MAGNETICA NA REGIAO PIAUIENSE DO MATOPIBA

NARA NÚBIA DE LIMA CRUZ

BOM JESUS-PI

2016

NARA NUBIA DE LIMA CRUZ

DEPENDÊNCIA ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E
SUSCETIBILIDADE MAGNETICA NA REGIAO PIAUIENSE DO MATOPIBA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, para obtenção do título de “Mestre” em Agronomia, na área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Ronny Sobreira Barbosa
Coorientador : Prof. Dr. Marcio Cleto Soares de Moura

BOM JESUS-PI

2016

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial de Bom Jesus
Serviço de Processamento Técnico

C957d Cruz, Nara Núbia de Lima.

Dependência espacial de atributos químicos, físicos e suscetibilidade magnética na região piauiense do MATOPIBA. – 2016.
95 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Bom Jesus-PI, 2016.

Orientação: “Prof. Dr. Ronny Sobreira Barbosa”.

1. Cerrado. 2. MATOPIBA. 3. Áreas de manejo específico.
4. Atributo do solo - Mapeamento. 5. Geoestatística.
6. Pedometria. I. Título. CDD 630.981

NARA NÚBIA DE LIMA CRUZ

DEPENDÊNCIA ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS E
SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA NA REGIAO PIAUIENSE DO MATOPIBA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, para obtenção do título de “Mestre” em Agronomia, na área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2016

Prof. Dr. Marcio Cleto Soares de Moura

(UFPI/CPCE)

Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza

(FEAGRI/UNICAMP)

Prof .Dr. Sammy Sidney Rocha Matias

(UESPI/CORRENTE)

Prof. Dr. Ronny Sobreira Barbosa (CPCE/UFPI)

Orientador

BOM JESUS-PI

2016

Mantenha o foco no objetivo, centralize a força para lutar e utilize a fé para vencer.

(Autor Desconhecido)

*Aos meus pais Anísio e Sandra
Meus heróis, por toda confiança depositada
e renúncias feitas em meu nome
Dedico*

AGRADECIMENTOS

Primordialmente a Deus, e Maria Mãe Santíssima que me guiaram e me protegeram de todas as pedras no caminho.

Aos meus amados Pais Anísio Pereira da Cruz e Sandra Maria de Lima Cruz que me apoiaram em todos os momentos e se fizeram sempre presente dando forças incentivo e motivação

Ao Meu Irmão Anísio Filho que apesar da distância sempre esteve presente me apoiando no que fosse necessário.

Ao meu Noivo Bueno Abreu por estar ao meu lado me incentivando com palavras de carinho, me acalmando nos momentos necessários me fornecendo suporte para que eu seguisse em frente, pela compreensão em todos os momentos, pelo auxílio nas discussões de ideias estatísticas e geoestatísticas, por sempre dar tudo de si por mim, o seu apoio me fez conseguir essa conquista.

À minha Irmã de Coração, Gessica Marafon, por compartilhar de todos os momentos e me auxiliar sempre nunca deixando que eu desistisse, a sua amizade e o seu carinho foram cruciais sempre e sei que essa amizade nunca terá fim.

À família Marafon (Karlise, Gabi, Gessica, Ronaldo, Zenira, Rogerio, Gugu, Pedro e a saudosa Luly) obrigada por terem me acolhido e permitido que eu pudesse fazer parte dessa família tão maravilhosa, agradeço por todo o carinho que vocês me deram, pelos bolos quentes, pão de queijo, cueca virada e todas as delícias da dona Zenira

Aos professores Ronny Barbosa e Marcio Cleto pelo auxílio no amadurecimento profissional e pessoal contribuindo sempre para que eu me edificasse como pessoa e por sempre manterem a calma mesmo quando eu me desesperava. Ao professor Zigomar pelo auxílio nas análises e por toda disposição em ajudar disponibilizando seu laboratório sempre.

Ao grupo de Pesquisa SOLOCER (Cebola, Jonas, Lefssi, Silvestre Cachorrão, Camille de Teresina, Thamyres e Odalia) meus filhos de coração obrigada por todo o apoio, todos os sábados, todas as noites, a coleta, as análises e principalmente obrigada pela amizade e carinho de vocês. Ao proprietário da área concedida Sr. Ronaldo Marafon obrigada por todo o apoio.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	i
GENERAL ABSTRACT.....	ii
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	vi
CAPITULO 01	1
01.INTRODUÇÃO GERAL	1
02.REFERENCIAL TÉORICO.....	3
02.1 Produção de soja	3
02.2 Solos da região MATOPIBA	5
02.3. Uso da geoestatística na ciência do solo	7
02.3.1 Variograma.....	9
02.4. Suscetibilidade magnética aplicada a ciência do solo.....	11
02.5 Funções de pedotransferencia aplicados a ciência do solo	15
03.REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	18
CAPITULO 02	25
RESUMO.....	25
ABSTRACT.....	26
01. INTRODUÇÃO.....	27
02. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
02.1 Localização, caracterização da área e planejamento amostral.....	29
02.2 Análises laboratoriais.....	31
02.3 Análise de dados	31
03. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
04. CONCLUSÃO.....	65
04.REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	66

RESUMO GERAL

CRUZ, Nara Nubia de Lima. **DEPENDÊNCIA ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA NA REGIÃO PIAUIENSE DO MATOPIBA** 2016. 95 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí.

O solo apresenta características intrínsecas tanto no sentido vertical como horizontal que são influenciadas pelos fatores e processos de formação do solo, associado a essas as práticas de manejo exercidas conferem características de variabilidade. Desta forma se faz necessário a utilização de ferramentas que avaliem a variabilidade do solo no intuito de reduzir os efeitos da variabilidade sobre a produção das culturas. Uma das ferramentas que permitem essa análise é a geoestatística onde consiste em uma técnica que permite identificar o grau de dependência espacial e descreve-las por meio de um interpolador exato e preciso. Em função da intensa produção de soja em áreas de cerrado sendo executadas diferentes práticas agrícolas: o primeiro capítulo consiste em conceituar, identificar os principais pontos do estudo sobre a variabilidade na região MATOPIBA e o segundo consiste em analisar se existe ou não variabilidade espacial nos atributos físicos e químicos na área experimental e constatar se é possível estimar atributos para a área avaliada com auxílio de um atributo pedoindicador. Após a obtenção dos resultados observou-se os valores encontrados para os macro nutrientes do solo avaliados foram teores relativamente baixos tal fato associado a baixos teores de nutrientes conferidos pelos Latossolos, e por conseguinte foi possível constatar que os atributos físicos e químicos apresentaram uma variabilidade espacial e a suscetibilidade magnética apresentou-se como bom preditor de atributos físicos.

Palavras-Chave: Áreas de Manejo específico, Cerrado, Geoestatística, Mapeamento de Atributos do Solo, Pedometria.

GENERAL ABSTRACT

CRUZ, Nara Núbia de Lima. **DEPENDENCE SPATIAL ATTRIBUTES OF CHEMICALS, PHYSICAL AND MAGNETIC SUSCEPTIBILITY IN THE REGION PIAUIENSE MATOPIBA** 2016. 95 p. Dissertation (Masters in Soil and Plant Nutrition) – Federal University of Piauí.

The soil has intrinsic characteristics both vertically and horizontally which are influenced by factors and soil formation processes associated with these exercised the management practices confer variability characteristics .This form is required the use of tools to assess the variability of ground in order to reduce the effects of variability on crop production

One of the tools that allow the analysis and geostatistics, which consists of a technique that identifies the degree of spatial dependence and describes them through an accurate and precise interpolation. Due to the intense production of soybeans in the savanna running different agricultural practices: The first chapter is to conceptualize, identify the main points of the study on the variability in MATOPIBA region and the second is whether there is spatial variability in the physical and chemical attributes in Piauí region MATOPIBA and check and possible to estimate attributes with the help of a pedoindicator attribute. After obtaining the results we observed that the values found for the macronutrients of this soil were relatively low levels this fact associated with low nutrient content conferred by Oxisols, and therefore and possible to verify that the physical and chemical attributes showed a spatial variability and magnetic susceptibility presented itself as a good predictor of physical attributes.

Keywords: Cerrado, Geostatistics, Specific management areas, Soil Attribute Mapping, Pedometrics.

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 01

Tabela 01. Comportamento Magnético dos Minerais	20
--	-----------

CAPITULO 02

Tabela 01. Estatística descritiva para os atributos químicos do solo (0,00-0,25 m)	35
Tabela 02. Estatística descritiva para os atributos químicos do solo (0,25-0,50 m)	36
Tabela 03. Estatística descritiva para os atributos físicos do solo(0,00-0,25 m)	40
Tabela 04. Estatística descritiva para os atributos físicos do solo (0,25-0,50 m)	41
Tabela 05. Parâmetros ajustados para os atributos químicos nas áreas agrícolas na profundidade de (0,00-0,25m a 0,25m-0,50m)	43
Tabela 06. Parâmetros ajustados para os atributos físicos nas áreas agrícolas na profundidade de(0,00-0,25m a 0,25m-0,50m)	46
Tabela 07. Correlação de Pearson entre suscetibilidade magnética e atributos físicos e químicos (0,00-0,25m)	60

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 01

- FIGURA 01.** Modelo experimental de um variograma 16
- FIGURA 02.** Representação gráfica dos modelos de variogramas 17

CAPITULO 02

- FIGURA 01.** Local de amostragem: I, Território MATOPIBA com indicação da microrregião pertencente; II Delimitação do lote agrícola utilizado para o estudo com localização das áreas amostradas; III, Modelos digitais de elevação das áreas amostradas; IV, Localização das áreas amostradas de acordo com a posição na paisagem dentro do lote agrícola 37
- FIGURA 02.** Mapas de dependência espacial para suscetibilidade magnética, pH CaCl_2 , alumínio na profundidade de 0,00-0,25 m nas duas áreas agrícolas 52
- FIGURA 03** Mapas de dependência espacial para suscetibilidade magnética, pH CaCl_2 , alumínio na profundidade 0,25-0,50 m nas duas áreas agrícolas 53
- FIGURA 04** Mapas de dependência espacial para cálcio, magnésio, potássio na profundidade de 0,00-0,25 m nas duas áreas agrícolas 54
- FIGURA 05** Mapas de dependência espacial para cálcio, magnésio, potássio na profundidade de 0,25-0,50 m nas duas áreas agrícolas 55
- FIGURA 06** Mapas de dependência espacial para Fósforo, soma de bases ,acidez na profundidade de 0,00-0,25 m nas duas áreas agrícolas 56
- FIGURA 07.** Mapas de dependência espacial para Fósforo, soma de bases ,acidez na profundidade de 0,25-0,50 m nas duas áreas agrícolas 57
- FIGURA 08** Mapas de dependência espacial para Hidrogênio, CTC efetiva, CTC Tna profundidade de 0,00-0,25 m nas duas áreas agrícolas 58
- FIGURA 09** Mapas de dependência espacial para Saturação por bases (v%) e Matéria orgânica na profundidade de 0,00-0,25 m nas duas áreas agrícola 59
- FIGURA 10** Mapas de dependência espacial para Areia Grossa, Areia Fina, Areia total na profundidade de 0,00-0,25 m nas duas áreas agrícolas 60
- FIGURA 11.** Mapas de dependência espacial para Areia Grossa, Areia Fina, Areia total na profundidade de 0,25-0,50 m nas duas áreas agrícolas 61
- FIGURA 12.** Mapas de dependência espacial para argila, silte, relação silte/argilana profundidade de 0,00-0,25 m nas áreas agrícolas 62
- FIGURA 13.** Mapas de dependência espacial para argila, silte, relação silte/argilana profundidade de 0,25-0,50 m nas áreas agrícolas 63
- FIGURA 14.** Mapas de dependência espacial para Diâmetro médio Geométrico e Diâmetro médio Ponderado na profundidade de 0,00-0,25 m nas áreas agrícolas 64
- FIGURA 15** Valores preditos versus valores estimados de areia vs suscetibilidade 67

magnética

FIGURA 16 Valores preditos versus valores estimados de argila vs susceptibilidade magnética **67**

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AG - Areia grossa

Al³⁺ - Alumínio

ARG-Argila

ARG.est.-Argila estimada

AT-Areia total

AT est.-Areia total estimada

Ca²⁺ - Cálcio

CISOJA-Centro de inteligência da Soja

CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento

CTC (t)-Capacidade de troca de cátions potencial

CTC efet.-Capacidade de troca de cátions efetiva

DMG - Diâmetro médio geométrico

DMP - Diâmetro médio ponderado

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FPT-Função de pedotransferência

FUNCEME-Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

H⁺-Hidrogênio

H⁺Al³⁺-Acidez

IAC- Instituto Agronômico de Campinas

K⁺- Potássio

M.O- Matéria orgânica

MAPA-Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MATOPIBA- Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia

MDE-Modelo digital de elevação

Mg²⁺ - Magnésio

MN- Mata nativa

P- Fósforo

pH.CaCl₂- Potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio

SB- Soma de bases

SENAR-Serviço Nacional de Aprendizagem Rural

SM-Suscetibilidade magnética

USDA-Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

V%-Saturação por bases

CAPITULO 01

01.INTRODUÇÃO GERAL

O cerrado piauiense possui uma área de 8,5 milhões de hectares, representando cerca de 30% da área total do cerrado setentrional brasileiro (AGUIAR & MONTEIRO, 2005). Os solos desse bioma apresentam baixa fertilidade natural, estando relacionada à acidez e sazonalidade das chuvas, os quais prejudicam o desenvolvimento das plantas (CONAB, 2011).

Nessa região o sistema plantio direto (SPD), vem sendo adotado em substituição aos convencionais, entretanto nesse sistema a variação dos atributos do solo é aumentada pela ação residual das linhas de adubação, que se mantêm na sequência dos cultivos (COUTO, 1997). Caracterizando-se como um sistema de elevada complexidade e que carrega igualmente, significativa variabilidade espacial, tanto para os atributos físicos quanto para os químicos do solo (SILVA et al., 2010).

Frequentemente, ao se analisar os atributos do solo, com auxílio da estatística clássica, verifica-se que a influência da heterogeneidade espacial sobre a representatividade dos valores médios é ignorada (CHAVES & FARIAS, 2009). Contudo, a técnica da geoestatística permite o estudo do comportamento da variabilidade espacial destes atributos, possibilitando assim, uma melhor interpretação dos resultados com base na distribuição espacial dos atributos do solo, além de quantificar a sua magnitude (SOUZA et al., 2004).

Além disso, a estratégia de amostragem do solo pode ser otimizada com a incorporação de um modelo de variabilidade espacial. Em decorrência disso, a aplicação da geoestatística na ciência do solo vem sendo crescente e tornando-se uma ferramenta adicional para o estudo dos atributos espacialmente correlacionados. Este aumento pode ser explicado pela crescente competitividade do agronegócio e a preocupação com a conservação ambiental, que juntos estimulam a investigação e o uso de técnicas mais adequadas na ciência do solo (CAVALCANTE et al., 2007).

Diante disso, a geoestatística é uma técnica que permite o conhecimento da variabilidade espacial do solo (CAMBARDELLA et al., 1994; VIEIRA, 2000). Verifica-se a condição de existência da variabilidade espacial por meio do variograma, no qual permite a interpretação dos resultados com base na estrutura de variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem.

Campos et al. (2009) reforçam que o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo auxilia no manejo preciso das atividades agrícolas por meio de separação de 2 ambientes, práticas adequadas de adubação e alocação de variedades.

02.REFERENCIAL TÉORICO

02.1Produção de soja

Em 2016, a produção de soja no Brasil completa 134 anos. Ela foi inserida na cadeia de produção nacional em meados de 1884 pelo Professor Gustavo Dutra. Em 1892 ele intensificou suas pesquisas no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), sendo que nessa época ela era tratada apenas como espécie forrageira e utilizada para a rotação de culturas. Somente no ano de 1914, ela foi oficialmente introduzida no Rio Grande do Sul (MACEDO & NOGUEIRA, 2005).

A partir dos anos 40 a produção de soja adquiriu importância econômica, merecendo o primeiro registro estatístico nacional, em 1941, no Anuário Agrícola do Rio Grande do Sul, onde se lê: área cultivada de 640 ha, produção de 450 t e rendimento de 700 kg ha⁻¹. Nesse mesmo ano, instalou-se a primeira indústria processadora de soja do País, em Santa Rosa, RS, e, em 1949, com produção de 25.000t, o Brasil figurou, pela primeira vez, como produtor de soja nas estatísticas internacionais (CISOJA, 2015).

Nas últimas décadas essa cultura vem apresentando crescimentos mais expressivos nas atividades econômicas dentro do agronegócio mundial. Isso pode ser atribuído a diversos fatores, como: desenvolvimento e estruturação de um sólido mercado internacional relacionado com o comércio de produtos do complexo soja; consolidação da oleaginosa como importante fonte de proteína vegetal, especialmente para atender demandas crescentes dos setores ligados à produção de produtos de origem animal e; geração e oferta de tecnologias, que viabilizaram a expansão da exploração desta cultura para diversas regiões do mundo ao aumento da demanda global por alimentos, aumento de pesquisas em cultivares resistentes (HIRAKURI & LAZZAROTTO, 2011).

Segundo o Departamento de Agricultura do Estados Unidos (USDA,2015) a safra estimada para 2015/2016 representa um recorde, estimado em 319,6 milhões de toneladas onde os Estados Unidos lideram a produção seguido do Brasil e Argentina somando cerca de 81% da produção mundial. Verifica-se que nos países como Estados Unidos e Argentina os ganhos de produtividade observados nas últimas décadas foram inferiores em relação aos ganhos de produtividade obtidos pela adaptação das espécies a regiões de baixas latitudes e às condições de cerrado, em que se destacam as regiões Centro-Oeste e Nordeste do Brasil.

Na safra 2014/15 a produção de soja no Brasil alcançou 95,1 milhões de toneladas, com aumento de 10,4% comparativamente a safra de 2013/2014. O processamento cresce

na mesma proporção e alcança 44,2 milhões de toneladas. O destaque do quadro de suprimento brasileiro consiste no aumento do estoque do grão cujo volume salta de 1,9 para 6,6 milhões de toneladas. O panorama de estoques elevados nos mercados internacional e doméstico tende a atenuar as oscilações mais significativas no sentido de alta nos preços do grão e dos derivados de soja (CONAB, 2015).

Este aumento pode estar associado com o crescimento da produção agrícola na região territorial do MATOPIBA, que corresponde ao sul do Maranhão, leste do Tocantins, sudoeste do Piauí e oeste da Bahia (KARAM & MAGALHÃES 2014). De acordo com Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a região MATOPIBA abrange 337 municípios e 31 microrregiões num total de 73 milhões de hectares, com 5,9 milhões de habitantes (Decreto nº 8.447, publicado no D.O.U em 6 de maio de 2015).

O principal critério de delimitação territorial foi embasado nas áreas de cerrados existentes nos quatro estados (MAPA, 2015). Este território apresenta a expansão de uma fronteira agrícola baseada em tecnologias modernas de alta produtividade. O clima favorável, o perfil dos produtores e a legalidade de novas áreas a serem abertas trazem boas perspectivas para a região. Assim, a totalidade dos quatro estados deverá apresentar aumento de 7,9% na produção de grãos na safra 2015/2016 (MAPA 2015).

O estado do Piauí possui 11,21% deste território, que envolve 33 municípios e 8,2 milhões de hectares. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015), o Piauí aumentou sua produção na safra de 2014/2015 em relação à 2013/2014 em torno de 18,6% (1,766 milhões de toneladas). No início a produção agrícola do estado estava concentrada na cidade de Uruçuí, hoje concentra-se no município de Bom Jesus, a 635 km da capital Teresina. Em sete anos houve aumento de produtividade de 1.800.000 para 3.293.000 toneladas correspondendo a um aumento de 82,94 % tendo esses valores relacionados diretamente com a influência da mecanização na produção (CONAB, 2016). Conta hoje com 7,6 milhões de hectares cultivados que se reverterão em 19,5 milhões de toneladas de grãos e fibras (SENAR, 2015).

Contudo, apesar dos índices de produção relacionados com um crescimento acelerado a região ainda apresenta desafios pertinentes associados a baixa fertilidade dos solos da região e materiais genéticos adaptados ao clima em que se faz necessário uso de agricultura moderna e sustentável para que se possa atenuar as limitações existentes.

02.2 Solos da região MATOPIBA

O território do MATOPIBA tem ocupado posição de destaque no setor agropecuário brasileiro. Na maior parte deste território, a topografia, as condições climáticas e os solos que apresentam intensa evolução nos seus processos pedogenéticos têm possibilitado um intenso crescimento nocultivo das principais culturas de grãos e fibras, que refletiu também na melhoria sócio-econômico-cultural da região (BORGHI et al., 2014).

A maior parte da produção ocorre em Latossolos que, em geral, possuem menos de 20% de argila nos primeiros 50 cm a partir da superfície. (SANTOS, 2014). Naturalmente, o solo desse território apresenta restrições quanto à fertilidade, como a presença de mais de 95% de sua área com características distróficas e níveis de pH entre 4,8 e 5,2, indicando a típica condição ácida desses solos (AZEVEDO et al., 2007). Constituem-se em solos com elevado nível de intemperismo, níveis de fósforo (P) disponível para as plantas naturalmente baixos e ter uma capacidade de adsorção elevada (SOARES&ALLEONI et al., 2008).

O comportamento químico do solo deste território está associado à mineralogia peculiar e ao ambiente geoquímico da classe de solos predominante na região. Portanto, apresentam baixos teores em nutrientes, o que inevitavelmente implicará num investimento inicial bastante alto com o uso intensivo de fertilizante. A prática de calagem objetiva a neutralização do efeito tóxico do alumínio para as plantas e também fornecimento de cálcio e magnésio.

Fisicamente, os solos deste território apresentam teores de silte geralmente baixos contendo predominância das frações areia e argila com textura média, características relacionadas em decorrência do estágio avançado de intemperismo. Os perfis são, predominantemente, profundos a muito profundos, sendo mais normais as transições difusas e graduais entre os horizontes; são muito porosos e muito friáveis ou friáveis, quando úmidos são drenados a fortemente drenados. São, normalmente, bastante resistentes à erosão, em decorrência da baixa mobilidade da fração argila, do alto grau de floculação e da grande permeabilidade e porosidade. Os de textura mais argilosa têm certa tendência ao selamento superficial, condicionado pela ação das chuvas torrenciais próprias dos climas equatoriais e tropicais (FUNCEME, 2014).

Amorfologia expressa pela classe dos Latossolos configura-se com ampla cores que variam de amarelas a brunadas, acinzentadas a vermelho escuro-acinzentadas com matizes 2,5YR a 10YR. Variam de fortemente a bem drenados, suas características morfológicas

apresentam pouca distinção de sub-horizonte, com sequência de horizontes A, B, C e transições usualmente difusas ou graduais tipicamente, possuem sequência de horizontes A-Bw, onde Bw significa horizonte B latossólico representando seu horizonte diagnóstico (SANTOS, 2013).

Em relação à mineralogia, suas principais características são baixa relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ na fração argila, normalmente inferior a 2,2, dado o avançado grau de intemperismo do material do solo; alta relação molecular $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ (valores superiores a 3,0) em virtude dos baixos teores de óxido de ferro, que se associam as cores intermediárias entre o vermelho e o amarelo. Baixa capacidade de permuta de cátions (valor T) da fração argila, em razão do material do solo ser constituído, essencialmente, de sesquióxidos, argilas 1:1 (cauliníticas), quartzo e outros materiais altamente resistentes ao intemperismo. Baixo conteúdo de minerais primários, exceto os mais resistentes (quartzo, ilmenita e magnetita) ausência de minerais primários que se decompõem facilmente ou presentes em quantidades muito pequenas (RODRIGUES et al., 1996) grau de estabilidade dos agregados relativamente alta e teores baixos ou inexistentes de argila natural (dispersa em água), apresentando um alto grau de floculação. Alguns Latossolos, formados de rochas mais ricas em Fe, apresentam, na fração argila, a maghemita e, na fração areia, a magnetita e a ilmenita (SOUZA & LOBATO, 2004).

A estrutura dos Latossolos brasileiros relacionada diretamente com os teores de caulinita e gibbsita. Onde é possível afirmar que a caulinita tende a exibir a estrutura em blocos e uma maior densidade e a gibbsita uma estrutura de forma granular e menor volume e densidade (SANTOS, 2013). Constitui-se por minerais de argila por 1:1, óxidos de Fe e Al, quartzo e outros minerais altamente resistentes (CURI, 1983). Tendo a Caulinita como o principal mineral em teor expressivo. Goethita e hematita são os principais óxidos de Fe e a gibbsita é praticamente o único óxido (hidróxido) de Al presente nesses solos, enquanto quartzo e outros minerais apresentam-se em menor proporção (KÄMPF & CURI, 2003).

Nos últimos anos tem-se intensificado cada vez mais os estudos associando o relevo como fator condicionador de teores e cristalinidade dos minerais da fração argila, isso porque a mineralogia é resultante da relação dos processos e fatores de formação. Curi & Franzmeier (1984), observando uma toposequência de Latossolos desenvolvidos de basaltos no Planalto Central (Goiás), localizaram a maior concentração de gibbsita na posição mais elevada de uma toposequência e maior concentração de caulinita nas posições mais baixas, associadas à goethitas de menor diâmetro médio do cristal.

Estudos realizados por Camargo et al. (2008), estudando os atributos mineralógicos da fração argila de um Latossolo sob diferentes formas do relevo na região de Guaíba, SP, verificaram maiores diâmetro médio do cristal para goethita, hematita e gibbsita nas pedoformas convexo-côncavas, indicando maior grau de cristalinidade quando comparado as pedoformas lineares, também observaram que as formas do relevo se relacionaram com a formação e a cristalinidade dos minerais da fração argila e, as relações entre os atributos mineralógicos podem ser entendidas por meio do padrão de distribuição destes na paisagem.

Entretanto, os atributos mineralógicos, químicos, físicos do solo mesmo inseridos em áreas homogêneas pertencentes as classes de solos iguais, apresentam variações em grau suficiente para afetar a produtividade das culturas. Ou seja, os solos do cerrado apresentam notória variabilidade e o conhecimento desta variabilidade permite uma visão espacial útil ao planejamento e controle das informações de produção (AMARO FILHO et al., 2007).

02.3. Uso da geoestatística na ciência do solo

O solo apresenta heterogeneidade natural em função dos seus processos pedogenéticos tanto na direção horizontal quanto na vertical. A desuniformidade do material originário do solo e as variadas maneiras de como o intemperismo atua provavelmente são as responsáveis por este comportamento, principalmente nas camadas mais superficiais (BUOL et al., 1997). A interação dos processos que conduzem os fatores de formação do solo, fazem com que o mesmo apresente heterogeneidade, podendo essa ser de forma horizontal como vertical no perfil do solo (MONTEZANO et al., 2006).

