

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UM SOLO CULTIVADO COM CAPIM BRACHIARIA

¹Gabriel G. G. Cardoso; ²Rilley Castro Wanderley; ³Mara Lúcia Cruz Souza

¹Tecgo. em Irrigação e Drenagem, Prof. Adjunto, Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, Ceres - GO, Fone: (0XX62) 3307.7100, gabriel.cardoso@ifgoiano.edu.br.

²Graduando em Eng. Agrícola, Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, Urutaí - GO.

³Graduando em Eng. Agrícola, Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, Urutaí - GO.

Apresentado no

XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014

27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar a dependência espacial de alguns atributos físicos de um solo cultivado com brachiaria. Atribuiu-se uma grade de coordenadas para que as amostras pudessem ser georeferenciadas, obtendo os valores da variabilidade espacial da densidade das partículas, densidade do solo, teor de areia, teor de argila e da porosidade total, numa área de 4.000 m². As amostras do solo foram coletadas em uma malha regular 12 x 12 m, totalizando 35 pontos, na profundidade de 0,30 m. Os dados foram avaliados por meio da geoestatística, com auxílio do software GS+ que possibilita além do estudo do semivariograma, a elaboração de mapas tridimensionais. Pode-se constatar que as áreas de maior porosidade ocorreram em regiões de solo com maior densidade do solo e de menor densidade de partículas. A relação entre a porosidade e a densidade do solo foi a que resultou no maior coeficiente de regressão, com valor de 0,596. Este valor maior está de acordo com a correlação linear de Pearson, que também foi maior para essas variáveis e igual a -0,772.

PALAVRAS-CHAVE: Geoestatística; Sistema de manejo; Krigagem.

SPATIAL VARIABILITY OF SOME PHYSICAL CHARACTERISTICS OF A SOIL GROWN WITH BRACHARIA

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the spatial dependence of some physical properties of a soil with Brachiaria. Assigned a coordinate grid so that samples could be georeferenced, obtaining the values of the spatial variability of particle density, bulk density, sand content, clay content and porosity in an area of 4.000 m². Soil samples were collected in a regular grid 12 x 12 m, totaling 35 points, at a depth of 0,30 m. The data were evaluated by means of geostatistics, using the GS + software that allows the study of the semivariogram addition, the development of three-dimensional maps. It can be seen that the areas of higher porosity occurred in regions

with higher soil bulk density and lower density of particles. The relationship between porosity and bulk density was the one that produced the highest regression coefficient, with a value of 0,596. This higher value is consistent with the Pearson correlation, which was also higher for these variables and equal to -0,772 .

KEYWORDS: Geostatistics; Management system; Kriging.

INTRODUÇÃO

As pastagens, de modo geral, têm a capacidade de manter ou até mesmo aumentar o teor de matéria orgânica (MO) do solo, em contraste com os cultivos anuais, e são favorecidas pela grande quantidade de resíduos de material orgânico e pelo sistema radicular extenso e em constante renovação. Com base no resultado obtido por Spera et al. (2010), é possível afirmar que os solos de áreas sob pastejo sofrem alterações físicas, de maior ou menor intensidade, pela ação do pisoteio dos animais. Essa situação é agravada quando o solo está com umidade na faixa mais favorável à deformação plástica, o que ocorre imediatamente acima do seu limite de friabilidade. Atributos como densidade e porosidade total mostram quando um solo apresenta condições adequadas ao desenvolvimento e à exploração das raízes, indicando se há problemas de compactação (Ramirez-Lopez et al., 2008).

Segundo Grego et al. (2012), o conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo e de suas relações com a pastagem pode auxiliar no seu manejo. O manejo de animais sobre as pastagens causa modificações físicas do solo em médio e longo prazo, e estas modificações variam no espaço. Portanto, a análise geoestatística aplicada a essas áreas pode ser importante para identificar padrões espaciais de solo e de planta que auxiliem na otimização do sistema de produção.

Miguel et al. (2009) relataram a dependência espacial de atributos do solo em pastagens e observaram variação na infiltração de água em função da intensidade de pisoteio. Técnicas como a geoestatística podem permitir o conhecimento da estrutura espacial e temporal dessa variável, bem como estimar os valores de variáveis correlacionadas. A geoestatística também permite analisar adequadamente dados experimentais que, muitas vezes, são mal interpretados por se considerar a hipótese de aleatoriedade verdadeira, sem a ocorrência de dependência espacial.

