

SALVADOR JORGE MIZIARA NETO

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM
SISTEMAS PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora

Prof^a. Dr^a. Regina Maria Quintão Lana

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

SALVADOR JORGE MIZIARA NETO

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM
SISTEMAS PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 29 de maio de 2017.

Prof.

Prof.

Prof.

Prof^ª. Dr^ª. Regina Maria Quintão Lana
UFU
(Orientadora)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS - BRASIL
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

M685v Miziara Neto, Salvador Jorge, 1969
2017 Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em sistemas
plantio direto e convencional. / Salvador Jorge Miziara Neto. - 2017.
62 p.

Orientadora: Regina Maria Quintão Lana.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Solos - Correção - Teses. 3. Geologia-
Métodos estatísticos - Teses. 4. Solos - Amostragem - Teses. I. Lana,
Regina Maria Quintão. II. Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

SUMÁRIO

	Página
Capítulo 1	3
Introdução Geral.....	3
Referencial Teórico	7
Referências Bibliográficas	10
Capítulo 2 - Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em sistema de plantio convencional	14
Resumo.....	14
Abstract	15
Introdução	16
Material e Métodos	18
Resultados e Discussão	22
Conclusões	33
Referências Bibliográficas	34
Capítulo 3 - Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em sistema de plantio direto	38
Resumo.....	38
Abstract	39
Introdução	40
Material e Métodos	43
Resultados e Discussão	46
Conclusões	58
Referências Bibliográficas	59

RESUMO

MIZIARA NETO, SALVADOR JORGE. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em sistemas de plantio direto e convencional.** 2017. 57p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo é fundamental quando se pensa em uma agricultura mais rentável e ambientalmente sustentável. A heterogeneidade do solo inicia com os processos pedogenéticos, que têm interação direta com os elementos climáticos e os fatores bióticos que vão se sucedendo ao longo do tempo. As amostragens de solo usuais contemplam a coleta de pequeno número de amostras, retiradas na profundidade de 0 – 0,20 m. Estas amostragens produzem resultados insuficientes para proporcionar a correção do solo conforme a variabilidade espacial de suas características. Este trabalho objetivou avaliar a variabilidade dos atributos químicos pH, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (T) e saturação por bases (V%), em duas áreas, sob sistema de plantio convencional (SPC) e direto na palha (SPD), em bioma de cerrado, no município de Uberaba, MG. A área em plantio convencional é irrigada por pivô central, distando 500 m da área em SPD, cultivada em regime de sequeiro. Estabeleceu-se, para cada sistema, um grid de amostragem de 200 x 400 m, com 45 pontos georreferenciados, distantes 50 m entre si. Foram coletadas cinco subamostras em cada ponto, nas profundidades 0 – 0,05, 0,05 – 0,10, 0,10 – 0,15 e 0,15 – 0,20 m. As amostras foram analisadas para determinação dos valores de pH, SB, T e V%. Os dados foram submetidos à estatística descritiva, determinando-se média, mediana, moda, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria, curtose, valores mínimo e máximo e amplitude. A estatística clássica permite avaliar possíveis variações entre os atributos, sem, contudo, considerar a posição espacial dos pontos de amostragem. Com a utilização dos variogramas e da interpolação dos dados, por krigagem, é possível caracterizar a variabilidade espacial dos atributos de um solo e definir a amplitude do domínio de cada amostragem. Através do software GS+, foi avaliada a dependência espacial, por meio do ajuste de semivariogramas, predominando o modelo exponencial, seguido pelo esférico. Os resultados indicaram haver variabilidade espacial dos atributos avaliados, com teores variando entre as classes baixa a alta. Observou-se menor variação vertical dos atributos na área em SPC. Na área sob SPD, a camada de 0 – 0,10 m apresentou maiores teores de todos atributos. Com exceção da saturação por bases, na camada de 0,10 – 0,15 m, no SPD, todas as outras variáveis apresentaram dependência espacial, possibilitando, assim, a confecção dos mapas de krigagem. O alcance da dependência espacial variou entre 51 a 220 m, no SPC, e de 55 m a 155 m no SPD. A utilização das técnicas de geoestatística permitiu um melhor entendimento da dinâmica da variabilidade dos atributos do solo nos sistemas avaliados.

Palavras-chave: amostragem de solo. dependência espacial. Geoestatística. krigagem.

ABSTRACT

¹Orientador: Dr^a Regina Maria Quintão Lana - UFU

MIZIARA NETO, SALVADOR JORGE. **Spatial variability of soil chemical attributes in no-tillage and conventional tillage systems.** 2017. 57p. Uberlândia: UFU Dissertation (Master Program Agronomy/Soil) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.²

The understanding of the spatial variability of soil chemical attributes is crucial when thinking about a more profitable and environmentally sustainable agriculture. Soil heterogeneity begins with the pedogenetic processes, which have direct interaction with the climatic elements and the biotic factors happening over time. The usual soil sampling contemplates the collection of small number of samples, taken at depths of 0 to 0,20 m. These samplings produce insufficient results to provide soil correction, according to the spatial variability of its characteristics. This study aimed to evaluate the variability of the chemical attributes pH, cation exchange capacity (CEC), sum of bases (SB) and base saturation percentage (BS%), in two areas, under conventional and no-tillage planting systems, in Brazilian Cerrado biome, located in Uberaba, MG. The area in conventional tillage is irrigated by center pivot, 500 m away from the no-till area, cultivated under rainfed conditions. A sampling grid of 200 x 400 m was established for each system, with 45 georeferenced points, 50 m apart each other. Five subsamples were collected at each point, at depths 0 – 0,05, 0,05 – 0,10, 0,10 – 0,15 and 0,15 – 0,20 m. The samples were analyzed for pH, SB, CEC and BS% values. Data were submitted to descriptive statistics, determining mean, median, mode, standard deviation, coefficient of variation, asymmetry, kurtosis, minimum and maximum values and skewness. The classical statistics allowed to evaluate possible variations among the attributes, without, however, consider the spatial position of the sampling points. With the use of variograms and data interpolation, by kriging, it is possible to characterize the spatial variability of the soil attributes and define the domain amplitude of each sampling. By GS + software, the spatial dependence was evaluated by adjusting semivariograms, prevailing the exponential model, followed by spherical. Results indicated spatial variability of the evaluated attributes, with levels varying from low to high classes. In the no-till area lower vertical variation of the attributes was observed. Horizontal variability was significant, with spatial dependence occurring for all variables. In the no tillage area, layer 0 – 0,10 m presented higher levels of all attributes. Except for the attribute BS%, from layer 0,10 – 0,15 m in no-tillage system, all other variables showed spatial dependence, thus enabling the creation of kriging maps. The spatial dependence range varied from 51 m to 220 m in conventional system and from 55 m to 155 m in no tillage system. The use of geostatistical techniques allowed a better understanding of soil attributes variability dynamics in the studied systems.

Keywords: soil sampling. spatial dependence. geostatistics. kriging.

²Major Professor: Dr^a Regina Maria Quintão Lana - UFU

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

O aumento da produção de alimentos, fibras e bioenergia é um grande objetivo a ser alcançado em escala mundial. De acordo com informações da FAO (*Food and Agriculture Organization*), espera-se que a população mundial alcance, até 2050, cerca de 9 bilhões de habitantes. A FAO (2015) estima que, no ritmo atual de consumo, em 2050, serão necessários 60% a mais de comida e 50% a mais de energia para suprir a demanda do planeta.

Nesse cenário, o Brasil se apresenta, segundo Nassar (2015), como um dos poucos países do mundo com possibilidades de incremento de área plantada, aumentando a produção e a produtividade. Porém, conforme mencionado por Casarin (2012), deve-se ressaltar que a elevação da produção decorrerá muito mais dos ganhos em eficiência produtiva do que do aumento de área plantada, considerando que os rendimentos agrícolas médios no Brasil ainda estão aquém dos potenciais produtivos das culturas.

De acordo com Raij (2011), o Brasil, devido às suas características climáticas, tem potencial agrícola muito grande, contudo apresenta vastas áreas agricultáveis com reduzido teor de nutrientes, baixo pH e presença de alumínio trocável. Dessa forma, torna-se primordial a utilização de corretivos de solo e fertilizantes, de forma a atender a demanda nutricional das culturas.

Casarin (2012) cita que a utilização de fertilizantes é responsável por cerca de 50% da produção de alimentos no mundo. O uso de fertilizantes e, principalmente, o seu emprego de forma racional, é fator preponderante para o aumento da produção de alimentos e da eficiência agrícola, contribuindo para a preservação dos recursos naturais e proporcionando sustentabilidade ambiental e financeira aos sistemas de produção agropecuária. De acordo com Zanão Júnior et al. (2010), ainda predomina na agricultura brasileira a aplicação de fertilizantes considerando-se extensas áreas como se fossem homogêneas, recomendando-se doses de adubos de acordo com a fertilidade média da área.

O solo, corpo tridimensional formado pela ação de diferentes processos, apresenta variação de suas características (TREVISAN et al., 2008). Recurso natural básico e fundamental de qualquer sistema de produção agrícola, por maior

homogeneidade que o relevo, vegetação, textura e cor possam sugerir, o solo apresenta variações em seus atributos físicos, químicos e biológicos, ainda que sejam amostrados pontos relativamente próximos (CAON, 2012). Albuquerque et al. (1996) comentam que, como os processos pedogenéticos ocorrem sob a ação de diferentes fatores e intensidades ao longo do tempo, os solos naturalmente se formam em condições de heterogeneidade espacial.

De acordo com Molin e Frasson (2006), quando se busca racionalizar o manejo das culturas e do solo, é essencial o estudo das interações entre produtividade, atributos do solo e do relevo, ou seja, avaliar as principais limitações à produção de determinada área ou região, desta forma reduzindo a degradação química e conservando os atributos físicos do solo, objetivando, assim, a máxima produtividade sustentável.

Em relação aos atributos químicos, as variações ou heterogeneidades são comuns em solos cultivados e não são devidamente corrigidas pelos métodos tradicionais de amostragem, que não contemplam a variabilidade espacial da fertilidade. As análises resultantes dessas amostragens são, dessa forma, insuficientes para proporcionar a correção do solo conforme a variabilidade espacial de suas características. As recomendações de corretivos e fertilizantes a partir dos resultados dessas análises indicam, sempre, doses homogêneas de insumos, em certos casos, para áreas de grande extensão, interferindo no potencial produtivo das culturas, reduzindo a lucratividade do agricultor e contribuindo para o desequilíbrio ambiental (CAON, 2012).

No intuito de estabelecer recomendações mais exatas dos mais diversos insumos agrícolas, para aplicação nas doses adequadas, orientadas em função da variabilidade espacial existente nas áreas agrícolas, surge a Agricultura de Precisão (AP). Data de 1929, nos Estados Unidos da América, um dos primeiros trabalhos publicados na literatura abordando técnicas de agricultura de precisão (STAFFORD, 2000).

Mesmo na ausência de todo o aparato tecnológico hoje disponível na agricultura, a utilização de técnicas de amostragem de solo baseadas na heterogeneidade espacial da fertilidade permitiu, já nessa primeira metade do século XX, que produtores economizassem na aquisição de calcário, através da medição do pH em pontos previamente alocados dentro da área de cultivo (LINSLEY; BAUER, 1929). Esses autores perceberam, em campos experimentais de trevo forrageiro (*Trifolium* spp.) e alfafa (*Medicago sativa* L.), a ocorrência de grande variabilidade no desenvolvimento das plantas e no rendimento de forragem em glebas aparentemente uniformes quanto às características gerais do solo. Analisando individualmente o pH de cada um destes

pontos, concluíram haver significativa variação na acidez do solo, cuja correção não ocorria de forma satisfatória pelas aplicações de calcário baseadas na amostragem de alguns pontos do terreno (sub-amostras), para composição de uma única amostra composta, representativa de talhões de extensão variável, chegando, em alguns casos, a mais de 100 hectares.

A AP vem sendo amplamente adotada no manejo localizado da fertilidade do solo, já que explora a variabilidade espacial do terreno através da amostragem dos solos em diferentes pontos, formando, assim, grades de amostragem, onde cada ponto amostrado é georreferenciado (BOTTEGA et al., 2013). Reduzir gastos com possíveis superdosagens, que podem trazer danos à cultura e ao meio ambiente, minimizar perdas de rendimento, por super ou subdosagens, limitando a expressão do potencial produtivo das culturas, e explorar mais intensamente porções do terreno com maior capacidade de produção são as expectativas a serem atendidas com o uso da AP (RAGAGNIN et al. 2010).

De acordo com Fritsch et al. (2016), levando-se em consideração as heterogeneidades do solo, as técnicas de AP podem conferir recomendações de corretivos e fertilizantes mais racionais tecnicamente e proporcionando maiores probabilidades de resposta em ganhos de produtividade das culturas.

Considerando a variabilidade de fertilidade do solo, a AP permite recomendações de corretivos e fertilizantes tecnicamente mais racionais, proporcionando maior probabilidade de resposta no aumento da produtividade, assim como que se evite o desperdício, pela aplicação excessiva de insumos.

Contudo, as amostragens costumeiramente realizadas, sem estratificação, de uma determinada camada de solo (e.g., 0 – 0,20 m) podem omitir a ocorrência de possíveis variações verticais, ao longo do perfil, já que as diferentes práticas de manejo do solo podem modificar, em maior ou menor intensidade, as suas características químicas.

A estatística clássica permite avaliar possíveis variações entre os atributos, sem, contudo, considerar a posição espacial em que foi feita a coleta. É de grande relevância o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo, já que, assim, será possível buscar alternativas mais adequadas de manejo do solo a fim de minimizar os possíveis efeitos dessa variabilidade nas produtividades das culturas (GUEDES FILHO, 2009).

A geoestatística, técnica surgida na África do Sul, em 1951, fundamenta-se na teoria segundo a qual os valores medidos em determinado local, devem estar, de alguma

forma, em concordância com a sua distribuição espacial. Assim sendo, as observações tomadas a curtas distâncias devem ser mais semelhantes do que aquelas tomadas a distâncias maiores (VIEIRA et al., 2002). Com a análise geoestatística é possível organizar os dados disponíveis espacialmente de acordo com a semelhança entre pontos vizinhos georreferenciados, por meio dos semivariogramas. Assim, com a utilização dos variogramas e da interpolação dos dados, pela krigagem, é possível caracterizar a variabilidade espacial dos atributos de um solo e definir o nível da dependência no espaço amostral de cada um, definindo, ainda, a amplitude do domínio de cada amostragem.

Considerando os diferentes métodos de manejo de solo adotados nos sistemas de semeadura convencional (SPC) e semeadura direta na palha (SPD), espera-se maior variabilidade vertical, principalmente nas áreas de plantio direto, onde as práticas de calagem, gessagem e adubação são realizadas na superfície do solo, sem que haja o seu revolvimento.

Este trabalho objetivou:

- Avaliar o nível de variabilidade espacial, em diferentes profundidades, dos atributos pH, SB, T e V, nos sistemas de manejo de solo SPC e SPD, em área de cerrado.
- Elaborar os mapas de krigagem dos atributos em cada profundidade, nos dois sistemas de manejo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O solo, por ser um corpo natural, tridimensional, formado pela ação de vários fatores e processos, apresenta ampla variação de suas características nos sentidos vertical e horizontal, ao longo da paisagem. Esta variabilidade espacial dos atributos do solo pode ser quantificada e registrada (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010). As características analisadas e descritas no perfil do solo, seção vertical, se estendem da superfície ao material de origem com extensão vertical suficiente para observar a variação das características.

Mattioni et al. (2013) enfatizam que a variabilidade espacial dos solos, sua heterogeneidade, tanto vertical como horizontal, ocorre pelo motivo que o próprio material de origem não é uniforme em toda sua extensão, fazendo com que haja variação espacial e contínua dos atributos do solo.

Essa variabilidade do solo normalmente apresenta dependência espacial, ou seja, não ocorre de forma meramente aleatória, podendo ser ocasionada por diversos fatores, como indicado em vários estudos, por erosão das chuvas (VIEIRA; LOMBARDI NETO, 1995); sistemas de preparo do solo (SILVEIRA et al., 2000; CARVALHO et al., 2002), tipo de vegetação e relevo (LIMA et al. 2010; NEVES NETO et al., 2013; MELLO et al. 2006) e corretivos (SOUZA et al., 2012).

O estudo da variabilidade espacial de atributos do solo possibilita conhecer a variação e o comportamento destes no ambiente. Estes estudos podem ser realizados em grandes áreas, abrangendo diversos tipos de solo (ALBUQUERQUE et al. 1996; OLIVEIRA et al., 1999; SCHLLINDWEIN, ANGHINONI, 2000; SILVA et al., 2003) e em áreas menores, desde que haja adequada malha amostral. Tais estudos são importantes não apenas em amostragens ou interpretação dos dados, mas também auxiliam o levantamento e classificação de solos (NOVAES FILHO et al., 2007).

A espacialização de atributos do solo envolvidos no processo de produção agrícola, em extensas áreas, pode ser relativamente elevada (SOUZA et al. 2004). Dessa forma, o seu conhecimento pode contribuir para a redução de custos nos sistemas de produção (SIQUEIRA, 2006), pois a análise geoestatística pode indicar alternativas de manejo não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo na produção das culturas, mas também para aumentar a possibilidade de se estimar as respostas do solo em função das práticas de manejo adotadas (TRANGMAR et al. 1985).

Para Cavalcanti et al. (2007) o conhecimento dessa variabilidade é importante passo para empregar um manejo mais adequado, considerando estratégias de amostragem, aplicação de corretivos e fertilizantes, além de planejamento de delineamento de pesquisa em campo.

Souza et al. (2004) sublinham que os atributos químicos do solo, após sofrerem sucessivas alterações provocadas pelas atividades agrícolas e, conseqüentemente, pelos processos erosivos, comportam-se de forma bastante diferenciada ao longo da paisagem. Em sistemas de cultivo tecnificados, é essencial ter o conhecimento da variabilidade espacial de atributos químicos, o que poderá contribuir para a redução de custos e dos impactos ambientais nos sistemas de produção (ALBUQUERQUE et al. 1996).

Yanai et al. (2001) definiram a capacidade de troca catiônica (CTC), pH, carbono total, N total, relação C/N, P disponível, N inorgânico, N mineralizável, Ca, Mg, K e Na em 100 amostras de solo coletadas em área cultivada com arroz. Neste estudo, verificaram dependência espacial dos atributos, variando entre 0,20 – 0,60 m. Os intervalos de dependência espacial foram de cerca de 20 – 30 m para o pH, CTC, C total, N total e Na, cerca de 40 m para o P disponível, N mineralizável, Ca e Mg e cerca de 50 – 60 m para a relação C/N e teor de K.