Em áreas de cultivo anual, acrescenta-se a variabilidade natural do solo, fontes adicionais de variabilidade ocasionados por meio da influência do homem no manejo agrícola, tendo como o cultivo de plantas em linha e a consequente aplicação localizada de fertilizantes nas culturas influenciando diretamente os atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos impactando com maior intensidade nas camadas superficiais (BECKETT & WEBSTER, 1971). O conhecimento desta variação é imprescindível para o levantamento e classificação de solos, para a avaliação de sua fertilidade, para o desenvolvimento de esquemas de amostragens mais adequados, para o planejamento experimental e para as definições de práticas apropriadas de manejo e recuperação (SOUZA, 1992).

Segundo Zanão Junior et al. (2010), no sistema plantio direto o manejo agrícola realizado modifica a variabilidade dos atributos quando comparado ao sistema convencional, tanto horizontal quanto verticalmente, mostrando que a geoestatística pode ser utilizada como uma técnica fundamental para o estabelecimento de um manejo apropriado da fertilidade do solo.

A técnica da geoestatística permite avaliar os atributos do solo considerando a variabilidade natural dos solos ponderando a dependência espacial no intervalo de amostragem permitindo alternativas de uso e facilitando uma melhor compreensão da variabilidade dos atributos e sua influência no ambiente (SOUZA et al., 2009; SILVA NETO et al., 2012).

O estudo da geoestatística iniciou-se em 1951, por Daniel Krige em Rand na África do Sul, trabalhando com dados de concentração de ouro. Krige desenvolveu métodos empíricos para prever graus de minério espacialmente correlacionados nas minas de ouro da África do Sul, concluindo que a informação dada pela variância é insuficiente para explicar tal ideia tendo que levar em consideração a distância. A partir daí surge o conceito de geoestatística levando em consideração a localização das variáveis (YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

Posteriormente as avaliações de Krige a princípio empíricas e de aplicações localizadas, foram importantes para o engenheiro francês Georges Matheron desenvolver a teoria que estuda o comportamento de variáveis distribuídas espacialmente e que representam um fenômeno natural. Assim, Matheron, durante a década de 60, generalizou os métodos de estimativas usados por Krige e desenvolveu os fundamentos teóricos da variabilidade de amostragem associada com o tamanho das amostras bem como, formulou uma teoria completa dos erros de estimativas conhecida hoje como teoria das variáveis regionalizadas (MATHERON 1970). Quando a variável aleatória assume diferentes valores em função da localização onde é amostrada no campo, caracteriza-se uma variável regionalizada, base da geoestatística.

Nos últimos anos sua utilização foi intensificada na descrição quantitativa de variáveis naturais do domínio espacial ou espaço-temporal, incluindo variabilidade espacial e análise estrutural, a predição espacial, simulação de espaço e assim por diante permitindo que a reprodução de variabilidade espacial dos dados e proporcione medidas de incerteza espacial por meio de múltiplas realizações igualmente prováveis (TERCAN & SOHRABIAN, 2013).

A geoestatística difere-se da estatística clássica em consequência de avaliar os valores de uma variável que se relacionam com a sua distribuição espacial, ou seja, observações tomadas a curtas distâncias devem ser mais semelhantes do que aquelas tomadas a distâncias maiores e, por levar em consideração o comportamento espacial das variáveis apresenta grande potencial de aplicação nas geociências/ciências ambientais.

02.3.1 Variograma

O variograma consiste em uma representação gráfica do ajuste de modelos matemáticos aos dados observados, de onde se definem os parâmetros necessários para a estimação de valores para locais não amostrados, por meio da técnica de krigagem (SOUZA et al., 1997). Desempenhando funções importantes para indicar correlação espacial em medidas observadas nos locais de amostragem. Para pontos próximos, a diferença e a variância são pequenas, ao passo que, com aumento da distância, a variabilidade entre os pontos amostrais eleva-se e, conseqüentemente, a variância aumenta até a estabilização em torno da variância máxima dos dados em uma determinada distância (YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

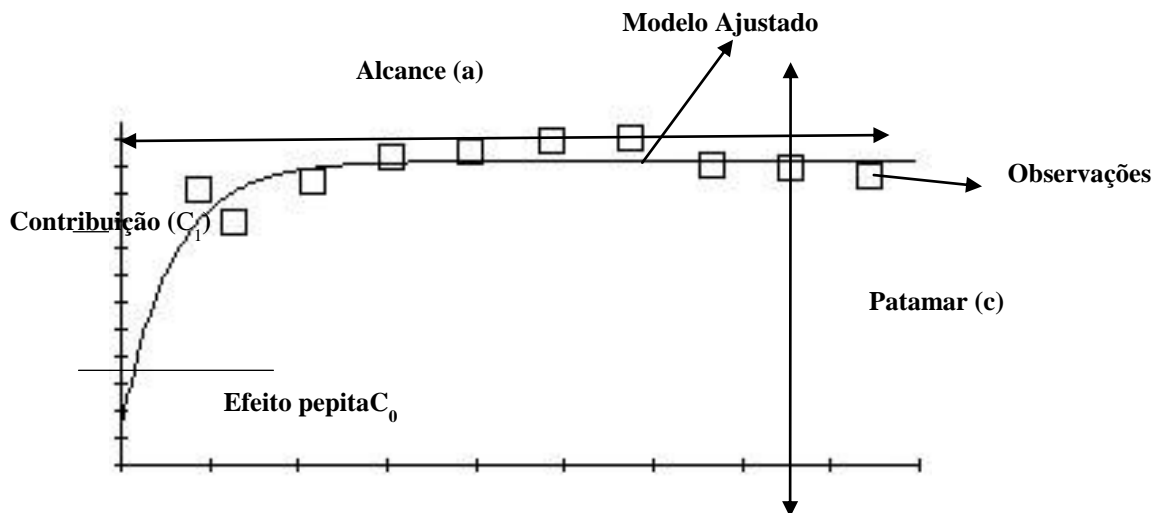


Figura 02. Modelo experimental de um variograma

Parâmetros do variograma:

ALCANCE (A)

O alcance (a) indica a distância, em metros, do limite entre pontos correlacionados entre si, sendo que os pontos coletados com distâncias maiores que os alcances são considerados independentes e, para sua análise, pode-se utilizar a estatística clássica (VIEIRA, 2000).

EFEITO PEPITA (C_0)

O efeito pepita representa a variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada (VIEIRA, 2000).

PATAMAR (C)

É o valor do variograma correspondente ao seu alcance (a). Partindo do pressuposto considera-se que não exista mais dependência espacial entre as amostras onde torna-se aproximadamente constante.

A divisão entre o efeito pepita (C_0) e o patamar (C_0+C_1); serve para definir classes distintas de dependência espacial das variáveis do solo, seguindo uma classificação onde quando $\leq 25\%$, representa forte dependência espacial, entre 25% e 75%, representa moderada dependência espacial, $> 75\%$, representa fraca dependência espacial segundo a classificação de Cambardella et al. (1994)

Ao executar a técnica da geoestatística deve-se ressaltar a importância na escolha do método de ajuste do variograma onde a partir do pressuposto, é possível decifrar a estrutura de correlação espacial a ser utilizada nos procedimentos inferenciais da krigagem. O modelo relaciona a variância com o vetor distância onde a variância estimada para cada distância (lag) entre pares de pontos, $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $z(x_i)$, $z(x_i + h)$, separados pela distância h (BURROUGH & McDONNELL, 1998). Com base no conhecimento dos componentes que compõem o variograma experimental é possível ajustar modelos teóricos que permitem determinar o valor da correlação espacial para qualquer distância dentro do espaço amostral (DAVIS, 2002; YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

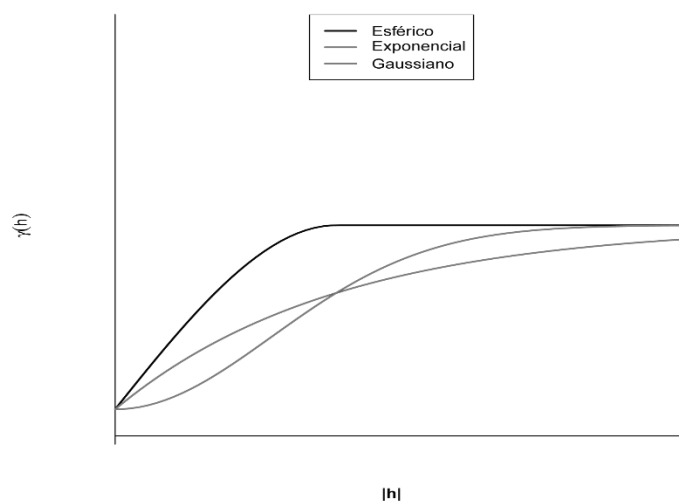


Figura 03. Representação gráfica dos modelos de variogramas (Fonte: LUQUE, 2010)

O modelo esférico consiste no modelo mais usado na técnica de geoestatística onde apresenta como característica o fato de que a tangente na origem da curva, atinge o patamar a uma distância correspondente a $2/3$ do alcance (a). O modelo exponencial atinge o patamar e o parâmetro a é definido como o alcance prático e h distância na qual o valor do modelo é 95% do patamar (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989). Para o modelo gaussiano apresenta amplitude semivariográfica extensa e o patamar semelhante ao modelo exponencial. O modelo Efeito Pepita Puro representa um fenômeno completamente aleatório, no qual não há correlação espacial nas variáveis analisadas.

Nos estudos recentes na área da ciência do solo, verifica-se um crescimento na aplicação da geoestatística, considerada como uma ferramenta adicional no estudo de seus atributos químicos e físicos facilitando o estudo do comportamento da variabilidade espacial destes atributos, permitindo assim, uma melhor interpretação dos resultados com base na distribuição espacial dos atributos do solo, além de quantificar a sua magnitude (CAVALCANTE et al., 2007; SOUZA et al., 2004).

Segundo Aquino et al.(2014) estudando solos sob floresta nativa e pastagem na região da Amazônia, constataram que os variogramas escalonados conseguem reproduzir de forma satisfatória o comportamento espacial dos atributos no mesmo padrão dos variogramas individuais, possibilitando seu uso para estimar a variabilidade natural dos atributos do solo ressaltando a eficácia da técnica geoestatística.

No entanto o que limita uma maior utilização da técnica geoestatística se atribui ao alto custo de processamento das análises. Na tentativa de manter a precisão de uso da ferramenta com o seu elevado número de amostras, pesquisadores tem buscado a utilização de atributos de fácil observação e que sejam pedoindicadores das características mineralógicas físicas e químicas dos solos, viabilizando assim o uso da geoestatística. (LUKASIK et al., 2016; LU et al., 2016).

02.4.Suscetibilidade magnética aplicada a ciência do solo

Nos últimos anos tem se tornado frequente estudos na ciência do solo em função da sua variabilidade (BARRIOS et al., 2012; CORTEZ et al., 2011) com o intuito de melhores formas de manejo visando a sustentabilidade, contudo para um estudo detalhado sobre a variabilidade exige-se um grande número de amostras onde em contrapartida requer um elevado custo econômico e ambiental. Buscando minimizar os impactos causados os pesquisadores têm utilizado técnicas indiretas como a refletância difusa e a

suscetibilidade magnética como alternativa na tentativa de minimizar danos e quantificando indiretamente os atributos do solo (KALAHNE et al., 2000; DEMATTÊ et al., 2004; BEN-DOR et al., 2008).

A suscetibilidade magnética (SM) consiste em uma propriedade dos minerais magnéticos encontrada nas rochas e conseqüentemente no solo, em que a sua amplitude ocorre devido a características dos minerais, concentração, composição, domínio, tamanho do cristal e morfologia (SIQUEIRA, 2010). Sendo encontrado em maior quantidade para rochas ígneas e mais baixa para rochas sedimentares e metamórficas (MULLINS, 1977). Devido a SM estar presente nos minerais que possuem capacidade magnética e possível afirmar que a mesma possui informações dos fatores (clima, material de origem e relevo) e processos de formação o solo (MAHER & THOMPSON, 1999).

Onde através dessas informações é possível estabelecer correlações entre a SM e os atributos do solo (MATHÉ et al., 2006). Sendo usados recentemente para descrever processos de formação e desenvolvimento do perfil de solos, além de identificar litologia de materiais de origem do solo. Além disso, a facilidade de medição faz com que a SM seja especialmente adequados para estudos que exigem um grande número de amostras (DEARING et al., 1996).

A partir dos estudos primórdios de Van der Marel (1951) e Le Borgne (1955) sobre a SM, foi possível constatar que as propriedades dos minerais magnéticos estão associados diretamente com o teor de Fe, pois este é o elemento mais excessivo do que a soma de todos os outros elementos magnéticos da crosta terrestre, cerca de 40 vezes (COEY, 1987). Onde dentre esses minerais os que possuem características mais importantes e que exercem influência no comportamento magnético dos solos são a maghemita (Fe_2O_3), presente na fração argila e tendo sua origem pedogênica, e a magnetita (Fe_3O_4), presente na fração silte e areia fina, originada a partir de materiais de origem (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1989). Porém, quando estes minerais estão em pequena quantidade devido a composição do seu material de origem, logo conferem baixa expressão magnética aos solos, onde o comportamento magnético do solo passa a se manifestar pela hematita (Fe_2O_3) e pela goethita ($FeO(OH)$), os dois presentes na fração argila (MULLINS et al., 1977). Uma vez que o grau de suscetibilidade expresso pela magnetita e maghemita é 1000 vezes maior do que a de outros óxidos de ferro (MULLINS, 1977).

Existem cinco tipos de comportamento magnético: Diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo, ferrimagnetismo e antiferromagnetismo.

Tabela 1.Comportamento magnético dos minerais

COMPORTAMENTO MAGNETICOS	MOMENTO MAGNETICO	MINERAIS	SUSCETIBILIDADE
Ferromagneticos	Altamente Alinhados ↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑	Ferro puro, Niquel e Cromo	Intensa e Positiva
Ferrimagneticos	Alinhados porem com forças opostas e desiguais ↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓	Magnetita, Greigita, Maghemita, Pirrotita, Serie de Titanomaghemita e outros compostos de Fe	Intensa e Positiva
Antiferromagneticos	Acoplamento Antiparalelo ↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓	Hematita e Goethita	Moderada e Positiva
Paramagneticos	Alinhados aleatoriamente na presença do campo magnético ←↑→↓	Biotita, Pirita, Lepidocrosita e Ferrihidrita	Fraca e Positiva
Diamagneticos	Magnetização fraca e oposta no campo magnético aplicado ↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓ ↓	Minerais que não contem Fe como feldspato e carbonatos	Fraco e Negativa

Representação gráfica dos momentos magnéticos por meio da aplicação de um campo magnético (Adaptada de Bautista, 2014).

Para a medição dos atributos por meio da SM é possível utilizar sensores próprios para estes fins (Bartington Instruments, Witney, UK) (DEARING, 1999; PREETZ et al., 2008) ou como métodos alternativos de fácil utilização, como por exemplo o método da balança analítica(CANO et al., 2008). O método da balança analítica se destaca pela facilidade de implantação e o baixo custo. Diante dessas informações, observa-se o quão a suscetibilidade magnética é uma técnica vantajosa para a detecção da possível presença e quantificação de tais minerais no solo.

Sua avaliação tem sido utilizada na verificação dos atributos do solo como foi visto nos estudos de Siqueira et al. (2010), concluindo que a suscetibilidade magnética é uma boa referência de atributos relacionados com a composição e a mineralogia dos solos

estudados. Contudo, além de atributos do solo, apresenta eficácia na mensuração de atributos de outras linhas de pesquisa, entre essas, destacam-se a investigação de climas pretéritos registrados por paleossolos (MAHER & THOMPSON, 1999, MAHER et al., 2003) e na identificação de contaminantes nos solos (LECOANET et al., 2001).

Os primeiros mapas de suscetibilidade magnética do solo, em ambas as escalas nacional e regional foram preparados na Inglaterra (HAY et al., 1997), Polónia (MAGIERA et al., 2002), e na Áustria (HANESCH et al., 2007). No Brasil foi utilizada com fins qualitativos nos primeiros levantamentos de solos do estado de São Paulo, nas décadas de 60 e 70 (RESENDE et al., 1988). Toda via, de acordo com BECEGATO et al. (2005), pesquisas geofísicas em solos agrícolas no Brasil ainda estão em fase inicial. Onde é possível ressaltar que o mapa de SM expressa os processos pedogenéticos do solo uma vez que a SM é a variação dos minerais presentes no solo (SIQUEIRA, 2013).

Nos últimos anos a SM tem ganhado destaque como ferramenta auxiliar na caracterização quantitativa da variabilidade de campo (SANTOS et al., 2013). Destacando-se em solos tropicais por ser uma boa alternativa na identificação de áreas com diferentes padrões de variabilidade bem como na quantificação indireta de atributos físicos, químicos e mineralógicos em áreas com alto e baixo teor de ferro (CAMARGO, 2013)

ASM é um atributo que possui potencial para delimitação dos compartimentos das paisagens e superfícies geomórficas, mostrando que pode utilizá-la na localização de áreas com diferentes níveis de variabilidade e possibilitando afeição de áreas de manejo específico de maneira mais rápida e econômica, além da caracterização de áreas mais homogêneas e ambientes semelhantes (MATIAS et al., 2013; SANTOS et al., 2011).

A utilização conjunta da suscetibilidade magnética, dos modelos matemáticos e de paisagem permite identificar diferentes áreas de manejo, locais com diferentes teores de argila e níveis de fertilidade do solo (MATIAS et al., 2015). Assim, ela pode ser adotada como alternativa para identificar e mapear unidades de manejo. Pelucoet al. (2011) encontraram correlação espacial entre a suscetibilidade magnética e atributos químicos do solo, destacando como uma promissora ferramenta auxiliar na caracterização e predição da variabilidade espacial destes atributos.

Como alternativa na mensuração dos atributos paraminimizar custos sem a perda da precisão das análises a pedotransferência vem contribuindo diretamente com a SM. Consiste em uma técnica ainda pouco difundida no Brasil, quando expressa por meio de equações matemáticas, chama-se como funções de pedotransferência (CAMARGO, 2013).

02.5 Funções de pedotransferência

A utilização de técnicas de mapeamento que identificam a variabilidade espacial dos atributos do solo permitem racionalizar o manejo agrícola e contribuem para o aumento da sustentabilidade da agricultura. Contudo, estudos com essa finalidade exige analisar um grande número de amostras e conseqüentemente o custo torna-se oneroso para sua execução (DEMATTE et al., 2007). Os métodos diretos de medição ainda exigem um alto custo na sua realização para ser prático em grandes escalas, embora grande avanço foi alcançado no desenvolvimento de técnicas de medição de laboratório e de campo.

Segundo Minasny & Hartemink (2011), existem dificuldades em se mensurar os atributos dos solos continuamente para cada local no planeta, e assim, exige-se sistemas rústicos para prever determinadas propriedades em determinados locais, principalmente em regiões tropicais onde a falta de informações pedológicas é grande. Na tentativa de minimizar custo uma das opções consiste na estimativa indireta de atributos do solo, utilizando as funções de pedotransferência (FPTs), que relacionam atributos de difícil mensuração para os atributos do solo facilmente mensuráveis. Tais propriedades básicas do solo são geralmente disponíveis em diferentes escalas, como parte do levantamento de solos e ordenamento do território.

O termo funções de pedotransferência (FPT), de acordo com Bouma (1989), surgiu no intuito de referir-se às equações que relacionam características de retenção de umidade ou condutividade hidráulica com outras características mais facilmente obtidas. Nos dias atuais, este termo é empregado num sentido mais abrangente, para indicar as equações que estimam características edáficas de difícil obtenção a partir de outras mais facilmente obtidas, incluindo, até mesmo, características morfológicas.

Diferentes modelos estatísticos foram empregados para a verificação das relações entre distribuição espacial de atributos do solo e atributos da paisagem. Diversas técnicas de mapeamento preditiva, ou seja, geoestatística, lógica fuzzy, linear e de regressão múltipla, árvores de regressão e redes neurais foram utilizadas com sucesso para o mapeamento do solo (ARUN & KATIYAR, 2013) ressaltando a eficiência para substituir medições quando sua medição direta é muito cara ou gera muitos resíduos..

Os modelos de (FPTs) são aspectos matemáticos de mecanismos que comandam fenômenos naturais que não são totalmente conhecidos, controlados ou compreendidos. Segundo Tedeschi (2006) o processo de modelagem abrange diferentes etapas, entre as quais a avaliação da adequação do modelo é uma etapa essencial, já que indica o grau de

precisão e acurácia das previsões do mesmo. Essa é uma fase importante, seja para aumentar a confiança no modelo atual, seja para permitir a seleção de modelos alternativos.

É importante ressaltar, que uma FPT não deve ser extrapolada além da região geográfica para a qual foi desenvolvida, mesmo se estratificada por classe de solo, com a intenção de diminuir os erros da predição do atributo estimado, pois quanto mais homogêneos forem os solos que compõe a base de dados das FPTs, melhor será o desempenho das mesmas (KHODABERDILOO, 2011).

Alguns autores demonstraram que FPTs requerem muitas variáveis de entrada ou distribuições de tamanho de partícula detalhadas.No entanto, os usuários de FPTs são frequentemente confrontados com situações em que uma ou várias variáveis de entrada necessários para uma FPTs não estão disponíveis.Outro problema é que FPTs fornecem estimativas com um modesto nível de precisão. Portanto,expressaria uma maior eficácia se asFPTspossuíssem medidas de confiabilidade(SCHAAPet al.,2001).

Existem dois métodos principais para utilização FPTs decorrentes podem ser diversificados: técnicas de técnicas de regressão estatística (lineares e modelos não lineares) e mineração de dados e de exploração (por exemplo, redes neurais artificiais e os métodos de grupo de manipulação de dados)(VERECKENet al.,2010).

Segundo Pachepsky et al.(2013) melhorias na obtenção dos atributos do solo com auxílio de FTPs pode ser adquirido por meio de algoritmos FPTs mais flexíveis, acrescentando preditores mais significativos em desenvolvimento e, agrupamento preliminar de solos. Grande parte das FPTs disponíveis são baseadas em informações da textura do solo como o principal preditor do comportamento hidráulico dos solos. Sendo justificada devido as propriedades da textura do solo estarem contidas entre os atributos de fácil mensuração do solo, e também pela suposição de que a textura do solo é a variável do solo dominante na determinação das propriedades hidráulicas, enquanto outros atributos do solo,como densidade e carbono orgânico possuem um efeito secundário(TWARAKAVIet al.,2010).

A escolha de uma função de pedotransferência apropriada para uma região representa extrema importância para os profissionais da área agrícola e para os produtores,representando uma ferramenta de grande vantagem, pois permite obter estimativas preliminares da capacidade de armazenamento de água no solo nos talhões de produção.Determinadas decisões sobre o manejo da cultura obtém um maior êxito quando se inclui uma estimativa inicial da capacidade de armazenamento de água do solo, maior

interesse haverá na determinação mais acurada desse atributo do solo(CAMPELO JUNIOR et al., 2014)

Portanto,a utilização de técnicas de agricultura de precisãocconsiderando as particularidades físicas e químicas do solo associadas a técnicas que apresentem alta eficácia e exatidão nos seus resultados e possível otimizar os custos da produção agrícola e reduzir os danos ao meio ambiente tratando cada ponto agrícola com sua especificidade e mantendo e ou aumentando os níveis de produtividade da região.

03.REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R.F.D.D.E; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.415-422, 2007.
- AQUINO,R.E.;MARQUES, Jr,J.; CAMPOS, M.C.C ; OLIVEIRA, I.A; BAHIA,A.S.R.S; SANTOS,L.A.C.Características de cor e óxidos de ferro da fração argila de Terra Preta Arqueológica na região Apuí, Amazonas sul. **Geoderma**.2015
- ARUN, P.V.; KATIYAR, S.K. .Um quadro de trabalho de computação evolutiva em direção a extração objeto de imagens de satélite. Egito. J. **Espaço Remote Sensing Science**, v. 16 p. 163-169, 2013.
- AZEVEDO, D. M. P.; LEITE, L. F. C.; TEIXEIRA NETO, M. L.; DANTAS, J. S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no Cerrado maranhense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 38, n. 1, p. 32-40, 2007.
- BARRIOS, M. R.; MARQUES JR, J.; PANOSSO, A. R.; SIQUEIRA, D. S.; SCALA JR, N. L.Magneticsusceptibilityto identifylandscapesegmentson a detailedscale in theregionof Jaboticabal, São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.4, p.1073-1082, 2012.
- BECEGATO, V. A.; FERREIRA, F. J. F. Gamaespectrometria, resistividade elétrica e suscetibilidade magnética de solos agrícolas no noroeste do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v.23, n. 4, p. 371-405, 2005.
- BECKETT, P.H.T.; WEBSTER, R. Soil variability.Soil fertility, **Farnham Royal**, v.34, n.1, p.1-15, 1971.
- BORGHI, E.; BORTOLON, L.; AVANZI, J. C.; BORTOLON, E. S. O.; UMMUS, M. E.; GONTIJO NETO, M. M.; COSTA, R. V. Desafios das novas fronteiras agrícolas de produção de milho e sorgo no Brasil: desafios da região do MATOPIBA. 2014
- BOUMA;J. Usando dados de pesquisa do solo para avaliação quantitativa terra .**Avanços na Ciência do Solo**,v. 9 p. 177-213, 1989.
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D. &McCRACKEN, R.J. Soil genesis and classification.**Ames, Iowa State University Press, 527p ,1997.**
- BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. 1998. Principles of geographical information systems.**Oxford: Oxford University Press, 333p**
- CAMARGO, L..MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; HORVAT, R.A. et al. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um latossolo sob diferentes formas do relevo. I - Mineralogia da Fração argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 06, p. 2269-2277, 2008.

- CAMARGO, L.A. **Relações entre mineralogia da argila, suscetibilidade magnética e adsorção de fosforo em latossolos da região de Jaboticabal – SP.** Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Jaboticabal 2013 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) Jaboticabal, 2013 .
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 58, n. 05, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPELO JUNIOR, J. H; AZEVEDO, E. C. ; ALVES, M.C.; MELLO, D. ; LOBO, F. A.; AMORIM, R. S.S. Estimativa da retenção de água em Latossolos do Cerrado mato-grossense cultivados com algodão. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 8, n. 3, p. 318-326, , 2014
- CAMPOS, M. C. C.; CARDOSO, N. P.; MARQUES JUNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, 6:104-114, 2006.
- CAMPOS, M. C. C.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3., 2009.
- CARVALHO, O. S. et al. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22 p.497-503, 1998.
- CAVALCANTE, E. G. S. et al. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, v.37, p.394-400, 2007.
- CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES M. C.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.2, p.394-400, 2007.
- CHAVES, L. H. G. & FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, p. 211-218, 2009.
- CISOJA 2015 .Centro de Inteligência de Soja -disponível em: www.cisoja.com.br. Acesso em: 30 de setembro de 2015.
- CONAB- 2015 Acompanhamento safra brasileira de grãos, v. 2 – Safra 2014/15, n. 4 – Quarto Levantamento, jan. 2015.
- CONAB 2016-Acompanhamento safra brasileira de grãos, v. 5- Safra 2015/16 - Quinto levantamento, Brasília, p. 1-182, fevereiro 2016.
- CORTEZ, L. A.; MARQUES JR., J.; PELUCO, R. G.; TEIXEIRA, D. B. T.; SIQUEIRA, D. S. Suscetibilidade magnética para identificação de áreas de manejo específico em citricultura. **Energia na Agricultura**, v.26, n.3, p. 60-79, 2011.