A interpolação pressupõe que, em média, valores do atributo tendem a ser similares em locais mais próximos do que em locais mais afastados (Carvalho, et al., 2012). A validação cruzada é uma ferramenta destinada a avaliar modelos alternativos de semivariogramas que efetuarão a krigagem. Na sua análise, cada ponto contido dentro do domínio espacial é removido individualmente, sendo seu valor estimado por meio de krigagem como se ele não existisse. Para Faraco et al.(2008), dentre vários métodos de avaliação de ajustes estudados, o da Validação Cruzada foi o mais adequado para escolha do melhor ajuste do modelo de variabilidade espacial, proporcionando, assim, mapas temáticos mais acurados.

Dado à necessidade de entender o comportamento e relação entre as propriedades físicas do solo, o objetivo do presente trabalho foi correlacionar a porosidade total de solo com pastagem, com a densidade global e aparente, levando em consideração a variabilidade espacial pela geoestatística.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados experimentais foram obtidos em outubro de 2013, numa área pertencente ao Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, localizada nas coordenadas geográficas 17° 30' 35" S e 48° 12' 03" O, com altitude média de 800 m, clima tropical com estação seca no inverno e precipitação média de 1860 mm (IAPAR, 2009). O solo foi caracterizado como Latossolo Vermelho distroférrico típico (EMBRAPA, 2006), possuindo granulometria de 43,02; 40,69 e 16,29% de areia, silte e argila, respectivamente, classificado como solo franco. A área de 3500 m² vinha sendo trabalhada há 5 anos com pastagem.

O solo amostrado foi inicialmente demarcado por estacas na área em que seriam coletados. Utilizou-se um teodolito digital para delimitar a área retangular com lados de 48 x 72 metros. Coletou-se 35 amostras de solo, numa malha de 12 x 12 m, por meio de um anel volumétrico, das quais foram submetidas a análises de porosidade, densidade global e de partículas.

Para determinar a porosidade total do solo, as amostras indeformadas foram saturadas durante 24 h em bandeja com água até dois terços da altura do anel. Nas mesmas amostras foram determinadas a densidade do solo, por meio do método do volume conhecido e a densidade das partículas. Após a coleta das amostras, o material foi acondicionado em béqueres, pesado e colocado em estufa à temperatura de (105° C) até peso constante.

Na análise exploratória dos dados foram calculadas as medidas de posição (média, mediana), de dispersão (desvio padrão) e de forma da distribuição (coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose). Os coeficientes de assimetria e curtose foram comparados de acordo com Jones (1969). A hipótese de normalidade dos dados foi verificada com o teste de Anderson-Darling a nível de 5% de probabilidade. O coeficiente de variação (CV) foi considerado baixo quando $CV \leq 10\%$ (homocedasticidade); médio quando $10\% < CV \leq 20\%$; alto quando $20\% < CV \leq 30\%$ e muito alto quando $CV > 30\%$ (heterocedasticidade) conforme Gomes & Garcia (2002).

Foi realizado estudo da dependência espacial por meio de uma análise geoestatística com intuito de verificar a existência e quantificar o grau de dependência espacial entre os atributos. Todos os modelos foram ajustados pelo software GS+, considerando a menor soma do quadrado dos resíduos, o maior coeficiente de determinação R^2 e pelo coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada. Em seguida, os variogramas foram escalonados pela variância dos dados.

Obtiveram-se os semivariogramas experimentais aplicando-se os métodos de ajuste de mínimos quadrados ordinários (OLS) e se adotando o modelo isotrópico (semivariograma unidirecional) com distância de corte de 50% da distância máxima da área em estudo. Selecionou-se o melhor modelo por meio da validação cruzada (Faraco et al., 2008), utilizando-se o método proposto por Bazzi et al. (2009), e o índice de comparação de erros (ICE) que, na seleção de j modelos, proporciona um valor tão menor quanto mais próximo de zero for ER (Erro Médio) e mais perto de um for SER (Erro médio Reduzido). Portanto, na escolha entre diversos modelos o melhor é o que tiver menor ICE. O grau de dependência espacial dos semivariogramas foi avaliado pelo coeficiente de efeito pepita (E%), segundo os intervalos propostos por Cambardella et

al. (1994): $E\% \leq 25$ - forte dependência espacial; $25 \leq E\% \leq 75$ - moderada dependência espacial e $E\% \geq 75\%$ - fraca dependência espacial.

Para avaliar o grau de correlação entre as variáveis utilizou-se o coeficiente de correlação linear de Pearson (R) e classificados conforme interpretação adaptada de Zou et al. (2003). Os mapas temáticos foram elaborados utilizando-se os parâmetros de efeito pepita, patamar e alcance, fornecidos pelo software GS+ (Geostatistics for the Environmental Sciences).

RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à estatística descritiva (Tabela 1) indicaram normalidade dos dados para todas as variáveis estudada, com exceção da densidade das partículas. Com exceção da porosidade, todas as variáveis apresentaram curtose platicúrtica. Quanto a simetria, apenas a densidade do solo e teor de argila apresentaram distribuição simétrica. Pelo teste de normalidade Anderson-Darling, apenas a densidade das partículas não apresentou distribuição normal a 5% de probabilidade.

Todas as variáveis tiveram $CV \leq 10\%$, indicaram homogeneidade dos dados segundo Gomes & Garcia (2002) em concordância com os resultados obtidos por Souza et al. (2004) e Schaffrath et al. (2008) em áreas cultivadas sob sistema de plantio direto. Constata-se que os valores de densidade do solo apresentaram valores entre 1,17 e 1,60 kg m^{-3} , semelhantes aos valores obtidos por Faraco et al. (2008).

Tabela 1. Estatística descritiva da porosidade total (%), densidade do solo (kg dm^{-3}), densidade de partículas (kg dm^{-3}), teor de areia (%) e teor de argila (%).

Variáveis	Mínimo	Média	Máximo	Mediana	DP	CV(%)	Assimetria	Curtose	Normal
Densidade partículas	2,44	2,77	2,90	2,82	1,14	5,20	-1,32(c)	0,73(B)	Não
Densidade solo	1,17	1,38	1,60	1,37	0,1	7,10	0,44(a)	0,28(B)	Sim
Porosidade	40,52	49,79	59,03	50,70	4,43	8,90	-0,36(c)	-0,37(C)	Sim
Areia	38,18	43,02	52,24	42,84	2,88	6,69	1,51(b)	3,68(B)	Sim
Argila	13,20	16,29	20,92	16,17	1,52	9,32	0,77(a)	2,00(B)	Sim

* Teste de normalidade Anderson-Darling; Assimetria - distribuição simétrica (a), assimetria positiva (b), assimetria negativa (c); Curtose - mesocúrtica (A), platicúrtica (B), leptocúrtica (C); DP - desvio padrão.

Pelas correlações lineares de Pearson observou-se forte correlação entre a porosidade com a densidade de partículas (0,601) e densidade do solo (-0,772). Também uma forte correlação entre os teores de areia e argila (-0,606). As demais variáveis não apresentaram correlação significativa. Concordando com Kiehl (1979), o qual explicou que a diminuição da densidade do solo implica no predomínio de partículas mais finas no solo, com maior capacidade de retenção de água e conseqüentemente no aumento da porosidade. A forte relação positiva entre a densidade de partículas com a porosidade está relacionada com as partículas do solo de menor diâmetro, que além de terem maior densidade, possuem maior quantidade de microporos e de porosidade total.

Todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial (Tabela 2). O coeficiente de efeito pepita ($E\%$) de acordo com Cambardella et al. (1994) mostrou forte dependência espacial para todos os atributos ($E\% \leq 25$). Conforme Panosso et al. (2008) o alcance (a) é um parâmetro importante no estudo do semivariograma haja

vista que representa a distância máxima em que pontos da mesma variável estão correlacionados espacialmente e, sendo assim, pode-se verificar que a dependência dos dados (alcance, “A”) se deu em um raio maior que 14,25 m (teor de areia), distância essa superior à malha de coleta do solo (12 x 12). A seleção dos modelos deu-se por meio do menor índice de comparação de erros (ICE), obtido a partir da validação cruzada. Os modelos teóricos de semivariograma selecionados foram o exponencial, para as variáveis densidade de partículas, gaussiano para as variáveis densidade do solo e teor de argila, Linear para a variável porosidade e esférico para teor de argila.

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais.

Atributos	Modelo	C ₀ efeito pepita	C ₀ + C patamar	A Alcance	E%*
Densidade partículas	Exponencial	0,0026	0,023	21,78	0,888
Densidade do solo	Gaussiano	0,0000	0,009	14,96	0,999
Porosidade	Linear	20,2636	20,2636	39,20	0,000
Areia	Esférico	0,0100	7,1260	14,25	0,999
Argila	Gaussiano	0,0010	2,1950	19,93	1,000

* E% - Coeficiente de efeito pepita $(C_0/C_0 + C) \times 100$

Observando os mapas gerados após a interpolação dos dados (Figura 1), constata-se que os valores para densidade de partículas (Figura 1A) variaram de 2,48 a 2,89 kg dm⁻³, sendo que os maiores valores de densidade das partículas (2,81 a 2,89 kg dm⁻³) abrangem grande parte do mapa, estendendo-se pelas bordas esquerdas e direitas da área à quase totalidade. Os menores valores (2,56 a 2,48 kg dm⁻³) se concentram principalmente no centro e nas regiões superior e inferior do mapa.