Souza et al. (1997), determinando a variabilidade dos atributos físicos e químicos em pomar cítrico em Latossolo Amarelo, em 50 pontos espaçados de 4 m, verificaram que, com exceção da saturação por bases (V) e Al, os demais atributos mostraram dependência espacial, com alcance variando de 18 m (areia total e argila) a 59 m (matéria orgânica, cálcio, magnésio, Ca + Mg e soma de bases - SB).

Cavalcanti et al. (2007) avaliaram a variabilidade espacial de um Latossolo Vermelho, sob diferentes usos e manejos. Foram amostrados 64 pontos em intervalos de 2 m, nas profundidades de 0,0 – 0,1 e 0,1 – 0,2 m, em áreas de vegetação natural (Cerrado), SPD, SPC e pastagem. As maiores variabilidades, medidas por meio do coeficiente de variação (CV), foram observadas para K, Mg e Ca; o pH apresentou o menor CV nos diferentes usos e manejos do solo, e a saturação de bases, CV médio.

O CV deve ser utilizado como parâmetro para validar os valores médios encontrados, uma vez que, segundo Vanni (1998), CV acima de 35% revela que a média tem pouco significado e valores maiores que 65% refletem série de dados muito heterogênea, anulando a confiabilidade da média. Contudo, se for menor que 35%, a

série é homogênea e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida.

Kleper e Anghinoni (1995) entendem que a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo aumenta com a adoção do SPD, no sentido horizontal, pela distribuição irregular na superfície do solo e, no sentido vertical, pelas diferenças nos teores de uma camada mais superficial em relação às mais profundas.

Eltz et al. (1989) consideram que o sistema de cultivo convencional, por mobilizar mais intensivamente o solo, proporciona distribuição mais uniforme de nutrientes, principalmente na camada arável.

No sistema convencional de preparo do solo, o manejo da fertilidade envolvendo a aplicação de corretivos e fertilizantes, é facilitado, uma vez que as operações de aração e gradagem promovem a mistura desses insumos na camada superficial do solo (normalmente, 0 – 0,20 m). Porém, no SPD, há acúmulo dos resíduos das culturas na superfície, pelo não revolvimento do solo, formando um “*mulch*”. Este “*mulch*” tem contribuído, nessas condições, para melhorar a conservação do solo e a estabilidade dos agregados e reduzir sua temperatura (SIDIRAS; PAVAN, 1986).

Os efeitos do “*mulch*” nos principais parâmetros da fertilidade resumem-se em acúmulo superficial de carbono orgânico total, aumentos da CTC, da SB e dos teores de P na camada superficial do solo, devido à ciclagem de nutrientes.

Sidiras e Pavan (1985) e Rheinheimer et al. (1998) afirmam que o não-revolvimento do solo no SPD e o consequente acúmulo de resíduos vegetais, corretivos e fertilizantes na sua superfície promovem alterações nas características químicas do solo em relação ao SPC. Estas modificações ocorrem de forma gradual e progressiva a partir da superfície do solo, e afetam tanto a disponibilidade de nutrientes quanto o processo da acidificação do solo.

Os diferentes sistemas de preparo do solo visam oferecer condições físicas, químicas e biológicas adequadas para o crescimento, desenvolvimento e consequentemente a produtividade das culturas (FREITAS, 2005).

3 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E. Variabilidade de solo e planta em podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 1, p.151-157, 1996.

BOTTEGA, E.L. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, [S. I.] v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.

CAON, D. **Espacialização e mapeamento da fertilidade em diferentes camadas do solo e densidades amostrais**. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2012.

CARVALHO, J.E.B. et al. Leguminosa no controle integrado de plantas daninhas para aumentar a produtividade de laranja Pêra. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, p. 82-85, 2002.

CASARIN, V. Produção de alimentos: o desafio do século. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n. 139, p. 24, set. 2012.

CAVALCANTE, E.G.S. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1329-1339, 2007.

ELTZ, F.L.P. et al. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas Propriedades físicas e químicas de um Latossolo brunoálico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.13, p.259- 267, 1989.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. jan. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/fao-se-o-atual-ritmo-de-consumo-continuar-em-2050-mundo-precisara-de-60-mais-alimentos-e-40-mais-agua/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

FREITAS, P.L. **Sistema plantio direto**: conceitos, adoções e fatores limitantes. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2005. 9 p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 31).

FRITSCH, T. A. et al. Aplicação de Calcário com o auxílio da agricultura de precisão. In: SEAGRO, 10, 2016. Centro Universitário Assis Gurgacz, 2016. **Anais...** Cascavel, 2016. p. 65-68.

GUEDES FILHO, O. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, Campinas-SP, 2009.

KLEPER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 19, p. 395-401, 1995.

- LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, p.127-136, 2010.
- LINSLEY, C. M.; BAUER, F. C. Test your soil for acidity. College of Agriculture and Agricultural Experiment Station, **University of Illinois**, 1929. (Circular 346).
- MATTIONI, N. M.; SCHUCH, L.O.B.; VILLELA, F.A. Variabilidade espacial e efeito de atributos químicos de um Latossolo na população de plantas e produtividade da cultura da soja. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, V.19, n.1, p. 20-32. 2013.
- MELLO, G.; BUENO, C.R.P.; PEREIRA, G.T.. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 294-305, 2006.
- MOLIN, J. P.; FRASSON, F. R. Análise da variabilidade espacial da produção de soja utilizando recursos do software R. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2006, São Pedro-SP, ESALQ-USP, 2006.
- NASSAR, A. **Potencial agrícola coloca Brasil à frente da segurança alimentar no mundo**. 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2015/12/potencial-agricola-coloca-brasil-a-frente-da-seguranca-alimentar-no-mundo>>. Acesso em: 01 out. 2016.
- NEVES NETO, D. N. et al. Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, p. 995-1004, 2013.
- NOVAES FILHO, J.P. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia meridional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 91-100, jan./fev. 2007.
- OLIVEIRA, J.J. et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 783-789, 1999.
- RAGAGNIN, V. A.; SENA JUNIOR, D. G.; SILVEIRA NETO, A. N. Recomendação de calagem a taxa variada sob diferentes intensidades de amostragem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 600-607, 2010.
- RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011, 420p.
- RHEINHEIMER, D. S. et al. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 713-721, 1998.

- SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade espacial de atributos de fertilidade e amostragem de solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24:85-91, 2000.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 249-254, 1985.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo na temperatura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 181-184, 1986.
- SILVA, V.R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, nov./dez. 2003.
- SILVEIRA, P.M. et al. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2057-2064, 2000.
- SIQUEIRA, G. M. **Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos**. 2006. 182f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agrônomo-IAC, Campinas. 2006.
- SOUZA, F.R. et al. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1717-1732, set./out. 2012.
- SOUZA, L. da S.; COGO, N.P.; VIEIRA, S.R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, 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 cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, 2004, p. 937-944.
- STAFFORD, J. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Ampthill, v. 76, n. 3, p. 267-275, 2000.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geoestatísticas to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, n. 2, p. 45-94, 1985.
- TREVISAN, L.R. et al. Variabilidade vertical de pH, bases e enxofre em Latossolo vermelho cultivado sob sistema plantio direto e cultivo mínimo. **Revista Horizonte Científico**, Uberlândia, v. 2, n.1, out. 2008.
- VANNI, S. M. **Modelos de regressão: estatística aplicada**. São Paulo: Legmar Informática, 1998. 177p.
- VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 54, n. 2, p.405-412, 1995.

VIEIRA, S.R. et al. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, J.M. (eds.) **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 1-45.

YANAI, J. et al.. Geostatistical analysis of soil chemical properties and rice yield in a paddy field and application to the analysis os yield-determining factors. **Soil Science and Plant Nutrition**, The Hague, v.47, n.2, p.291-301, 2001.

ZANÃO JÚNIOR, L.A. et al. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em Latossolos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p. 389 – 400, jan., 2010.

CAPÍTULO 2 - VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO CONVENCIONAL

RESUMO

MIZIARA NETO, SALVADOR JORGE. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em sistema de plantio convencional**. 2017. 57p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.³

O revolvimento intensivo do solo, principal característica do sistema de plantio convencional, promove a incorporação de resíduos vegetais, corretivos e fertilizantes, possibilitando distribuição mais homogênea desses elementos no corpo tridimensional do solo. A agricultura de precisão fundamenta-se no fato de que as variabilidades espaciais e temporais influenciam no desenvolvimento e rendimento das culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos pH, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (T) e saturação de bases (V%) numa área de lavoura, conduzida sob manejo convencional de preparo do solo (SPC), em região de bioma cerrado, no município de Uberaba, MG. A área, irrigada por pivô central é utilizada na produção de grãos (feijão, milho, soja e trigo) e olerícolas (batata e cebola). Foi demarcada uma grade amostral de 200 x 400 m, com 45 pontos georreferenciados, espaçados 50 m entre si. Foram coletadas cinco subamostras de solo em cada ponto, nas profundidades 0 – 0,05, 0,05 – 0,10, 0,10 – 0,15 e 0,15 – 0,20 m. As amostras foram analisadas para determinação do pH e dos teores de SB, T e V%. Os dados foram submetidos à estatística descritiva, determinando-se média, mediana, moda, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria, curtose, valores mínimo e máximo e amplitude. A estatística clássica permite avaliar possíveis variações entre os atributos, porém não considera a posição espacial do ponto de amostragem. Com a utilização dos variogramas e da interpolação dos dados, pela krigagem, é possível caracterizar a variabilidade espacial dos atributos de um solo e definir a amplitude do domínio de cada ponto de amostragem. Por meio do software GS+ foi avaliada a dependência espacial, pelo ajuste de semivariogramas, predominando o modelo exponencial, seguido pelo esférico. Os resultados indicaram a existência de variabilidade espacial dos atributos avaliados, com teores variando entre as classes baixa a alta. Foi constatada baixa variabilidade vertical entre os atributos, principalmente entre as camadas de 0 – 0,15 m. Para o pH, não foi constatada diferença significativa de 0 até 0,20 m de profundidade. Todos os atributos apresentaram dependência espacial nas quatro camadas de solo avaliadas.

Palavras-chave: capacidade de troca catiônica. revolvimento do solo. semivariogramas.

³Orientador: Dr^a. Regina Maria Quintão Lana - UFU

ABSTRACT

MIZIARA NETO, SALVADOR JORGE. **Spatial variability of soil chemical attributes in conventional tillage system**. 2017. 26p. Uberlândia: UFU, 2004. 57p. Dissertation (Master Program Agronomy/Crop Science) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.⁴

The intensive soil mobilization, main characteristic of conventional planting system, promotes the incorporation of crop residues, limestone and fertilizers, allowing a more homogeneous distribution of these elements in the three-dimensional soil body. Precision agriculture is based on the fact that spatial and temporal variability influences crop development and yield. The objective of this study was to evaluate the spatial variability of chemical attributes pH, sum of bases (SB), cation exchange capacity (CEC) and base saturation percentage (BS%) in a crop area, conducted under conventional tillage system, in Brazilian savannah biome region, in Uberaba, MG. The area, irrigated by central pivot is grown with grain crops (beans, corn, soy and wheat) and vegetables (potatoes and onions). A sampling grid of 200 x 400 m was established, with 45 georeferenced points, 50 m apart. Five subsamples were collected at each point, at depths 0 - 5, 5 - 10, 10 - 15 and 15 - 20 cm. The samples were analyzed for pH, SB, CEC and BS% values. Data were submitted to descriptive statistics, determining mean, median, mode, standard deviation, coefficient of variation, asymmetry, kurtosis, minimum and maximum values and skewness. The classical statistics allows to evaluate possible variations among the attributes, without, however, consider the spatial position of the sampling points. With the use of variograms and data interpolation, by kriging, it is possible to characterize the spatial variability of the soil attributes and define the domain amplitude of each sampling. Spatial dependence of attributes was evaluated with GS+ software, by adjusting semivariograms, prevailing the exponential model, followed by spherical. The results suggested spatial variability of the evaluated attributes, with levels varying between low and high classes. It was observed low vertical variability among all attributes, mainly between layers 0 - 15 cm depth. For pH no significant difference was verified from 0 to 20 cm depth. All attributes presented spatial dependence in the four soil layers evaluated, thus enabling the creation of kriging maps. The spatial dependence range varied from 51 to 220 m. The use of geostatistical techniques allowed a better understanding of soil attributes variability dynamics in the conventional tillage system.

Keywords: cation exchange capacity. semivariograms. soil mobilization.

⁴ Major Professor: Dr^a. Regina Maria Quintão Lana - UFU

1 INTRODUÇÃO

Uma característica do plantio convencional e suas variações é a distribuição mais uniforme dos elementos inorgânicos e orgânicos na camada cultivável, devido às práticas de revolvimento do solo com implementos de corte. Essa distribuição normalmente conduz a teores de nutrientes inferiores aos encontrados em solos submetidos ao plantio direto, notadamente para nitrogênio, fósforo, potássio e carbono, devido à mineralização mais intensa, maior fixação e maiores perdas por erosão (SOUZA, 1992).

Vezzani e Mielniczuk (2009) retratam o solo como um sistema complexo onde sua funcionalidade resulta das interações entre componentes químicos, físicos, biológicos e edafoclimáticas. Por conseguinte, para se obter sucesso na utilização de manejos e intervenções localizadas é fundamental a compreensão das interações multidisciplinares, ou seja, quanto mais atributos se conseguir mensurar e interpretar, melhores serão as chances de sucesso nas tomadas de decisões (SANTI et al., 2012).

A variabilidade espacial dos solos é consequência do processo pedogenético e pode ser demonstrada por resultados dos levantamentos e análises, sendo que os atributos químicos e físicos têm interligações específicas entre si, de tal forma que essas interligações influenciam diretamente sobre o crescimento e o desenvolvimento das culturas (SOUZA et al. 2004). Além da variabilidade natural do solo, as práticas agrícolas (preparo do solo, efeitos residuais de adubos e corretivos, sistemas de manejo adotados, forma de aplicação de insumos, tipo de cultura implantada, entre outros fatores) são causas adicionais de variabilidade, pois o manejo do solo pode afetar as propriedades químicas, físicas, mineralógicas e biológicas, com impacto, sobretudo nas camadas superficiais (CARVALHO et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2009; ROZANE et al., 2011). Logo, o conhecimento desta variação é importante para realizar o levantamento e classificação de solos, para a avaliação de sua fertilidade, para o desenvolvimento de esquemas de amostragem e definir práticas de manejo (SILVA, 2013).

Estudos realizados por diversos autores (SILVEIRA; STONE, 2001; CARBALHO, 2004; ALMEIDA et al., 2005; SANTOS et al., 2008; NUNES et al., 2008; DOURADO et al., 2015) evidenciaram alterações nos teores de matéria orgânica, nitrogênio, alumínio, cátions trocáveis (cálcio, magnésio e potássio) e no pH do solo,

ocasionados pelos diferentes métodos de preparo do solo e sistemas de culturas utilizadas nas lavouras.

Segundo Schlindwein (1999) o processo de preparo convencional do solo provoca uma homogeneização dos nutrientes oriundos da decomposição dos restos culturais na camada mobilizada do solo, bem como, os oriundos da adição dos corretivos e fertilizantes, resultando numa variabilidade menor do que no sistema plantio direto.

Este trabalho objetiva avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo pH, SB, T e V, nas profundidades 0,0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m, em área cultivada sob sistema de plantio convencional (SPC), em região de bioma cerrado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda Guaribas, localizada no município de Uberaba – MG, região denominada Itiguapira, onde predomina o bioma Cerrados. A propriedade apresenta relevo de topografia plana, típico de chapada, com altitude média de 990 m. O clima é do tipo Aw, na classificação de Köppen (1936), tropical úmido com estação seca, com verões quentes, tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, com regime pluviométrico de aproximadamente 1.200 a 1.500 mm ano⁻¹. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013), textura argilosa (600 g kg⁻¹).

A propriedade é utilizada na produção de grãos e olerícolas, apresentando áreas em regime de sequeiro, nas quais adota o sistema de plantio direto, há mais de quinze anos, sendo soja, milho, sorgo e trigo as principais culturas exploradas. Há, ainda, áreas irrigadas sob sistema pivô central, onde são cultivados feijão, batata, cebola, trigo, milho e soja, sendo estas áreas manejadas sob sistema de cultivo convencional (SPC). A propriedade conta com áreas de reserva ambiental, nas quais é preservada a vegetação nativa de cerrado.

A área amostrada no presente trabalho (Figura 1) localiza-se em uma gleba da propriedade que tem sido conduzida sob preparo convencional desde o ano agrícola 2002/2003. Até o ano safra 2005/2006, foi cultivada com soja na safra de verão e deixada em pousio, após a colheita. Antes da introdução das lavouras, em 2002, a atividade desenvolvida era a pecuária extensiva, com pastagens de braquiária, sem qualquer tipo de adubação ou correção de solo. No ano de 2006 foi instalado equipamento de irrigação tipo pivô central, cobrindo uma área de 90 hectares. Desde então tem sido intensamente cultivado ao longo dos anos, sempre com cultivo de soja na safra de verão, seguido por cebola, batata, milho ou feijão na segunda safra. Na safra de inverno, os cultivos adotados são batata, trigo, milho ou feijão.

A amostragem de solo para análise de fertilidade é realizada a cada ano agrícola, entre os meses de março e junho. Normalmente, a área sob cada pivô central é dividida em quatro quadrantes, sendo coletadas doze amostras simples para cada quadrante, na camada de 0 – 0,20 m, para formar uma amostra composta.

As calagens são feitas, em geral, a cada dois ou três anos, objetivando-se manter a saturação por bases entre 60 – 70%, sempre utilizando calcário com 10 a 14% de MgO e 36 a 42% de CaO. Por ocasião da calagem, é realizada também a gessagem,

aplicando-se 1.500 kg ha^{-1} de gesso agrícola. Após a distribuição desses insumos, procede-se à gradagem com grade aradora, seguida de grade niveladora. A calagem/gessagem mais recente ocorreu em abril de 2015, quando foram distribuídos 2.000 kg ha^{-1} de calcário ($12\% \text{ MgO} + 38\% \text{ CaO}$) e 1.500 kg ha^{-1} de gesso agrícola, seguidos de incorporação com grade aradora.