COUTO, E. G. Variabilidade espacial de propriedades do solo influenciadas pela agricultura em escala regional e local no sul do estado do Mato Grosso. 1997. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CURI, N., 1983. **Lithosequence and toposequence of oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil.** West Lafayette, Purdue University.p. 158 (Tese Ph.D.).

CURI, N.; FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the central plateau of Brazil.**Soil Science Society of America Journal**, v.48 p. 341-346, 1984.

DEARING, J.A. Environmental magnetic susceptibility.Using the Bartington MS2 system. England: British Library, 1994. 104p.

DEMATTE, J.A.M.; GALDOS, M.V.; GUIMARÃES, R.; GENÚ, A.M.; NANNI, M.R.; ZULLO JUNIOR, J. Quantification of tropical soil attributes from ETM+/Landsat-7 data. **International Journal of Remote Sensing**, v.28, p.3813-3829, 2007.

EMBRAPA, 2006. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rio de Janeiro, p. 306

EMBRAPA. Empresa Agropecuária de Pesquisa Brasileira. 2000 <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fesi63xh02wx5eo0y53mhyx67oxh3>. Acesso em: 30 de setembro de 2015.

EMBRAPA. Empresa Agropecuária de Pesquisa Brasileira. 2007 http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_10_271020069131. Acesso em: 30 de setembro de 2015.

EMBRAPA. Empresa Agropecuária de Pesquisa Brasileira. http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r58asu5l. Acesso em: 30 de setembro de 2015.

EMBRAPA. Empresa Agropecuária de Pesquisa Brasileira. <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2038675/avaliacao-da-aptidao-agricola-das-terras-do-matopiba>. Acesso em: 30 de setembro de 2015 .

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- 2000. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/producao soja/SojanoBrasil>. ACESSO em 30 de setembro de 2015

FUNCEME 2014- Disponível: <http://www.funceme.br/index.php/areas/573-latossolos> Acesso em: 30 de setembro de 2015 .

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo.** Planaltina: Embrapa – CPAC; São Paulo: Nobel, 1986. P. 129-163.

GOOVAERTS, P. Geostatistics for natural resources evaluation. New York, **Oxford University Press**, 1997. 496p.

- HANESCH, M., RANTITSCH, G., HEMETSBERGER, S., SCHOLGER, R., Lithological and pedological influences on the magnetic susceptibility of soil: their consideration in magnetic pollution mapping. **Science of the Total Environment** v.382, p. 351–363, 2007.
- HANESCH, M.; SCHOLGER, R. The influence of soil type on the magnetic susceptibility measured throughout soil profiles. **Geophysical J. Int.** 161, 50–56, 2005.
- HAY, K.L., DEARING, J.A., BABAN, S.M.J., LOVELAND, P.A., Preliminary attempt to identify atmospherically-derived pollution particles in English topsoils from magnetic susceptibility measurements. **Physics and Chemistry of the Earth.** v. 22, p. 207–210, 1997.
- HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: Embrapa-Soja, 2011. 68p. Documentos, 319
- KÄMPF, N. e CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N.; MARQUES, J.G.S.M.; GUILERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVARES, V.H.V. eds. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, p. 1-54, 2003.
- KARAM, D.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global. Sete Lagoas: **Associação Brasileira de Milho e Sorgo**, 2014.cap. 25, p. 263-278. P. 263-278.
- KER, J.C. **Latossolos do Brasil: uma revisão**. Geonomos, v.5, p.17-40, 1997.
- KHODAVERDILOO, H. et al. Deriving and validating pedotransfer functions for some calcareous soils. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 399, p. 93-99, 2011.
- LU, SG.;YU, XL.; CHEN, YY. .Magnetic properties, microstructure and mineralogical phases of technogenic magnetic particles (TMPs) in urban soils: Their source identification and environmental implications. **Science of the total environment.** v. 543,p. 239-247.2016
- LUKASIK,A.;MAGIERA,T.;LASOTA,J ; BLONSKA,E. Backgroundvalueof magnetic susceptibility in forest topsoil: Assessment on the basis of studies conducted inforest preserves of Poland..**Geoderma**.v. 264 p. 140-149.2016
- MACEDO, I. C.; NOGUEIRA L. A. H. (2005). Avaliação do biodiesel no Brasil. Brasília: **Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República**. 233 p.
- MAGIERA, T., JABŁOŃSKA, M., STRZYSZCZ, Z., RACHWAŁ, M., 2011. Morphological and mineralogical forms of technogenic magnetic particles in industrial dusts.**Atmospheric Environment.** 45, 4281–4290
- MAHER, B.A., THOMPSON, R. The magnetic record of palaeoclimate in the terrestrial loess and palaeosol sequences, in Quaternary Climates.University Press, **Cambridge**, pp. 81–125, 1999.
- MAPA-2015-[http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/05/brasil-lanca-plano-agropecuario-para-regiao-do-matopiba-](http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/05/brasil-lanca-plano-agropecuario-para-regiao-do-matopiba)

- MATHERON, G..La Théorie des variables régionalisées, et ses applications.Fascicule 5. Centre de Morphologie Mathématique, Ecole des Mines de Paris,Fontainbleau, 212 pp. (1970).
- MATIAS, S.S.R; MARQUES JUNIOR,J.; PEREIRA, G.T; SIQUEIRA,D.S Ferramentas matemáticas, suscetibilidade magnética e modelos de paisagem aplicados na delimitação de áreas de manejo específico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39 p. 968-980, 2015
- MINASNY, B. & HARTEMINK, A. E. Predicting soil properties in the tropics.**Earth-Science Reviews** v.106 p.52– 62, 2011.
- MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v.30, n.5, p.839-47, 2006.
- MULLINS, B.A. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science.**Journal of Soil Science**, v.28, p.223-246, 1977.
- PACHEPSKY, Y.A .; RAWLS, W.J.; Timlin, D.J. The current status of pedotransfer functions: its accuracy, reliability and usefulness in the field of modeling and regional scale.
- PELUCO R. G., JÚNIOR, J. M., L. A. CORTEZ, SIQUEIRA, D. S.; ADAME; C. R. Suscetibilidade magnética para predição de atributos químicos de um Latossolo. **II Simpósio de Geoestatística em Ciências Agrárias**, 2011.
- RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuario** ., v. 11 p. :3-18, 1985.
- RESENDE, M.; SANTANA, D. P.; REZENDE, S. B. Susceptibilidade magnética em Latossolo do sudeste e sul do Brasil. In: Reunião de Classificação, Correlação de Solos e Interpretação de Aptidão Agrícola, 3., 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-SNLCS/SBCS, 1988. p.233-258.
- RODRIGUES, T.E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V.H.V.; 40 KER, J. C. FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. eds. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS/UFV, 1996. p. 16-60.
- SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1339-1348, 2011.
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013.
- SANTOS, H. L., MARQUES JR., J., MATIAS, S. S. R., SIQUEIRA, D. S., PEREIRA, G. T. Erosion factors and magnetic susceptibility in differet compartments of a slope in Gilbués-PI, Brazil. **Engenharia Agrícola** v.33, p.64-74. (2013)

- SANTOS, H. L.; JÚNIOR, J. M.; MATIAS, S. S. R.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T. Suscetibilidade magnética na identificação de compartimentos da paisagem em uma vertente. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.4, p.710-716, 2011.
- SCHAAP M.G., LEIJ, F.J.; VAN GENUCHTEN, M.T. ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. **Journal of Hydrology** v.251, p. 163-176. 2001.
- SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R. M. Iron oxides, In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds.). **Minerals in Soil Environments**. 2. ed. Madison: SSSA, p. 379–438. 1989.
- SENAR 2015 -.Disponível : <http://www.senarpiauui.com.br/noticias/2015-06-16>. Acesso em: 30 de setembro de 2015
- SILVA NETO, S.P.; SANTOS, A.C.; LEITE, R.L.L.; DIM, V.P.; NEVES NETO, D.N.; SILVA, J.E.C. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu. **Bioscience Journal**, v.28, p. 41-53, 2012.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34 p.15-22, 2010.
- SIQUEIRA, D. S. (2013) **Mapeamento detalhado e planejamento amostral para Latossolos utilizando suscetibilidade magnética e cor no contexto da relação solo-paisagem**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal 2013.
- SIQUEIRA, D.S. **Suscetibilidade magnética para a estimativa de atributos do solo e mapeamento de áreas sob cultivo de cana-de-açúcar**. 2010. 75p. Dissertação (Mestrado) –Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- SOARES, M.R.; ALLEONI, L.R.F. Contribution of soil organic carbon to the change capacity of tropical soils. **Journal of Sustainable Agriculture**. p. 439–462 2008.
- SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. **Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**, 2004. 416 p.
- SOUZA, L.S. **Variabilidade do solo em sistemas de manejo**. Porto Alegre: UFRS, 1992. 162p. Tese Doutorado
- SOUZA, L.S.; COGO, N.P.; VIEIRA, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.3, p.367-372, 1997.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob o cultivo da cana. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28 p. 937-944, 2004.
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciencia Rural**, v. 40: p.48-56, 2009.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, 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**, v.34, n.6, p.1763-1771, 2004.

TEDESCHI, L.O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, v. 89 p. 225-247, 2006

TWARAKAVI, N.K.C., ŠIMŮNEK, J.; SCHAAP, M.G. Can texture-based classification optimally classify soils with respect to soil hydraulics? *Water Resour. Res.* 46:W01501.2010.

USDA2015: United States Department of Agriculture. Disponível: <http://www.ers.usda.gov/topics/crops/soybeansoilcrops/background.aspx>. Acesso em: 30 de setembro de 2015.

VERECKEN H., M. WEYNANTS, M. JAVAUX, Y. PACHEPSKY, MG OVELHA, M.TH. VAN GENUCHTEN. Usando funções de pedotransferência para estimar as propriedades hidráulicas do solo: **uma revisão Vadose Zona Journal**, v. 9 p. 1-26 (2010).

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In. NOVAES, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E G. R. **Tópicos em ciências do solo**. Viçosa: SBCS, v. 1, p. 2-54. 2000.

WOSTEN, J.H.M. Funções de pedotransferência R. Lal (Ed.), **Enciclopédia da Ciência do Solo**, M. Dekker, NYC p. 967-971, (2002),

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de textos, 215 p. 2013

ZANÃO JÚNIOR, L. A. LANA, R. M. Q.; ZANÃO, M. P. C.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010.

CAPITULO 02

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS NA REGIÃO PIAUIENSE DO MATOPIBA

RESUMO

CRUZ, Nara Nubia de Lima. **Geoestatística e pedometria de atributos físicos e químicos na região piauiense do MATOPIBA**. 2016, Cap. 2, p. 39-64. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí.

O cerrado piauiense ocupa cerca de 11 milhões de hectares, sendo o Latossolo Amarelo a classe de solos mais representativa. Objetivou-se com este trabalho conhecer a variabilidade espacial de atributos do solo em duas áreas de cerrado na região piauiense do MATOPIBA, conjuntamente verificou-se a eficiência da suscetibilidade magnética como um agente pedoindicador destes atributos. O trabalho foi conduzido na propriedade Três Irmãos na região piauiense do MATOPIBA. Foram coletadas amostras de solo em 121 pontos com distância de 30 m entre pontos em duas áreas agrícolas situadas no mesmo talhão e para fins de comparação coletou-se 05 pontos em transeção em área de mata nativa ambas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m. Após o processamento das análises realizou-se a análise descritiva dos dados utilizando o software Minitab 13.1 (Minitab, State College, PA, EUA), no qual obteve-se os valores de média, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose. A modelagem dos variogramas para cada variável foi realizada com auxílio do programa GS⁺ (Gamma Design Software) versão 7.0. Para avaliação do comportamento espacial das variáveis, foram construídos mapas de krigagem com o software SURFER. Após a obtenção dos resultados foi possível verificar que os valores encontrados para os macronutrientes do solo avaliados foram teores relativamente baixos tal fato associado a baixos teores de nutrientes conferidos pelos Latossolos e, por conseguinte é possível verificar que os atributos físicos e químicos apresentaram uma variabilidade espacial e a suscetibilidade magnética manifestou-se como bom preditor de atributos físicos.

Palavras-Chave: Cerrado, Funções de Pedotransferência, Suscetibilidade Magnética, Variabilidade Espacial

ABSTRACT

CRUZ, Nara Núbia de Lima. Geostatistics and pedometrics of **physical and chemical attributes in Piauí region of MATOPIBA** . 2016. Cap.02 p.39-64.50p. Dissertation (Masters in Agronomy - Soil and Plant Nutrition) – Federal University of Piauí.

The Piauí Savanna occupies about 11 million hectares, with the Oxisol as the most representative soils of class. The objective of this work was to know the spatial variability of soil attributes in two areas of Savanna in Piauí region MATOPIBA, to the time when it was found the efficiency of the magnetic susceptibility as a pedoindicator agent of these attributes. The work was conducted on the property Three Brothers in Piauí region MATOPIBA. They collected 121 points with a distance of 30m between points in two agricultural areas located in the same field and for comparison purposes collected up to 05 points in transeção in native forest both in the depths of 0-25, 25-50 cm. For the processing of chemical analysis used the method proposed by Raij et al. (2001) and Claessen (1997) for the physical attributes we used the methodology proposed by Donagema (2011) and the magnetic susceptibility method analytical balance proposed by Siqueira (2010). Descriptive analysis was used Minitab software 13.1 (Minitab, State College, PA, USA), which was obtained the mean value, standard deviation, coefficient of skewness and kurtosis variation. The modeling of the semivariogram for each variable was performed using the program GS + (Gamma Design Software) version 7.0. After obtaining the results we observed that the values found for the macronutrients of this soil were relatively low levels this fact associated with low nutrient content conferred by Oxisols, and therefore and possible to verify that the physical and chemical attributes showed a spatial variability and magnetic susceptibility presented itself as a good predictor of physical attributes.

Keywords: Cerrado, Magnetic Susceptibility, Pedotransfer functions, Spatial Variability

01. INTRODUÇÃO

A cultura da soja integra o conjunto de atividades agrícola que ocupam grande destaque no mercado mundial, estando nos últimos anos entre as atividades econômicas que apresentaram crescimentos de maior expressão sendo o principal produto da agricultura brasileira contribuindo para que o agronegócio tenha participação de 23% no Produto Interno Bruto (PIB).

Nacionalmente, a oleaginosa representa a principal cultura agrícola. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2016), na safra 2015/16 cerca de 211,475 milhões de toneladas de soja foram produzidas no país, 2,8 milhões a mais que a safra anterior. Os dados da Conab mostram que área plantada será de aproximadamente 58,5 milhões de hectares correspondendo a 56% da área plantada.

Aproximadamente 11% desta área está inserida no território denominado MATOPIBA, correspondente à área de cerrado que envolve os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, que representa 9,7% da produção nacional. Dentro deste percentual, a região piauiense deste território produziu na safra 2015/2016 mais de 2.060 milhões de toneladas de grãos, com um aumento de 12,4% em relação à safra anterior possuindo 714.1 mil hectares de área plantada.

Essa região atribui os altos números de produtividade ao baixo preço das terras e pela aparente uniformidade do clima, do solo e do relevo, que beneficiam a mecanização agrícola segundo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento(MAPA, 2015). Entretanto existem limitações que necessitam de altos investimentos em tecnologia relacionadas as características intrínsecas presentes na região.

Solos da região do cerrado são, em geral, altamente intemperizados e manifestam naturalmente baixa fertilidade, acidez e teor de alumínio elevados. Fisicamente, estes solos apresentam, em geral boas características relacionados com a estrutura e porosidade. Também apresentam baixa retenção de umidade, principalmente os solos de textura mais grosseira situados em locais de climas mais secos (SANTOS, 2013)

Em virtude das limitações que os solos da região apresentam e na tentativa de manter e ou aumentar cada vez mais a produtividade sem o acréscimo de áreas plantadas, torna-se necessário aumentar o conhecimento sobre o comportamento dos atributos do solo correlacionados com a possível variabilidade existente.

O conhecimento da variabilidade espacial de atributos de solo é primordial para a compreensão dos fatores que determinam a expressão do potencial produtivo da cultura e sua variabilidade em uma área agrícola, proporcionando a delimitações de zonas semelhantes que permitem a adoção de práticas edáficas comuns, visando à maximização do potencial produtivo em diferentes locais da lavoura (VIAN et al., 2016).

Nos últimos anos, pesquisas evidenciam que a variabilidade espacial dessas características em áreas de produção agrícola é de suma importância para a adoção de técnicas de agricultura de precisão (SERRANO et al., 2010; SILVA et al., 2015). Segundo Souza et al. (2009), usando a geoestatística é possível subsidiar o conhecimento da existência ou não desta variabilidade, uma vez que, com ela observa-se espacialmente o comportamento das diferentes variáveis naturais.

A geoestatística consiste em uma importante ferramenta que pode ser utilizada na caracterização da distribuição espacial de um atributo onde por meio das informações obtidas torna-se possível prever o valor da variável entre pontos amostrados minimizando erros de estimação e posterior utilização para a predição de valores dos atributos em locais não medidos (WEBSTER; OLIVER, 2001).

A geoestatística apresenta como principal vantagem a utilização de parâmetros estatísticos como a média e o coeficiente de variação na representação da continuidade espacial, sendo uma ferramenta de extrema utilidade pois define com precisão os limites entre as áreas mapeadas (MARQUES JUNIOR et al., 2014).

Apesar da eficácia em estudos para variabilidade do solo essa técnica apresenta algumas limitações como um elevado número de amostras, elevado custo para análises das amostras e em consequência uma poluição ambiental com descarte de reagentes utilizados.

As informações geradas com a mensuração e o mapeamento da variabilidade espacial de atributos do solo subsidiam tomadas de decisões mais adequadas para controlar o manejo agrícola de maneira que excessos e deficiências sejam evitados, fazendo assim com que se torne viável o incremento da produtividade de maneira mais racional. Contudo estudos com esse intuito exigem grande número de amostras e grande número de análises laboratoriais, que configura uma grande limitação do uso da geoestatística (DEMATTE et al., 2007; WU et al., 2014; MIQUELONI et al., 2015).

Entretanto cientistas do solo tem buscado métodos indiretos para estimar os atributos do solo com técnicas que mantenham a eficácia sem haver uma diminuição no número de amostras e com um menor custo de execução, com o auxílio de atributos indicadores como a suscetibilidade magnética. Consiste em uma técnica simples, não

destrutiva e eficaz na estimativa de atributos do solo e sedimentos tendo sido usada com intensa frequência nos últimos anos (RIVAS et al., 2006).

Assim sendo, objetivou-se com esta pesquisa conhecer a existência ou não da variabilidade espacial de atributos do solo em duas áreas de cerrado na região piauiense do MATOPIBA, ao tempo em que se verificou a eficiência da suscetibilidade magnética como um agente pedoindicador de atributos.

02. MATERIAL E METODOS

02.1 Localização, caracterização da área e planejamento amostral

A área utilizada para esta pesquisa foi cedida pela Fazenda Três Irmãos no Talhão Tapui, localizada na Serra do Quilombo, município de Bom Jesus-PI (44°44'52"W, 9°20'55"S) que pertence à microrregião do MATOPIBA denominada Alto Médio Gurguéia (Figura 1). A classificação climática da região, de acordo com Köppen, é Aw, definida como tropical úmido (com estação chuvosa no verão e seca no inverno), e precipitação anual média entre 900 e 1.200 mm (concentradas no período de novembro a fevereiro), com temperatura variando entre 18 a 36°C.

A geologia da área corresponde ao Grupo Balsas, Formação Piauí com conjuntos de materiais de origem compostos por arenitos, folhelhos, argilitos e siltitos. Seus principais eixos deposicionais, antes controlados por expressivas zonas de fraqueza de direção nordeste e noroeste, deslocaram-se em direção ao centro da bacia e os mares abertos com ampla circulação e clima temperado (CAPUTO, 1984), passaram para mares de circulação restrita e clima quente. Possui uma sedimentação controlada por condições severas de aridez, responsáveis pela deposição de evaporitos e pela implantação de desertos no início e fim do ciclo. O término da sedimentação é atribuído a um soerguimento generalizado, resultante da Orogenia Gonduanide (ZALAN, 1991) correspondente à era Paleozóica. O solo do lote utilizado neste estudo é classificado como Latossolo Amarelo distrófico textura média (SANTOS et al., 2013).

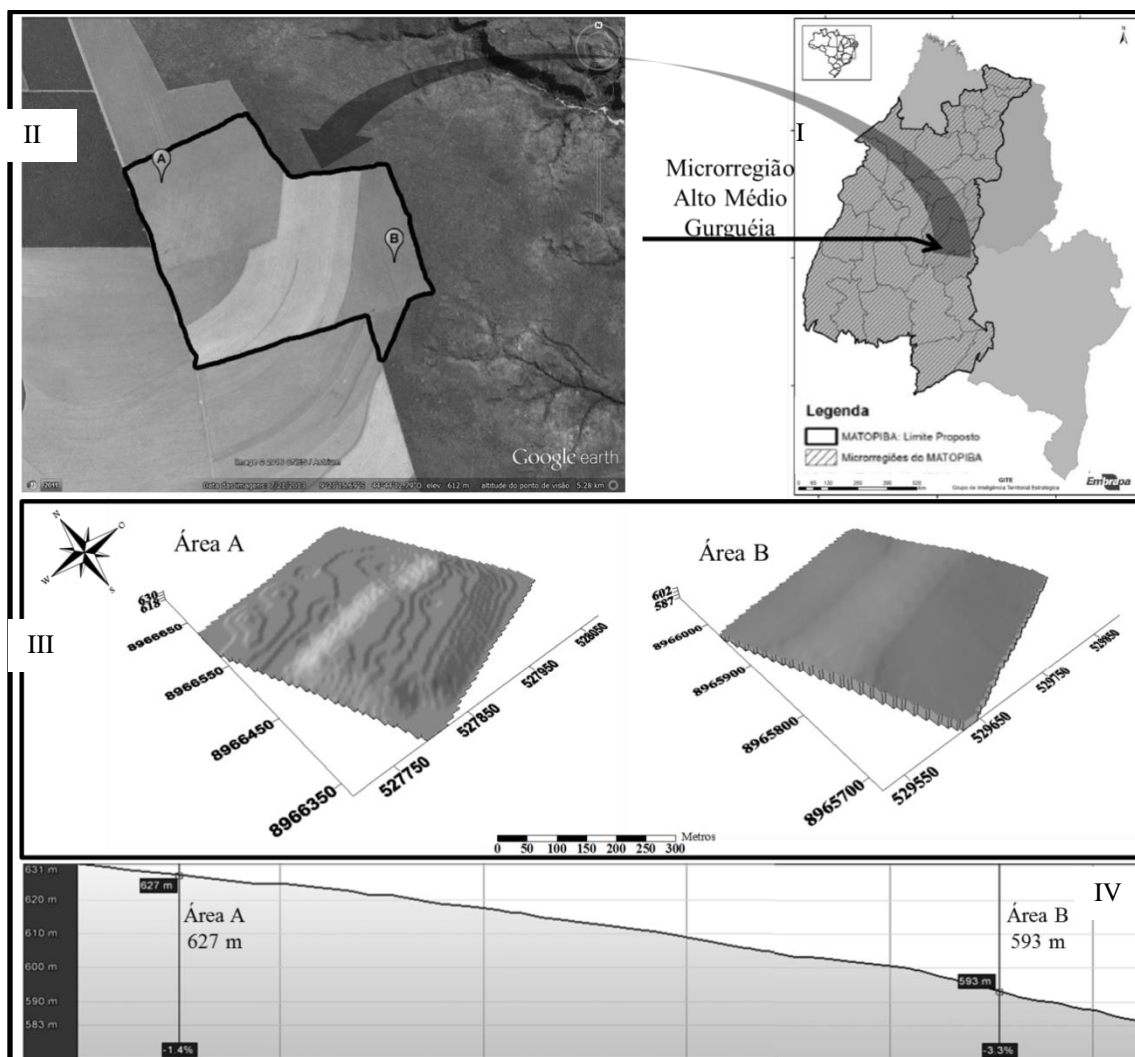


Figura 1. Local de amostragem: I, território MATOPIBA com indicação da microrregião pertencente; II Delimitação do lote agrícola utilizado para o estudo com localização das áreas amostradas; III, Modelos digitais de elevação das áreas amostradas; IV, Localização das áreas amostradas de acordo com a posição na paisagem dentro do lote agrícola.

As áreas de amostragem foram delimitadas dentro de um lote de produção de soja cultivada a três anos consorciada com milho sob sistema plantio direto. Estas áreas situam-se na parte superior (Área A) e na parte inferior (Área B) da paisagem, ambas com áreas de mata nativa ao lado como referência (Figura 1). Para manutenção nos níveis de fertilidade o lote foi adubado com 500kg ha^{-1} de 2-20-10 de NPK e 120kg ha^{-1} de KCl.

Os modelos digitais de elevação (MDE) foram gerados com base nas informações da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução horizontal de 90 m e precisão vertical da ordem de 5 m. Para detectar possíveis valores ruidosos nas informações SRTM, foi aplicado o filtro de mediana, subtração do resultado do filtro pelo dado original, retirada dos valores com variação de 10 m decorrente da falta de informação e interpolação pelo método Topogrid.

Instalou-se uma malha quadrada de 300x330m (9,9 ha) com 121 pontos amostrais, com uma distância mínima de 30 metros entre pontos nas profundidades de 0,00-0,25 a 0,25-0,50 m para cada área de produção. Para comparação com áreas de produção foram coletados 05 pontos numa transecção de 100 m espaçados em 20 m na mesma profundidade utilizada para área de produção

02.2 Análises laboratoriais

A metodologia proposta por Raijet al. (2001) foi utilizada para a caracterização dos atributos químicos, com exceção do fósforo e carbono orgânico onde utilizou-se a metodologia proposta por Claessen (1997). Após a obtenção dos mesmos foram calculados os valores de matéria orgânica, (CTC) potencial, CTC efetiva e saturação por bases (V%). A suscetibilidade magnética (SM) das amostras foi medida utilizando-se uma balança analítica, conforme descrito por Siqueira et al. (2010). As análises granulométricas das amostras foram feitas utilizando o método da pipeta e, juntamente com a análise da estrutura do solo, seguindo a metodologia descrita por Donagema et al. (2011).

02.3 Análise de Dados

A análise descritiva dos dados foi realizada calculando-se média, desvio padrão (S), coeficiente de variação (CV). Para a verificação da diferença ocorrida entre as médias entre as áreas agrícolas e as matas nativas aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Onde foram considerando os seguintes tratamentos em esquema fatorial: ambientes agrícolas (AG), mata Nativa (MN) e duas profundidades de coleta (0-25 e 25-50 cm) utilizando o programa Minitab 13.1 (Minitab, State College, PA, EUA). A modelagem geoestatística foi realizada segundo Vieira (2000) ajustando-se os modelos esférico, exponencial ou gaussiano. Para isso foi utilizado o programa GS⁺ (Gamma Design Software) versão 7.0. Para a diagramação do comportamento espacial das variáveis, foram construídos mapas de krigagem com o software SURFER 8.0.

