

**VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E TEOR DE ÁGUA EM NEOSSOLO CULTIVADO COM BANANA NO AGRESTE PERNAMBUCANO**

Pedro Henrique Dias Batista¹, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro², Gledson Luiz Pontes de Almeida³, Uilka Elisa Tavares⁴ & Renato Augusto Soares Rodrigues⁵.

1 - Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, PE, Brasil giga_pedro@hotmail.com;

2 - Professor titular. Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE, Brasil, abelardo.montenegro@yahoo.com.br;

3 - Professor Adjunto. Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE, Brasil, gledson.almeida@ufrpe.br;

4 - PNPd em Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE, Brasil, uetavares@yahoo.com.br;

5 - Mestre em Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE, Brasil, renato.augustor@hotmail.com.

Palavras Chave:

compactação do solo
geoestatística
penetrômetro

RESUMO

A existência da camada compactada nas proximidades da superfície do solo pode afetar o desenvolvimento radicular da maioria das culturas. Objetivou-se com este trabalho avaliar a dependência espacial da resistência mecânica do solo à penetração das raízes e do teor de água no solo, na fazenda Mimosa, localizada no município de Pesqueira-PE. Na área explorada, cultiva-se banana, irrigada com sistema por gotejamento. Investigou-se a camada de solo de 0,00-0,15m com 50 pontos de amostragem, em malha de 10 x 5m. As mensurações iniciaram-se quatro horas após o término da irrigação registrada fora do bulbo úmido. A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada com auxílio do penetrômetro de impacto reduzido. Já o teor de água no solo foi medido por meio da técnica de reflectometria de domínio do tempo – TDR. Os dados obtidos foram submetidos à análise de estatística descritiva e geoestatística para avaliação da dependência espacial das propriedades do solo. Além disso, verificou-se que os semivariogramas foram ajustados aos modelos esférico e gaussiano para a resistência mecânica do solo à penetração e teor de água no solo, respectivamente. Os mapas de krigagem mostram redução da resistência mecânica do solo à penetração, em função do aumento do teor de água no solo. A área apresentou alta resistência à penetração, apresentando acima do limite crítico de 2 MPa.

Keywords:

geostatistics
penetrometer
soil compaction

SPATIAL VARIABILITY OF THE RESISTANCE TO PENETRATION AND WATER CONTENT IN NEOSSOLO CULTIVATED WITH BANANA IN THE AGRESTE PERNAMBUCANO**ABSTRACT**

The existence of the compacted layer in the vicinity of the soil surface can affect the root development of most crops. The aim of this work was to evaluate the spatial dependence of soil mechanical resistance to root penetration and soil water content in the Mimosa farm, located in the city of Pesqueira, state of Pernambuco. In the explored area banana is cultivated and it is irrigated with a drip system. The soil layer of 0.00-0.15 m was investigated with 50 sampling points, in a 10 x 5 m mesh. Measurements started four hours after the end of irrigation recorded outside the humid bulb. The soil mechanical resistance to root penetration was determined with reduced impact penetrometer, while the water content in the soil was measured using the time domain reflectometry (TDR) technique. The data were submitted to the analysis of descriptive statistics and geostatistics to evaluate the spatial dependence of the soil properties. It was verified that the semivariograms were adjusted to the spherical and gaussian models for soil mechanical resistance to root penetration and water content in the soil, respectively. The kriging maps showed a reduction in soil mechanical resistance to root penetration as a function of the increase in soil water content. The area showed high resistance to penetration, with values above the critical limit of 2 MPa.

INTRODUÇÃO

O semiárido pernambucano é marcado por uma longa estação seca e precipitações irregulares ao longo do ano, onde predominam solos rasos que ressecam facilmente nos períodos de estiagem. Essa região apresenta vegetação típica de caatinga e clima tropical quente (MENEZES *et al.*, 2013). Entretanto, Santos *et al.* (2012) destacam que o semiárido apresenta grande potencial agrícola, desde que o manejo de água e solo seja realizado corretamente. Contudo, a alta resistência do solo à penetração é uma das limitações nestas regiões, que pode influir na produtividade dos cultivos.