FIGURA 1 - Imagem de satélite indicando a área amostrada sob sistema de plantio convencional.



Fonte: Google Earth, agosto/2016

As amostragens para o presente trabalho foram realizadas em julho de 2016, uma semana após a colheita da batata, que sucedeu o milho, plantada no início do mês de setembro de 2015. Na implantação da lavoura de milho, a adubação inicial foi realizada no sulco de semeadura, utilizando-se 350 kg ha^{-1} do formulado NPK 08-28-16 e mais 250 kg ha^{-1} de ureia, aplicada em cobertura, a lanço na área total. Para o plantio da batata, foram aplicados, no sulco de semeadura, 1.000 kg ha^{-1} do formulado 05-30-10, com complementação de 400 kg ha^{-1} do formulado 20-00-30 em cobertura.

Para realização das amostragens, foi estabelecida grade amostral composta por 45 pontos georreferenciados, distando cerca de 50 m entre si, formando grid retangular de $200 \times 400 \text{ m}$, com cinco fileiras paralelas, cada uma com nove pontos de amostragem, totalizando uma área amostral de aproximadamente oito hectares. No

georreferenciamento dos pontos de amostragem, utilizou-se o aparelho de navegação Garmin Dakota 20.

Os pontos georreferenciados foram numerados de 01 a 45. Em cada ponto foram coletadas amostras nas camadas 0,0 – 0,05, 0,05 – 0,10, 0,10 – 0,15 e 0,15 – 0,20 m, constituindo-se de cinco amostras simples para formar cada amostra composta, de cada profundidade. Das cinco amostras simples, uma foi coletada no centro da grade, ou seja, na localização do ponto. As outras quatro foram retiradas, de forma equidistante entre si, no perímetro de um raio de dois metros, a partir da amostra central. Foi utilizado trado do tipo sonda. Ao todo, foram coletadas 180 amostras, referentes aos 45 pontos e às quatro profundidades amostradas.

As amostras foram enviadas ao Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Uberlândia para realização das análises. Após a secagem ao ar e peneiradas em malha de 2 mm, as amostras foram analisadas quimicamente e determinados os seguintes atributos: pH, SB (Ca, Mg e K), T e V%. Os dados resultantes foram analisados, inicialmente, pela estatística descritiva, obtendo-se os valores de média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose.

Com o objetivo de avaliar a variação espacial dos atributos, foram aplicados métodos geoestatísticos, com a utilização de modelos de semivariogramas das propriedades do solo estudadas e aplicando a interpolação dos valores por krigagem ordinária. Utilizou-se o programa computacional GS+ (*Gamma Design Software*, LLC), versão 7.0.

Semivariogramas podem ser definidos como representações gráficas relacionando a semivariância $\gamma(h)$ representada na coordenada y, em função de determinada distância h, representada na coordenada x. O estimador da função semivariância para variáveis regionalizadas com distribuição normal de probabilidade é apresentado na equação (1), (HONGYU, 2012):

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

onde $N(h)$ representa o número de pares de valores medidos, $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por uma determinada distância (h). Os valores de Z podem ser de qualquer

um dos parâmetros estudados, enquanto os valores de x_i e $x_i + h$ são definidos de acordo com as coordenadas geográficas dos pontos amostrais no campo.

Os modelos de semivariogramas utilizados para avaliar a dependência espacial são: linear (quando não há dependência espacial), esférico, exponencial e gaussiano ou parabólico. Quando existe dependência espacial, ou seja, quando a função $y(h)$ se mostra dependente da distância (h), indica que há semelhança entre os valores vizinhos, tornando, assim, possível estimar valores para pontos da área onde não houve amostragem.

Com a utilização dessas ferramentas geoestatísticas foi possível encontrar os modelos capazes de representar, de forma mais adequada, a semivariância experimental, dessa forma tornando possível a elaboração dos mapas da distribuição espacial dos atributos estudados. O ajuste do semivariograma e a interpolação realizada pela krigagem ordinária possibilitam a confecção dos mapas indicando as regiões em que ocorrem as maiores e as menores estimativas do atributo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os critérios das classes de interpretação de fertilidade de solos, estabelecidos por Alvarez et al. (1999), os valores médios dos atributos, nas quatro camadas amostradas (Tabela 1), apresentaram-se, na quase totalidade, classificados como “adequado”, para a maioria das culturas. Importante ressaltar o fato das amostragens no presente trabalho terem sido feitas em subcamadas de 0,05 m, ao passo que as classes de interpretação de fertilidade de solos, propostas por Alvarez et al. (1999), tomam por base amostras realizadas de 0 – 0,20 m de profundidade, sem estratificação. Para todos os atributos considerados, os valores se mantiveram entre os níveis “médio” e “bom”, com o aumento da profundidade. A incorporação por gradagem dos adubos, corretivos e restos culturais, promovida no SPC, antes da implantação de cada cultivo, pode explicar a baixa variabilidade dos atributos nas profundidades avaliadas.

A fim de realizar a análise estatística dos dados, foi realizada a estatística descritiva, calculando-se os valores de média, mediana, moda, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria, curtose, valores mínimo e máximo e amplitude. Considerando que para a maioria das variáveis, as distribuições dos dados apresentaram algum nível de assimetria, verificou-se, no entanto, que como os valores das médias e medianas são bastante semelhantes e os coeficientes de assimetria e curtose são próximos a zero, que as medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição e que se aproximam de uma distribuição normal. Dessa forma, considera-se que os dados estão aptos a serem manipulados por ferramentas de geoestatística (COELHO, 2003).

Por meio da análise descritiva dos resultados, observa-se grande similaridade entre os valores de média e mediana dos atributos avaliados, sendo que as medianas apresentaram valores iguais ou ligeiramente inferiores aos das médias, concordando com Corá et al. (2004). Os valores das modas se apresentaram, na maioria das avaliações, também muito próximos aos das outras duas medidas, com exceção do atributo V%, nas camadas de 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m, nas quais as diferenças percentuais entre moda e média foram de 9,5 e 13,4%, respectivamente. A utilização intensiva da área, inclusive com cultivo de olerícolas (batata e cebola), que utilizam elevadas doses de fertilizantes, principalmente fosfatados e potássicos, bem como as possíveis ocorrências de falhas nas adubações, podem ser causas desse desequilíbrio.

Tabela 1. Estatística descritiva para os valores de pH, soma de bases (SB), CTC a pH 7 (T) e saturação por bases (V%), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em sistema de plantio convencional (SPC). Fonte: O autor.

Atributos	Média	Mediana	Moda	D. padrão	CV (%)	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo	Amplitude
0 – 0,05 cm										
pH	5,6	5,6	5,4	0,3	5,2	0	0,9	5,2	6,5	1,3
SB (cmol _c dm ⁻³)	5,4	5,6	5,7	0,5	9,2	2,4	0,7	4,2	6,4	2,2
T (cmol _c dm ⁻³)	9,3	9,3	8,9	0,4	4,3	0,5	- 0,1	8,2	9,9	1,7
V (%)	60,5	60,1	55,8	4,6	9,4	1,9	1,0	51,3	71,9	26,6
0,05 – 0,10 cm										
pH	5,5	5,5	5,3	0,3	5,4	2,2	1,0	5,0	6,3	1,3
SB (cmol _c dm ⁻³)	5,0	5,2	5,3	0,6	12	0,6	- 0,7	3,3	6,0	2,7
T (cmol _c dm ⁻³)	8,3	8,3	8,9	0,7	10,8	0,8	0,6	7,0	10,4	3,4
V (%)	60,2	60,0	62,1	6,8	11,2	1,1	0,6	46,7	77,4	30,7
0,10 – 0,15 cm										
pH	5,5	5,4	5,2	0,4	7,2	0,1	0,7	4,9	6,5	1,6
SB (cmol _c dm ⁻³)	4,8	4,6	4,5	0,6	12,7	0,7	1,1	3,9	6,5	2,6
T (cmol _c dm ⁻³)	8,0	7,9	7,8	0,7	8,7	- 0,1	0,2	6,6	9,5	2,9
V(%)	54,5	52,4	45	8,8	16,1	- 0,6	0,3	38,9	71,8	32,9
0,15 – 0,20 cm										
pH	5,3	5,3	5,2	0,3	5,6	- 0,9	0	4,7	5,8	1,1
SB (cmol _c dm ⁻³)	3,9	3,6	3,4	9,8	25,6	- 0,6	0,5	2,2	6,0	4,2
T (cmol _c dm ⁻³)	7,6	7,6	7,6	0,6	7,9	- 0,6	0	6,4	8,8	2,4
V(%)	47,7	49,4	34,3	9,8	20,5	- 0,7	- 0,3	28,3	63,9	35,6

Os valores de todos os atributos avaliados, à exceção de T, não apresentaram grandes variações entre as três camadas superiores (0 – 0,05, 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,15 m), demonstrando haver maior homogeneidade na distribuição desses atributos na camada de 0 – 0,15 m de profundidade. Para o pH, os valores se apresentaram entre 5,5 e 5,6 (bom) nas três subcamadas superiores e 5,3 (baixo) na camada de 0,15 – 0,20 m, resultado semelhante aos encontrados por Siqueira Neto et al. (2009) e Freiria et al. (2008). De acordo com Freiria et al. (2008), a incorporação do calcário, conforme ocorre no SPC, proporciona a correção do pH ao longo do perfil do solo.

Para o atributo capacidade de troca catiônica, T, foram observadas diferenças significativas entre as médias das profundidades, à exceção das camadas 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,15 m, cujas médias apresentaram valores intermediários e não diferiram estatisticamente entre si. A maior média de T foi observada na camada superficial e a camada de 0,15 – 0,20 m correspondeu ao valor mais baixo.

Foi observada elevada amplitude entre os valores máximo e mínimo dos atributos SB e V%, em todas as profundidades. As variações percentuais para SB são de 54,5% (0 – 0,05 m), 45% (0,05 – 0,10 m), 40% (0,10 – 0,15 m) e 70% (0,15 – 0,20 m). Para o atributo V%, os percentuais foram 34,1% (0 – 0,05 m), 47,8% (0,05 – 0,10 m), 45,8% (0,10 – 0,15 m) e 55,7% (0,15 – 0,20 m). A elevada amplitude de valores, de acordo com Coelho (2003), pode explicar os possíveis erros que ocorrem quando se usa amostragem média nas recomendações de corretivos e fertilizantes, levando à aplicação de insumos em doses não coerentes com a real disponibilidade de nutrientes ao longo da extensão do terreno.

Os valores de coeficiente de variação (CV), segundo critérios propostos por Pimentel-Gomes e Garcia (2002), apresentaram-se baixos para o pH, em todas as camadas amostradas, variando de 5,2% (0 – 0,05 m) a 7,6% (0,10 – 0,15 m); para a SB, apresentaram-se médios, 15,3% (0 – 0,05 m), 12% (0,05 – 0,10 m) e 12,7% (0,10 – 0,15 m) e alto, 25,6%, na camada 0,15 – 0,20 m; para a CTC a pH 7, T, foram baixos, 4,3% (0 – 0,05 m), 8,7% (0,10 – 0,15 m), 7,9% (0,15 – 0,20 m) e médio na camada 0,05 – 0,10 m (10,8%); para a saturação por bases, V%, apresentou-se baixo apenas na camada 0 – 0,05 m (9,4%), médio nas camadas 0,05 – 0,10 m (11,2%) e 0,10 – 0,15 m (16,1%) e alto, 20,5%, na camada 0,15 – 0,20 m. Resultados semelhantes foram encontrados por Schlindwein (1999) e Dalchiavon et al. (2011). Conforme citado por Caon (2012), a ocorrência de menores valores de CV indica menor variabilidade amostral e, por

consequência, uma dependência espacial mais ampla entre os pontos. Maiores coeficientes, contudo, indicam maior independência espacial entre as amostragens.

A ocorrência de variabilidade na distribuição dos atributos químicos do solo se apresenta como consequência de complexas interações que envolvem os processos de sua formação e as práticas de manejo do solo e das culturas, causando maior impacto, principalmente nas camadas superficiais do solo conforme relatado por Carvalho; Takeda e Freddi (2003). Conforme relata Silva et al. (2003), as aplicações de insumos a lanço, mesmo seguidas de revolvimento, geram variabilidade no solo.

Segundo Alleoni et al. (2005), avaliando doses e formas de aplicação de calcário em Latossolo Vermelho Escuro de cerrado, houve aumento do pH e dos teores de Ca e Mg trocáveis e saturação por bases até a profundidade de 0,20 m, quando o calcário foi incorporado ao solo.

De acordo com Chaves e Farias (2009), ainda que os dados não tenham apresentado distribuições simétricas, com os coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero e, ainda, pela proximidade entre os valores médios e medianos para a maioria dos atributos, admite-se que possam ser utilizados procedimentos de geoestatística, permitindo calcular a dependência espacial dos atributos, já que, nos estudos geoestatísticos, a ocorrência ou não do efeito proporcional em que a média e a variância dos dados não sejam constantes na área de estudo é de caráter mais relevante que a normalidade dos dados.

Os procedimentos geoestatísticos dependem diretamente do estudo da dependência espacial, através do semivariograma, parte principal na determinação do padrão de dependência espacial e do interpolador geoestatístico (krigagem) (HONGYU, 2012). De acordo com Hongyu (2012), por meio da função de semivariância, o semivariograma apresenta a variabilidade espacial entre os pontos amostrados, dependendo apenas da distância h entre os pares de casos amostrados.

O semivariograma permite o cálculo dos parâmetros envolvidos no modelo, a saber a distância da dependência espacial (A_0), conhecida como range ou alcance da dependência espacial que é o alcance máximo da dependência espacial, indicando que, a partir dessa distância, termina a dependência entre os casos estudados; o efeito pepita (C_0), conhecido por *mugget effect*, que é o valor da semivariância a distância zero, ou seja, representa a variabilidade para escalas menores que a distância de amostragem; e altura (C) ou sill que é a distância entre o efeito pepita e o patamar ($C_0 + C$), intervalo esse no qual o semivariograma cresce, havendo dependência espacial. O patamar

representa a altura na qual o semivariograma se estabiliza, aproximando-se da variabilidade total dos valores amostrados (OPROMOLLA et al., 2006).

A análise geoestatística, realizada por meio do ajuste dos semivariogramas, demonstrou a existência de dependência espacial para todos os atributos, nas quatro profundidades avaliadas, sendo todos ajustados pelo modelo exponencial (Figuras 2, 3, 4 e 5). Considera-se os modelos esférico e exponencial como os mais comumente ajustáveis às avaliações de dependência espacial de atributos de solo (TRANGMAR et al., 1985; CAMBARDELLA et al., 1994; SALVIANO et al., 1998; ZANÃO JUNIOR, 2004; ZANÃO JUNIOR et al., 2007).

Fazendo uma análise dos valores de C_0 (efeito pepita) que Vieira (2000) define como a variabilidade não explicada, podendo ser devida a falhas de amostragem ou pequenas variações do solo não detectadas, pode-se observar que todos os atributos, exceto a saturação por bases, apresentaram baixo C_0 para as quatro profundidades analisadas, variando de 0,000010 a 0,03926.

Considerando os valores resultantes da divisão do efeito pepita por $C_0 + C$ (patamar), cujo resultado, segundo Cambardella (1994) indica o grau de dependência espacial (GDE), constatou-se, neste trabalho, GDE forte para todas as variáveis, ou seja, $C_0/C_0 + C$ menor ou igual a 25%. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2003), Zanão Junior et al. (2007) e Dalchiavon et al. (2012), o que destaca a importância do conhecimento da estrutura de dependência espacial.

No semivariograma, é denominado alcance da dependência espacial (A_0), a medida da distância a partir da qual a semivariância se estabiliza. Quaisquer medições realizadas a distâncias maiores que A_0 , terão distribuição espacial aleatória, sendo, dessa forma, consideradas independentes entre si (GUIMARÃES, 2004). Já amostras localizadas em distâncias menores que A_0 , são correlacionadas, sendo possível realizar interpolação de dados para pontos não amostrados (VIEIRA, 2000). Este autor acrescenta que os valores obtidos no alcance podem influenciar na qualidade das estimativas, já que que, na interpolação por krigagem ordinária, valores de alcance maiores tendem a ter maior confiabilidade, pois irão gerar mapas mais representativos da área.

O alcance, para o atributo pH, variou de 67 m, na camada de 0,15 – 0,20 m, a 220 m, na camada de 0,05 – 0,10 m. Para o atributo SB, variou de 66 m, na camada de 0,05 a 0,10 m, a 160 m, na camada de 0 – 0,05 m. Para T, a variação foi de 58 m, na camada de 0,05 – 0,10 m, a 127 m, na camada de 0 – 0,05 m. Para V%, A_0 variou de 65

m, na camada de 0,10 – 0,15 m, a 148 m, na camada de 0,05 – 0,10 m. O modelo de semivariograma ajustado neste trabalho foi o exponencial. Neste modelo, o valor de A_0 , indicado na legenda dos gráficos, deve ser multiplicado por 3, pois o *software* GS+, utilizado no ajuste dos semivariogramas não considera o fator 3 utilizado em outros modelos.

FIGURA 2 – Semivariogramas do potencial hidrogeniônico (pH), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio convencional.