As funções de pedotransferência, para estimar os fatores areia total (AT) e argila (ARG) em função da SM, foram modeladas por meio de análise de regressão linear simples, utilizando 30 pontos da transecção e, que fossem representativos das áreas em estudo e 50 pontos para validar os modelos

03. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos de acordo com o teste de comparação de médias (Tabela 01) demonstram que as áreas agrícolas quando comparadas a mata nativa apontam diferenças significativas nos atributos químicos e físicos entre si. Podendo evidenciar que a área agrícola A (AGA) como também a mata nativa A (MNA) ressalta melhores valores quanto a sua fertilidade e uma melhor estrutura física devido aos teores de argila e silte mais altos quando comparados a área agrícola B (AGB). Tendo como a profundidade de 0,25-0,50 m os atributos possuem um comportamento semelhante a mata nativa.

Tabela 01. Estatística descritiva para os atributos químicos do solo (0,00-0,25 m)

ATRIBUTOS	ESTATISTICA	AREA A		AREA B	
		AGRICOLA	MATA	AGRICOLA	MATA
0,00-0,25 m					
SM (10 ⁻⁶ m ³ kg ¹)	MEDIA	1,69A	1,19B	0,58C	1,45AB
	DESV.PADRÃO ⁽¹⁾	0,35	0,01	0,1994	0,10
	CV% ⁽²⁾	21,14	10,22	34,15	7,50
	ASSIMETRIA	0,33	1,11	0,19	0,88
	CURTOSE	-0,29	-0,37	-0,52	1,87
pH CaCl₂	MEDIA	5,13A	3,94C	4,84B	4,03C
	DESV.PADRÃO	0,24	0,03	0,25	0,99
	CV%	4,73	0,89	5,20	2,46
	ASSIMETRIA	-0,37	-0,03	-0,13	-0,27
	CURTOSE	0,43	-0,87	0,64	-0,21
Al³⁺ (cmol _c dm ³)	MEDIA	0,15D	0,82A	0,26C	0,40B
	DESV.PADRÃO	0,06	0,12	0,13	0,10
	CV%	45,18	13,26	50,52	26,08
	ASSIMETRIA	1,19	-0,4	0,4	-0,61
	CURTOSE	1,27	-0,18	-0,64	-3,33
Ca²⁺ (cmol _c .dm ³)	MEDIA	1,99A	0,32C	1,28B	0,32C
	DESV.PADRÃO	0,35	0,109	0,34	0,08
	CV%	17,75	34,23	27,01	26,15
	ASSIMETRIA	0,26	1,29	1,16	-0,51
	CURTOSE	-0,05	2,92	3,52	-0,61
Mg²⁺ (cmol _c .dm ³)	MEDIA	0,78A	0,16C	0,52B	0,20BC
	DESV.PADRÃO	0,25	0,14	0,33	0
	ASSIMETRIA	0,61	-0,61	0,81	-0,61
	CURTOSE	1,29	-3,33	-0,34	-3,33
	CV%	32,31	34,23	64,22	0,0
H⁺Al³⁺ (cmol _c .dm ³)	MEDIA	6,17A	5,7AB	5,35B	5,1B
	DESV.PADRÃO	0,92	0,75	0,70	0,36
	CV%	15,06	13,07	13,06	7,10
	ASSIMETRIA	0,45	1,62	0,8	1,06
	CURTOSE	0,31	2,76	1,01	0,2
MO (g kg¹)	MEDIA	5,87A	2,28B	3,51B	1,43B
	DESV.PADRÃO	1,78	0,83	1,70	0,92
	CV%	30,60	36,73	48,37	64,85
	ASSIMETRIA	0,67	-0,41	0,18	0,65
	CURTOSE	0,5	1,31	-0,43	-2,24
P (mg/kg)	MEDIA	2,90A	1,64B	2,73AB	1,50B
	DESV.PADRÃO	0,72	0,105	0,96	0,06
	CV%	25,00	6,42	35,34	4,48
	ASSIMETRIA	1,3	0,84	1,01	-0,85
	CURTOSE	1,32	0,7	0,32	1,74
K⁺(cmol_c dm³)	MEDIA	0,09A	0,08AB	0,06B	0,07AB
	DESV.PADRÃO	0,03	0,01	0,02	0,005
	CV%	42,68	15,66	40,34	6,55
	ASSIMETRIA	1,92	1,38	0,5	0,9
	CURTOSE	5,45	2,31	0,16	-0,33
S (cmol_c.dm³)	MEDIA	2,92A	0,56C	1,74B	0,55C
	DESV.PADRÃO	0,50	0,152	0,59	0,248
	CV%	17,11	26,92	34,09	6,75
	ASSIMETRIA	-0,07	0,25	0,29	-0,51
	CURTOSE	0,41	0,29	-0,71	-0,54
CTC efet. (cmol _c .dm ³)	MEDIA	3,08A	1,39C	1,99B	1,00C
	DESV.PADRÃO	0,49	0,24	0,59	0,05
	CV%	16,17	17,57	29,81	5,23
	ASSIMETRIA	-0,1	-0,65	-0,19	0,55
	CURTOSE	-0,51	-1,02	0,56	3,25
		6,00A	4,19B	5,10B	4,7B

H⁺ (cmol_c.dm³)	MEDIA				
	DESV.PADRÃO	0,93	0,65	0,67	0,36
	CV%	15,48	13,37	13,20	7,80
	ASSIMETRIA	0,41	1,81	0,71	0,41
	CURTOSE	0,45	3,31	0,65	-1,76
CTC (T) (cmol_c.dm³)	MEDIA	9,02A	6,30BC	7,14B	7,22B
	DESV.PADRÃO	1,05	0,817	0,899	0,49
	CV%	11,63	12,96	12,66	6,77
	ASSIMETRIA	0,33	1,13	0,51	0,46
	CURTOSE	-0,11	1,61	0,44	-0,73
V%	MEDIA	32,28A	8,93C	24,2B	50,52C
	DESV.PADRÃO	4,95	2,12	7,18	0,03
	CV%	15,33	23,75	29,60	6,77
	ASSIMETRIA	-0,24	1,35	-0,81	0,4
	CURTOSE	0,16	2,32	2,2	-1,6

1) DP: desvio-padrão; (2) CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 %.

Tabela 02. Estatística descritiva para os atributos químicos do solo (0,25-0,50 m)

ATRIBUTOS	ESTATISTICA	AREA A		AREA B	
		AGRICOLA	MATA	AGRICOLA	MATA
0,25-0,50 m					
SM (10-6m ³ /kg)	MEDIA	1,63A	1,15B	0,60C	1,25B
	DESV.PADRÃO	0,35	0,22	0,21	0,11
	CV%	21,90	19,63	35,77	9,53
	ASSIMETRIA	0,37	1,37	0,62	1,17
pH CaCl ₂	CURTOSE	-0,6	2,59	-0,28	1,83
	MEDIA	4,32A	4,08B	4,35A	4,08B
	DESV.PADRÃO	0,19	0,092	0,14	0,055
	CV%	4,59	2,31	3,32	1,36
Al (cmol _c .dm ³)	ASSIMETRIA	1,25	-1,3	-0,14	-1,3
	CURTOSE	3,15	1,68	-0,54	-1,96
	MEDIA	0,61A	0,72B	0,46A	0,49AB
	DESV.PADRÃO	0,18	0,16	0,21	0,12
Ca ²⁺ (cmol _c .dm ³)	CV%	30,67	22,02	46,41	25,07
	ASSIMETRIA	-0,16	-1,82	2,00	0,54
	CURTOSE	0,88	3,62	5,68	1,68
	MEDIA	0,46A	0,32A	0,42A	0,36A
Mg ²⁺ (cmol _c .dm ³)	DESV.PADRÃO	0,14	0,08	0,12	0,11
	CV%	31,69	26,15	32,23	31,67
	ASSIMETRIA	0,79	-1,09	0,23	-0,4
	CURTOSE	0,98	0,54	-0,83	-1,49
P (mg/kg)	MEDIA	0,21B	0,12AB	0,20A	0,14AB
	DESV.PADRÃO	0,11	0,04	0,14	0,05
	CV%	51,41	37,27	48,05	39,12
	ASSIMETRIA	0,4	-0,51	3,67	0,61
K ⁺ (cmol _c .dm ³)	CURTOSE	-1,23	0,61	15,75	-0,18
	MEDIA	2,08B	1,45AB	2,20A	1,4AB
	DESV.PADRÃO	0,66	0,05	0,66	0,05
	CV%	32,10	4,07	30,06	4,11
SB (cmol _c .dm ³)	ASSIMETRIA	2,15	-0,59	-0,04	1,15
	CURTOSE	6,34	-0,02	0,13	-1,2
	MEDIA	0,026B	0,05A	0,01C	0,05 ^a
	DESV.PADRÃO	0,015	0,003	0,010	0,001
CTC efet. (cmol _c .dm ³)	CV%	56,93	5,15	53,46	2,13
	ASSIMETRIA	0,83	0,72	1,27	-1,17
	CURTOSE	0,04	1,04	1,05	2
	MEDIA	0,71A	0,49A	0,59A	0,55A
CTC efet. (cmol _c .dm ³)	DESV.PADRÃO	0,21	0,05	0,23	0,157
	CV%	30,20	10,82	39,03	28,14
	ASSIMETRIA	1,28	0,6	1,64	-0,01
	CURTOSE	2,94	-3,31	3,5	0,88
CTC efet. (cmol _c .dm ³)	MEDIA	1,32A	1,22A	1,17A	1,05A
	DESV.PADRÃO	0,26	0,20	0,39	0,24
	CV%	19,94	16,79	33,31	23,05
	ASSIMETRIA	0,15	-0,55	-0,54	-0,7
CTC efet. (cmol _c .dm ³)	CURTOSE	0,62	-0,9	0,56	-1,22

1) DP: desvio-padrão; (2) CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 %.

A expressão da SM medida no solo depende, principalmente, da variabilidade do material de origem e dos processos pedogenéticos. Os resultados mostram que a média de SM para a área A foi de $1,69\text{m}^3/\text{kg}$ e para área B foi de $0,58\text{m}^3/\text{kg}$ ambas na primeira profundidade (Tabela 1). Resultados semelhantes foram encontrados por Santos (2011), em caracterização realizada em área localizada no município de Gilbués-PI. Pode-se afirmar que este comportamento da SM ocorre em resposta à origem arenítica do solo local, pois apresentam, em geral, baixos valores de minerais magnéticos e baixos teores de Fe (MOTTA et al.,2002; CAMPOS, 2014).

Para os valores de pH CaCl_2 houveram diferenças significativas entre as áreas agrícolas tendo os valores para as mata nativas semelhantes . Os valores encontrados de pH nas áreas agrícolas e nas matas são considerados baixos (4,5-5,0) segundo a classificação de Raij (1997), refletindo problemas com acidez do solo, sendo possível observar um decréscimo desse pH em função da sua profundidade(Tabela 02). Os baixos valores são justificados pelos minerais da fração argila existentes na área serem de origem caulínica devido o valor do ponto de carga zero para esse mineral ser próximo de 4.0. Resultados semelhantes foram encontrados por Campos et al. (2011), avaliando o cerrado piauiense com diferentes sistemas de manejo em Latossolo Amarelo.

Os teores de alumínio trocável apresentam um crescimento nos valores em profundidade tendo as áreas agrícolas e as matas nativas diferindo, ressaltando maiores valores nas áreas de mata nativa, uma vez que a mata nativa possui um maior número de raízes e por meio da liberação de exsudatos ácidos contribuem diretamente tornando o solo mais ácido tendo como justificativa para os valores mais baixos nas áreas de produção a prática da calagem ter sido realizada, resultados semelhantes foram observados por Zambrosiet al. (2007).

Ao observar os valores de cálcio ,magnésio, potássio, fosforo e soma de bases na camada superficial as áreas agrícolas se diferiram entre si e também se distinguem das respectivas matas evidenciando que a área A possui valores mais elevados (Tabela 01). Devido a área A possuir um maior tempo de manejo do que a área B e possível visualizar os efeitos do plantio direto com maior intensidade, contribuindo para maiores teores de bases trocáveis do que a área B. Na profundidade de 25-50 os valores de cálcio, magnésio e demais atributos as áreas agricultáveis e as matas são semelhantes. Isso ocorre devido o sistema de plantio direto não realizar o revolvimento durante a calagem por consequência não há incorporação de fertilizantes para as camadas mais profundas sendo assim o efeito das reações impostas pela calagem nessas regiões que é menos intensa

(DALCHIAVONET al., 2012). Baixos teores para as bases trocáveis podem também estar associados ao material de origem dos Latossolos Amarelos tendo em vista que o arenito possui uma baixa reserva de nutrientes disponível para as plantas. Corroborando com os resultados obtidos por Costa et al. (2007) e Pragana et al. (2012) que caracterizando atributos químicos dos solos do cerrado piauiense observaram resultados semelhantes.

Houve diferenças para o teor de matéria orgânica entre as áreas agrícolas com a AGA ressaltando melhores resultados, sendo que a AGB possui um comportamento semelhante a MNA e MNB. Entre as matas nativas os valores obtidos foram iguais tal fato e justificado pelo maior tempo de implantação do SPD na área A refletindo assim melhores valores. Segundo Dalchiavon et. al. (2012) o SPD reflete um aumento no teor de MO na camada superficial do solo com o passar do tempo de implantação do sistema, reflexo da ausência de preparo do solo, da quantidade e da qualidade dos resíduos das culturas ao longo dos anos. A razão do acréscimo de MO decorre do fato da taxa de decomposição da palha mantida na superfície do solo ser menor do que se fosse incorporada. Verificou-se que para CTC efetiva e CTC potencial as áreas se distinguiram entre si e da mata nativa onde os maiores valores foram encontrados na AGA, esse comportamento é existente em ambas profundidades.

Segundo a classificação de Pimentel Gomes e Garcia (2002) com exceção do pH CaCl_2 (0-25 cm) os coeficientes de variação para os atributos químicos estudados variam de médio (10 a 20%) a alto(>20%). Porém, esse coeficiente de variação alto pode estar correlacionado com as práticas executadas com o manejo do solo. Essa alta variação para os atributos químicos do solo também pode ser resultado das diferentes interações dos processos de sua formação e de práticas de manejo do solo e da cultura afetando diretamente as camadas superficiais do solo. O desempenho desses atributos do solo na área de estudo pode, também, ser explicado pelas práticas como adubações e calagens sendo executadas de forma irregular na área, ao longo dos cultivos gerando benefícios ou malefícios que afetam diretamente as culturas (VIEIRA et al., 2011).

Analisando os valores de assimetria e curtose para os atributos químicos e possível constatarque apenas o K^+ na AGA na profundidade de 0,00-0,25 m e na profundidade de 0,25-0,50 m o Pna AGA e Al^{3+} e Mg^{2+} na AGB não apresentaram distribuição normal contudo a normalidade dos dados não consiste em uma premissa para o uso da ferramenta geoestatística.

Houve diferenças para os atributos granulométricos avaliados AGB juntamente da MNB apresentou os maiores valores de areia grossa, sendo que para os valores de argila os

maiores teores foram encontrados na AGA (0-25 cm), para o silte os maiores teores foram encontrados nas áreas de mata nativa, tendo seus resultados possuem o mesmo comportamento com acréscimo da profundidade. Tal fato pode ser justificado por meio da influência da declividade do terreno exercida na distribuição das partículas do solo ocasionando uma erosão preferencial segundo as pedoformas ressaltando a importância da cobertura do solo na prevenção das perdas de solo por erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

De acordo com os resultados das Tabelas 03 e 04 os valores granulométricos observados para as AGs e MNs e possível afirmar que a área de estudo de forma geral possui uma textura franco-arenosa tendo como seus valores para areia total $>700 \text{ gkg}^{-1}$ e para argila $>150 \text{ gkg}^{-1}$. O coeficiente de variação obtido para os atributos físicos do solo possuindo como sua classificação média (10 a 20 %) a alta ($>20\%$) segundo Pimentel Gomes (2000).

Dentre esses atributos o que apresentou maior valor foi o DMG (51,95 e 61,08 mm) nas respectivas áreas de produção (Tabela 03). Lima et al. (2006) encontraram valores de média variabilidade para as frações argila e silte e baixa para a fração areia em solos franco-arenosos cultivados com mamão. Corroborando com os dados obtidos por Santos et al. (2012) estudando os atributos físicos do solo encontraram coeficientes de variação médio a altos valores. Contudo embora os coeficientes de variação possibilitem conferir a variabilidade entre amostras com unidades diferentes, não é possível generalizar o seu emprego e sim acomodar os resultados de acordo com a finalidade do trabalho a ser realizado (CRUZ et al., 2010; CAJAZEIRA., et al 2011).

De acordo com os valores de assimetria e curtose, é possível evidenciar que as variáveis areia total, silte, silte/argila e diâmetro médio geométrico na profundidade de 0,00-0,25 m apenas na AGA e, na profundidade de 0,25-0,50 m areia grossa, areia fina, argila e silte na AGB tendo areia total e silte/argila nas duas áreas agrícolas não apresentando distribuição normal (Tabela 04). Entretanto apesar da maioria dos atributos físicos não apresentarem uma distribuição normal dos dados, a normalidade não é uma exigência obrigatória para a análise de variogramas (CRESSIE, 1991).

Tabela 03. Estatística descritiva para os atributos físicos do solo (0,00-0,25 m)

ATRIBUTO	ESTATISTICA	AREA A		AREA B	
		AGRICOLA	MATA	AGRICOLA	MATA
0,00-0,25 m					
AREIAGROSSA (g/kg)	MÉDIA	325,82B	311,80B	440,01A	373,2AB
	DESV.PADRÃO*	40,46	20,90	70,01	62,3
	CV%	12,36	6,70	15,88	16,69
	ASSIMETRIA	-0,06	0,34	0,02	-0,37
	CURTOSE	0,37	-0,17	-0,71	-1,55
AREIA FINA (g/kg)	MEDIA	461,11A	517,8A	426,63B	464,4AB
	DESV.PADRÃO	38,07	31,9	61,58	77,4
	CV%	8,26	6,16	14,44	16,66
	ASSIMETRIA	0,63	0,06	0,02	0,36
	CURTOSE	0,31	-1,75	-0,53	-0,02
AREIA TOTAL (g/kg)	MEDIA	784,87C	829,6B	867,55A	837,60AB
	DESV.PADRÃO	29,35	24,8	18,25	19,71
	CV%	3,74	2,99	2,10	2,35
	ASSIMETRIA	-1,31	-1,44	-0,5	0,07
	CURTOSE	4,95	1,86	0,19	-0,24
ARGILA (g/kg)	MEDIA	161,21A	109,50B	86,28B	94,40B
	DESV.PADRÃO	22,03	18,28	12,05	21,84
	CV%	13,67	16,70	13,96	23,13
	ASSIMETRIA	-0,3	0,5	0,53	-0,61
	CURTOSE	1,6	-0,92	1,08	2,98
SILTE (g/kg)	MEDIA	52,87AB	60,90AB	46,17B	68,00A
	DESV.PADRÃO	20,50	10,01	12,69	10,74
	CV%	38,78	16,44	27,47	15,80
	ASSIMETRIA	3,85	0,69	0,15	-1,09
	CURTOSE	26,49	1,03	0,39	1,44
SILTE/ARGILA (g/kg)	MEDIA	0,333C	0,56AB	0,54B	0,76 A
	DESV.PADRÃO	0,1350	0,09	0,16	0,263
	CV%	40,54	17,65	29,96	34,37
	ASSIMETRIA	3,57	0,04	0,5	0,23
	CURTOSE	23,49	-2,86	1,28	-2,42
DMG (mm)	MEDIA	2,42A	3,64A	1,40B	3,69A
	DESV.PADRÃO	1,26	0,64	0,85	0,60

	CV%	51,95	17,80	61,08	16,32
	ASSIMETRIA	-0,03	-1,58	0,84	-0,45
	CURTOSE	1,61	3,27	0,08	-2,81
	MEDIA	1,50A	1,64A	1,45A	1,65A
DMP (mm)	DESV.PADRÃO	0,29	0,33	0,33	0,31
	CV%	19,29	20,32	23,08	19,05
	ASSIMETRIA	0,3	-0,76	-0,46	0,11
	CURTOSE	1,02	2,14	-1,28	-1,72

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

Tabela 04. Estatística descritiva para os atributos físicos do solo (0,25-0,50m)

ATRIBUTO	ESTATISTICA	AREA A		AREA B	
		AGRICOLA	MATA	AGRICOLA	MATA
0,25-0,50 m					
AREIA GROSSA (g/kg)	MEDIA	295,25C	340,8BC	435,64A	362,6AB
	DESV.PADRÃO ⁽¹⁾	43,74	63,3	67,38	49,4
	CV% ⁽²⁾	14,81	18,59	15,47	13,64
	ASSIMETRIA	-0,24	1,77	2,37	-1,31
	CURTOSE	0,65	3,31	8,18	-2,78
AREIA FINA (g/kg)	MEDIA	482,32A	493,6AB	419,3B	456,6AB
	DESV.PADRÃO	47,63	67,4	76,72	62,1
	CV%	9,87	13,65	18,30	13,60
	ASSIMETRIA	-0,22	-0,01	-1,3	1,12
	CURTOSE	0,49	-0,63	6,1	2,21
AREIA TOTAL (g/kg)	MEDIA	777,31C	834,4AB	854,77A	819,20B
	DESV.PADRÃO	42,53	42,0	81,27	18,10
	CV%	5,47	5,03	9,51	2,21
	ASSIMETRIA	-3,33	-1,71	-2,14	-0,82
	CURTOSE	19,5	3,3	13,31	-0,86
ARGILA (g/kg)	MEDIA	172,36A	127,2B	91,51C	119,10B
	DESV.PADRÃO	21,03	36,1	20,31	15,05
	CV%	12,20	28,37	22,20	12,63
	ASSIMETRIA	0,32	0,49	-9,84	-1,58
	CURTOSE	0,57	2,06	10,16	0,04
SILTE	MEDIA	48,27A	38,40A	42,41A	61,70A

(g/kg)	DESV.PADRÃO	18,27	14,98	18,68	11,45
	CV%	37,85	39,01	44,05	18,56
	ASSIMETRIA	1,48	-0,47	-1,97	0,27
	CURTOSE	3,41	-0,33	8,64	2,47
SILTE/ARGILA	MEDIA	0,28B	0,32AB	0,484A	0,52A
(g/kg)	DESV.PADRÃO	0,12	0,17	0,16	0,13
	CV%	43,83	54,17	33,73	26,09
	ASSIMETRIA	2,43	1,3	-1,69	1,5
	CURTOSE	7,85	2,81	7,2	-1,49

1) DP: desvio-padrão; (2) CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Na tabela 05, encontram-se os variogramas ajustados aos atributos químicos avaliados bem como os valores do efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$), grau de dependência espacial (GDE), alcance (a) e coeficiente de determinação (r^2) (Tabela 05). Na maioria dos atributos obteve-se dependência espacial nas profundidades avaliadas (0,00-0,25 e 0,25-0,50m), sendo possível verificar que para algumas variáveis apresentou efeito pepita puro (Al^{3+} , matéria orgânica na profundidade de 0,00-0,25m; pH_{CaCl_2} e Al^{3+} na profundidade de 0,25-0,50m), ou seja, não apresentaram dependência espacial sendo assim para essas variáveis não se aplica a geoestatística. Segundo Carvalho et al. (2011) isso ocorre pois em distância maiores que a menor distância utilizada no momento da amostragem (22 m) se distribui de forma independente no espaço onde para essas determinadas variáveis a distância de amostragem não foi capaz de exibir a variância dos dados.

Tabela 05. Parâmetros ajustados para os atributos químicos nas áreas agrícolas na profundidade de 0,00-0,25 e 0,25-0,50m

Atributo	Área	C ₀	C ₀ + C ₁	GDE (%)	Alcance	R ²	Modelo
0,00-0,25 m							
SM (10 ⁻⁶ m ³ /kg)	A	0,03200	0,31100	10,29	271,5	0,99	Gaussiano
	B	0,01320	0,08170	16,16	247,4	0,99	Gaussiano
pH CaCl₂	A	0,00160	0,05570	2,87	49,73	0,512	Esférico
	B	0,05253	0,05253	100,0	190,41	0,39	E.P.P
Al	A	0,2143	0,2143	100,0	281,63	0,271	E.P.P
	B	0,002290	0,020380	11,24	26,8	0,819	Exponencial
Ca²⁺	A	0,02590	0,12980	19,95	53,16	0,729	Exponencial
	B	0,00010	0,08640	0,12	20,51	0,889	Gaussiano
Mg²⁺	A	0,00220	0,11840	1,86	39,86	0,944	Esférico
	B	0,01010	0,0930	10,86	31,94	0,728	Exponencial
M.O	A	0,10631	0,10631	100,0	348,81	0,558	E.P.P
	B	0,00100	1,30700	0,08	25,4	0,751	Gaussiano
H+Al³⁺	A	0,12800	0,96500	13,26	23,56	0,643	Exponencial
	B	0,01020	0,31440	3,24	45	0,763	Esférico
P	A	0,0078	0,1186	6,58	37,8	0,409	Esférico
	B	0,00100	0,95000	0,11	26,9	0,802	Gaussiano
K⁺	A	0,00021	0,00152	13,82	21,7	0,502	Gaussiano
	B	0,00087	0,00174	50,00	263,8	0,776	Gaussiano
SB	A	0,25500	0,95600	26,67	89,1	0,812	Exponencial
	B	0,00810	0,26620	3,04	30,98	0,805	Esférico
CTC efet.	A	0,0302	0,02114	14,8	24,4	0,842	Exponencial
	B	0,00010	0,22120	0,05	24,7	0,8	Gaussiano
CTC (t)	A	0,18000	1,17600	15,31	24,5	0,85	Exponencial
	B	0,0100	0,46200	2,16	32,08	0,695	Esférico
H⁺	A	0,00100	0,80500	0,12	23,53	0,835	Gaussiano
	B	0,26007	0,26007	100,0	281,07	0,571	E.P.P
V%	A	0,01000	24,7400	0,04	23,6	0,729	Gaussiano
	B	4,05000	25,2600	16,03	24,1	0,8	Gaussiano
0,25-0,50m							
SM	A	0,02990	0,27780	27,81	240,10	0,978	Gaussiano
	B	0,01310	0,07130	7,14	204,90	0,976	Gaussiano
pH CaCl₂	A	0,02388	0,04786	4,81	145,20	0,860	Exponencial
	B	0,00001	0,01092	1,09	32,80	0,601	Gaussiano
Al	A	0,00790	0,03246	3,25	31,40	0,717	Exponencial
	B	0,00406	0,03402	3,41	36,80	0,880	Exponencial
Ca²⁺	A	0,00088	0,02036	2,04	33,33	0,706	Exponencial
	B	0,00189	0,01968	1,97	17,40	0,916	Exponencial
Mg²⁺	A	0,00019	0,01768	1,77	20,60	0,818	Exponencial
	B	0,00300	0,09060	33,11	22,80	0,850	Gaussiano
P	A	0,03251	0,29331	29,36	67,25	0,748	Exponencial
	B	0,03090	0,25780	25,81	17,40	0,886	Exponencial
K⁺	A	0,00020	0,00052	0,05	266,60	0,920	Exponencial
	B	0,00000	0,00004	0,00	24,40	0,752	Gaussiano
SB	A	0,02390	0,07850	7,87	247,40	0,828	Exponencial
	B	0,00325	0,02700	2,70	34,90	0,776	Gaussiano
CTC efet.	A	0,00790	0,06810	6,82	26,60	0,904	Gaussiano
	B	0,03300	0,06610	6,64	250,40	0,958	Exponencial

EPP= Efeito pepita puro

Os modelos exponencial, gaussiano e esférico foram encontrados para o ajuste dos variogramas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m, tendo o modelo exponencial tendo sido encontrado com maior frequência na profundidade de 0,00-0,25 m (Tabela 05). De acordo com Bottegaet al. (2013) o modelo exponencial representa baixa continuidade da variabilidade temporal. Tais resultados corroboram com Cruz et al. (2010) tendo na maioria das variáveis um elevado R^2 , demonstrando que o modelo escolhido foi eficiente ao modelar a dependência espacial das variáveis.