A resistência mecânica do solo à penetração pode limitar o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular e diminuir a produtividade das culturas. Valores entre 2 e 2,5MPa têm sido indicados como os limites críticos de resistência mecânica do solo à penetração para a maioria dos vegetais (SILVEIRA *et al.*, 2010).

Conforme Nascimento *et al.* (2017), em estudos de Resistência Mecânica do Solo à Penetração (RMSP), principalmente quando associados a compactação, é necessário o conhecimento do teor de água no solo, pois este parâmetro apresenta expressiva variabilidade espacial e temporal (HU *et al.*, 2008). Silveira *et al.* (2010) observaram que a aplicação de técnicas que mantenham o teor de água condizente com as características deste material contribui como forma de controle da RMSP, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento da cultura.

O conhecimento da variabilidade das propriedades do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado o princípio básico para o manejo das áreas agrícolas. Assim, a utilização de métodos geostatísticos constitui importante ferramenta na análise e descrição da variabilidade espaço temporal, mostrando que o manejo adotado pode influenciar na variabilidade espacial dos atributos do solo (SILVA *et al.*, 2008).

Neste aspecto, objetivou-se avaliar a dependência espacial da resistência mecânica do solo à penetração das raízes e do teor de água no solo em Neossolo Flúvico no Agreste Pernambucano.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fundação Terra, localizada na Fazenda Mimosa, no distrito de Mimoso, pertencente ao município de Pesqueira, região Agreste de Pernambuco, com coordenadas de 08° 10' S e 35° 11' W e altitude de 650m. A área em estudo situa-se no vale aluvial do Rio Ipanema, onde se desenvolve agricultura irrigada em pequena escala. O clima da região é do tipo BSsh (extremamente quente, semiárido), de acordo com a classificação de Köppen, com pluviometria média anual de 607mm (MONTENEGRO E MONTENEGRO, 2006). O solo do local foi classificado como Neossolo Flúvico (SOUZA *et al.*, 2011), cuja caracterização física é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização física do solo

Característica (g kg ⁻¹)	Neossolo Flúvico
Areia	602,50
Silte	290,00
Argila	107,50

Na área explorada, cultivava-se banana prata (*L. Musaceae*) irrigada com sistema de gotejamento. A Resistência Mecânica do Solo à Penetração (RMSP) das raízes e o teor de água no solo foram mensurados para a camada de 0,00-0,15m de solo, em 50 pontos georreferenciados com auxílio de trena, em uma malha amostral de 5×10m.

A RMSP foi medida com um penetrômetro de impacto modelo Stolf reduzido (STOLF, 1991) e quantificada a partir da contagem do número de impactos até a profundidade de 0,15m, conforme Equação 1. No momento da determinação da RMSP, no mesmo ponto amostral, o teor de água no solo (θ) foi determinado por meio da técnica de reflectometria de domínio do tempo – TDR (TOPP e DAVIS, 1985), modelo HFM 2010 da Falker, que consiste na determinação direta do teor de água no solo a partir da introdução das hastes metálicas do aparelho no ponto amostral. A TDR é equipada com sensor de medida eletromagnética, denominado Impedância do Solo em Alta Frequência (ISAF), que é proporcional ao teor de água no solo. O teor de água no solo e a RMSP foram mensurados quatro horas após o término da irrigação e foram realizados fora do bulbo úmido.

$$RMSP = (5,6 + 6,89 \times N) \times 0,098 \quad (1)$$

em que,

RMSP = Resistência Mecânica do Solo a Penetração, MPa; e

N = Número de impactos, dm⁻¹.

Na Tabela 2 são apresentadas as classes de RMSP adaptadas de Soil Survey Staff (1993).