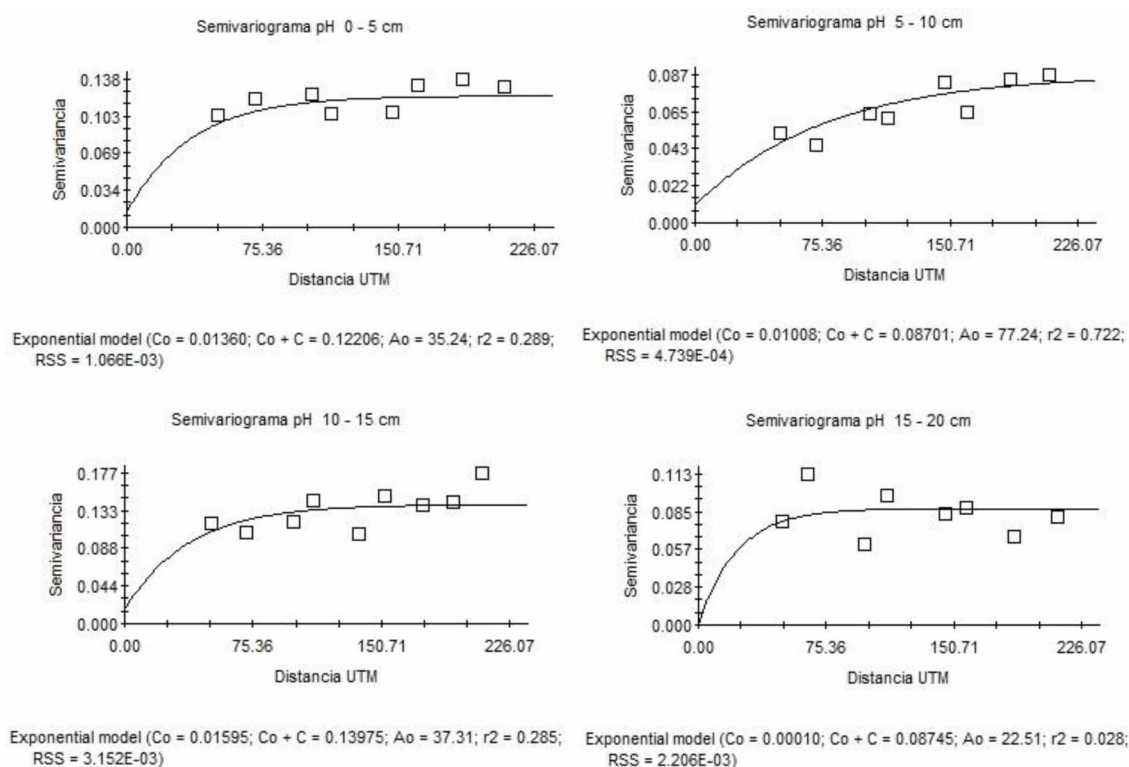
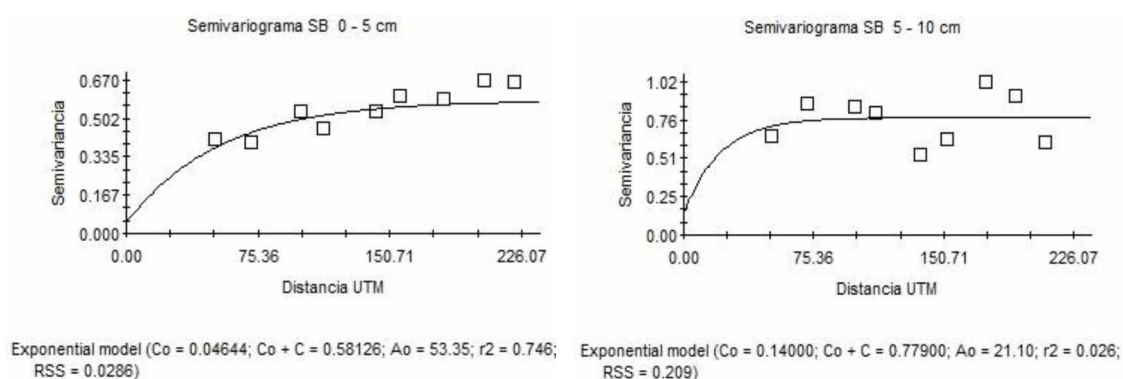


FIGURA 3 – Semivariogramas da soma de bases (SB), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio convencional.



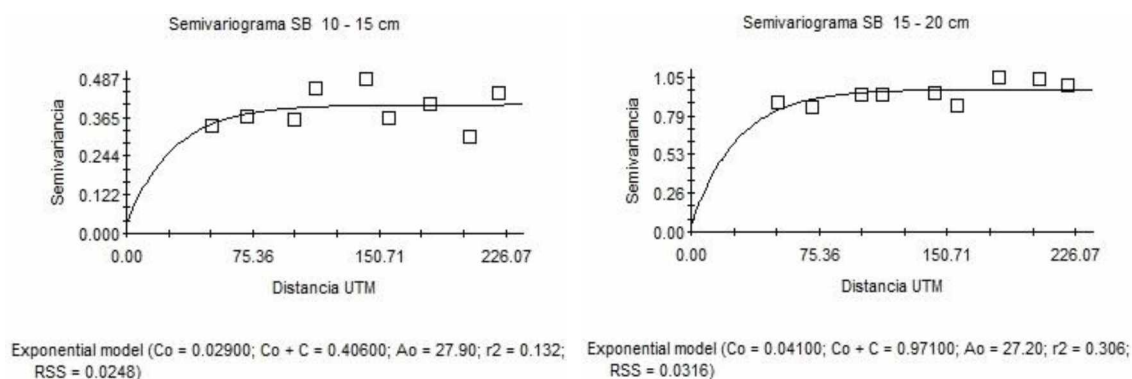


FIGURA 4 – Semivariogramas da capacidade de troca catiônica (T), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio convencional.

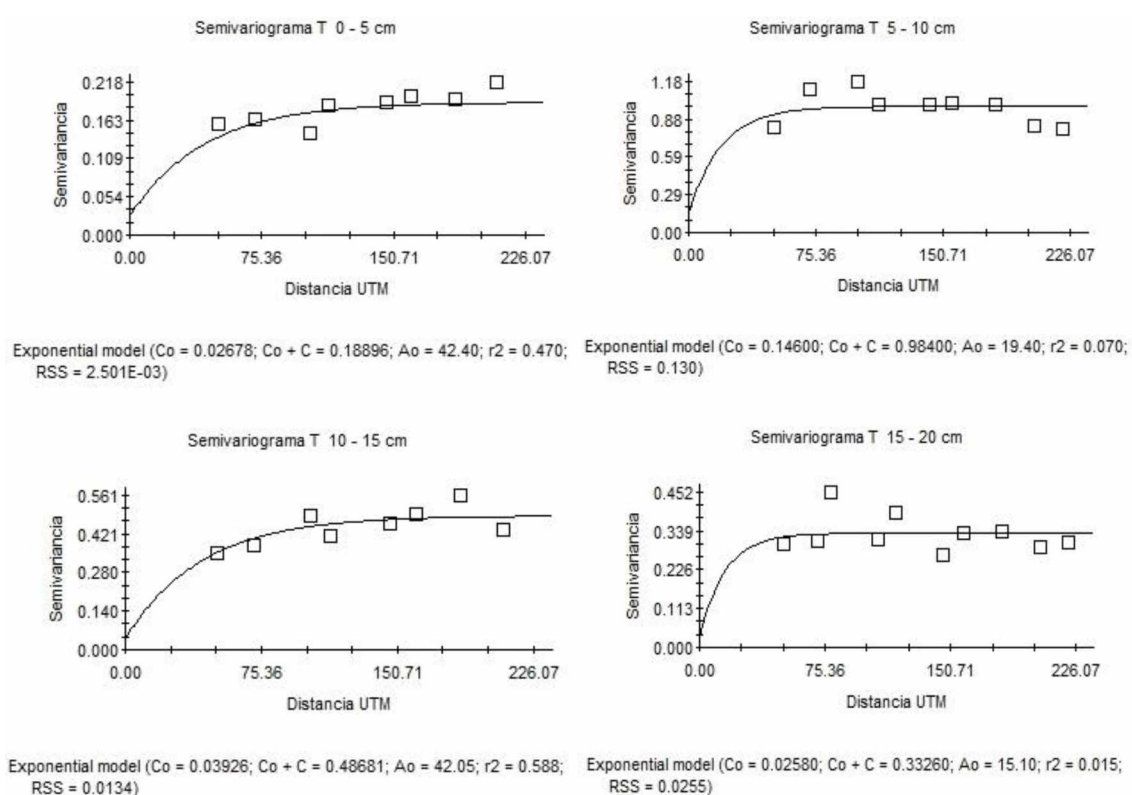
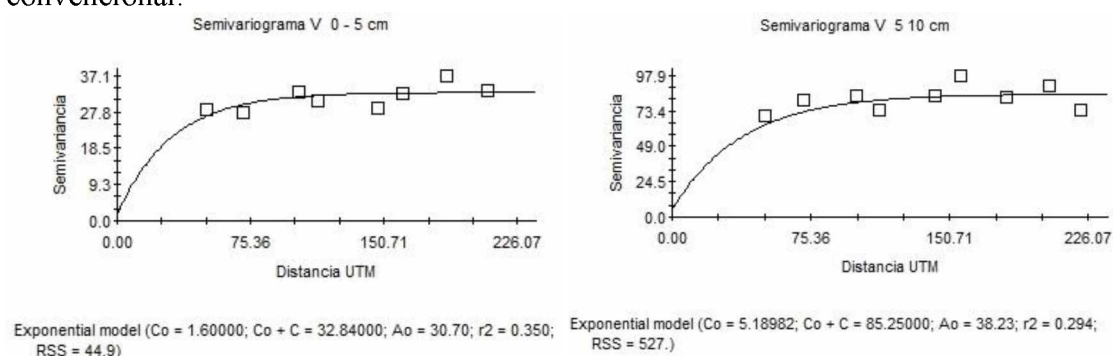
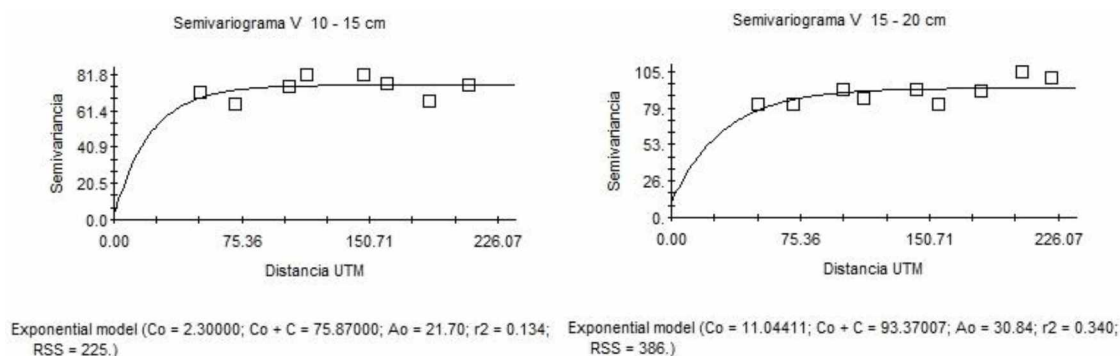


FIGURA 5 – Semivariogramas da saturação por bases (V%), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio convencional.

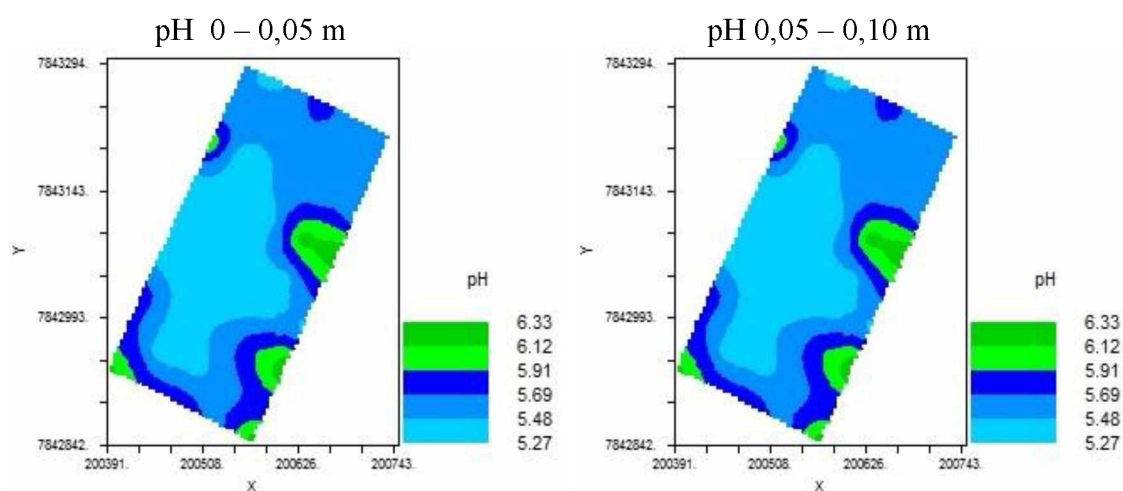




Obtidos por meio dos ajustes de semivariogramas, os mapas de isolinhas, conforme citado por Matias (2015), permitem identificar e delimitar áreas com maior ou menor variabilidade do solo, possibilitando aplicações de insumos em taxa variável, reduzindo gastos desnecessários e causando menor impacto ambiental.

Os mapas de isolinhas (krigagem), produzidos por meio de ajustes dos semivariogramas, por meio da interpolação dos dados de pontos vizinhos, são apresentados nas figuras 6, 7, 8 e 9. São mostradas regiões de abrangência da dependência espacial de cada atributo, nas quatro profundidades estudadas, na área de amostragem sob manejo convencional. As cores representam as áreas onde foi identificada relação de dependência espacial, de acordo com os teores médios dos atributos.

Figura 6. Mapas de isolinhas para o potencial hidrogeniônico (pH), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio convencional.



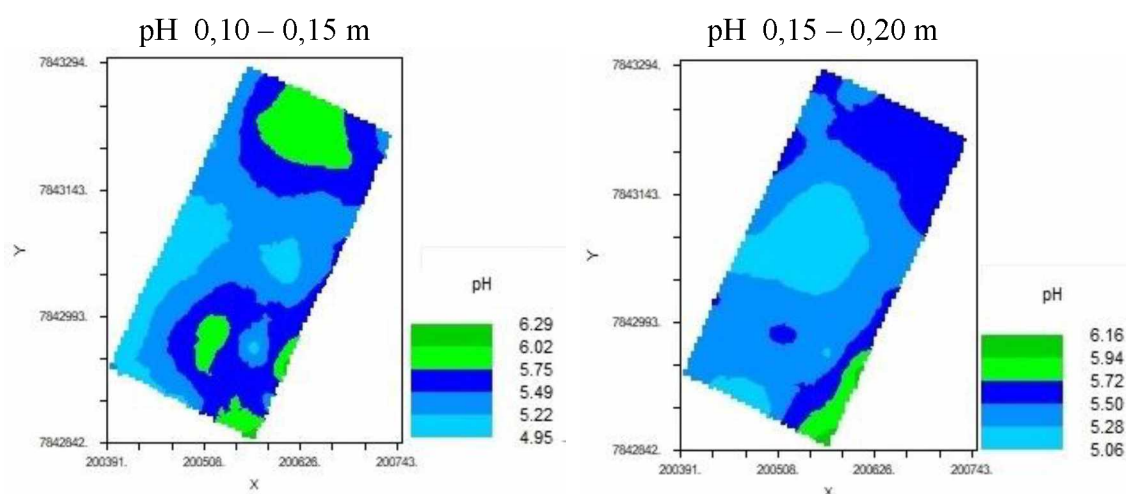


Figura 7. Mapas de isolinhas para soma de bases (SB), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio convencional.

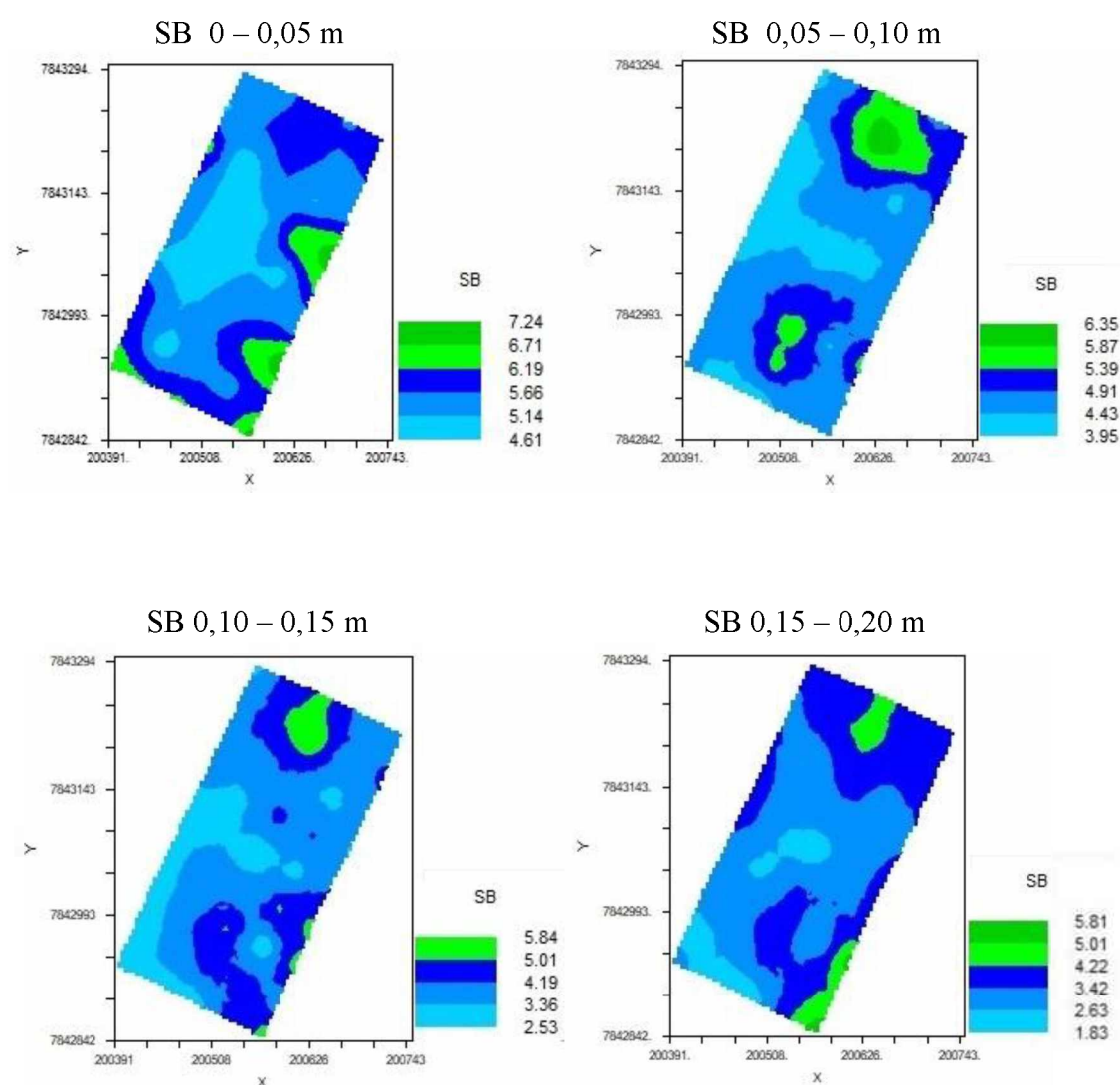


Figura 8. Mapas de isolinhas para a capacidade de troca catiônica (T), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio convencional.