O efeito pepita (C_0) apresentou teores relativamente baixos para os atributos químicos avaliados com exceção do V% nas duas áreas na profundidade 0,25-0,50 m (Tabela 05). Esses valores refletem a incerteza em pequenas distâncias, ocasionadas pela falta de conhecimento da distribuição espacial da variável em estudo. Quanto maior for o efeito pepita, maior a variabilidade e, conseqüentemente, a amostragem se torna insuficiente para esse nível de variabilidade espacial (YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

O alcance encontrado para os atributos químicos variou de P 25-50 cm (17,40) e o maiores para os teores de matéria orgânica profundidade de 0-25 cm (348,81), demonstrando maior descontinuidade na distribuição espacial dos atributos do solo nessa profundidade, no qual foi resultados contrários ao esperado, pelo fato de os estudos realizados em área sob Latossolos que apresenta como característica homogeneidade dos atributos do solo além de esta menos sujeita aos efeitos do manejo do solo como realizado na camada mais superficial (Tabela 05). As amplitudes do parâmetro A_0 dos atributos químicos em estudo estão relativamente próximas, sugerindo uma analogia no modelo de distribuição espacial entre o conjunto dos mesmos. O alcance representa um parâmetro de extrema importância para a explanação dos variogramas, indicando a distância até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si (VIEIRA, 1997; CAVALCANTE et al., 2007).

A maioria dos atributos químicos avaliados apresentaram dependência espacial forte (< 25%) apresentaram dependência moderada de 25 a 75 % (K na profundidade de 0,00-0,25 m na área B) e na profundidade de 0,25-0,50 m (pH $CaCl_2$, K^+ na área A e Mg^{2+} e CTC efet. na área B), segundo a classificação de Cambardela (1994). A forte dependência espacial encontrada para os atributos químicos dos solos segundo Cambardella et al. (1994), pode estar associada aos fatores de formação principalmente o material de origem e relevo. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (2011) ao estudar a SM e por Junior et al. (2006) que analisaram atributos químicos do solo.

Todos os atributos físicos avaliados apresentaram dependência espacial, com exceção da areia grossa na profundidade de 0,25-0,50 m na área A (Tabela 06). Para esta variável foi obtido um efeito pepita puro, ou seja, não possui dependência espacial o que significa que o alcance (a) é menor do que o menor espaçamento entre amostras, apresentando uma distribuição espacial completamente aleatória. Neste caso a única estatística aplicável é a clássica (SOUZA, 1992). Após a verificação dos parâmetros dos variogramas, os modelos que melhor se ajustaram aos dados foram exponenciais, gaussiano e esférico para as profundidades e áreas analisadas. Corroborando com os dados verificados por Santos et.al. (2012) estudando os atributos físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com soja.

Tabela 06. Parâmetros ajustados aos atributos físicos nas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 m e 0,25 -0,50 m

Atributo	Área	C ₀	C ₀ + C ₁	GDE (%)	Alcance	R ²	Modelo
0,00-0,25m							
Areia Grossa (g/kg)	A	108,00000	1561,000000	6,92	38,43	0,621	Exponencial
	B	10,000000	5130,000000	0,19	102,10	0,905	Exponencial
Areia Fina (g/kg)	A	116,00000	1423,00000	8,15	30,75	0,557	Exponencial
	B	445,21483	2609,82062	17,06	68,85	0,780	Gaussiano
Areia Total (g/kg)	A	204,00000	657,50000	31,03	206,20	0,989	Gaussiano
	B	131,00000	572,90000	22,87	285,48	0,954	Exponencial
Argila (g/kg)	A	252,00000	719,90000	35,00	200,20	0,992	Gaussiano
	B	45,500000	99,690000	45,64	159,78	0,998	Exponencial
Silte (g/kg)	A	56,00000	433,20000	12,93	40,20	0,732	Exponencial
	B	76,40000	199,70000	38,26	187,50	0,971	Exponencial
Silte/Arg (g/kg)	A	0,00001	0,00414	0,24	32,80	0,755	Gaussiano
	B	0,00019	0,01478	1,29	15,90	0,772	Exponencial
DPM (mm)	A	0,03370	0,06750	49,93	163,40	0,851	Esférico
	B	0,00030	0,07620	0,39	32,80	0,661	Esférico
DMG (mm)	A	0,02700	1,69000	1,60	133,20	0,859	Esférico
	B	0,00100	0,44700	0,22	61,80	0,977	Esférico
0,25-0,50m							
Areia Grossa (g/kg)	A	1416,8276	1416,82767	100,0	281,70	0,591	E.P.P
	B	2312,0000	4904,00000	47,1	194,60	0,897	Esférico
Areia Fina (g/kg)	A	1186,0000	2375,00000	49,9	61,40	0,649	Exponencial
	B	2780,0000	7719,00000	36,0	157,70	0,988	Gaussiano
Areia Total (g/kg)	A	339,31060	1048,07743	32,4	163,89	0,929	Gaussiano
	B	103,30000	231,500000	44,6	116,70	0,996	Gaussiano
Argila (g/kg)	A	272,95452	877,900000	31,1	291,64	0,986	Gaussiano
	B	68,00000	437,800000	15,5	35,60	0,893	Exponencial
Silte (g/kg)	A	131,73690	393,50734	33,5	294,20	0,970	Gaussiano
	B	3,7000000	114,900000	3,2	26,80	0,872	Exponencial
Silte/Arg (g/kg)	A	0,00013	0,00331	3,9	33,33	0,623	Exponencial
	B	0,00635	0,01280	49,6	129,80	0,959	Esférico

EPP= Efeito pepita puro

Para o efeito pepita (C_0) os valores variaram de 0.00001 a 1186.0000 para área A e de 0.00013 a 2780.00000 para área B (Tabela 06). É possível observar que os valores se mostraram altos nos atributos granulométricos nas duas áreas e nas profundidades avaliadas. O C_0 constitui um parâmetro importante do variograma, pois representa a variabilidade não explicada, tais valores podem ser ocasionados devido a erros de medição, microvariação não detectada, quando é considerada a distância de amostragem não utilizada.

Para o parâmetro patamar ($C_0 + C_1$) observa-se uma grande variação nos valores (0.00331 a 2378.00000) para área A e (0.01280 a 7719.00000) para área B (Tabela 06). Esses valores são utilizados para representar o nível de variabilidade no momento que se estabiliza o variograma, sendo atingindo quando a distância das amostras se torna constante com a variância dos dados, sendo que este exerce extrema importância na determinação do alcance, ou seja, do limite entre a dependência e a independência espacial entre as amostras, sendo útil na escolha do método estatístico a ser utilizado na análise dos dados, assim como na definição da mínima distância entre os pontos amostrais, garantindo assim a independência das amostras (CAMBARDELLA et al., 1994).

Os valores obtidos para o parâmetro alcance (a) foram superiores ao espaçamento de amostragem (30 m) em todas as variáveis nas demais profundidades (Tabela 06), refletindo uma ótima correlação e beneficiando as etapas de interpolação dos dados, Vieira (2000). O alcance é o parâmetro principal que a geoestatística fornece a qual representa a distância em que uma variável sinaliza continuidade espacial sendo que, a partir desta distância, o comportamento espacial da variável passa a ser totalmente aleatório tendo em vista que permite a escolha do raio de amostragem para facilitar posterior utilização para próximas amostragens em condições semelhantes de estudo, a independência dos pontos amostrais, a minimização do erro padrão da média e também uma maneira de diminuir o número de amostras a serem coletadas (LEMOS FILHO et al., 2008; ARTHUR et al., 2013).

Para o grau de dependência espacial nos atributos físicos ocorre uma prevalência de forte dependência (< 25%) segundo Cambardella (1994), nas áreas e profundidades estudadas, exceto para areia grossa (a), areia fina (a), diâmetro médio ponderado (b) na profundidade de 0-25 cm e areia grossa, areia fina, silte/argila (a) na profundidade de 25-50 cm que obteve dependência moderada (25 a 75 %). Predominância de forte dependência significa que o solo da área apresenta variabilidade, com isso amostragens mais intensivas

podem revelar maior continuidade espacial dos atributos analisados. Isso ressalta a importância da agricultura de precisão no manejo das culturas e os benefícios de utilizar uma ferramenta estatística que considere as relações espaciais existentes para suas análises (CARVALHO et al., 2013).

Os parâmetros dos modelos de variogramas ajustados foram utilizados para estimar valores em locais não amostrados por meio da krigagem (Tabela 05 e 06). Uma análise visual dos mapas obtidos permite definir zonas de manejo específico, tornando possível a utilização de manejos de adubação e correção específicos de modo a garantir um manejo mais eficiente e econômico das áreas em questão (Figuras 02,03 e 04). Nas Figuras abaixo a área mais clara dos mapas reflete um menor teor de determinado atributo. É possível observar com clareza que a parte mais alta da paisagem (ÁREA A) em relação a parte mais baixa (ÁREA B) apresenta os maiores teores para os atributos químicos onde esses valores são influenciados além de maior tempo de manejo da área pelas formas de relevo contribuindo diretamente para um maior acúmulo de nutrientes.

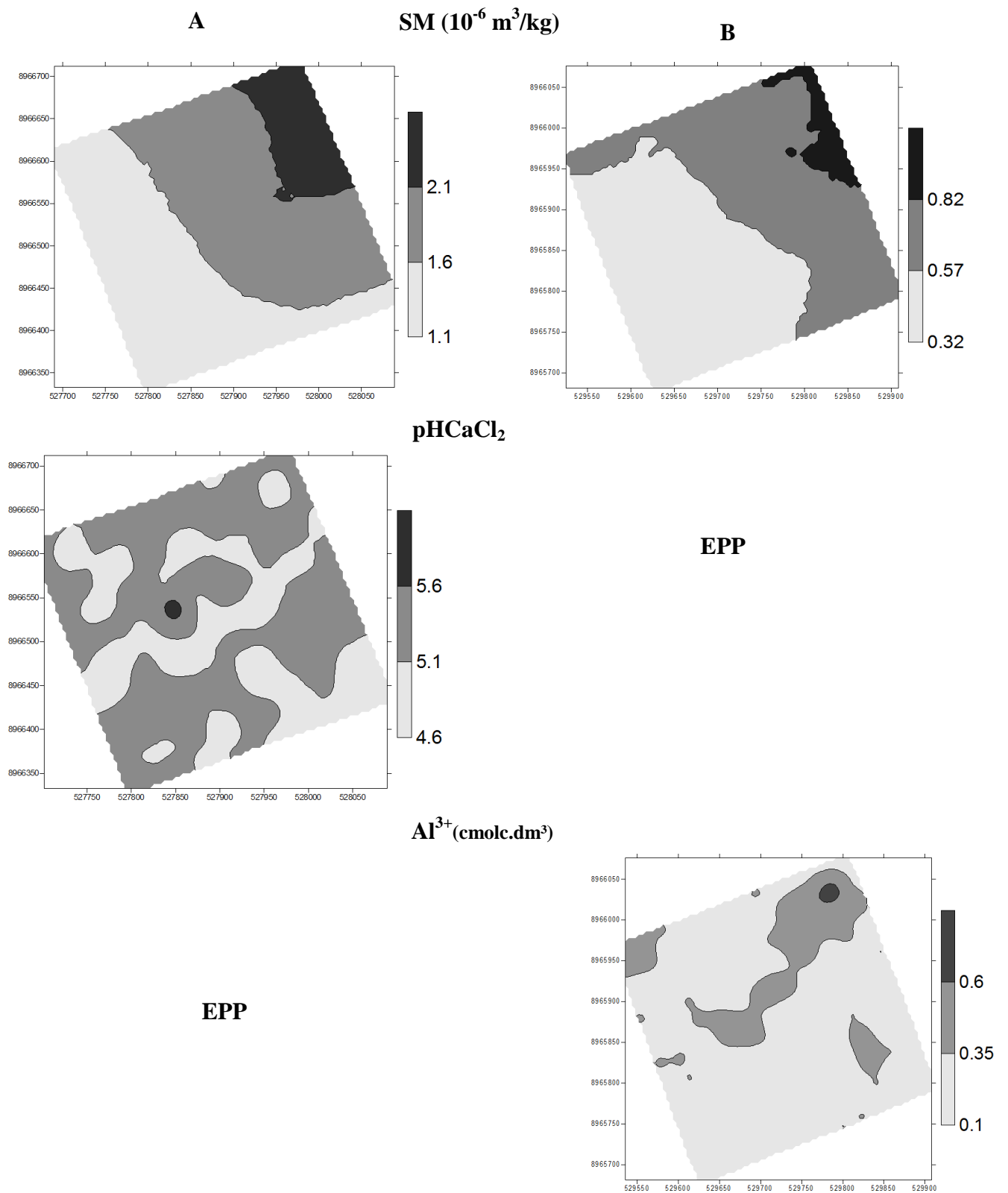


Figura 02. Mapas de dependência espacial para suscetibilidade magnética, pHCaCl₂,alumínio na profundidade de 0,00-0,25 m nas duas áreas agrícolas

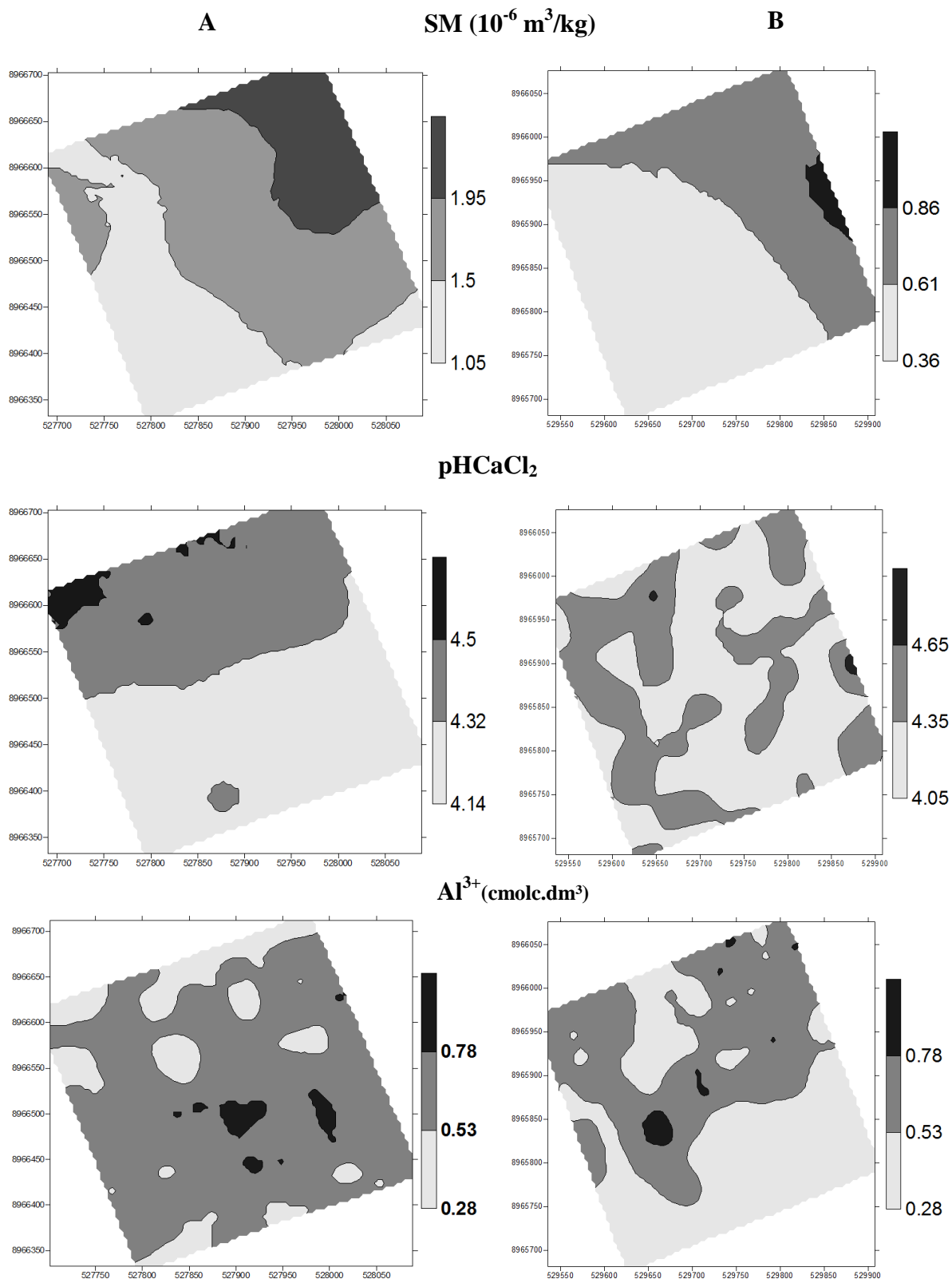


Figura 03. Mapas de dependência espacial para suscetibilidade magnética, pHCaCl_2 , alumínio na profundidade 0,25-0,50 m nas duas áreas agrícolas

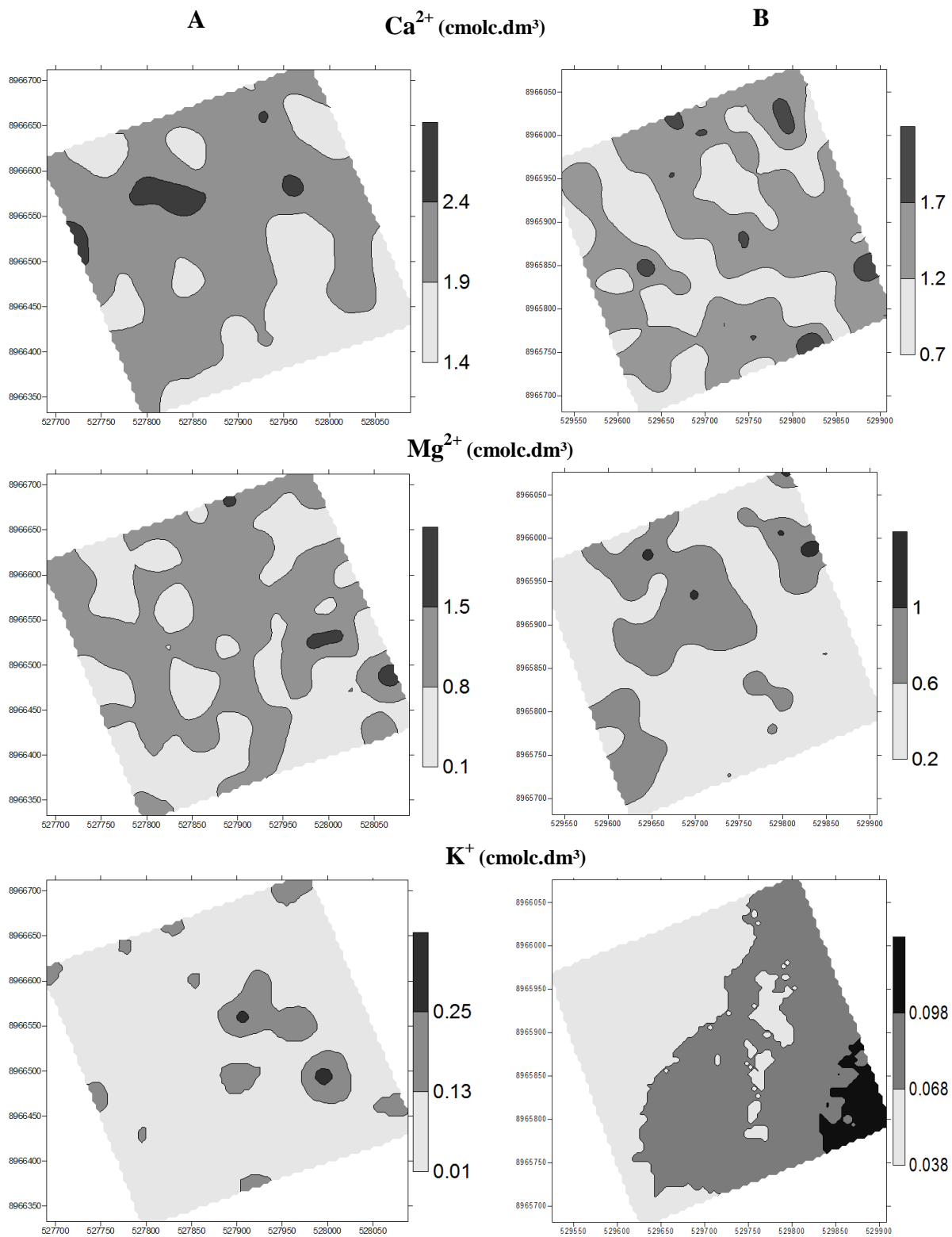


Figura 04. Mapas de dependência espacial para cálcio, magnésio, potássio na profundidade de 0,00-0,25 mnas duas áreas agrícolas.

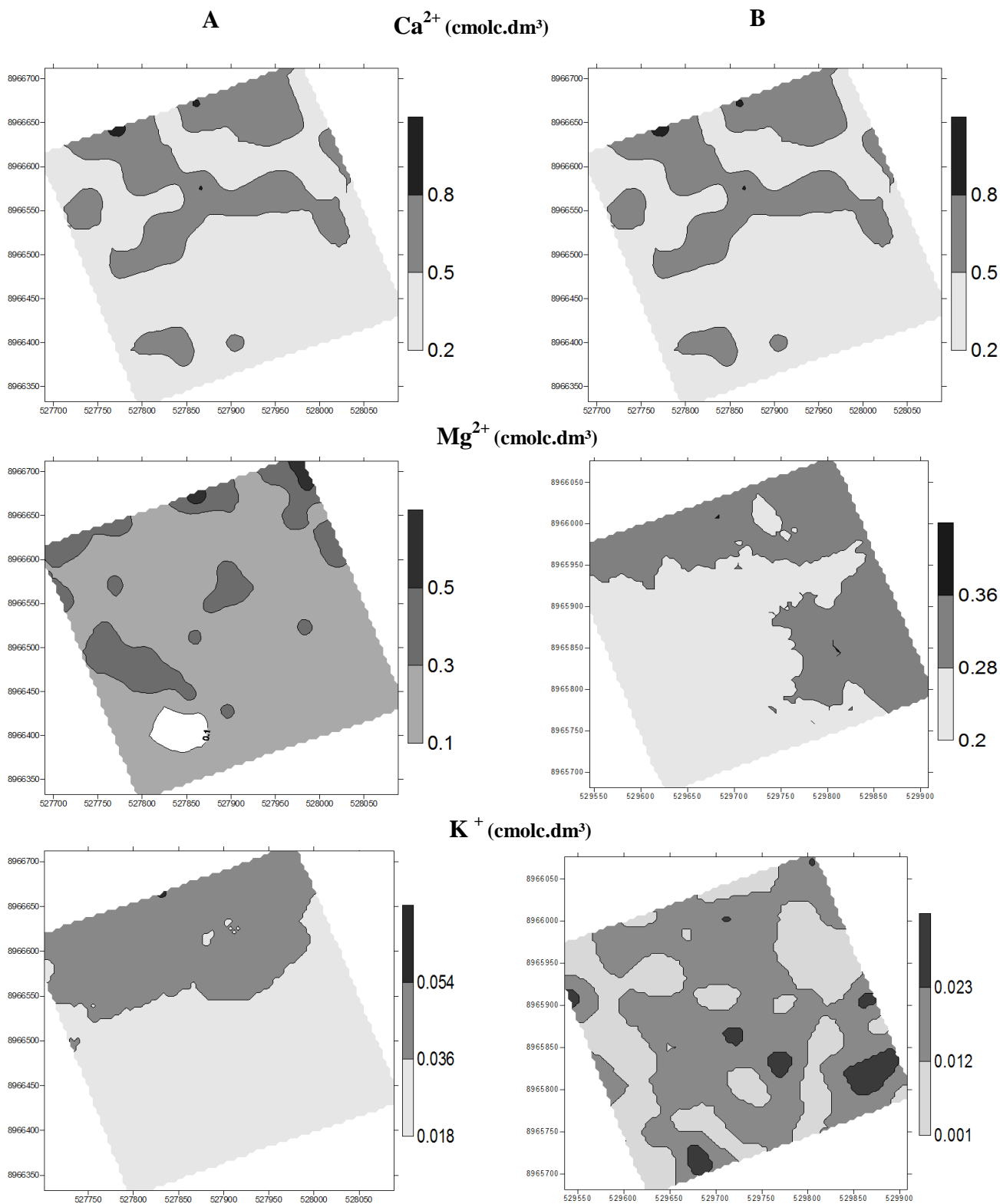


Figura 05. Mapas de dependência espacial para cálcio, magnésio, potássio na profundidade de 0,25-0,50 m nas duas áreas agrícolas.