No mapa da porosidade total (Figura 1B) os valores variaram de 41,8 a 57,3 %, predominando valores intermediários de porosidade totais (48,9 a 51,1 %) e com maiores valores (51,1 a 54,2 %) em uma pequena área da região superior. A baixa porosidade do solo está relacionada com a falta de revolvimento do solo, pois a mais de 5 anos este solo estava coberto por capim broquearia.

Os valores de densidade do solo observados no mapa (Figura 1C) variaram de 1,18 a 1,59 kg dm⁻³, sendo que os valores mais altos (1,43 a 1,59 kg dm⁻³) se encontraram em grande parte do mapa, concentrado principalmente nas regiões laterais da área. Os menores valores (1,18 a 1,25 kg dm⁻³) se localizam nas regiões superior e inferior do mapa. Verificou-se que a maior parte da área se apresenta com valores de densidade considerados críticos, sendo 1,60 kg dm⁻³ o valor limite, acima do qual as raízes não podem penetrar nos solos argilosos (Kiehl, 1979) com necessidade de adoção de um manejo adequado. Hamza & Anderson (2005) sugeriram uma combinação de práticas de manejo para abrandar ou retardar o problema de compactação do solo. Tais práticas incluem o tráfego controlado de máquinas agrícolas, o plantio direto, o uso de rotação de culturas que inclua plantas de raízes profundas, fortes (capazes de penetrar em solos relativamente compactados) e que ofereçam boa cobertura e matéria orgânica para o solo (melhorando não apenas as condições físicas mas também condições químicas e biológicas do solo e contribuindo no controle de plantas invasoras).

A área vinha sendo ocupada por forragem há mais de 5 anos, sem um planejamento adequado, gradeamento ou aragem. Conforme Rosa Filho et al. (2009),

apesar do solo ser submetido a um tráfego menor de máquinas, ele não é revolvido e isto pode provocar adensamento de sua camada superficial. O adensamento foi verificado pelo aumento da densidade do solo e da diminuição da porosidade total.

No mapa do teor de areia do solo (Figura 1D) os valores variaram de 38,2 a 52,2 %, predominando valores menores (38,2 a 43,8 %) em praticamente todas as regiões do mapa e maiores valores (49,4 a 52,2 %) em uma pequena região superior da área.

Os valores de teor de argila observados no mapa (Figura 1E) variaram de 13,5 a 20,6 %, sendo que os valores mais altos (13,5 a 16,3 %) se encontraram na região central. Os maiores valores (17,7 a 20,6 %) se localizam numa pequena região da lateral esquerda.