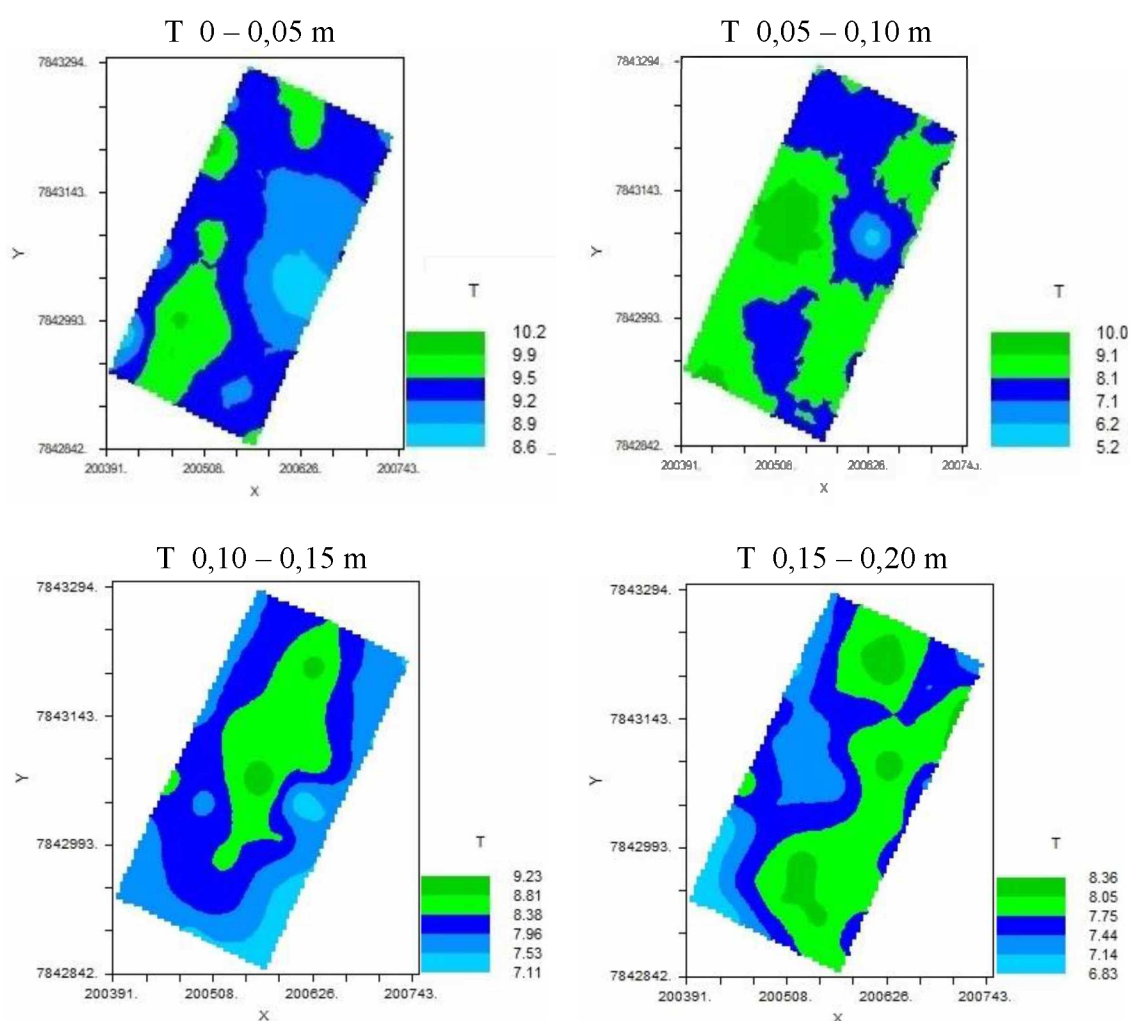
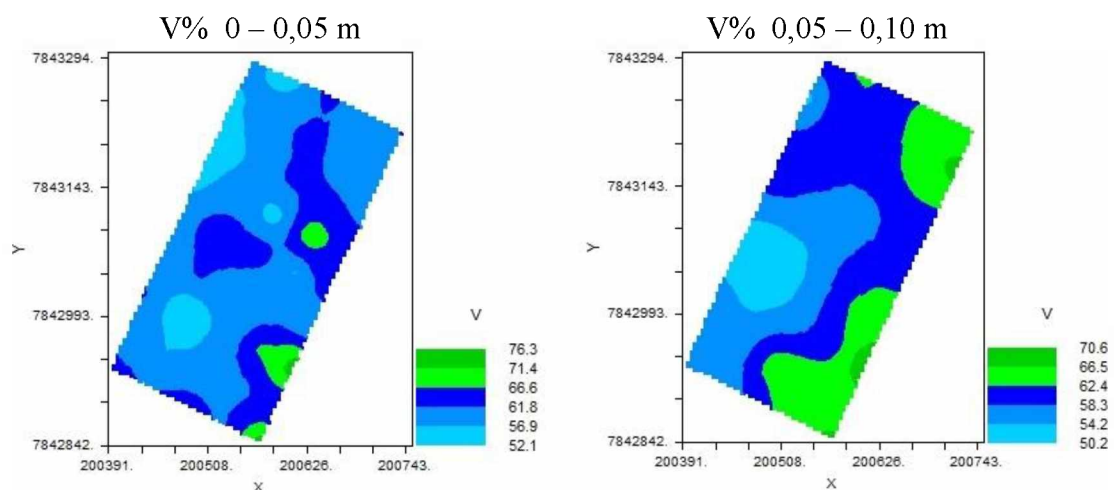
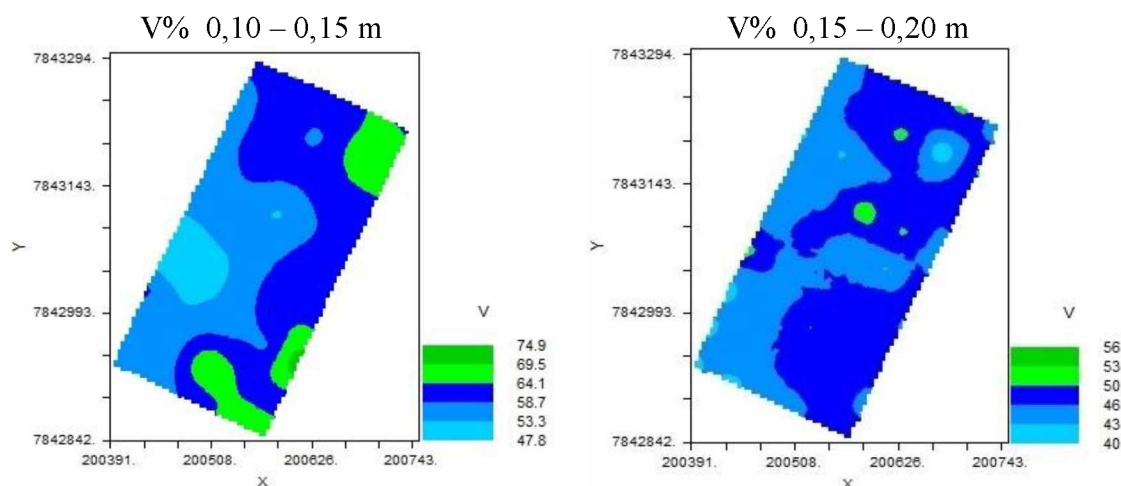


Figura 9. Mapas de isolinhas para a saturação por bases (V%), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio convencional.





A análise dos mapas de isolinhas permitiu concluir que o revolvimento do solo, característica do sistema convencional de cultivo, proporciona menor variabilidade na vertical, em relação à superfície horizontal. No plano horizontal, linhas mais amplas indicam menor variabilidade, enquanto linhas mais estreitas, maior variabilidade dos atributos.

4 CONCLUSÕES

- Foi observada variabilidade espacial horizontal e vertical para os atributos pH, SB, T e V na área sob sistema convencional de cultivo.
- Os atributos apresentaram dependência espacial forte, com possibilidade de interferir nas recomendações de corretivos e fertilizantes.
- A incorporação de insumos e restos culturais proporcionou melhor homogeneidade na distribuição dos atributos no plano vertical, em relação ao plano horizontal.

5 REFERÊNCIAS

- ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 923-934, 2005.
- ALMEIDA, J. A. de; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. do; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, maio/jun. 2005.
- ALVAREZ V. V.H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.
- CAON, D. **Espacialização e mapeamento da fertilidade em diferentes camadas do solo e densidades amostrais**. 2012. 63f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava. 2012.
- CARBALHO, A. M. C. **Atributos químicos do solo afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. 2004. 83 f. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2004.
- CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 695-703, 2003.
- CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p. 211-218, 2009.
- COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: NOVAIS, R.F et al. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. vol.1, p.249-290, 2003.
- CORÁ, J.E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1013-1021, 2004.
- DALCHIAVON, F.C. et al. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, p. 908-916, 2011.

DOURADO, D. P. et al. Análise espacial de atributos químicos de solos cultivados com soja sob plantio direto e convencional. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA. 2015. **Anais...** Fortaleza, CE: Confea, 2015. p. 1-4.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353p.

FREIRIA, A. C. et al.. Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorporado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 285-291, 2008.

GUIMARÃES, E.C. **Geoestatística básica e aplicada**. Núcleo de Estudos Estatísticos e Biométricos, FAMAT/UFU, Uberlândia, 2004.

HONGYU, K. **Seleção e ajuste de modelos espaciais de semivariograma aplicados a dados do pH do solo**. Programa de Pós graduação em Estatística e Experimentação Agrônômica – Departamento de Ciência Exatas, ESALQ/USP, Piracicaba, 2012, 14p.

KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimatologie**: Handbusch der Klimatologie. Berlim: Gebruder Borntraezer, 1936. 44p.

MATIAS, S.S.R. Variabilidade espacial dos atributos do solo em duas áreas de manejo convencional no Cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias**, Viçosa, v.58, n.2, p. 217-227, 2015.

NUNES, R. de S. et al. Impacto dos sistemas de plantio direto e preparo convencional nas interações entre matéria orgânica e fertilidade do solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9., 2008, Brasília, DF. **Anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 1-9.

OLIVEIRA, P.C.G.et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo e da produtividade de citros na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 708-715, 2009.

OPROMOLLA, P.A.; DALBEN, I.; CARDIM, M. Análise geoestatística de casos de hanseníase no Estado de São Paulo, 1991-2002. **Revista de Saúde Pública**, [S. I] v. 40, n. 5, p. 907-13, 2006.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. 11.ed. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

ROZANE, D.E. et al. Dimensionamento do número de amostras para avaliação da fertilidade do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 109-116, 2011.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 115-122, 1998.

SANTI, A.L. et al. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, p. 1346-57, 2012.

SANTOS, H. P. dos et al. Efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, 2008.

SCHLINDWEIN, J. A. **Variabilidade da fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto**. 1999. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1999.

SILVA, M.C.C. **Correção da produtividade vegetal em função de atributos físico-químicos do solo na integração lavoura-pecuária**. 2013. 100 f. Tese (Doutor em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L.F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistema de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 387-394, 2001.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá**, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

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

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**, Viçosa, v. 28, n. 6, nov./dez. 2004.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geoestatísticas to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, n. 2, p. 45-94, 1985.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G.R. (Eds.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.

ZANÃO JÚNIOR, L.A. **Variabilidade espacial de atributos químicos de um solo sob sistema plantio direto**. 2004. 51f. Monografia de conclusão de curso Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2004.

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, n. 37, p. 1000-1007, 2007.

CAPÍTULO 3 - VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

RESUMO

MIZIARA NETO, SALVADOR JORGE. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em sistema de plantio direto**. 2017. 60p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.⁵

Quando se busca uma agricultura mais rentável e ambientalmente sustentável, assume importância fundamental o conhecimento da distribuição espacial dos atributos químicos do solo. O caráter heterogêneo do solo inicia com os processos pedogenéticos, que têm interação direta com os elementos climáticos e os fatores bióticos ao longo do tempo. Usualmente, o solo é amostrado coletando-se um pequeno número de amostras, retiradas, em geral, na profundidade de 0 – 0,20 m. Os resultados dessas amostragens são insuficientes para realizar a correção do solo, admitindo-se a variabilidade espacial de suas características. O objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade dos atributos químicos pH, soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (T) e saturação por bases (V%) em área de Latossolo Vermelho Amarelo textura argilosa, manejada sob sistema de plantio direto na palha (SPD). A propriedade está localizada no município de Uberaba, MG, em região de bioma cerrado. Estabeleceu-se um *grid* de amostragem de 200 x 400 m, com 45 pontos georreferenciados, distantes 50 m entre si. Foram coletadas cinco subamostras em cada ponto, nas profundidades 0 – 0,05, 0,05 – 0,10, 0,10 – 0,15 e 0,15 – 0,20 m. As amostras foram analisadas para determinação dos valores de pH, SB, T e V%. Submeteram-se os dados à estatística descritiva, determinando-se média, mediana, moda, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria, curtose, valores mínimo e máximo e amplitude. A estatística clássica permite avaliar possíveis variações entre os atributos, contudo não considera a posição espacial dos pontos de amostragem. Com a utilização dos variogramas e da interpolação dos dados, por krigagem, é possível caracterizar a variabilidade espacial dos atributos de um solo e definir a amplitude do domínio de cada amostragem. Por meio do software GS+, foi avaliada a dependência espacial, por meio do ajuste de semivariogramas, predominando o modelo exponencial, seguido pelo esférico. Os resultados indicaram haver variabilidade espacial dos atributos avaliados, com teores variando entre as classes baixa a alta. Nas profundidades de 0 – 0,05 e 0,05 – 0,10 m observaram-se os maiores valores médios de todos os atributos, com os gradientes decrescendo progressivamente com o aumento da profundidade. Todas as variáveis, à exceção de V%, na camada de 0,10 – 0,15 m, apresentaram dependência espacial, o que possibilitou a criação dos mapas de isolinhas. O alcance da dependência espacial dos atributos variou entre 55 m a 155 m. Utilizando-se a geoestatística foi possível um melhor entendimento da dinâmica da variabilidade dos atributos do solo nos sistemas avaliados.

Palavras-chave: geoestatística. amostragem de solo. dependência espacial. semivariogramas.

⁵Orientador: Dr^a Regina Maria Quintão Lana - UFU

ABSTRACT

MIZIARA NETO, SALVADOR JORGE. **Spatial variability of soil chemical attributes in no tillage system**. 2017. 60p. Uberlândia: UFU, 2004. Dissertation (Master Program Agronomy/Soil) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.⁶

Searching for a more cost-effective and environmentally sustainable agriculture, the knowledge of the spatial distribution of soil chemical properties, has fundamental importance. Soils heterogeneous character begins with the pedogenetic processes, which interact directly with climatic elements and biotic factors over time. In general, soil is sampled by collecting a small number of samples, generally taken in the 0 – 0,20 m depth. The results of these samplings are insufficient to perform soil correction, assuming the spatial variability of its characteristics. The aim of this study was to evaluate the variability of chemical attributes pH, sum of bases (SB), cation exchange capacity (CEC) and base saturation percentage (BS%), in a red yellow, clayey texture Oxisol, managed under no tillage system. The area is located in the municipality of Uberaba, MG, in the Brazilian savanah biome region. The area is cultivated under rainfed conditions. A sampling grid of 200 x 400 m was established, with 45 georeferenced points, 50 m apart. Five subsamples were collected at each point, at depths 0 – 0,05, 0,05 – 0,10, 0,10 – 0,15 and 0,15 – 0,20 m. The samples were analyzed for pH, SB, CEC and BS% values. Data were submitted to descriptive statistics, determining mean, median, mode, standard deviation, coefficient of variation, asymmetry, kurtosis, minimum and maximum values and skewness. The classical statistics allows to evaluate possible variations among the attributes, without, however, consider the spatial position of the sampling points. With the use of variograms and data interpolation, by kriging, it is possible to characterize the spatial variability of the soil attributes and define the domain amplitude of each sampling. Spatial dependence of attributes was evaluated with GS+ software, by adjusting semivariograms, prevailing the exponential model, followed by spherical. The results suggested spatial variability of the evaluated attributes, with levels varying between low and high classes. Low vertical variation of attributes was observed, however with gradual increase in the deeper layers. The horizontal variability was significant, with spatial dependence occurring for all variables. Layers 0 – 0,05 and 0,05 – 0,10 m presented higher levels of all attributes. Except for the attribute BS%, from layer 0,10 – 0,15 m, all other variables showed spatial dependence, thus enabling the creation of kriging maps. The spatial dependence range varied from 55 to 155 m. The use of geostatistical techniques allowed a better understanding of soil attributes variability dynamics in the studied system.

Keywords: geostatistics. soil sampling. spatial dependence. semivariograms

⁶Major Professor: Dr^a Regina Maria Quintão Lana - UFU

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, os métodos de preparo do solo, como o reduzido e o sistema de plantio direto (SPD), vêm sendo empregados em substituição aos convencionais. O SPD é uma das práticas empregadas no manejo do solo que têm a atribuição de conservar o solo e o meio ambiente, visando à sustentabilidade da produção agrícola. Este sistema de manejo tem como pilares o mínimo revolvimento do solo, a cobertura vegetal continuada do solo e a rotação de culturas. A cobertura continuada do solo e a rotação de culturas favorecem o acúmulo de material orgânico pela sua menor taxa de decomposição neste sistema, ocorrendo alterações positivas em vários processos químicos, físicos e biológicos (WEIRICH NETO et al., 2006).

A qualidade do solo é definida por Doran e Parkin (1994) como “a capacidade de um solo de funcionar nos limites do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal”. A avaliação da qualidade do solo compreende características físicas, químicas e biológicas, atributos favorecidos pelo SPD.

No SPD, as variabilidades, vertical e horizontal, dos atributos químicos dos solos são aumentadas pela ação residual das linhas de adubação, que se mantêm na sequência dos cultivos, ao mesmo tempo com a redistribuição dos nutrientes reciclados dos resíduos vegetais presentes no solo (LOPES et al., 2004).

Nos sistemas de produção agrícola, no caso o SPD, existem divergências quanto a redução da variabilidade espacial com o aumento do tempo de adoção do SPD. Silva, Curi e Blancaneaux (2000) e Pereira e Thomaz (2015) consideram que, com a adoção do SPD, há aumento na homogeneidade do solo.