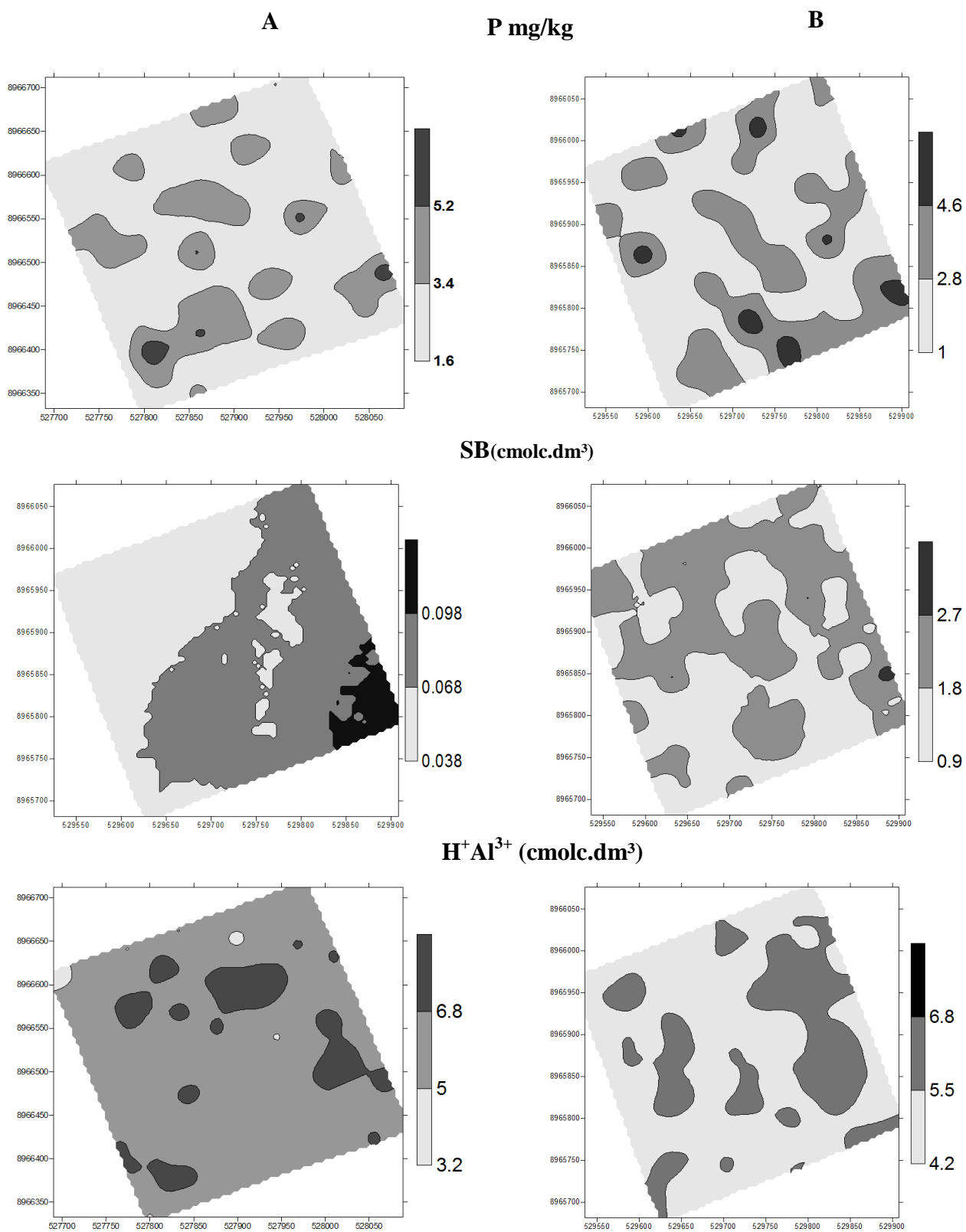


Figura 06. Mapas de dependência espacial para Fósforo, soma de bases ,acidez na profundidade de 0,00-0,25 m nas duas áreas agrícolas .

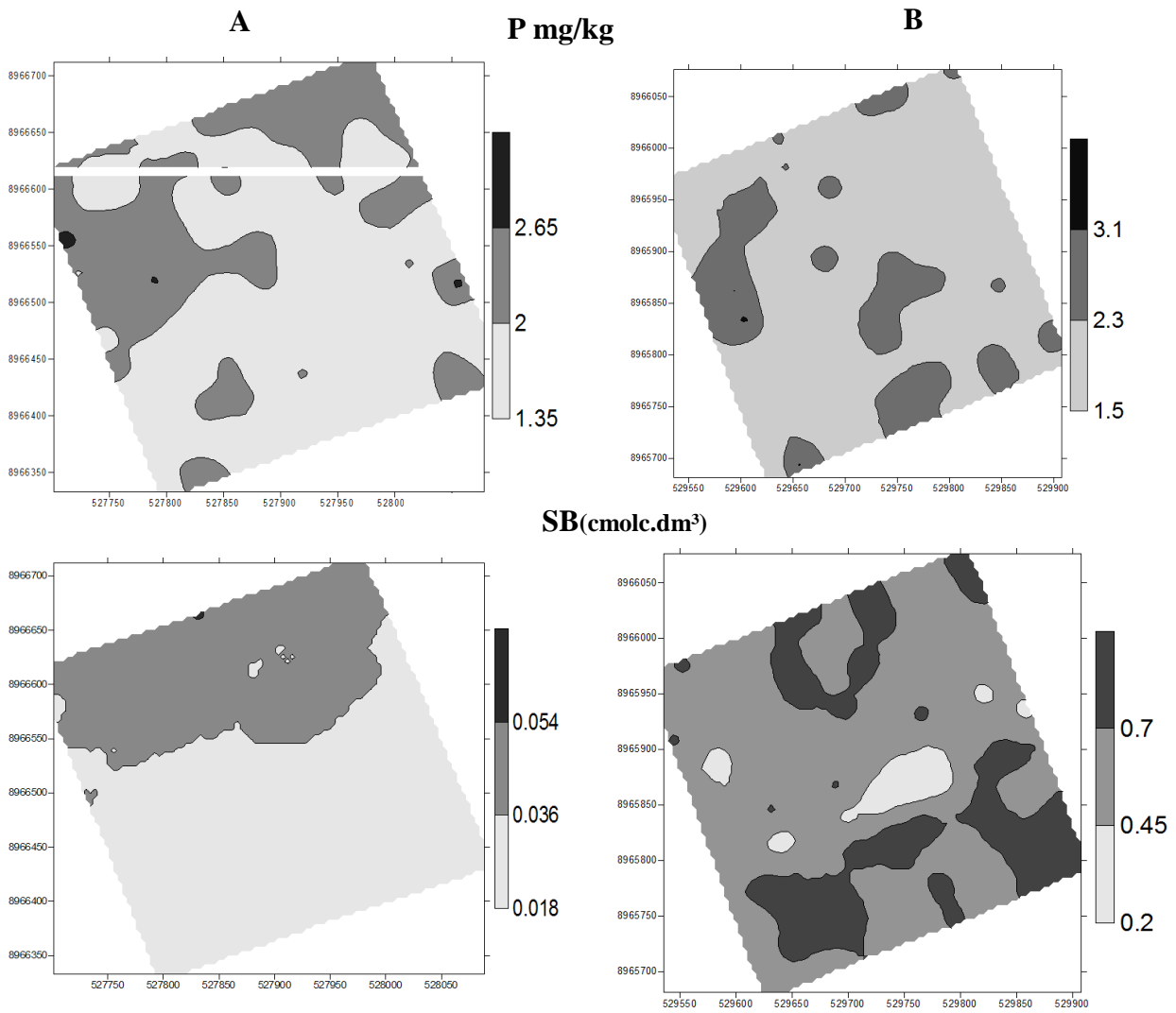


Figura 07. Mapas de dependência espacial para Fósforo, soma de bases, na profundidade de 0,25-0,50 m nas duas áreas agrícolas.

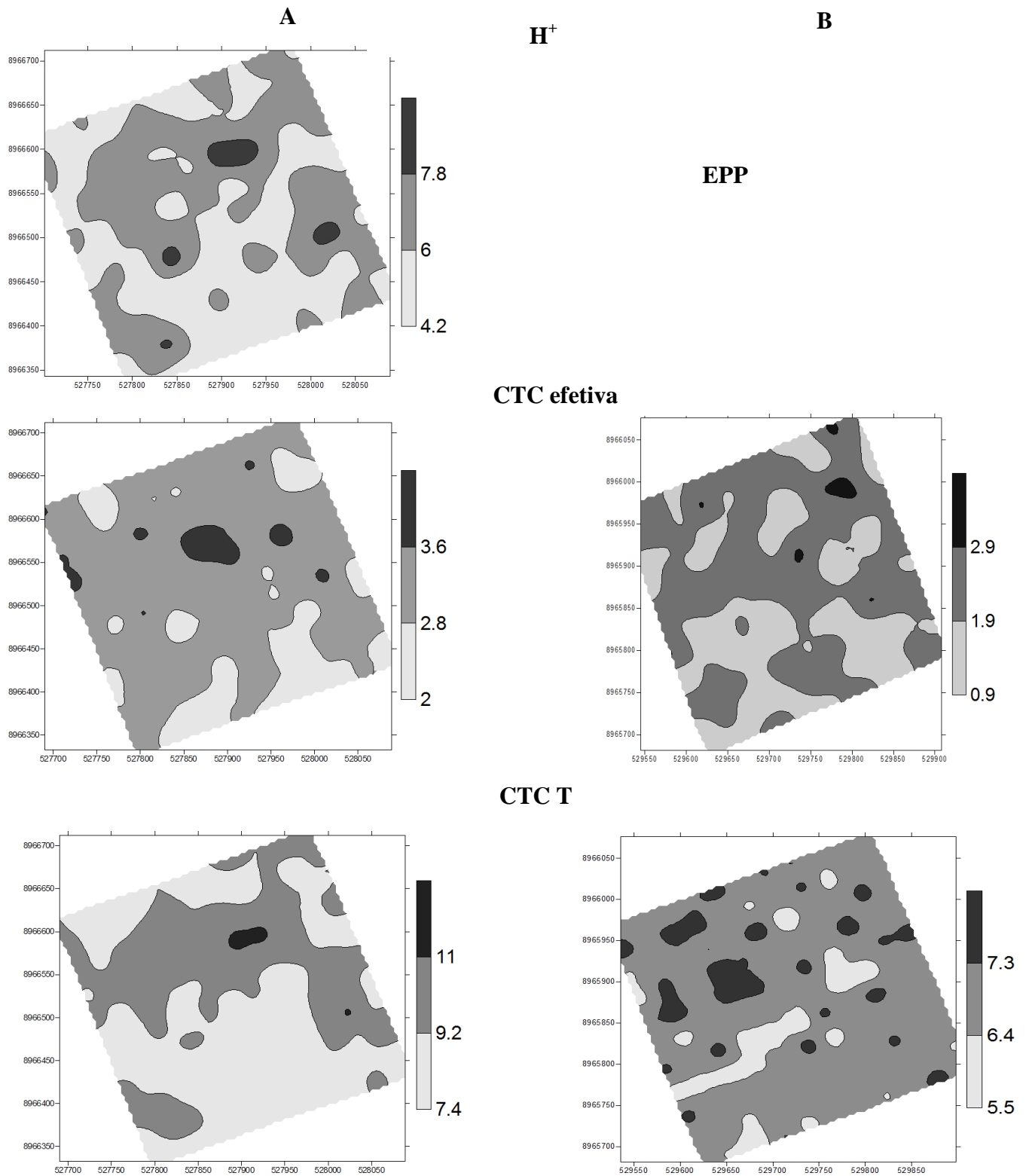


Figura 08. Mapas de dependência espacial para Hidrogênio, CTC efetiva, CTC Tna profundidade de 0,00-0,25 m nas duas áreas agrícolas .

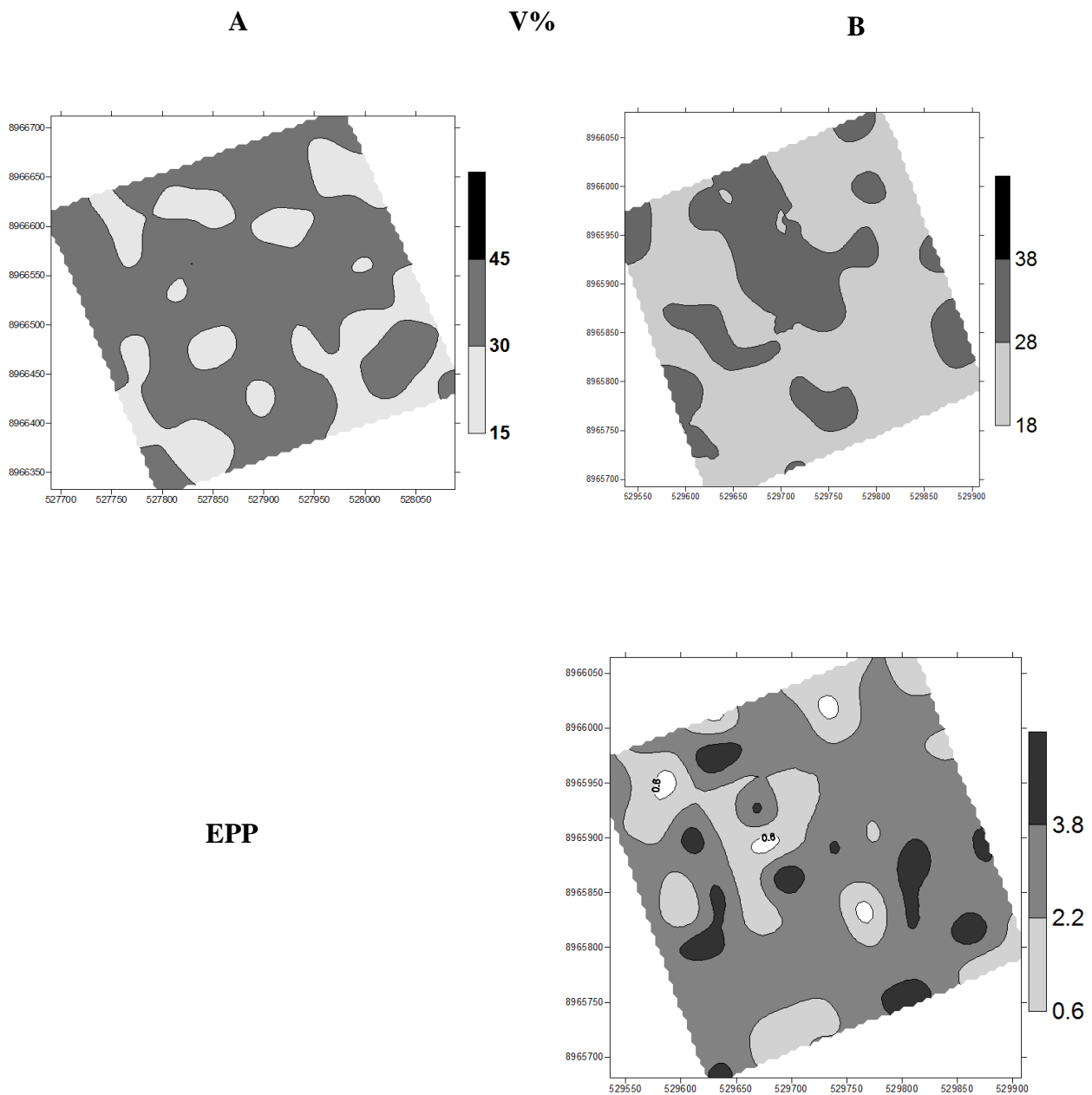


Figura 09. Mapas de dependência espacial para Saturação por bases (v%) e Matéria orgânica na profundidade de 0,00-0,25 m nas duas áreas agrícolas .

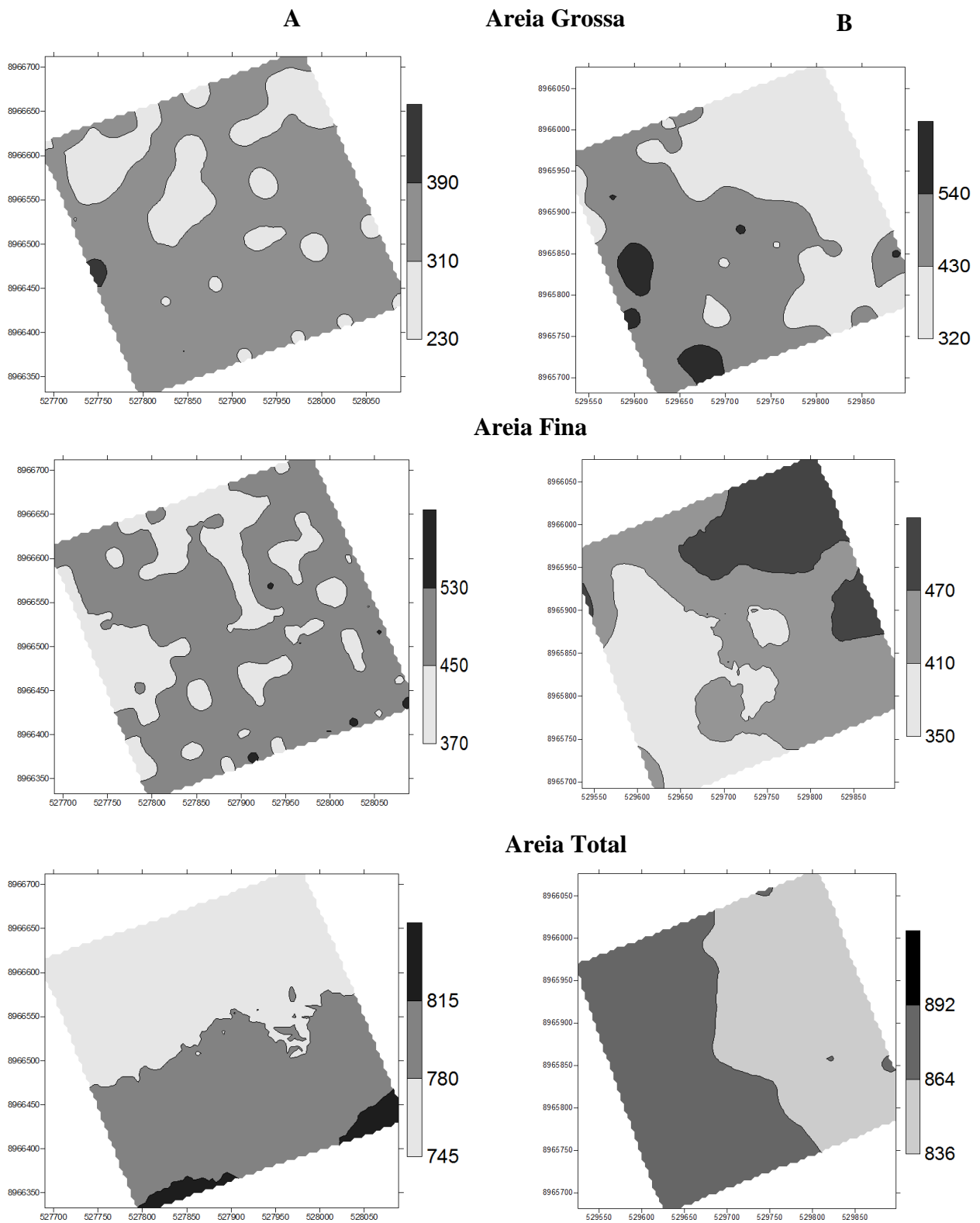


Figura 10. Mapas de dependência espacial para Areia Grossa, Areia Fina, Areia total na profundidade de 0,00-0,25 m nas duas áreas agrícolas .

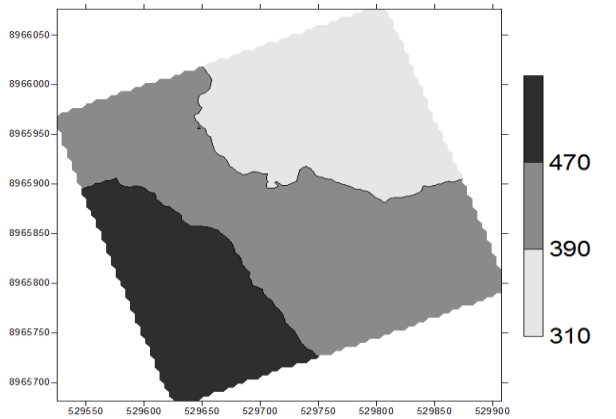
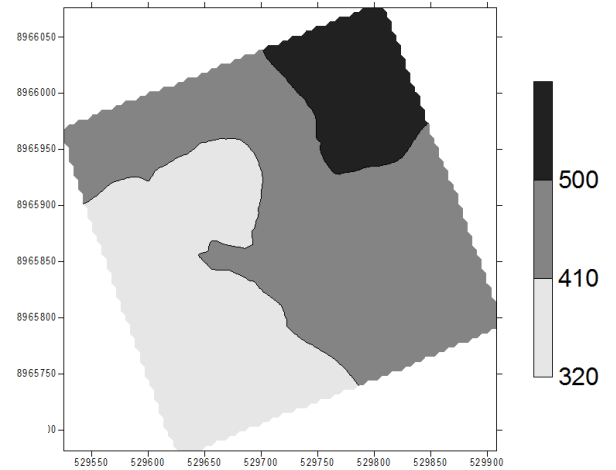
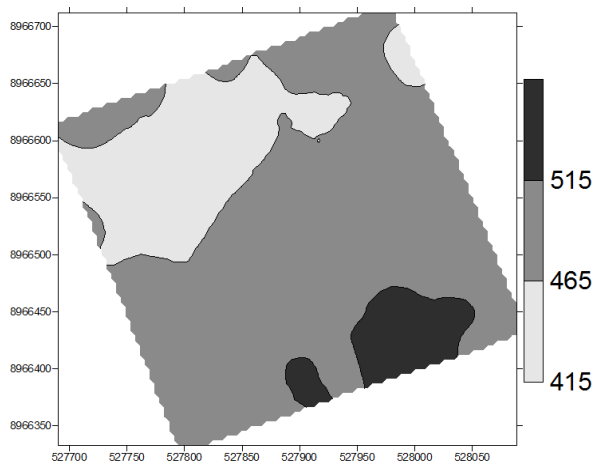
A

Areia Grossa

B

EPP

Areia Fina



Areia Total

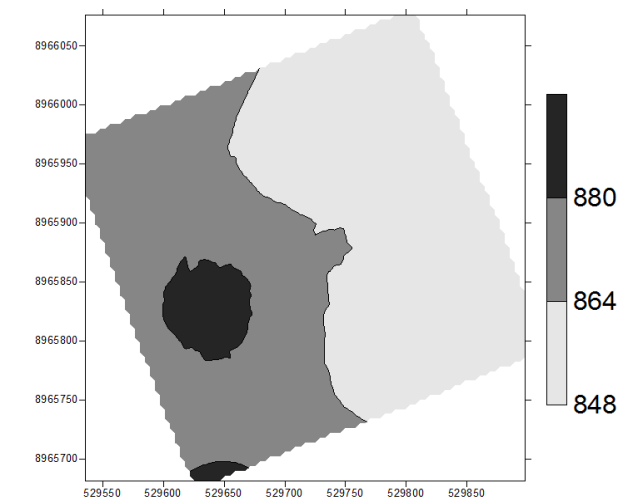
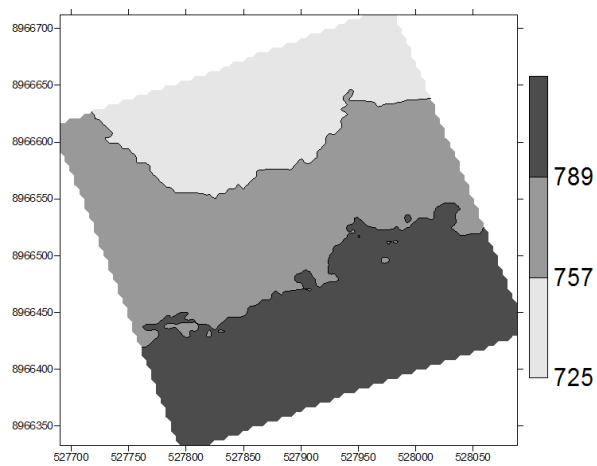


Figura 11. Mapas de dependência espacial para Areia Grossa, Areia Fina, Areia total na profundidade de 0,25-0,50 m nas duas áreas agrícolas .

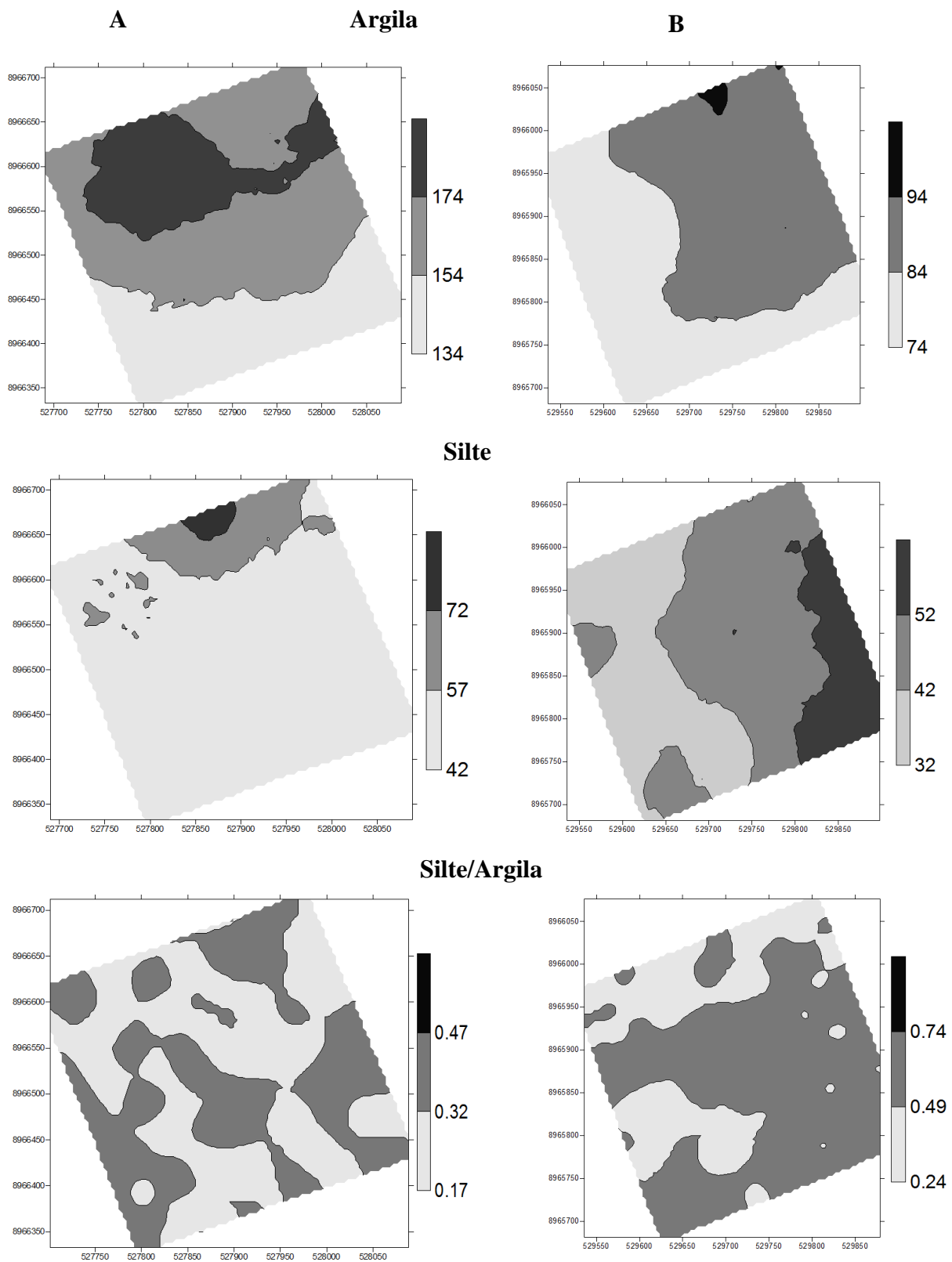


Figura 12. Mapas de dependência espacial para argila, silte, relação silte/argilana profundidade de 0,00-0,25 m nas áreas agrícolas.