Tabela 2. Resistência Mecânica do Solo à Penetração (RMSP)

Classes	RMSP (MPa)
Baixa	<0,1
Moderada	0,1 – 2,0
Alta	2,0 – 4,0
Muito Alta	4,0 – 8,0
Extremamente Alta	>8,0

As variáveis estudadas foram submetidas à estatística descritiva e, para análise da hipótese de normalidade dos dados, foi utilizado o teste kolmogorov–Smirnov. A avaliação da variabilidade da RP e do teor de água no solo foi realizada com base no coeficiente de variação (CV), cujas classes foram propostas por Warrick & Nielsen (1980), de forma que a variabilidade pode ser considerada baixa (CV < 12 %), média (12% < CV < 60 %) ou alta (CV > 60 %).

A dependência espacial entre locais vizinhos foi calculada por meio da semivariância $\gamma(h)$, estimada pela Equação 2.

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

em que,

N(h) = número de pares experimentais de dados separados por uma distância h;

Tabela 3. Parâmetros estatísticos descritivos, relativos à resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) e teor de água no solo (θ) a 0,00-0,15m de profundidade

Variáveis	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV (%)	Assimetria	Curtose	D
RMSP (MPa)	2,351	2,348	2,33	2,38	0,009	0,39	0,731	-0,385	0,1580*
θ (%)	14,212	14,100	6,10	22,10	3,736	26,29	-0,057	-0,226	0,0646*

Mín - Mínimo; Máx - Máximo; DP - Desvio Padrão; CV - Coeficiente de Variação; D - *Significância estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5%.

Z(xi) = valor determinado em cada ponto amostrado; e

Z (xi + h) = valor medido num ponto mais uma distância h.

Os modelos de semivariogramas foram ajustados por meio do programa GS+ 7.0 (GAMMA DESIGN SOFTWARE, 2004). O coeficiente de determinação (R²) foi utilizado para selecionar o modelo que melhor se ajustou aos semivariogramas. Utilizou-se o programa SURFER 9 (GOLDEN SOFTWARE, 2010) para manipulação e visualização da distribuição espacial da RMSP e do teor de água no solo, por meio da construção de mapas de isolinhas das variáveis, utilizando a krigagem ordinária.

Para determinar o grau de dependência espacial (GDE) das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella *et al.* (1994), que se baseia na análise da relação entre o efeito pepita (C0) e o patamar (C0+C1) de seu semivariograma ajustado e apresenta (a) dependência forte: GDE < 25%; (b) dependência moderada: 25 GDE 75% e (c) dependência fraca: GDE > 75%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se aderência à distribuição normal para as variáveis em estudo, de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância. O coeficiente de variação apresentou baixa variabilidade para resistência mecânica do solo à penetração e média variabilidade para teor de água no solo (Tabela 3) com base na classificação de Warrick e Nielsen (1980). Ao estudar a variabilidade espacial de atributos físicos em área de 2,3ha destinada ao cultivo de mangueiras e goiabeiras, Araújo *et al.* (2014) encontraram média variabilidade para a RMSP e para o teor de água presente no solo na camada 0,00 - 0,15m em um Neossolo Flúvico.

Segundo Tavares *et al.* (2014), para melhor obtenção dos resultados da RMSP às raízes, o teor de água no solo deve encontrar-se preferencialmente na capacidade de campo, já que esta condição favorece o crescimento radicular das plantas. O teor de água no solo de 15,2% foi encontrado na capacidade de campo para Neossolo Flúvico por Souza *et al.* (2011). Para o presente estudo, encontrou-se 14,2%, indicando que o teor de água no solo estava próximo da capacidade de campo. Em pesquisa realizada por Souza *et al.* (2014), estes autores verificaram que quando o solo por eles estudado está seco ou apresenta baixo teor de água, suas partículas encontram-se mais próximas e difíceis de serem separadas por qualquer força externa, pois, como observado por Silveira *et al.* (2010), um acréscimo no teor de água promove decréscimo da resistência mecânica do solo à penetração, devido a influência da água sobre a coesão entre as partículas do solo. Ainda de acordo com os autores, valores de RMSP maiores do que 2 MPa são indicados como limitantes para o desenvolvimento radicular da maioria das culturas.