Pereira e Thomaz (2015) verificaram homogeneização dos parâmetros do solo, em área com 30 anos de cultivo com rotação milho e feijão sob o SPD. Os autores atribuíram a variabilidade encontrada no solo pelo maior aporte de restos vegetais.

Lima, et al. (2013) observaram que a adubação na semeadura proporcionou melhoria nos níveis dos nutrientes na camada de 0,05 - 0,15 m, onde a maior parte da área encontra-se com valores positivos, indicando fertilidade mais equilibrada do solo na sua distribuição espacial nesta camada, quando comparado com a camada mais superficial (0 - 0,05 m).

É apontado, por outros autores, que, com a adoção do SPD, ocorre incidência direta no aumento da variabilidade espacial do solo. Anghinoni e Salet (1998)

observaram aumento na variabilidade devido à ação residual dos fertilizantes nas adubações em linha, que é mantida ao longo dos cultivos, assim como aos resíduos vegetais reciclados.

Para Trevisan et al. (2008) e Zanão Júnior et al. (2010) no SPD, a aplicação de calcário sobre a superfície do solo, os diversos resíduos vegetais das culturas empregadas em sucessão ou rotação ao longo dos anos deixados na superfície, o não revolvimento do solo e as frequentes adubações em superfície, a lanco ou nas linhas de cultivo de culturas com diferentes espaçamentos, alteram a variabilidade dos teores de macro e micronutrientes no solo e de matéria orgânica, além do pH, tanto no sentido vertical quanto no horizontal.

Negreiros Neto et al. (2014) analisaram a variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, sob SPD, adotado há cinco anos. Verificaram heterogeneidade quanto aos atributos físicos e químicos do solo e concluíram que essa distribuição poderia afetar a produção de grãos.

Amado et al. (2007) verificaram que, em SPD, a melhoria dos atributos do solo não se manifesta de forma homogênea em toda a área e apresenta subáreas com diferentes níveis de qualidade e, portanto, com diferentes potenciais produtivos, quando as práticas de manejo são aplicadas uniformemente em toda a área. O emprego de tais práticas pode afetar a condutividade hidráulica do solo, que traduz a facilidade com que a água se movimenta ao longo do perfil do solo, e os processos dinâmicos no espaço e no tempo e, juntamente, podem influenciar no movimento dos nutrientes do solo, alterando o desenvolvimento da planta (TORRES et al., 2015).

Moreira e Siqueira (2006) afirmam que o manejo inadequado altera processos do solo tendo reflexos na sua qualidade e podendo culminar com sua degradação.

Em pesquisas realizadas em Latossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, Dalchiavon et al. (2011) obtiveram variabilidade muito alta para P (64,5%), média para MO (13,9%) e baixa para pH (7,3%), na camada de 0 - 0,20 m. Em outra pesquisa, Dalchiavon et al. (2012) verificaram variabilidade baixa para pH (6,91% a 7,8%). Zanão Júnior et al. (2007), também observaram variabilidade baixa para pH (5,83% a 6,05%)

O entendimento da natureza da variabilidade torna-se indispensável para avaliar o efeito dos atributos do solo na produção das culturas agrícolas (NEGREIROS NETO et al., 2014), o que contribuirá na definição de estratégias adequadas e eficazes de

manejo do solo (SCHAFFRATH et al., 2008), visando à sustentabilidade dos recursos naturais e rendimento financeiro.

Este trabalho objetivou avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo, pH, SB, T e V%, nas profundidades 0,0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m, em área cultivada sob sistema de plantio direto (SPD), em região de bioma cerrado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda Guaribas, localizada no município de Uberaba – MG, região denominada Itiguapira, onde predomina o bioma Cerrados. A propriedade apresenta relevo de topografia plana, típico de chapada, com altitude média de 990 m. O clima é do tipo Aw, na classificação de Köppen (1936), tropical úmido com estação seca, com verões quentes, tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, com regime pluviométrico de aproximadamente 1.200 a 1.500 mm ano⁻¹. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013), textura argilosa (600 g kg⁻¹).

A propriedade é utilizada na produção de grãos e olerícolas, apresentando áreas em regime de sequeiro, nas quais adota o sistema de semeadura direta na palha, há mais de doze anos, sendo soja, milho, sorgo e trigo as principais culturas exploradas. Há, ainda, áreas irrigadas sob sistema pivô central, onde são cultivados feijão, batata, cebola, trigo, milho e soja, sendo estas áreas manejadas sob sistema de cultivo convencional. A fazenda conta com áreas de reserva ambiental, nas quais é preservada a vegetação nativa de cerrado.

A área objeto do presente trabalho (Figura 1) está localizada em um talhão de aproximadamente 40 hectares, que tem sido manejada sob sistema de plantio direto na palha (SPD) desde o ano agrícola 2004/2005. A exploração agrícola, com cultivo da soja, teve início em 1999, tomando lugar das pastagens, que ocuparam a área por vários anos, período em que a única forma de correção de solo utilizada era a gessagem. De 1999 até 2004, o método de preparo de solo adotado foi o convencional (SPC), com incorporação mecânica de corretivos e restos culturais. A cada ano, após a colheita da soja, a área era deixada em pousio.

A partir do ano safra 2004/2005, teve início a adoção do SPD, permanecendo ainda, até 2009, a manutenção do pousio pós colheita. Desde 2009, foi adotado o plantio de safrinha, em sucessão à soja cultivada no verão, com as culturas de milho, sorgo ou trigo. As amostragens de solo para análise de fertilidade são realizadas, anualmente, entre os meses de março a junho. Em geral, o número de amostras compostas por talhão é variável, podendo chegar a uma amostra representativa de áreas superiores a 100 hectares. A profundidade de coleta é sempre 0 – 0,20 m, sem estratificação.

FIGURA 1 – Imagem de satélite da área amostrada sob sistema de plantio direto.



Fonte: Google Earth.(ago/2016)

As aplicações de corretivos são realizadas a cada dois ou três anos, objetivando-se manter a saturação por bases entre 60 a 70%, sempre utilizando-se calcário com 10 a 14% de MgO e 36 a 42% de CaO. Por ocasião da calagem, é realizada também a aplicação de gesso agrícola, aplicando-se entre 1000 a 1500 kg ha⁻¹ do produto. Estes insumos são aplicados a lanço, sem qualquer tipo de revolvimento do solo. A calagem/gessagem mais recente ocorreu em junho/2015, quando foram distribuídos 2.200 kg ha⁻¹ de calcário (12% MgO + 38% CaO) e 1.200 kg ha⁻¹ de gesso agrícola, aplicados após a colheita de sorgo.

As amostragens que serviram de base ao presente trabalho foram realizadas em julho de 2016, cerca de duas semanas após ter sido colhido o sorgo, que sucedeu à soja, semeada no início de outubro/2015. Na implantação da lavoura de soja, a adubação foi realizada no sulco de semeadura, utilizando-se 300 kg ha⁻¹ do formulado NPK 02-30-15, complementando-se com 100 kg ha⁻¹ de KCl, aplicado a lanço. Para o sorgo, semeado na sucessão, aplicou-se 200 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16, no sulco, com complementação de 150 kg ha⁻¹ da fórmula 20-00-20 em cobertura.

Para realização das amostragens, foi estabelecida grade amostral composta por 45 pontos georreferenciados, distando cerca de 50 metros entre si, formando um *grid* retangular de 200 x 400 m, com cinco fileiras paralelas, cada uma composta por nove pontos de amostragem, totalizando área amostral de aproximadamente oito hectares. No

georreferenciamento dos pontos de amostragem, utilizou-se o aparelho de navegação Garmin Dakota 20.

Os pontos georreferenciados foram numerados de 01 a 45. Em cada ponto foram coletadas amostras nas camadas 0,0 – 0,05, 0,05 – 0,10, 0,10 – 0,15 e 0,15 – 0,20 m, constituindo-se de cinco amostras simples para formar cada amostra composta, de cada profundidade. Das cinco amostras simples, uma foi coletada no centro da grade, ou seja, na localização do ponto. As outras quatro foram retiradas, de forma equidistante entre si, no perímetro de um raio de dois metros, a partir da amostra central. Foi utilizado trado do tipo sonda. Ao todo, foram coletadas 180 amostras, referentes aos 45 pontos e às quatro profundidades amostradas.

As amostras foram enviadas ao Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Uberlândia, para realização das análises. Após a secagem ao ar e peneiradas em malha de 2 mm, as amostras foram analisadas quimicamente e determinados os seguintes atributos: pH, SB (Ca, Mg e K), T e V%. Os dados resultantes foram analisados, inicialmente, pela estatística descritiva, obtendo-se os valores de média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose.

Com o objetivo de avaliar a variação espacial dos atributos, foram aplicados métodos geoestatísticos, com a utilização de modelos de semivariogramas das propriedades do solo estudadas e aplicando a interpolação dos valores por krigagem ordinária. Utilizou-se o *software* computacional GS+ (Gamma Design Software, LLC), versão 7.0. Semivariogramas podem ser definidos como representações gráficas relacionando a semivariância $\gamma(h)$ representada na coordenada y, em função de determinada distância h, representada na coordenada x. Com a utilização dessas ferramentas geoestatísticas foi possível encontrar os modelos capazes de representar, de forma mais adequada, a semivariância experimental, dessa forma tornando possível a elaboração dos mapas da distribuição espacial dos atributos estudados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com objetivo de realizar a análise estatística dos dados, foi realizada a estatística descritiva, calculando-se os valores de média, mediana, moda, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria, curtose, valores mínimo e máximo e amplitude. Considerando que para a maioria das variáveis, as distribuições dos dados apresentaram algum nível de assimetria, verificou-se, no entanto, que como os valores das médias e medianas são bastante semelhantes e os coeficientes de assimetria e curtose são próximos a zero, que as medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição e que se aproximam de uma distribuição normal. Dessa forma, considera-se que os dados estão aptos a serem manipulados por ferramentas de geoestatística (COELHO, 2003).

Em virtude do não revolvimento do solo e aplicação de calcário em superfície, sem incorporação, característica do sistema de plantio direto (SPD), observou-se claramente maior concentração de bases e índices de acidez significativamente menores nas camadas de 0 – 0,05 e 0,05 – 0,10 cm. Considerando os critérios das classes de interpretação de fertilidade de solos, estabelecidos por Alvarez et al. (1999), os valores médios dos atributos foram:

- pH: 0 – 0,05 m: 6,4 (alto), 0,05 – 0,10 m: 6,0 (bom), 0,10 – 0,15 m: 5,1 (baixo) e 0,15 – 0,20 m: 4,8 (baixo)
- SB (cmolc dm⁻³): 0 – 0,05 m: 7,3 (muito bom), 0,05 – 0,10 m: 5,1 (bom), 0,10 – 0,15 m: 3,0 (médio) e 0,15 – 0,20 m: 1,8 (baixo)
- V%: 0 – 0,05 m: 62,4 (bom), 0,05 – 0,10 m: 60,2 (bom), 0,10 – 0,15 m: 42,6 (médio) e 0,15 – 0,20 m: 27,3 (baixo)
- T (cmolc dm⁻³): 0 – 0,05 m: 8,7 (bom), 0,05 – 0,10 m: 7,8 (médio), 0,10 – 0,15 m: 7,1 (médio) e 0,15 – 0,20 m: 6,3 (baixo)

Pela análise descritiva dos resultados (Tabela 1), observa-se grande similaridade entre os valores de média e mediana dos atributos avaliados, sendo que as medianas apresentaram valores iguais ou ligeiramente inferiores aos das médias, concordando com Corá et al. (2004). Os valores das modas se apresentaram, para todos os atributos, muito próximos aos das outras duas medidas.

Tabela 1. Estatística descritiva para os valores de pH, soma de bases (SB), CTC a pH 7 (T) e saturação por bases (V%), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em sistema de plantio direto (SPD). Fonte: O autor.

Atributos	Média	Mediana	Moda	D. padrão	CV (%)	Curtose	Assimetria	Mínimo	Máximo	Amplitude
0 – 0,05 cm										
pH	6,4	6,3	6,3	0,3	4,4	- 0,3	- 0,1	5,8	6,9	1,1
SB (cmol _c dm ⁻³)	7,3	7,2	6,5	0,6	13,3	- 0,6	- 0,5	5,8	8,1	2,3
T (cmol _c dm ⁻³)	8,7	8,7	8,2	0,6	9,1	- 0,1	- 0,1	7,2	9,9	2,7
V (%)	62,4	62,6	59,2	6,9	8,4	- 0,6	0,1	50,5	76	25,5
0,05 – 0,10 cm										
pH	6,0	6,1	6,2	0,4	7,1	- 0,1	- 0,5	5,0	6,8	1,8
SB (cmol _c dm ⁻³)	5,1	4,9	4,9	0,9	17,6	- 0,7	0,1	3,5	6,8	3,3
T (cmol _c dm ⁻³)	7,8	7,8	7,2	0,9	7,7	10,5	- 2,2	3,3	9,2	5,9
V (%)	60,2	60,0	62,1	6,8	8,7	1,1	0,6	46,7	77,4	30,7
0,10 – 0,15 cm										
pH	5,1	5,2	5,2	0,3	6,0	- 0,4	- 0,4	4,4	5,6	1,2
SB (cmol _c dm ⁻³)	3,0	3,0	3,1	0,7	23,3	0,2	0	1,5	4,7	3,2
T (cmol _c dm ⁻³)	7,1	7,1	7,2	0,5	5,6	0	0,3	6,2	8,4	2,2
V(%)	42,6	43,1	43	8,1	19	- 0,4	- 0,3	23,4	56	32,6
0,15 – 0,20 cm										
pH	4,8	4,8	4,8	0,3	6,0	0,2	0,2	4,1	5,5	1,1
SB (cmol _c dm ⁻³)	1,8	1,8	1,4	0,8	39	- 0,1	0,6	0,5	3,7	3,2
T (cmol _c dm ⁻³)	6,3	6,3	6,2	0,5	7,9	1,7	0	4,9	7,8	2,9
V(%)	27,3	27,1	27,1	8,8	32,2	- 0,8	0,2	11,7	44,3	32,6

Os valores de coeficiente de variação (CV), segundo critérios propostos por Pimentel-Gomes e Garcia (2002), apresentaram-se baixos para o pH, em todas as camadas amostradas, variando de 4,4% (0 – 0,05 m) a 7,6% (0,05 – 0,10 m); para a SB, apresentaram-se médios, 13,3% (0 – 0,05 m), 17,6% (0,05 – 0,10 m), 23,3% (0,10 – 0,15 m) e alto, 39%, na camada 0,15 – 0,20 m; para o atributo T foram baixos, 9,1% (0 – 0,05 m), 7,7% (0,05 – 0,10 m), 5,6% (0,10 – 0,15 m) e 7,9 (0,15 – 0,20 m); para V%, apresentou-se baixo nas camadas 0 – 0,05 m (8,4%) e 0,05 – 0,10 m (8,7%), médio em 0,10 – 0,15 m (19%) e alto, 32,2%, na camada 0,15 – 0,20 m. Resultados semelhantes foram encontrados por Dalchiavon et al. (2011). De acordo com Caon (2012), a ocorrência de menores valores de CV indica menor variabilidade amostral e, por consequência, dependência espacial mais ampla entre os pontos. Coeficientes mais altos, contudo, indicam maior independência espacial entre as amostragens.

Observou-se diminuição dos valores médios em profundidade para todos os atributos avaliados, concordando com os resultados obtidos por Souza e Alves (2003). Esse comportamento é explicado, no sistema plantio direto, pelo não-revolvimento, favorecendo o acúmulo de nutrientes na superfície do solo.

Através da análise descritiva dos resultados, pode-se observar grande similaridade entre os valores de média e mediana dos atributos avaliados, sendo que as medianas apresentaram, na maioria das avaliações, valores iguais aos das médias. Os valores de média e mediana que não se igualaram, se apresentaram ligeiramente maiores ou menores aos das médias, concordando com Corá et al. (2004). Os valores das modas se apresentaram, na maioria das avaliações, também muito próximos aos das outras duas medidas.

Siqueira Neto et al. (2009) observaram, para o pH, em SPD, diferenças significativas entre camadas, com o gradiente decrescendo em profundidade, de 0 até 0,20 m, mesma constatação de Trevisan et. al. (2008). No presente trabalho não foi observada diferença significativa entre as duas camadas superiores, que apresentaram acidez baixa e valores adequados de soma de bases, CTC a pH 7 e saturação de bases, conforme os critérios de Alvarez et al. (1999). No entanto, abaixo de 0,10 m, a acidez aumenta significativa e progressivamente nas camadas de 0,10 – 0,15 m (5,1) e de 0,15 – 0,20 m (4,9), evidenciando a ação mais superficial do calcário não incorporado ao solo e a formação de um ambiente de acidez nas camadas abaixo de 0,10 m de profundidade, concordando com Zanão Júnior et al. (2010).

Moraes et al. (2007), estudando a mobilidade de íons em Latossolo Vermelho textura muito argilosa (640 g kg⁻¹), ácido, observaram elevação do pH (CaCl₂), de 4,1 para 7,0 na camada de 0 – 0,08 m, pela aplicação de 6,1 t ha⁻¹ de calcário. No mesmo

trabalho, avaliando a aplicação de calcário na presença de materiais vegetais de nabo forrageiro e aveia preta, os autores relataram não ter havido elevação de pH, em nível diferente, em relação à aplicação isolada do calcário, na mesma profundidade. Segundo os autores, nas camadas inferiores a 0,08 m, não se observou aumento de pH superior a 0,2 unidade, concordando com os resultados deste trabalho.

De acordo com Rheinheimer et al. (2000), enquanto houver a predominância de cátions ácidos (Al^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} e H^{+}), a reação de neutralização da acidez se limitará à camada superficial do solo, retardando o efeito em subsuperfície. Caires et al. (2000), avaliando os efeitos da calagem na superfície em plantio direto, observaram aumentos significativos do pH, Ca + Mg trocáveis e saturação por bases e na redução da acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$), até 0,10 m de profundidade, enquanto, abaixo dessa camada, estes efeitos ocorreram com menor intensidade.

Segundo Zañão Júnior et al. (2007), havendo independência espacial da variável avaliada, ajusta-se o semivariograma do modelo linear, onde C_0 (efeito pepita) é igual a $C_1 + C_0$ (patamar), evento conhecido por efeito pepita puro (EPP). Cambardella et al. (1994), acrescenta que o EPP, por indicar que o espaçamento de amostragem foi inferior ao necessário para detectar dependência espacial, revela casualidade na distribuição e a possibilidade de ter havido falhas de amostragem ou microvariações não detectadas.