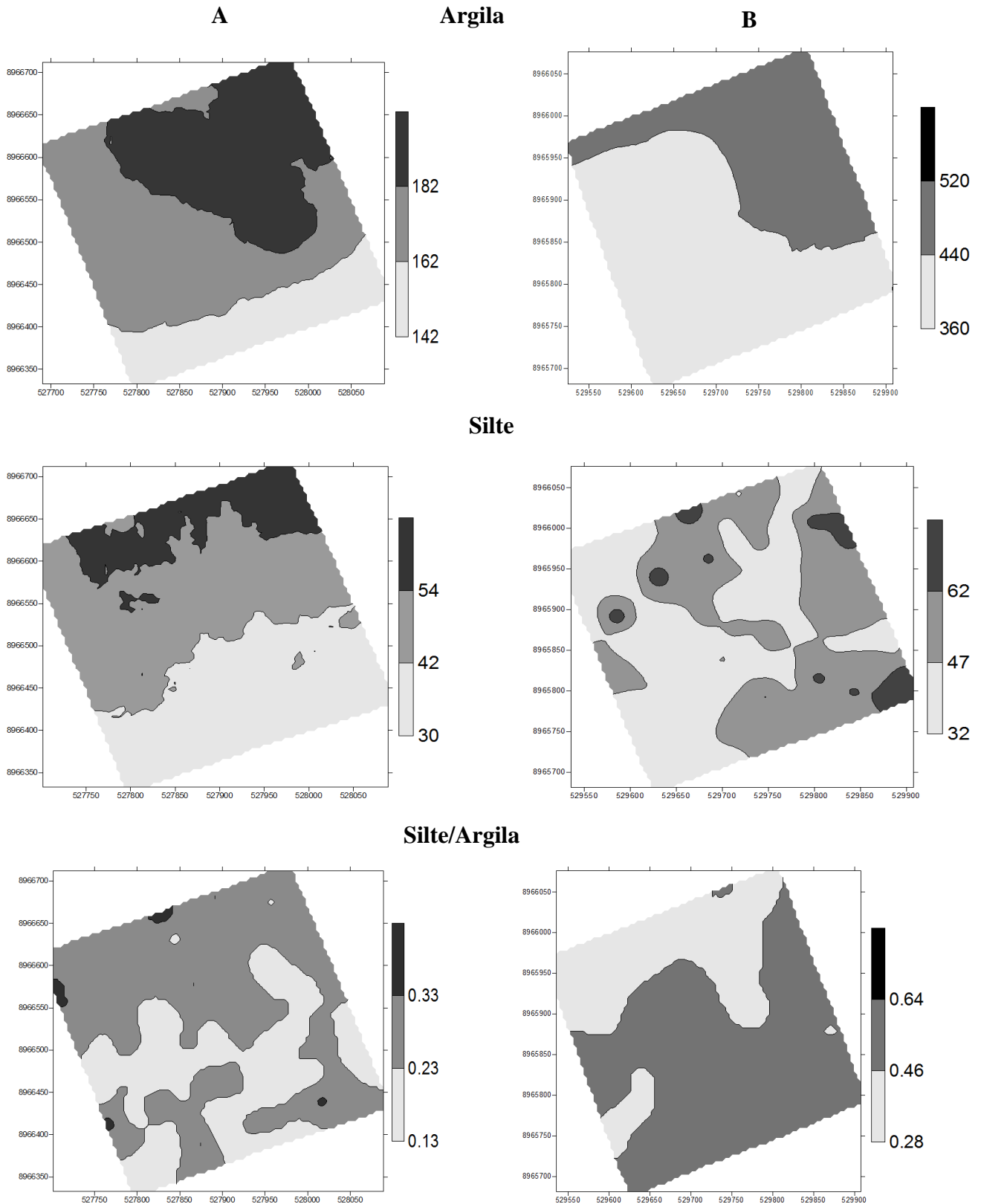


Figura 13. Mapas de dependência espacial para argila, silte, relação silte/argila na profundidade de 0,25-0,50 m nas áreas agrícolas.

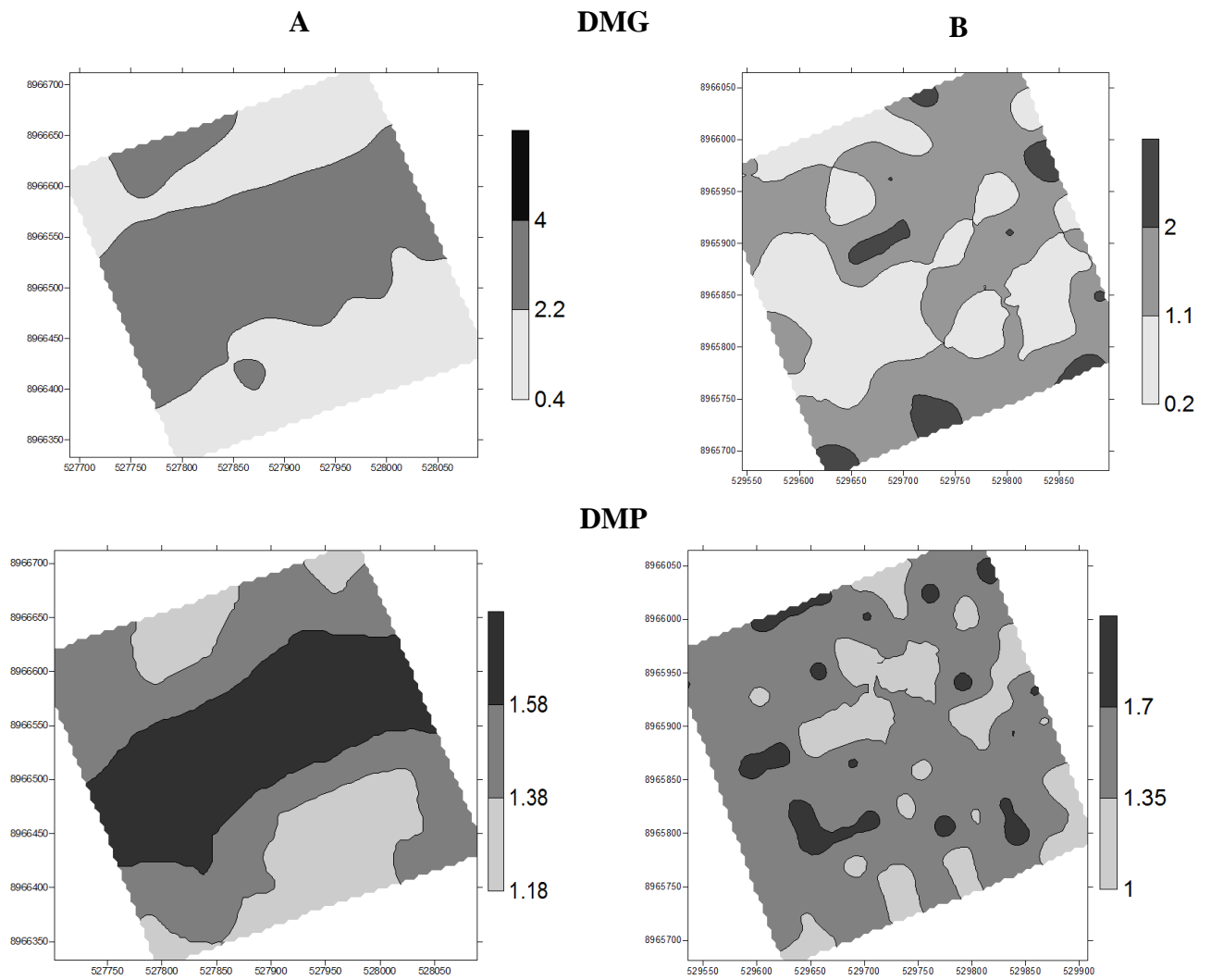


Figura 14. Mapas de dependência espacial para Diâmetro médio Geométrico e Diâmetro médio Ponderado na profundidade de 0,00-0,25 m nas áreas agrícolas.

As áreas de estudo que possuem a classe de solo e manejo iguais, possuem uma influência exercida por diferentes posições na paisagem ocasionando diferentes padrões de variabilidade espacial dos atributos do solo (Figura 1 a 14). Tendo esses padrões correlacionados às variações no relevo, sendo este o principal determinante nas maiores variabilidades na área A.

A parte mais alta da paisagem proporciona um menor acúmulo de água no sistema e maiores perdas de solos tendo maiores teores de nutrientes no solo e na planta acumulados em na parte mais baixa, (RESENDE et al., 1997) contudo em função dos maiores teores de argila e maior tempo de implantação da lavoura de soja associada com os efeitos do sistema plantio direto verifica-se que na Área A ou seja a parte mais alta da paisagem apresentou uma melhor fertilidade para as áreas avaliadas .

Para a SM o atributo pedoindicador é possível visualizar valores semelhantes em relação a sua ocorrência, tendo esse comportamento acompanhado com o decréscimo da profundidade (Figura 02 e 03). Apesar de comportamento similar os valores encontrados são relativamente baixos associados a classe de solo avaliada, maiores teores de SM são encontrados em áreas oriundas de basalto que possuem uma maior quantidade de ferro e maiores teores de argila. Fontes et al. (2000) também observaram que a suscetibilidade magnética varia em razão da classe de solo e do material de origem e, que solos originados de rochas basálticas apresentam maior suscetibilidade magnética. Além disso SM pode ser utilizada para aumentar a precisão e acurácia dos resultados de análises convencionais, ajudando na obtenção de uma correta identificação de limites entre áreas diferentes (SIQUEIRA, 2010).

É possível observar que argila e areia total possuem correlação com SM (Tabela 05) e que as FPT possuem confiabilidade em estimar estes dois atributos por SM sendo confirmadas pelos valores de R^2 . Resultados refletidos da composição de minerais ferrimagnéticos nestas duas frações do solo, como a magnetita (fração areia) geralmente originada de materiais de origem e a maghemita (fração argila) com uma origem pedogenica, inferida nos valores da SM (SOUZA JÚNIOR et al., 2010). Tendo em vista que os valores obtidos podem aumentar ou diminuir de acordo com os processos biogeoquímicos e de translocação.

Verifica-se que apenas os atributos físicos (areia total e argila) apresentaram correlação significativa com o atributo pedoindicador (Tabela 07) nenhum dos atributos químicos apresentou correlação significativa onde para a área de estudo não é possível estimar os atributos químicos com auxílio da suscetibilidade magnética.

Tabela 07. Correlação de Pearson entre suscetibilidade magnética e atributos físicos e químicos do solo (0,00-0,25 m)

ATRIBUTOS	SM(10⁻⁶m³/kg) (A)	SM(10⁻⁶m³/kg) (B)
Atributos Químicos		
pH_{CaCl₂}	0.010	0.036
Al³⁺	0.124	0.101
Ca²⁺	0.048	0.114
Mg²⁺	0.131	-0.026
H+Al³	0.103	0.151
MO	0.138	0.019
P	0.049	0.024
K⁺	0.186	0.178
SB	0.144	0.119
CTC efet.	0.164	0.139
H+	0.097	0.141
CTC(T)	0.163	0.187
V%	0.031	0.05
Atributos Físicos		
Argila	0.289 *	-0.005
Areia Total	-0.273 *	-0.138
Areia Fina	-0.058	-0.031
Areia Grossa	-0.157	-0.051
Silte	0.085	0.190
Silte/Argila	-0.07	0.107
DPM	0.124	0.018
DMG	0.120	0.149

*Valores significativo a 5%.

As figuras 15 e 16 apresentam os gráficos de validação cruzada das estimativas das variáveis areia total (AT) e argila e das estimativas das mesmas variáveis utilizando valores de SM como co-variável. O melhor ajuste foi obtido para estimativas de valores absolutos de areia total, isso pode ser comprovado ao verificar o coeficiente de regressão da reta, que, quanto mais próximo ao valor de um, melhor é o ajuste. Porém, ao analisarmos a validação cruzada para valores de AT e argila obtidos, utilizando valores de SM como co-variável, constatou que pouca foi a diferença, mais uma vez confirmando a possibilidade da utilização de valores de SM para a estimativa de valores das frações de areia e argila.

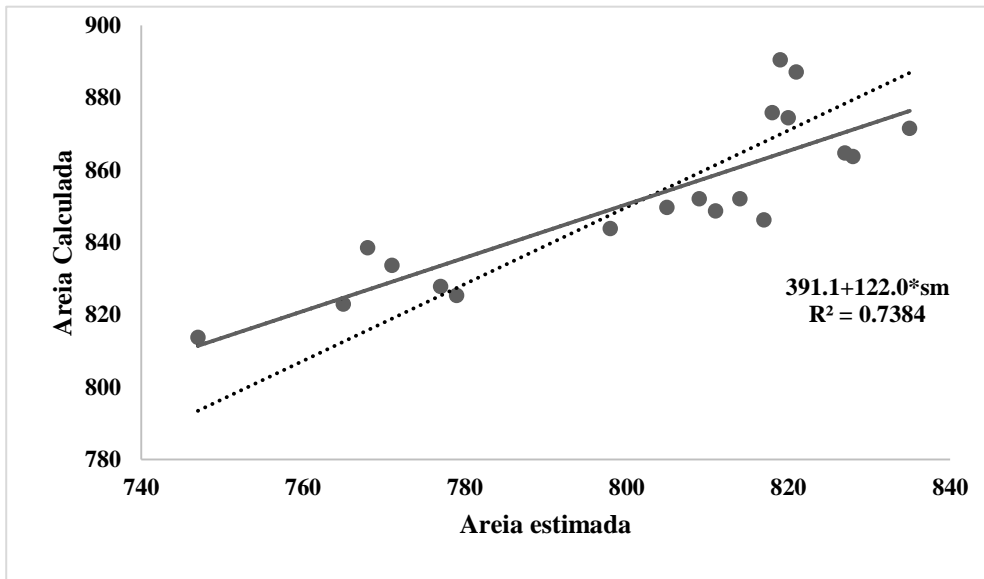


Figura 15. Valores preditos versus valores estimados de areia vs suscetibilidade magnética.

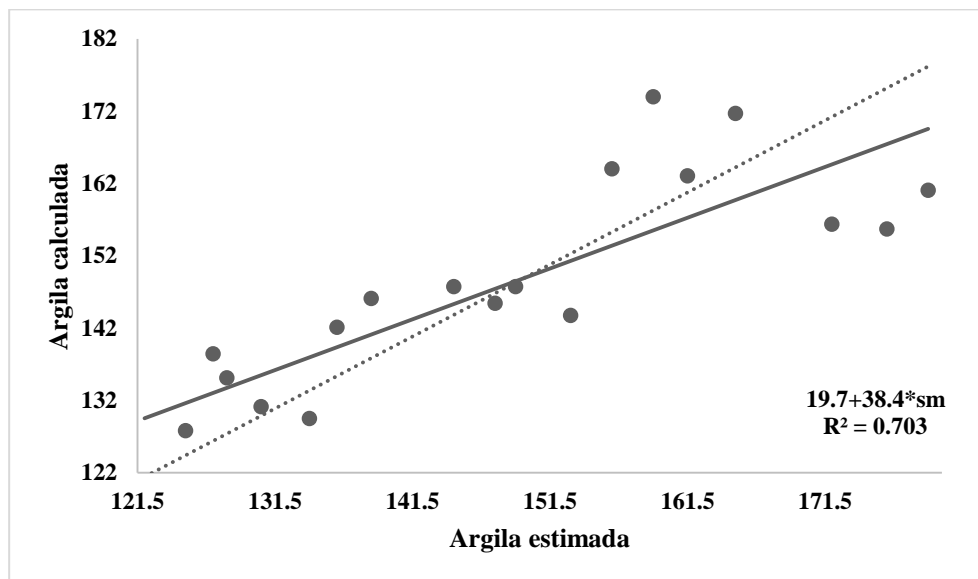


Figura 16. Valores preditos versus valores estimados de argila vs suscetibilidade magnética do solo.

04.CONCLUSÃO

As áreas agrícolas estudadas apresentaram variabilidade espacial de moderada a forte para os atributos químicos e físicos avaliados comprovando que a área do Cerrado não pode ser considerada totalmente como homogênea .

A suscetibilidade magnética se mostrou para área em estudo um bom preditor para os atributos físicos (areia e argila) podendo assim para a seguinte área estimar os atributos granulométricos com o atributo pedoindicador avaliado .

04.REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- AQUINO, R. E.; CAMPOS, M.C.C.; MARQUES JUNIOR, J.; OLIVEIRA, I.A.; TEIXEIRA, D.T.; CUNHA, J.M.; Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in southern amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39 n.21 p.30, 2015
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008.
- BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A.C.; SOUZA, C. M. A Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um latossolo sob diferentes formas do relevo. II - Correlação espacial entre mineralogia e agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.2279-2288, 2008.
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 58, n. 05, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPOS, A. R. **Levantamento dos solos com base na morfometria da sub-bacia hidrográfica do Alto Médio Gurguéia e bacia hidrográfica do Uruçui-Preto, Sul do Piauí**. Dissertação. (Solos e Nutrição de Plantas) 2014 .
- CARVALHO, L.A.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C.A.; CAVALIERI, K.M.V. & SANTOS, C.F.B. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. **Agriambi**, v.15 p.940 .949, 2011.
- CARVALHO, L.C.C; SILVA, F.M.; ARAÚJO, G.; FERRAZ, S.; SILVA, F.C.; STRACIERI, J. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e características agronômicas da cultura do café. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 265-275, . 2013
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p
- CRESSIE, N. Statistics for spatial data. **Chichester**: John Wiley, 1991. 887p.
- DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012

- DEMATTÊ, J.A.M.; GALDOS, M.V.; GUIMARÃES, R.; GENUÍ, A.M.; NANNI, M.R.; ZULLO JUNIOR, J. Quantification of tropical soil attributes from ETM+/Landsat-7 data. **International Journal of Remote Sensing**, v.28, p.3813-3829, 2007.
- DONAGEMA, G.K. et al. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- GAMMA DESIGN SOFTWARE (GDS). *GS+ : Geostatistics for environmental sciences*. 7. ed. Plainwell: GDS, 2004.
- GOLDEN SOFTWARE. *Surfer for Windows: user guide*. Golden: Golden Software, 1997.
- LEÃO, 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 Marisol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.11, p.1152–1159, 2010
- LEMONS FILHO, L. C. A. OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; ANDRADE, L. A.B. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v.39 p.193-202, 2008.
- LIMA, J. A. G.; MENDES, A. M. S.; DUDA, G. P.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um Cambissolo cultivado com mamão no semiárido do RN. **Caatinga**, v.19, p.192-199, 2006.
- MAPA2015- MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO. em: <http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2015/12/faturamento-da-agropecuaria-aumenta-73porcento-em-10-anos>. Acesso em 30 de janeiro as 02.30 de 2016 .
- MARQUES JR., J.; SIQUEIRA, D.S.; CAMARGO, L.A.; TEIXEIRA, D.D.B.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. **Geoderma**. v.219–220 , p. 63–71 2014
- MINITAB Inc. **Release 14 for Windows**, State College, USA, 2003.
- MIQUELONI, D.P. ; GIANELLO , E. M.; BUENO, C. R. P. Variabilidade espacial de atributos e perda de solo na definição de zonas de manejo. **Pesquisa. Agropecuária Tropical** , Goiânia, v. 45, n. 1, p. 18-28, 2015 .
- MOTTA, P.E.F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J.C.; PEREIRA, N.R.; CARVALHO JR, W. & BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.37. p.869-878, 2002.

- PIMENTEL-GOMES F, GARCIA, C.H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba; Fundação Escola de Agricultura Luiz de Queiroz; 2002.
- PINHEIRO-DICK, D.; SCHWERTMANN, U. Microaggregates from Oxisols and Inceptisols: dispersion through selective dissolutions and physico-chemical treatments. **Geoderma**, v.74, p.49-63, 1996.
- PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M.R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; COSTA, J.A. 2012. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.5, p.1591-1600, 2012.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. 2 ed. rev. atual. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo/ Fundação IAC, 1997. p.237-239. (Boletim técnico, 100).
- RIVAS, J.; ORTEGA, B.; SEDOV, S.; SOLLEIRO, E.; SYCHERA, S. Rock magnetism and pedogenic processes in Luvisol profiles: examples from central Russia and central Mexico. **Quaternary International**, v.156 p. 212–223. 2006.
- SANTOS, D.; SOUZA, E.G.; NÓBREGA, L. H. P., BAZZI, C. L.; AFFONSO C. GONÇALVES JÚNIOR, A.C.; Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.16, n.8, p.843–848, 2012
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013.
- SANTOS, H. L.; JÚNIOR, J. M.; MATIAS, S. S. R.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T. Suscetibilidade magnética na identificação de compartimentos da paisagem em uma vertente. **Revista Brasileira Ciência Agrária**. Recife, v.6, n.4, p.710-716, 2011.
- SANTOS, K.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; ALMEIDA, B.G.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; ANDRADE, T.S.; FONTES JÚNIOR, R.V.P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos do vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**; v.16, p.828-35. 2012
- SERRANO, J. M.; PEÇA, J. O.; SILVA, J. R.; SHAHIDIAN, S. Medição e mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo em pastagens. **Revista Ciências Agrárias**, v.33, p.5-14, 2010
- SILVA, S.A.; LIMA, J. S. S. Avaliação da variabilidade do estado nutricional e produtividade de café por meio da análise de componentes principais e geoestatística. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.2, p. 271-277, 2012

- SIQUEIRA, D. S. **Suscetibilidade magnética para a estimativa de atributos do solo e mapeamento de áreas sob cultivo de cana-de-açúcar**. Jaboticabal, Dissertação (mestrado), Universidade Estadual Paulista, 2010. 75p.
- SOUZA, C.K., MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1067-1074, 2003.
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.40, p.48-56, 2009.
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.937-944, 2004.
- VIAN, A.L.; SANTI, A.L.; AMADO T.J.C.; CHERUBIN, M.J.; SIMON, D. H.; JUNIOR M.D. BREDEMEIER, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural**, v.46, n.3, p.464-471, 2016
- VIEIRA, S. R. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 185-195, 2011.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic, 1980. cap. 2, p. 319-344.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M.A.; **Geostatistics for Environmental Scientists**. John Wiley and Sons Ltd, Chichester (2001)
- WU, W.; YIN, S.; LIU, H.; NIU, Y.; BAO, Z.; The geostatistic-based spatial distribution variations of soil salts under long-term wastewater irrigation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.186, p. 6747-6756, 2014
- ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolos sob sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 487-495, 2007.
- ZANÃO JÚNIOR, L. A. LANA, R. M. Q.; ZANÃO, M. P. C.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010.
- ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. Botucatu, 2001. 114f. Tese (Livro-Docência em Levantamento

do solo e fotopedologia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. 2001.

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS ANEXO

FIGURA 01A. Variogramas ajustados a suscetibilidade magnética, potencial de hidrogênio em cloreto de cálcio e cálcio nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50cm.....	69
FIGURA 02.A. Variogramas ajustados a magnésio, fósforo e potássio nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m.....	70
FIGURA 03.A. Variogramas ajustados a CTC efetiva, alumínio e soma de bases nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m.....	71
FIGURA 04.A. Variogramas ajustados a matéria orgânica, acidez e CTC potencial nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m.....	72
FIGURA 05 A. Variogramas ajustados a saturação por bases e hidrogênio nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m.....	73
FIGURA 06.A. Variogramas ajustados a areia grossa, areia fina e areia total nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m.....	74
FIGURA 07.A. Variogramas ajustados a argila, silte e relação silte/argila nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m.....	75
FIGURA 08.A. Variogramas ajustados a diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m.....	76

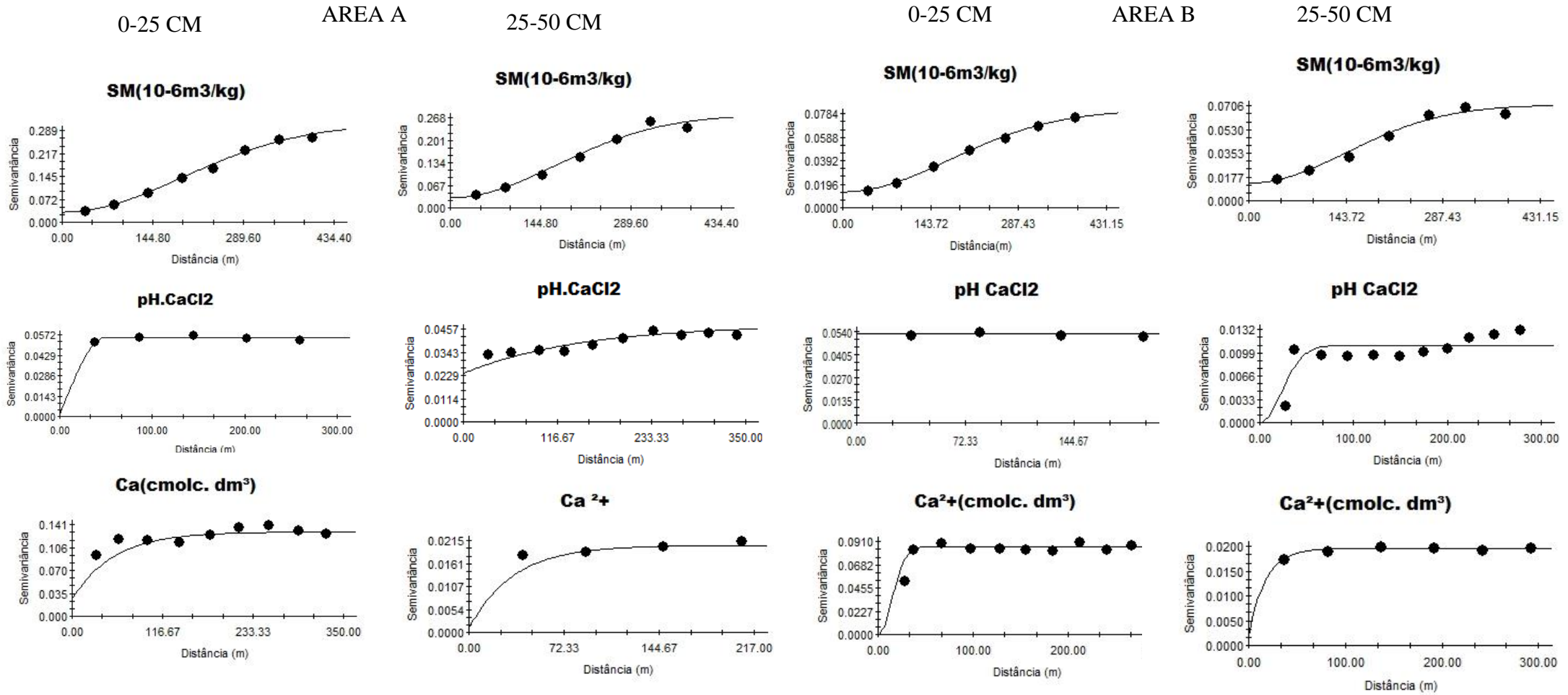


FIGURA 01A. Variogramas ajustados a suscetibilidade magnética, potencial de hidrogênio em cloreto de cálcio e cálcio nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m