A RMSP apresentou média de 2,35 MPa, considerada alta de acordo com Soil Survey Staff (1993), corroborando com Tavares *et al.* (2014) que, em estudo da variabilidade espacial da RMSP e do teor de água no solo em cultivo de cenoura irrigado por microaspersão, na mesma região do

presente estudo, indicaram RMSP moderada para área recentemente irrigada com teor de água no solo de 13%. Já Batista *et al.* (2017), em estudo da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo na região agreste de Pernambuco, obtiveram RMSP alta na profundidade 0,10-0,20m com um teor de água no solo de 10%.

As variáveis RMSP e teor de água no solo foram ajustadas aos modelos esférico e gaussiano (Tabela 4), respectivamente. Podemos observar a dependência espacial entre as variáveis, como apresentado na Figura 1, por meio dos modelos de semivariogramas. Os modelos ajustados corroboram aos obtidos por Batista *et al.* (2017) que também estudaram RMSP e teor de água em Neossolo.

As variáveis em estudo apresentaram coeficiente de ajuste do modelo ao semivariograma (R^2) acima de 0,70 (Tabela 4), ou seja, no mínimo 70% da variabilidade existente nos valores da semivariância estimada são explicadas pelos modelos ajustados.

No estudo do semivariograma, o alcance é um importante parâmetro, pois indica a distância limite entre pontos correlacionados entre si. A RMSP apresentou o alcance de 8,48m e o teor de água no solo de 9,00m. Entretanto, Campos *et al.* (2012), em estudo da resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo, obtiveram alcances para RMSP e teor de água no solo de 15,10 e 15,62, respectivamente, na mesma profundidade avaliada.

Tabela 4. Parâmetros dos modelos de semivariograma e grau de dependência espacial (0,00 - 0,15m) para resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) e teor de água no solo (θ).

Atributos	modelo	¹ C0	² C0+C	³ A (m)	⁴ GDE (%)	⁵ R2
⁶ RMSP	Esférico	0,000001	0,000090	8,48	1,11	0,725
⁷ θ	Gaussiano	0,750	14,060	9,00	5,33	0,725

¹Efeito pepita, ²Patamar, ³Alcance, ⁴Grau de dependência espacial (%), ⁵Ajuste do semivariograma, ⁶Resistência Mecânica do Solo à Penetração, ⁷Teor de água no solo.

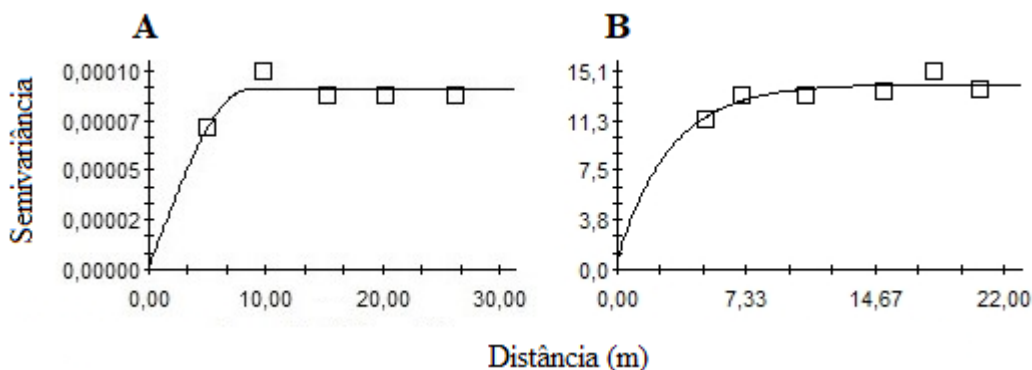


Figura 1. Semivariograma da resistência mecânica do solo à penetração (A) e do teor de água no solo (B).

O grau de dependência espacial (GDE) foi classificado como forte para ambas as variáveis estudadas. Para Cambardella *et al.* (1994), atributos com forte dependência espacial são mais influenciados por propriedades intrínsecas do solo, como textura e mineralogia. Resultados similares foram encontrados por Batista *et al.* (2017), analisando a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo obtiveram forte dependência espacial para as variáveis estudadas.