A ocorrência de variabilidade na distribuição dos atributos químicos do solo se apresenta como consequência de complexas interações que envolvem os processos de sua formação e as práticas de manejo do solo e das culturas, causando maior impacto, principalmente nas camadas superficiais do solo conforme relatado por Carvalho et al. (2003).

De acordo com Chaves e Farias (2009), ainda que os dados apresentem distribuições simétricas, com os coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero e, ainda, pela proximidade entre os valores médios e medianos para a maioria dos atributos, admite-se que possam ser utilizados procedimentos de geoestatística, permitindo calcular a dependência espacial dos atributos, já que, nos estudos geoestatísticos, a ocorrência ou não do efeito proporcional em que a média e a variância dos dados não sejam constantes na área de estudo é de caráter mais relevante que a normalidade dos dados.

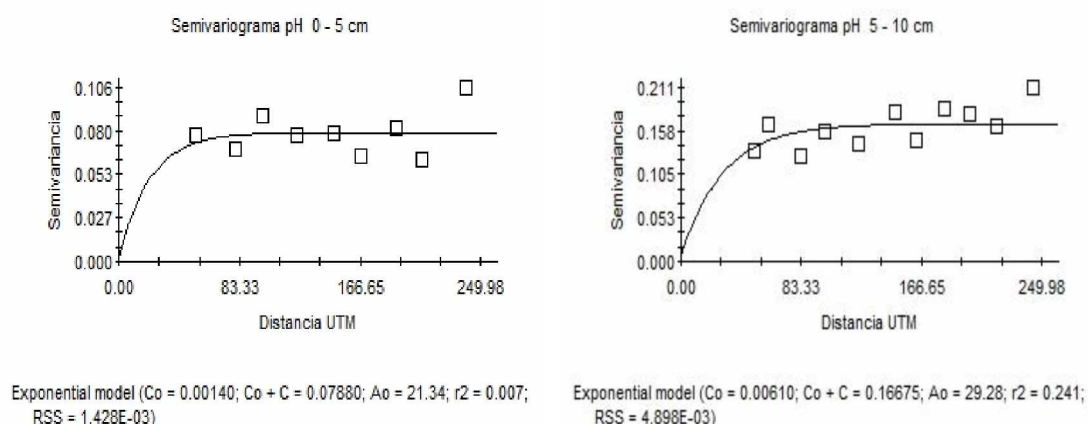
Os procedimentos geoestatísticos dependem diretamente do estudo da dependência espacial, por meio do semivariograma, parte principal na determinação do padrão de dependência espacial e do interpolador geoestatístico (krigagem) (HONGYU, 2012). De acordo com Hongyu (2012), através da função de semivariância, o

semivariograma apresenta a variabilidade espacial entre os pontos amostrados, dependendo apenas da distância h entre os pares de casos amostrados.

O semivariograma permite o cálculo dos parâmetros envolvidos no modelo, a saber a distância da dependência espacial (A_0), conhecida como range ou alcance da dependência espacial que é o alcance máximo da dependência espacial, indicando que, a partir dessa distância, termina a dependência entre os casos estudados (SILVA et al., 2003); o efeito pepita (C_0), conhecido por *mugget effect* que é o valor da semivariância a distância zero, ou seja, representa a variabilidade para escalas menores que a distância de amostragem; e altura (C) ou sill que é a distância entre o efeito pepita e o patamar ($C_0 + C$), intervalo esse no qual o semivariograma cresce, havendo dependência espacial. O patamar representa a altura na qual o semivariograma se estabiliza, aproximando-se da variabilidade total dos valores amostrados (OPROMOLLA et al., 2006).

A análise geoestatística, realizada através do ajuste dos semivariogramas demonstrou a existência de dependência espacial para todos os atributos, nas profundidades avaliadas, à exceção da saturação por bases, na profundidade de 0,10 – 0,15 m, que apresentou o efeito pepita puro, quando as amostragens não se correlacionam entre si. Todos os semivariogramas (Figuras 2, 3, 4 e 5) foram ajustados pelos modelos exponencial e esférico. Considera-se os modelos esférico e exponencial como os mais comumente ajustáveis às avaliações de dependência espacial de atributos de solo (TRANGMAR et al., 1985; CAMBARDELLA et al., 1994; SALVIANO et al. 1998; ZANÃO JÚNIOR, 2004; ZANÃO JÚNIOR et al. 2007).

FIGURA 2 – Semivariogramas do potencial hidrogeniônico (pH), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio direto.



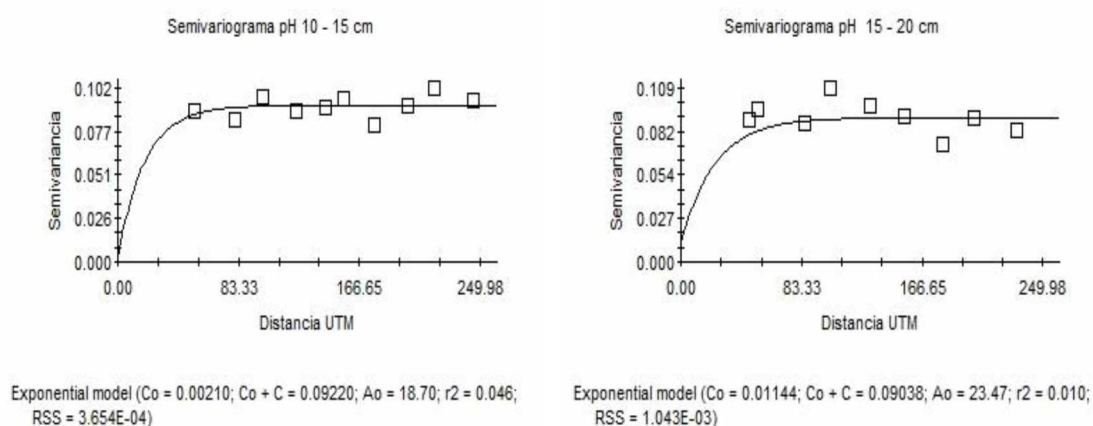


FIGURA 3 – Semivariogramas da soma de bases (SB), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio direto.

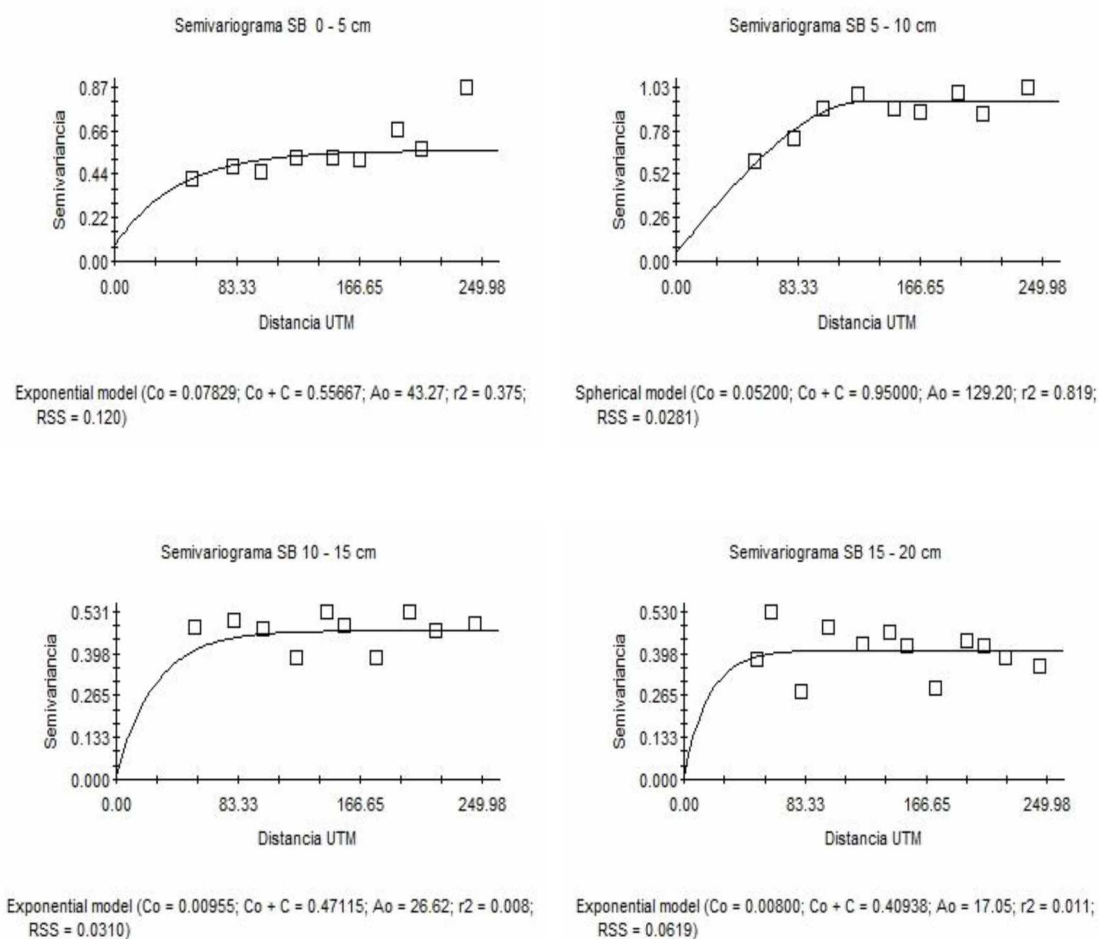


FIGURA 4 – Semivariogramas da capacidade de troca catiônica (T), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio direto.

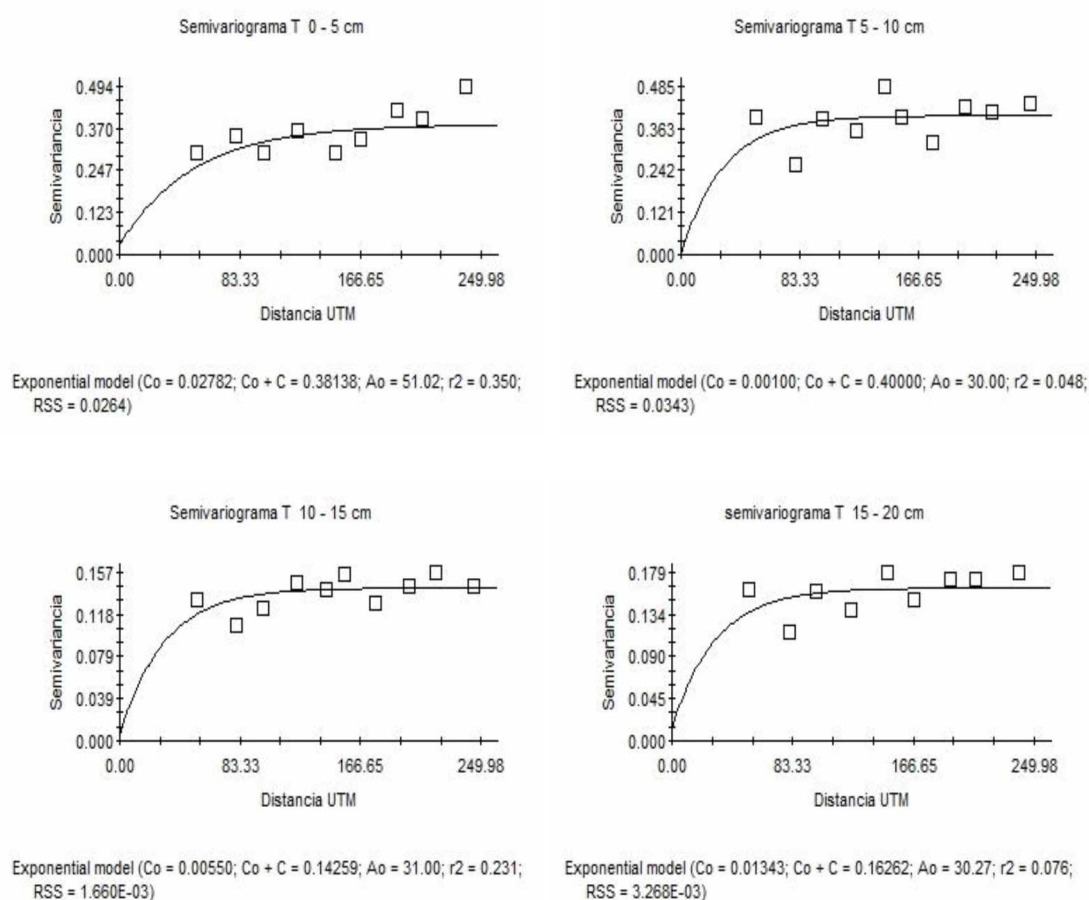
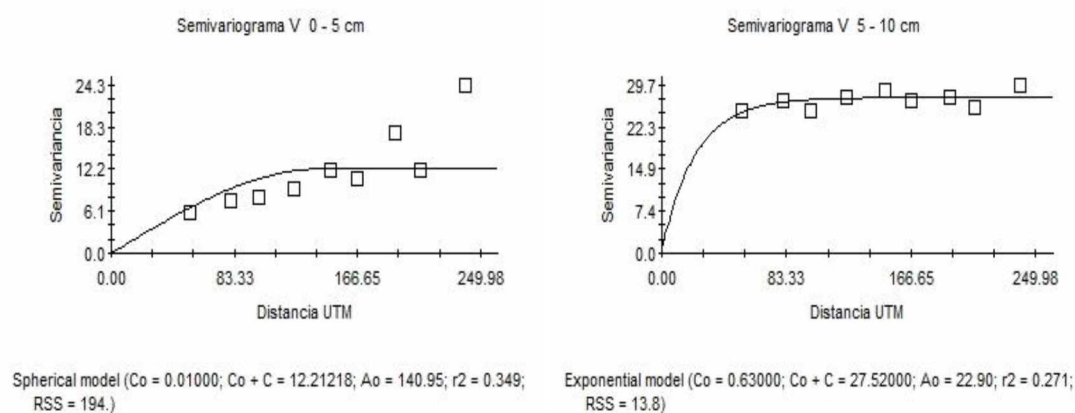
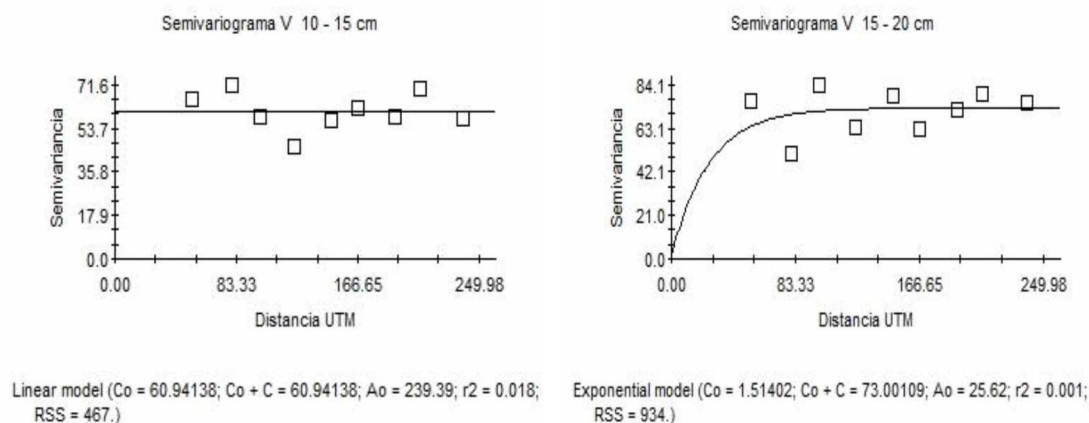


FIGURA 5 – Semivariogramas da saturação por bases (V%), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio direto





Fazendo uma análise dos valores de C_0 (efeito pepita), que Vieira (2000) define como a variabilidade não explicada, podendo ser devida a falhas de amostragem ou pequenas variações do solo não detectadas, pode-se observar que todos os atributos, exceto V%, apresentaram baixo C_0 para as quatro profundidades analisadas, variando de 0,000010 a 0,63.

De acordo com Cavalcante et al. (2007), C_0 demonstra a variabilidade não explicada, em função da distância entre os pontos de amostragem, como variações aleatórias do local, falhas de amostragem e erros de análise. Trangmar et al. (1994), acrescentam que devido à impossibilidade de quantificar individualmente esses erros, C_0 pode ser demonstrado como um percentual do patamar, proporcionando maior facilidade para comparar o nível da dependência espacial das variáveis analisadas.

Considerando os valores resultantes da divisão do efeito pepita por $C_0 + C$ (patamar), cujo resultado, segundo Cambardella et al. (1994) indica o grau de dependência espacial (GDE), constatou-se, neste trabalho, GDE forte para todas as variáveis, ou seja, C_0/C_0+C menor ou igual a 25%. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2003), Zanão Junior et al. (2007) e Dalchiavon et al. (2012), o que destaca a importância do conhecimento da estrutura de dependência espacial.

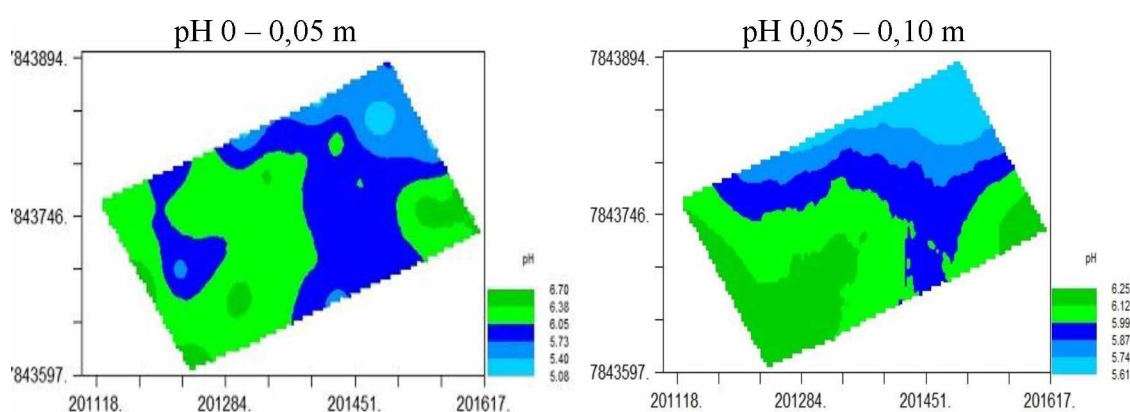
No semivariograma, é denominado alcance da dependência espacial (A_0), a medida da distância a partir da qual a semivariância se estabiliza. Qualquer medição realizada a distância maior que A_0 , terá distribuição espacial aleatória, sendo, dessa forma consideradas independentes entre si (GUIMARÃES, 2004). Já amostras localizadas em distâncias menores que A_0 , são correlacionadas, sendo possível realizar interpolação de dados para pontos não amostrados (VIEIRA, 2000). Este autor acrescenta que os valores obtidos no alcance podem influenciar na qualidade das estimativas, já que, na interpolação por krigagem ordinária, valores de alcance

maiores tendem a ter maior confiabilidade, pois irão gerar mapas mais representativos da área.