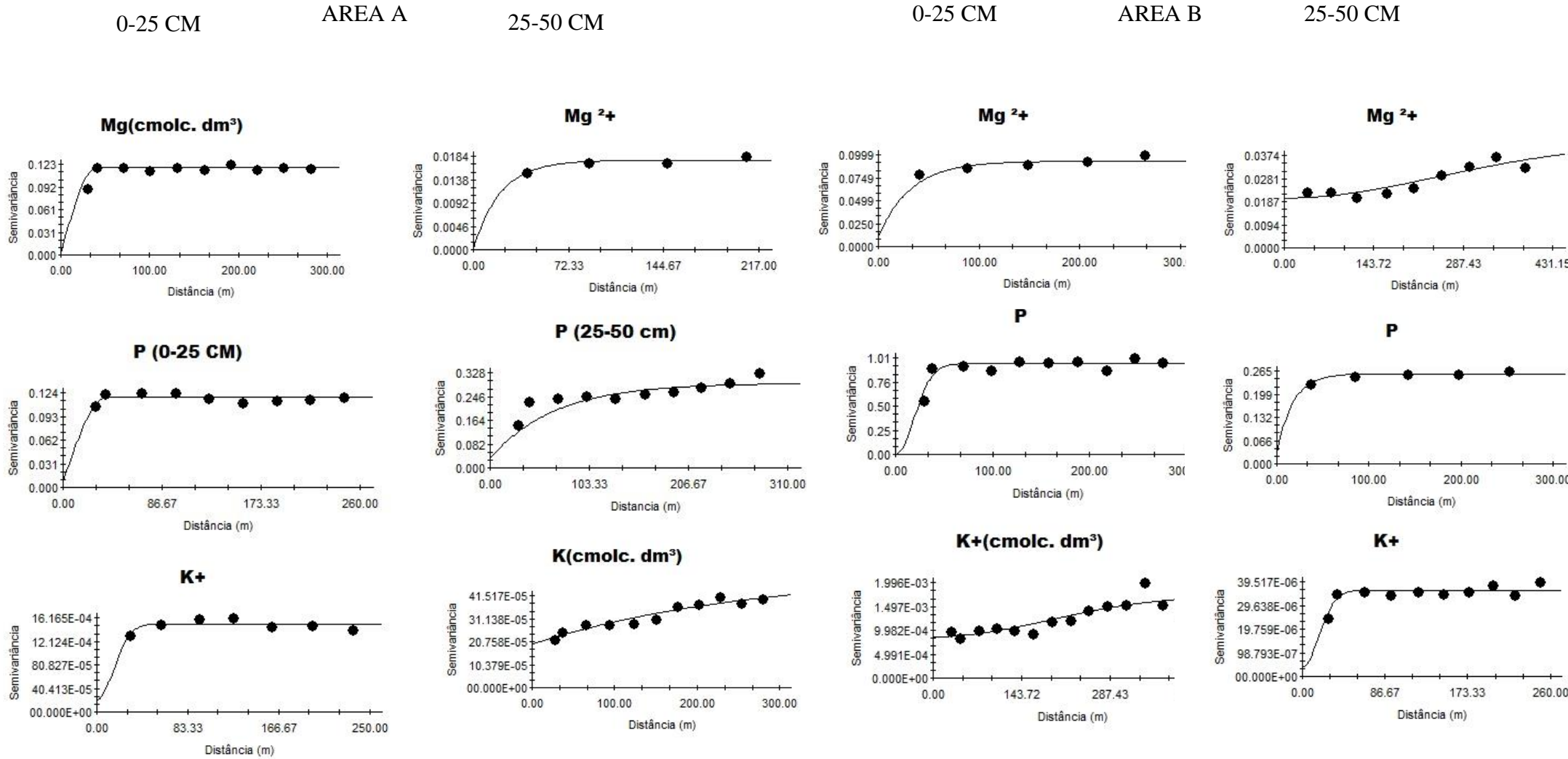


FIGURA 02.A. Variogramas ajustados a magnésio, fósforo e potássio nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m

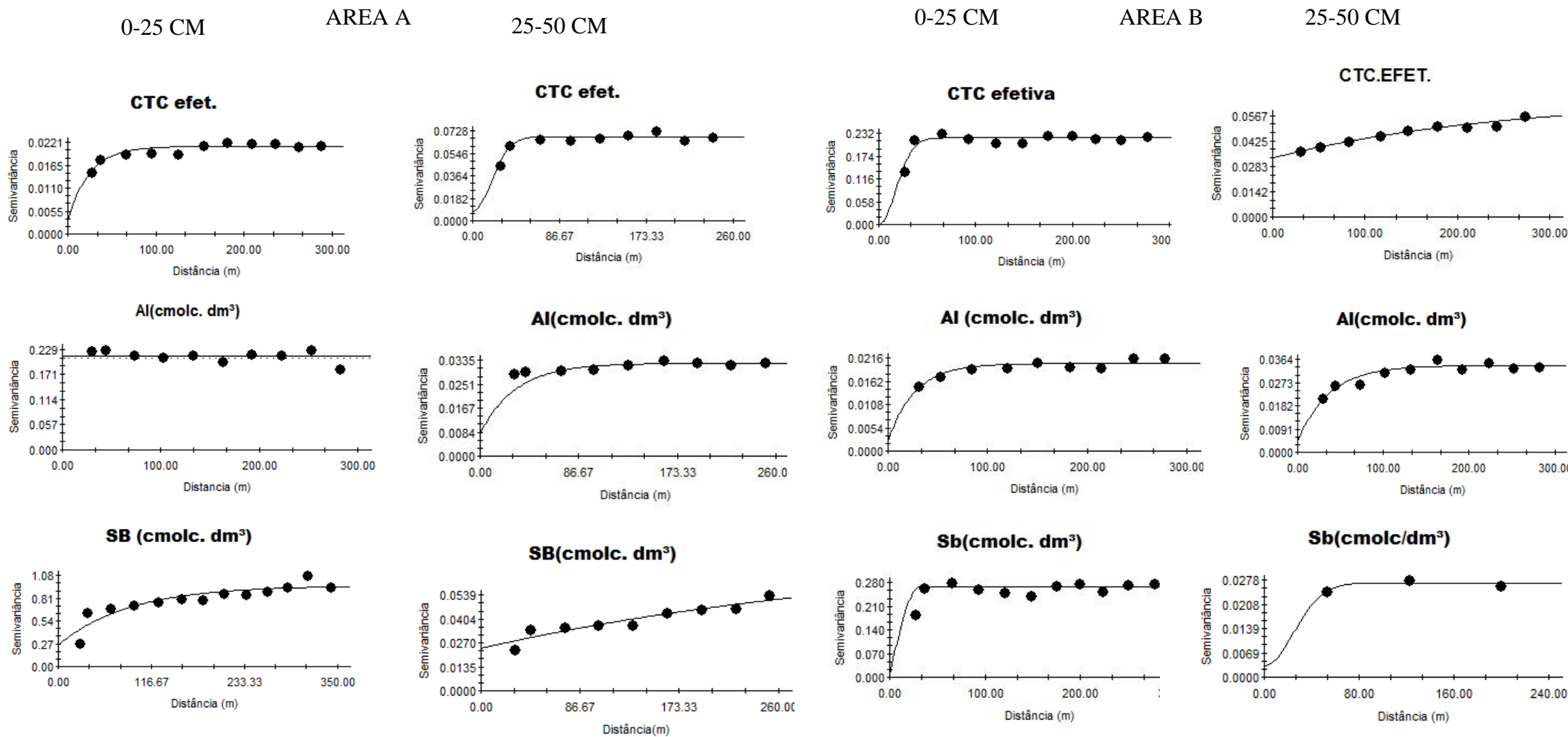


FIGURA 03.A Variogramas ajustados a CTC efetiva, alumínio e soma de bases nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m

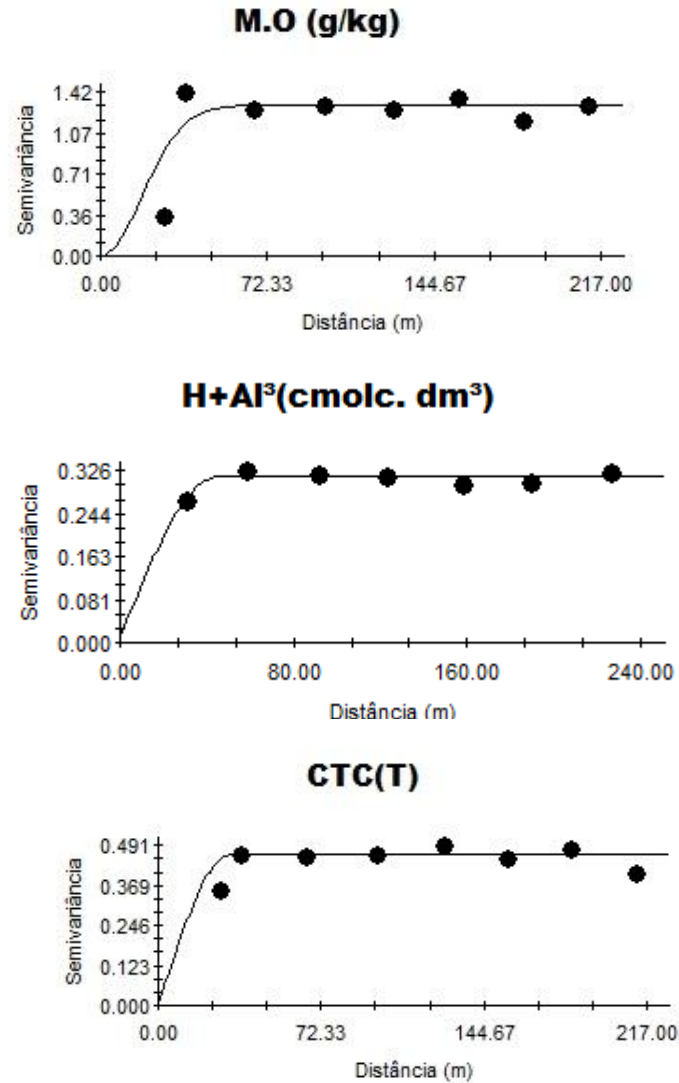
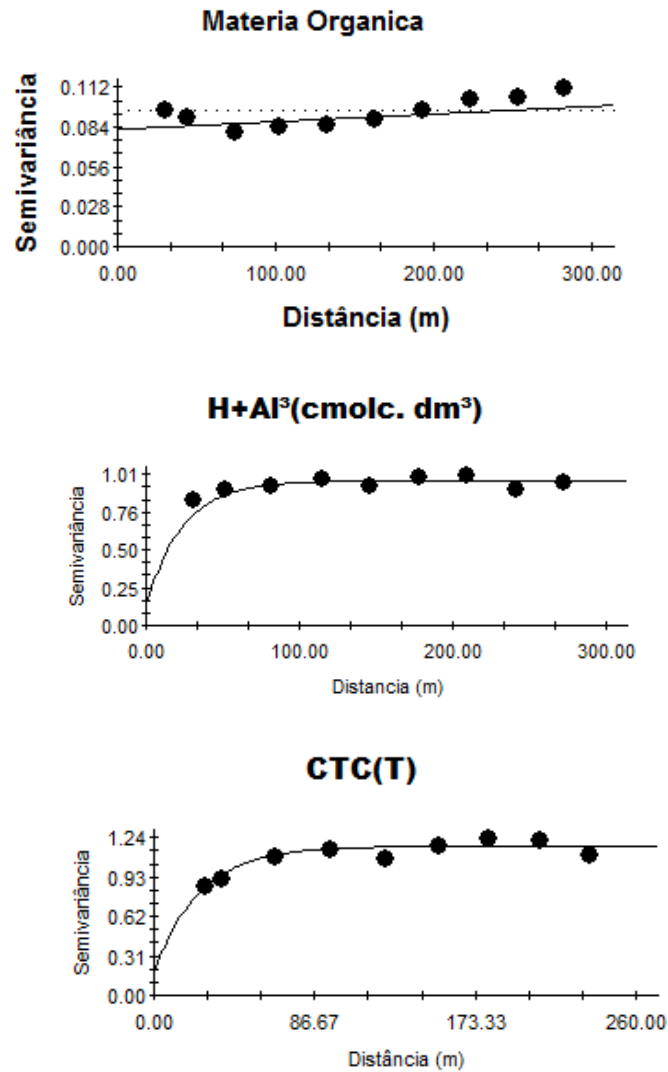


FIGURA 04.A Variogramas ajustados a matéria orgânica, acidez e CTC potencial nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m

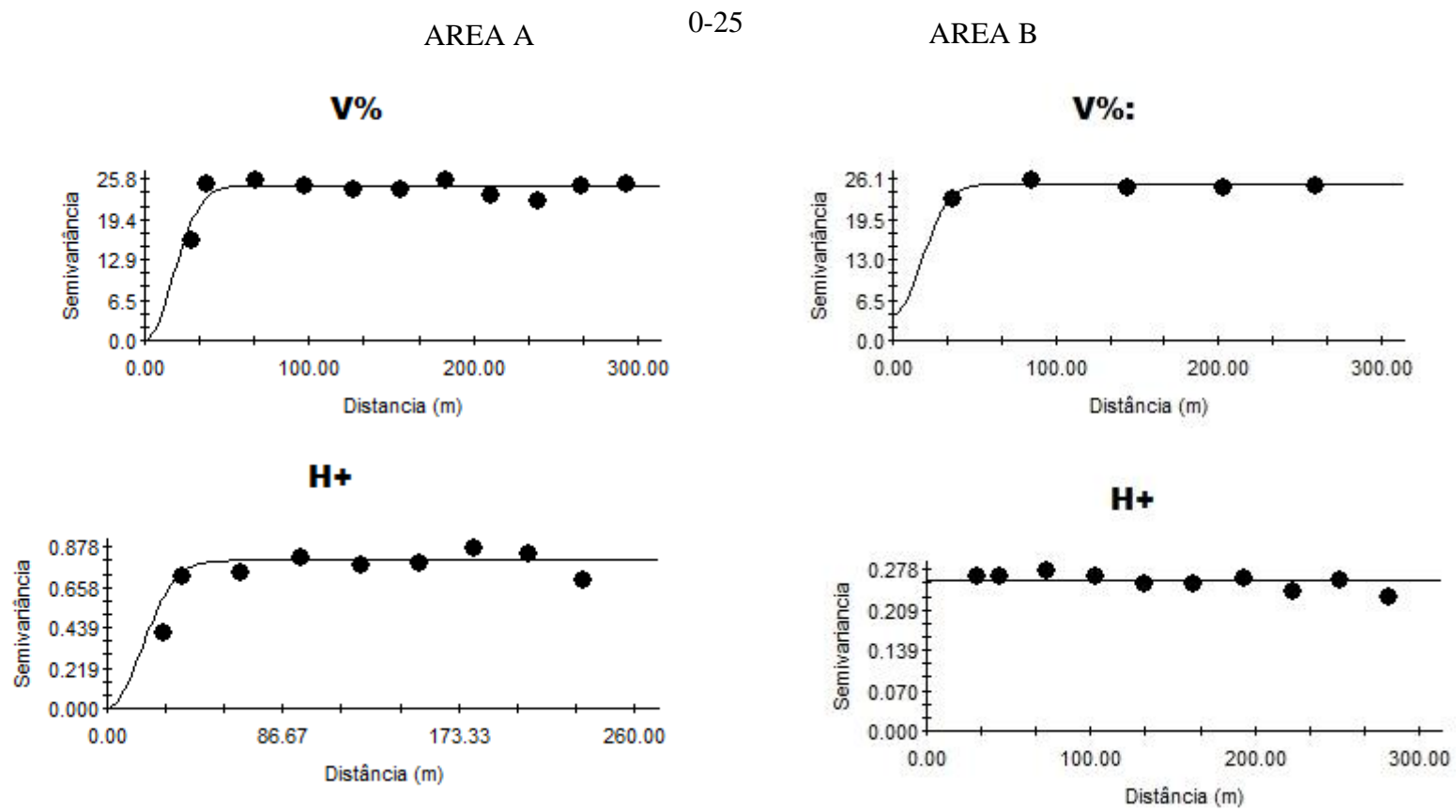


FIGURA 05 A. Variogramas ajustados asaturação por bases e hidrogênio nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50m

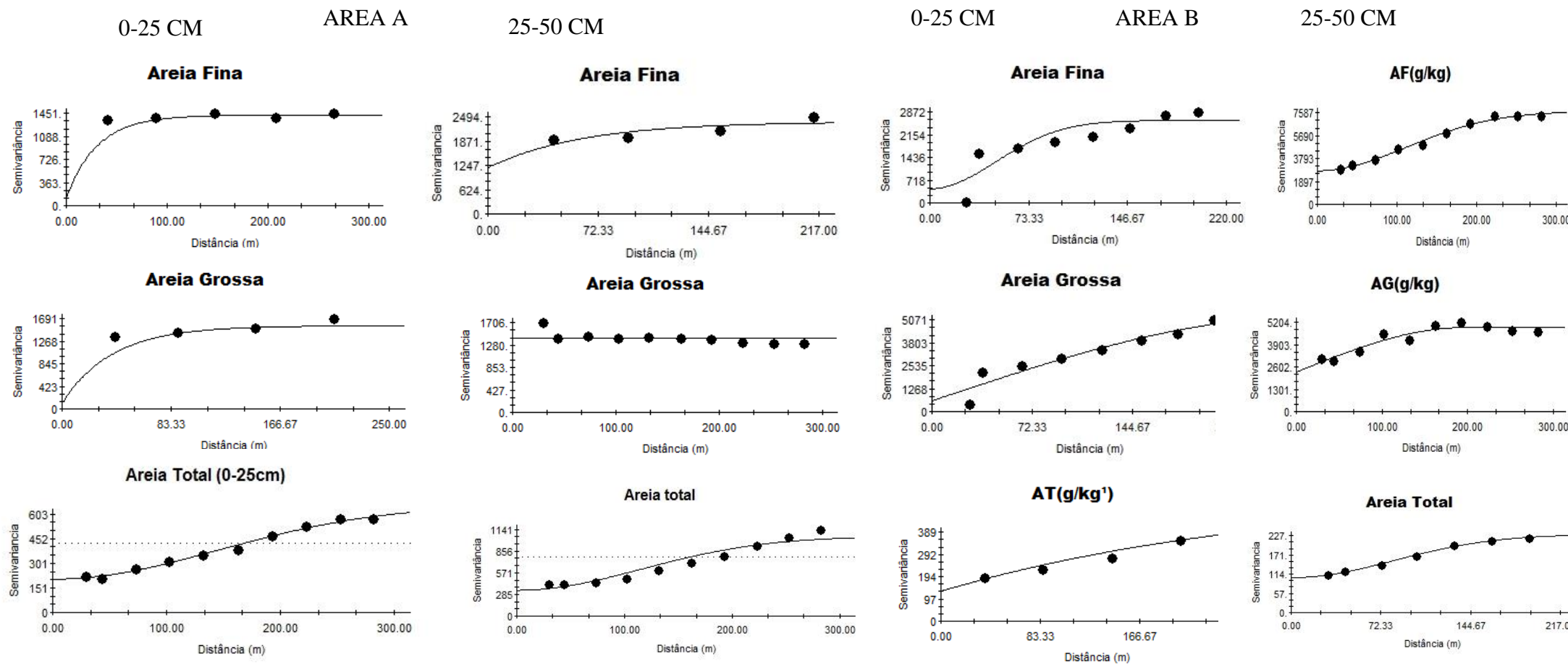


FIGURA 06.A. Variogramas ajustados a areia grossa, areia fina e areia total nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m

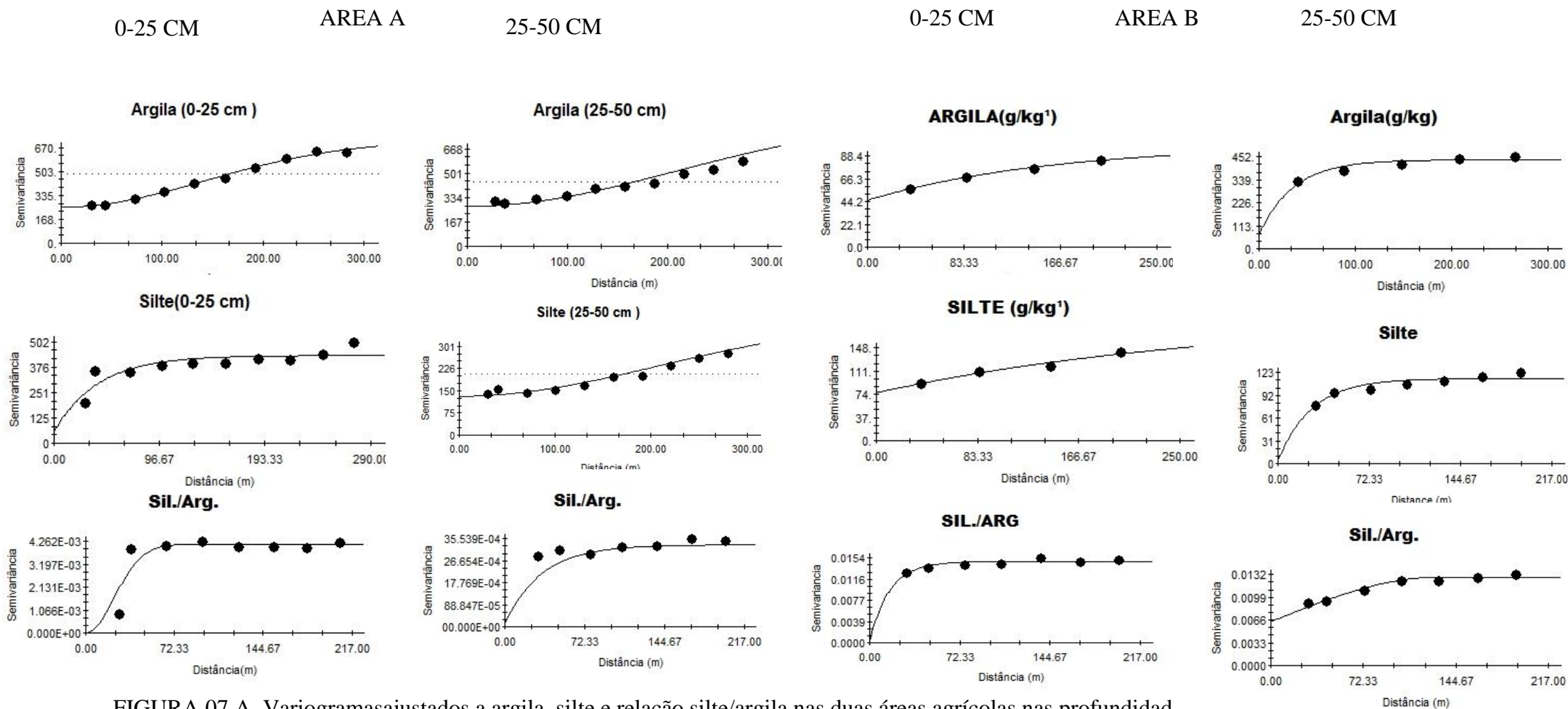


FIGURA 07.A. Variogramasajustados a argila, silte e relação silte/argila nas duas áreas agrícolas nas profundidade m

AREA A

0-25

AREA B

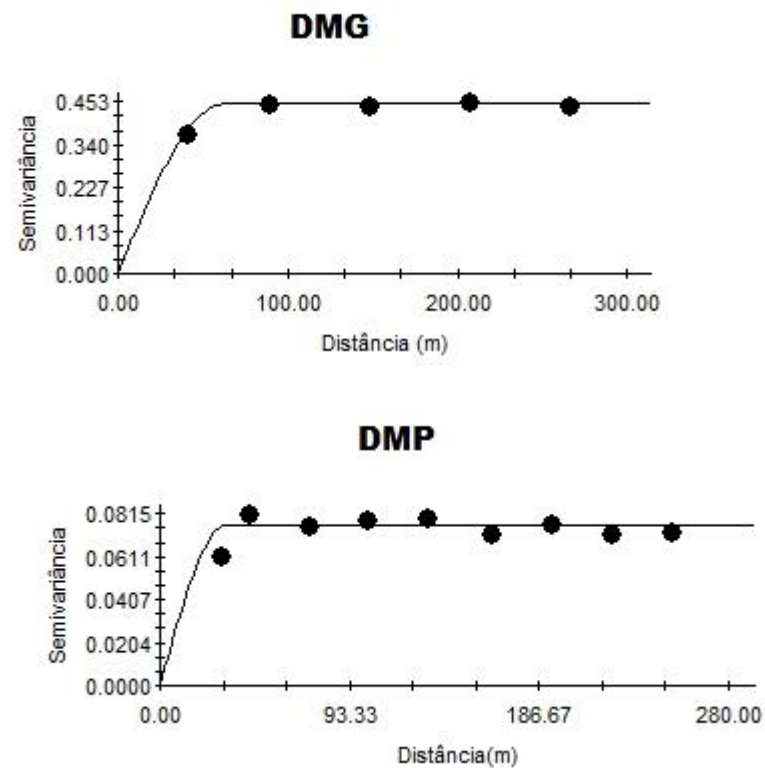
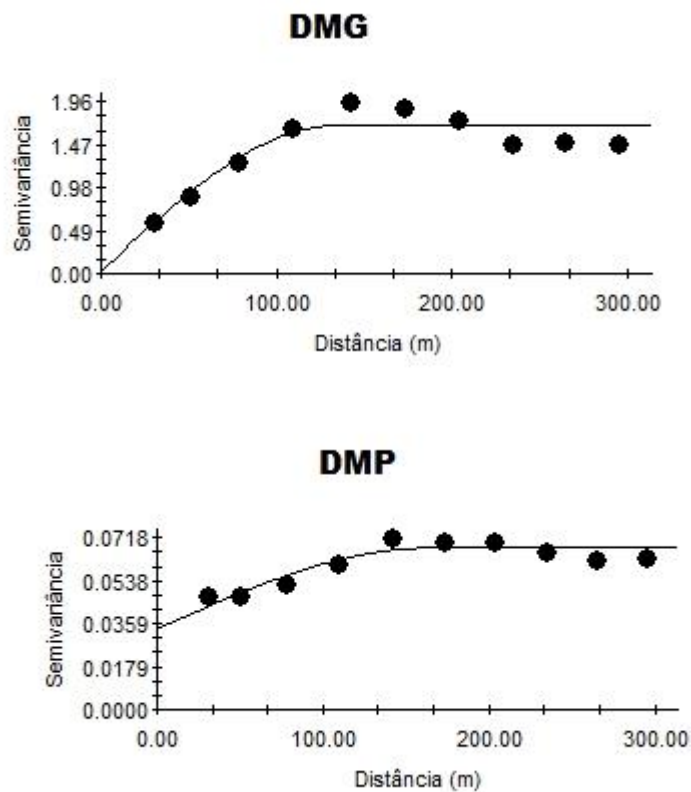


FIGURA 08.A. Variogramas ajustados a diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado nas duas áreas agrícolas nas profundidades de 0,00-0,25 e 0,25-0,50 m