A distribuição espacial da RMSP e do teor de água no solo foram representados em mapas de contorno (Figura 2) e, para locais em que não houve pontos de amostragem, os valores de Resistência Mecânica do Solo à Penetração e o teor de água no solo foram estimados pelo método de krigagem, com base nos parâmetros do modelo do semivariograma.

Observa-se que a baixa variação do teor de água no solo (12 % a 15 %), ao longo da área em estudo,

provavelmente ocasionada pela uniformidade da irrigação, não promoveu uma grande alteração na resistência a penetração. Oliveira *et al.* (2014), ao observarem a RMSP em função do teor de água no solo em duas épocas (seca e chuvosa), notaram que no período chuvoso o teor de água no solo foi maior e mais uniforme na área. Do mesmo modo, Tavares *et al.* (2014) observaram teores médios de água no solo entre 12 e 20% após a primeira e segunda irrigação com microaspersor, o que resultou em efeito pepita puro para o estudo da dependência espacial na área. Portanto, o presente estudo apresentou teor de água no solo a uma condição próxima da recomendada para estudo da RMSP sem afetar a variabilidade da umidade. Conforme Braga *et al.* (2015), quando o solo está úmido, a coesão entre as partículas é menor, portanto, apresenta pouca resistência às forças externas, refletindo assim na RP.

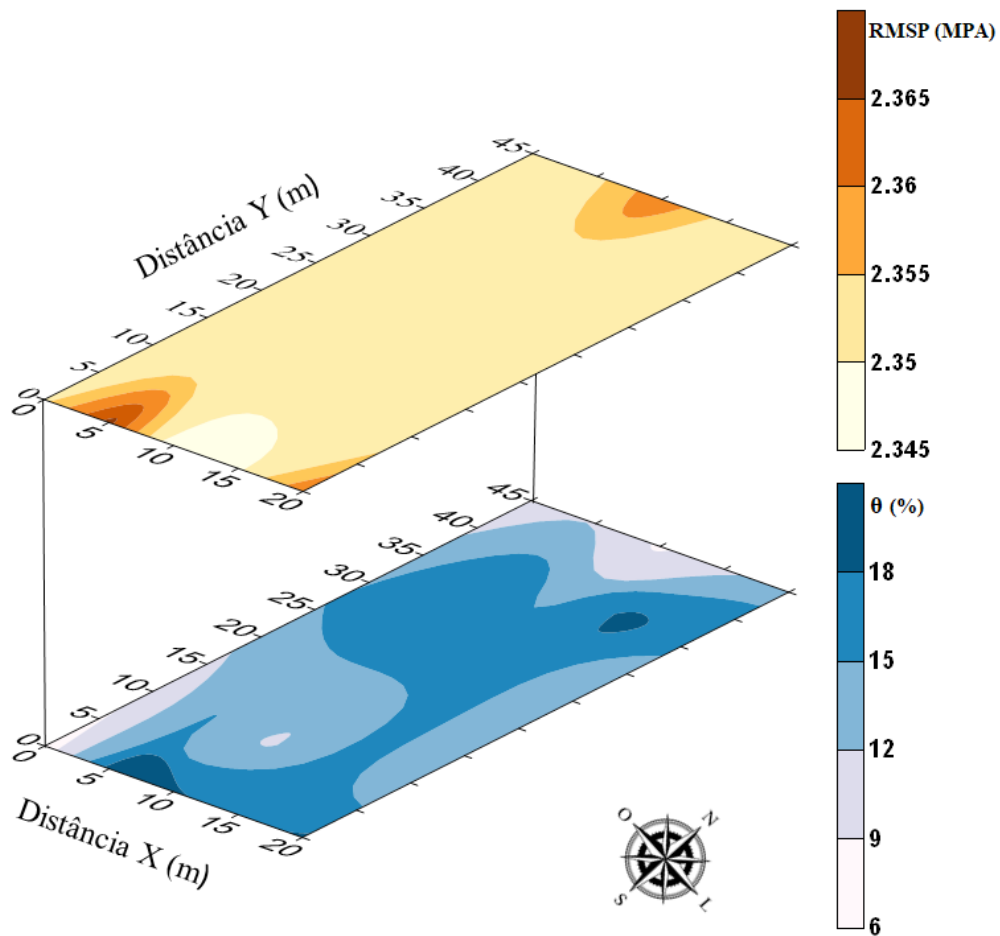


Figura 2. Distribuição espacial da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP, MPA) e teor de água no solo (θ , %) na profundidade de 0,00 – 0,15m.