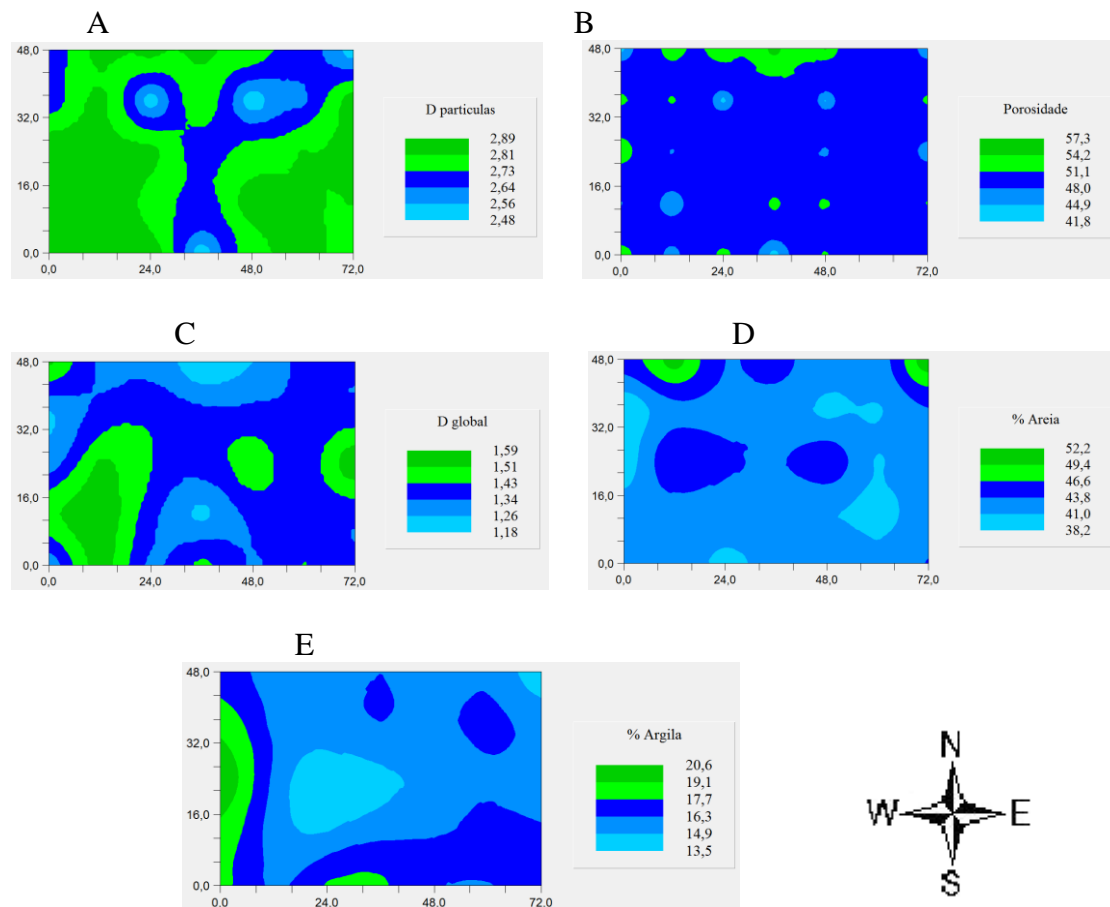


Figura 1. Distribuição espacial da densidade partículas, kg dm⁻³ (A); porosidade total, % (B); densidade do solo, kg dm⁻³ (C); teor de areia, % (D); teor de argila, % (E).

CONCLUSÃO

Houve dependência espacial entre as variáveis estudadas e ambas estavam no espaço amostral estabelecida no experimento;

As áreas de maior porosidade ocorreram em regiões do solo com maior densidade de partículas. As áreas de maior porosidade ocorreram em regiões de solo com menor densidade do solo;

O método geoestatístico permitiu identificar dependência espacial entre os atributos porosidade e densidade do solo;

O coeficiente de correlação foi de 0,596 para as variáveis porosidade e densidade do solo, enquanto que a correlação de Pearson foi de -0,772 para essas mesmas variáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; SANTOS, D. Uso da validação cruzada na seleção de modelos de semivariogramas. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 38, 2009, Petrolina/Juazeiro. Anais... Jaboticabal: SBEA, 2009. CD Rom.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1235-1242, set. 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNPS, 2006. 306p.

FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A. A.; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, p.463-476, 2008.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**, Piracicaba: FEALQ, 2002. 305p.

GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; NOGUEIRA, S. F.; GIMENES, F. M. A.; OLIVEIRA, A.; ALMEIDA, C. G. F.; FURTADO, A. L. S.; DEMARCHI, J. J. A. Variabilidade espacial do solo e da biomassa epígea de pastagem, identificada por meio de geostatística. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1404-1412, set. 2012.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v.82, p.121-145, 2005.

IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná. **Características geográficas do município de Cafelândia**.: <<http://www.cafelandia.pr.gov.br/cafelandia>>. 4 Mar. 2009.

JONES, T. A. Skewness and kurtosis as criteria of normality in observed frequency distributions. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.39, p.1622-1627, 1969.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. 1.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

MIGUEL, F.R.M.; VIEIRA, S.R.; GREGO, C.R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1513-1519, 2009.

PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J. ; LA SCALA JÚNIOR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.227-236, 2008.

RAMIREZ-LOPEZ, L.; REINA-SANCHEZ, A.; CAMACHO-TAMAYO, J. H. Variabilidad espacial de atributos físicos de un Typic Haplustox de los Llanos Orientales de Colômbia. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.55-63, 2008.

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

SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C. A.; GONÇALVES, A. C. A.; FIDALSKI, J. 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.

SOUZA, Z. M.; MARQUES, J. J.; PEREIRA G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho eutroférico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.51-58, 2004.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura - pecuária (ILP), sob plantio direto. **Acta Scientiarum**. Agronomy, v.32, p.37-44, 2010.

ZOU, K. H.; TUNCALI, K.; SILVERMAN, S. G. Correlation and simple linear regression. **Radiology**, v.227, p.617-628, 2003.