O alcance, para o atributo pH, variou de 55 m, na camada de 0,10 – 0,15 m, a 87 m, na camada de 0,05 – 0,10 m. Para o atributo SB, variou de 51 m, na camada de 0,15 – 0,20 m, a 129 m, na camada de 0,05 – 0,10 m. Para T, a variação foi de 90 m, em 0,05 – 0,10 m, a 155 m, na camada de 0 – 0,05 m. Já a saturação de bases, V%, variou de 69 m, na camada de 0,05 – 0,10 m, a 141 m, na camada de 0 – 0,05 m. O modelo de semivariograma mais ajustado neste trabalho foi o exponencial. Neste modelo, o valor de A_0 , indicado na legenda dos gráficos, deve ser multiplicado por 3, pois o software GS+ não considera, neste modelo, o fator 3 utilizado em outros modelos.

Os mapas de isolinhas (Figuras 6, 7, 8 e 9) obtidos por meio dos ajustes de semivariogramas, permitem, segundo Matias (2015), identificar e delimitar áreas com maior ou menor variabilidade do solo, possibilitando aplicações de insumos em taxa variável, reduzindo gastos desnecessários e causando menor impacto ambiental. São mostradas regiões de abrangência da dependência espacial de cada atributo, nas quatro profundidades, na área de amostragem sob sistema de plantio direto. As cores representam as áreas onde foi identificada relação de dependência espacial, de acordo com os teores médios dos atributos, obtidos por interpolação de pontos vizinhos.

Figura 6. Mapas de isolinhas para o potencial hidrogeniônico (pH), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio direto.



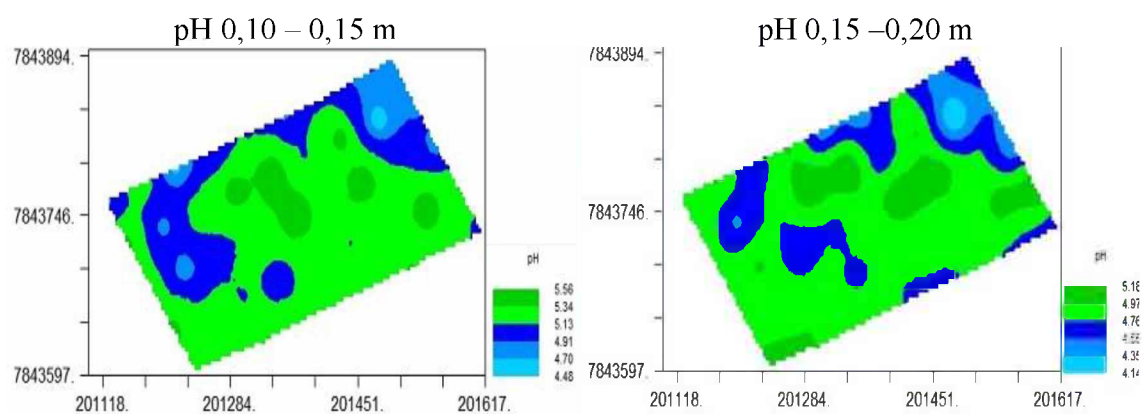


Figura 7. Mapas de isolinhas para a soma de bases (SB), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio direto.

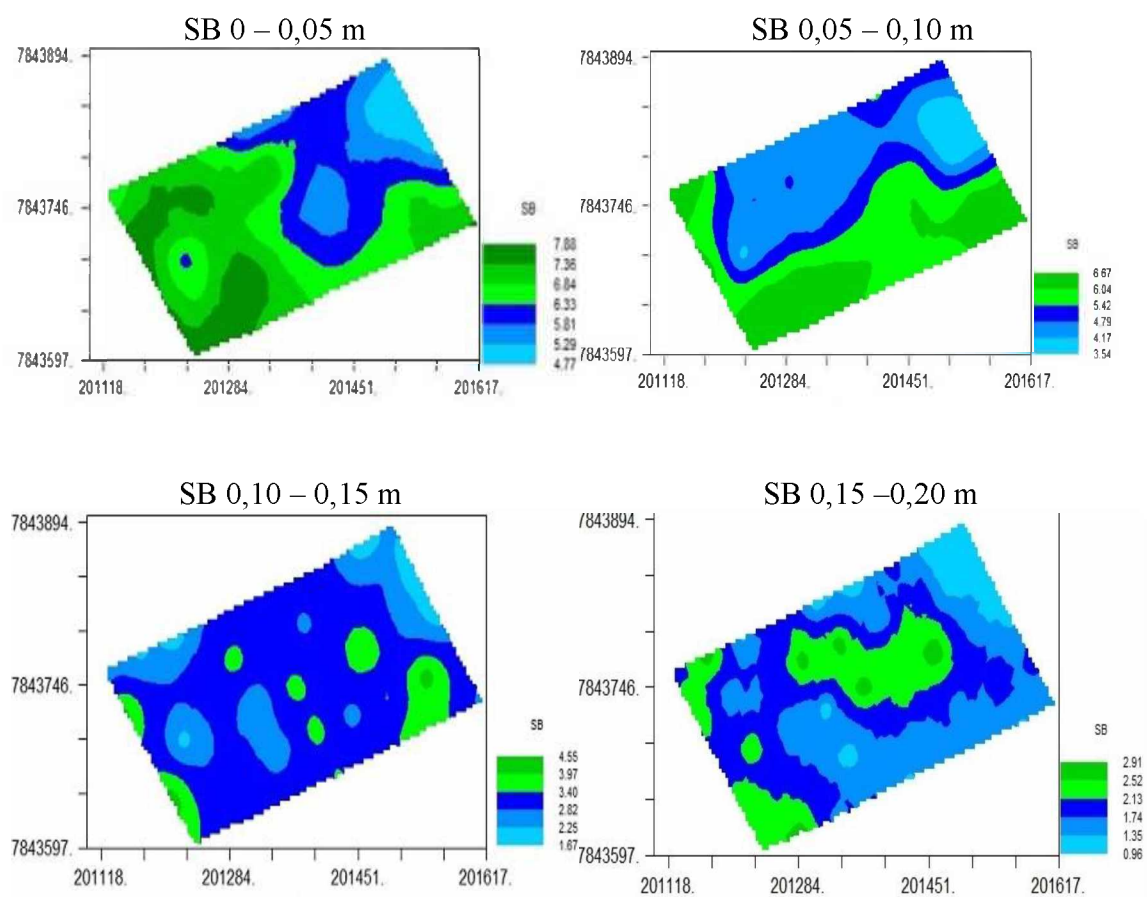


Figura 8. Mapas de isolinhas para a capacidade de troca catiônica (T), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio direto.

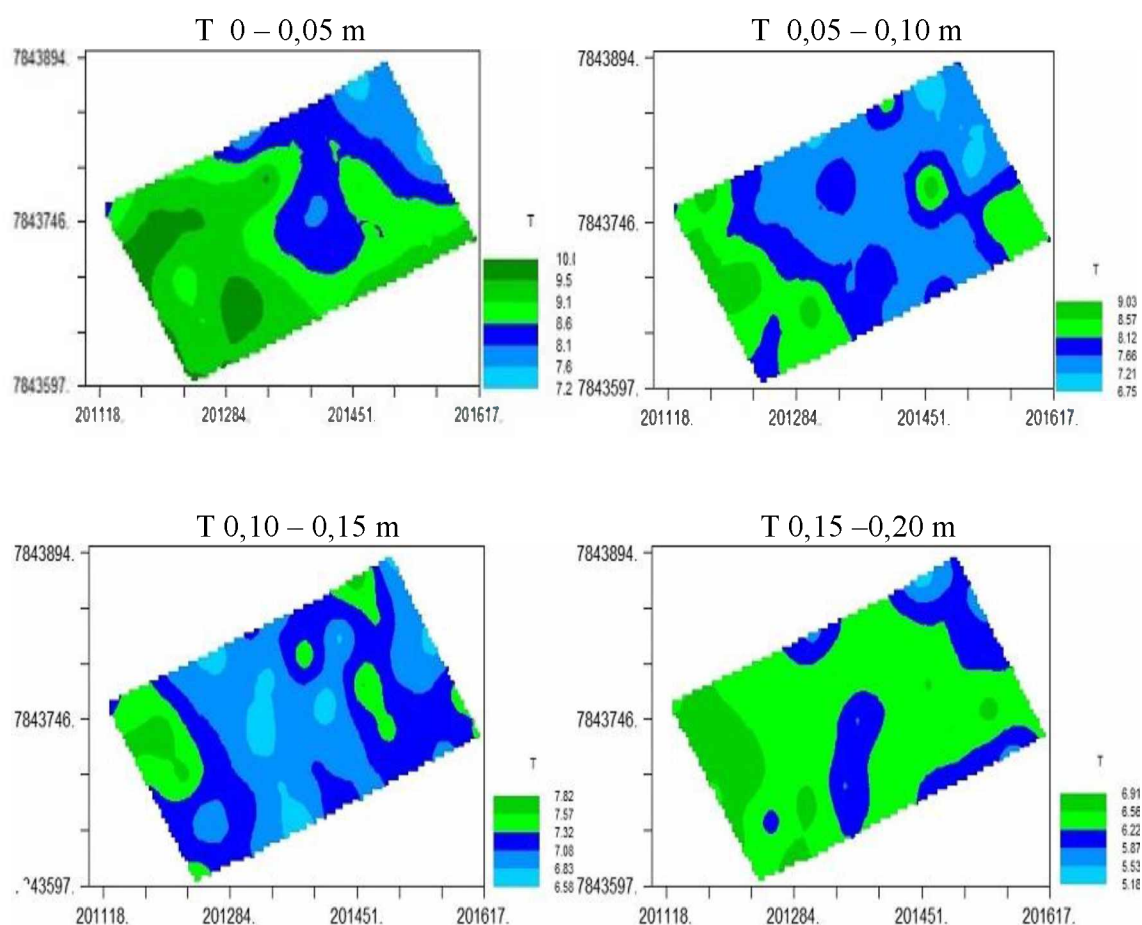
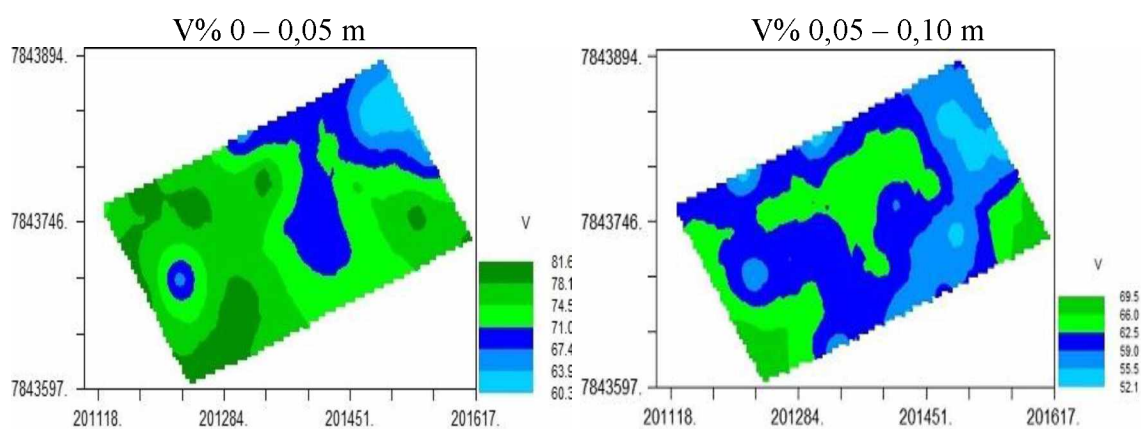
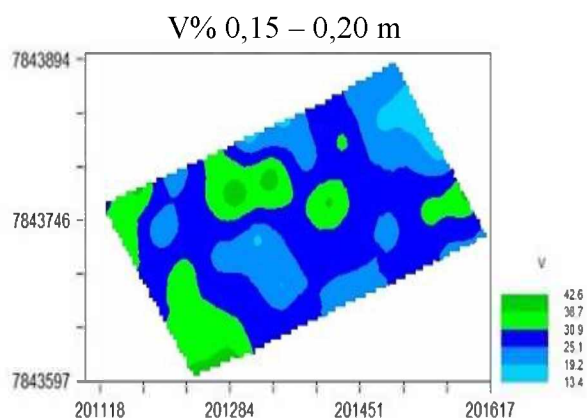


Figura 9. Mapas de isolinhas para a saturação por bases (V%), nas camadas de 0 – 0,05 m, 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m em área sob sistema de plantio direto.





Pela leitura dos mapas observa-se que o não revolvimento do solo, característica do sistema de plantio direto, proporciona menor variabilidade vertical dos nutrientes até 0,10 m de profundidade. Descendo no perfil, abaixo de 0,10 m, ocorre gradativa diminuição dos atributos de fertilidade do solo. No plano horizontal, linhas mais amplas indicam menor variabilidade, enquanto linhas mais estreitas, maior variabilidade dos atributos. A baixa mobilidade dos íons Ca^{+2} e Mg^{+2} , liberados pelo calcário aplicado sobre o solo, sem o posterior revolvimento, explica os maiores valores de SB, pH e V% até 0,10 m de profundidade. As variações no plano horizontal podem ocorrer devido à natureza dos processos pedogenéticos, bem como por falhas nas aplicações de calcário.

4 CONCLUSÕES

- O pH mais alto e os maiores teores de capacidade de troca catiônica (T) e saturação por bases (V%) foram observados nas camadas de 0 – 0,05 m e 0,05 – 0,10 m, decrescendo nas camadas inferiores. A soma de bases (SB) apresentou valores significativamente decrescentes de 0 – 0,05 m até 0,15 – 0,20 m.
- Os valores do alcance da dependência espacial variaram, para todos atributos, entre as camadas estudadas.
- A aplicação superficial de corretivos e fertilizantes, sem incorporação, proporciona níveis mais elevados nas camadas até 0,10 m de profundidade. Os efeitos corretivos reduzem abaixo de 0,10 m.

5 REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V. V.H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- AMADO, T.J.C. et al. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 08, p. 1101-1110, 2007.
- ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (ed.) **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 1998. p. 27-52.
- CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 161-169, 2000.
- CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.
- CAON, D. **Espacialização e mapeamento da fertilidade em diferentes camadas do solo e densidades amostrais**. 2012. 63f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava. 2012.
- CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 695-703, 2003.
- CAVALCANTE, E.G.S. et al. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p. 394-400, 2007.
- CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p. 211-218, 2009.
- COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: NOVAIS, R.F et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. vol.1, p.249-290, 2003.
- CORÁ, J.E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1013-1021, 2004.
- DALCHIAVON, F.C. et al. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.

DALCHIAVON, F.C. et al. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 908-916, 2011.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, SSSA, 1994. p.1-20. Disponível em: <<https://naldc.nal.usda.gov/download/16818/PDF>>. Acesso em: 10 maio 2017.

GUIMARÃES, E.C. **Geoestatística básica e aplicada**. Núcleo de Estudos Estatísticos e Biométricos, FAMAT/UFU, Uberlândia, 2004.

HONGYU, K. **Seleção e ajuste de modelos espaciais de semivariograma aplicados a dados do pH do solo**. Programa de Pós graduação em Estatística e Experimentação Agrônômica – Departamento de Ciência Exatas, ESALQ/USP, 2012, 14p.

KÖPPEN, W. **Das geographische system der klimatologie**: Handbusch der Klimatologie. Berlim: Gebruder Borntrazer, 1936. 44p.

LIMA, J.S.S.; SILVA, S.A.; SILVA, J.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 16-23, jan./mar. 2013.

LOPES, A. S. et al. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA, 2004. 115 p.

MATIAS, S.S.R. Variabilidade espacial dos atributos do solo em duas áreas de manejo convencional no Cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias**, Viçosa, v.58, n.2, p. 217-227, 2015.

MORAES, M.F. et al. Mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de calcário, ácido orgânico e material vegetal em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 04, p. 673-684, 2007.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Ecologia do solo. In: _____. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. atual. e ampl. Lavras: UFLA, 2006. Cap. 3, p. 83-162.

NEGREIROS NETO, J. V. et al. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 193-204, jan./fev. 2014.

PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. Atributos químicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso e manejo no município de Reserva – PR. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 16, n. 55, p. 186-194, set. 2015.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. 11.ed. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

RHEINHEIMER, D.S. et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 797-805, 2000.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 115-122, 1998.

SCHAFFRATH, V.R. et al. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1369-1377, 2008.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2485-2492, 2000.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy** (Online), Maringá, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 133-139, 2003.

TORRES, J.L.R. et al. Atributos indicadores da qualidade do solo numa área sob plantio direto ha doze anos. **Comunicata Scientiae**, Teresina, v. 6, n. 2, p. 123-133, 2015.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geoestatísticas to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, n. 2, p. 45-94, 1985.

TREVISAN, L.R. et al. Variabilidade vertical de pH, bases e enxofre em Latossolo vermelho cultivado sob sistema plantio direto e cultivo mínimo. **Revista Horizonte Científico**, Uberlândia, v. 2, n.1, out. 2008.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G.R. (Ed.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.

WEIRICH NETO, P.H. et al. Análise multivariada da resistência do solo à penetração sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1186-1192, 2006.

ZANÃO JÚNIOR, L.A. **Variabilidade espacial de atributos químicos de um solo sob sistema plantio direto**. 2004. 51f. Monografia de conclusão de curso Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2004.

ZANÃO JUNIOR, L.A; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial do pH, teores de MO e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.

ZANÃO JÚNIOR, L.A. et al. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em Latossolos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p. 389 – 400, jan., 2010.