CONCLUSÃO

- A resistência à penetração das raízes e o teor de água no solo apresentaram dependência espacial.
- A área apresentou alta resistência à penetração, o que indica valores acima do limite crítico de 2 MPa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, D.R.; MION, R.L.; SOMBRA W.A.; ANDRADE, R.R.; AMORIM, M.Q. Variabilidade espacial de atributos físicos em solo submetido à diferentes tipos de uso e manejo. **Revista Caatinga**, v.27, p.101-15, 2014.

BATISTA, P.H.D.; ALMEIDA, G.L.P.; TAVARES, U.E.; NASCIMENTO, V.N.; SARMENTO, R.M. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob colheita mecanizada de capim-buffel no agreste pernambucano. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.25, p.307-317, 2017.

BRAGA, F.D.V.A.; REICHERT, J.M.; MENTGES, M.I.; VOGELMANN, E.S.; PADRÓN, R.A.R. Soil mechanical properties and permeability to air in an alfisol-aqualf topeosequence: changes in soil profile and the effect of compression. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1025-1035, 2015.

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 Amsterdam Journal**, Madison, v.58, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, M.C.C.; OLIVEIRA, I.A.; SANTOS, L.A.C.; AQUINO, R.E. & SOARES, M.D.R. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. R. **Revista Agro@ambiente** On-line, v.6, p.09-16, 2012.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer** for windows version 9.0. Colorado: Golden, 2010.

HU, W.; SHAO, M.A.; WANG, Q. J.; REICHARDT, K. Soil water content temporal spatial variability of the surface layer of a Loess Plateau hillside in China. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.65, n.3, p.277-289, 2008.

MENEZES, J.A.L.; SANTOS, T.E. M.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, J.R. Comportamento temporal da umidade do solo sob Caatinga e solo descoberto na Bacia Experimental do Jatobá, Pernambuco. **Water Resources and Irrigation Management**, v.2, p.45-51, 2013.

MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.30-37, 2006.

NASCIMENTO, V.N.; ALMEIDA, G.L.P.; BATISTA, P.H.D.; COUTINHO, A.S. Atributos físicos do neossolo regolítico distrófico sob pastagem submetido à colheita mecanizada da forragem e pastejo animal. **Boletim de Indústria Animal**, v.74, p.169-175, 2017.

OLIVEIRA, I.A.; CAMPOS, M.C.C.; DE AQUINO, R.E.; JÚNIOR, J.M.; DE FREITAS, L.; DE SOUZA, Z.M. Semivariograma escalonado no planejamento amostral da resistência à penetração e umidade de solo com cana-de-açúcar. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.57, p.287-296, 2014.

SANTOS, K.S.; MONTENEGRO, A.A.A.; ALMEIDA, B.G.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; ANDRADE, T.S.; JÚNIOR, R.V.P.F. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.8, p.828-835, 2012.

SILVA, J.M.; LIMA, J.S.S.; PIRES, F.R.; ASSIS, R.L. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um latossolo sob plantio direto e preparo convencional no cultivo da soja no cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n.50, p.167-180, jul./dez. 2008.

SILVEIRA, D.C.; MELO FILHO, J.F.; SACRAMENTO, J.A.A.S.; SILVEIRA, E.C.P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.659-667, 2010.

SOILSURVEY Staff. **Soil Survey Manual**. Washington: UsdaScs. U.S. Gov. Print. Office, p.437, 1993.

SOUZA, E.B.; FILHO, A.P.P.; PIMENTA, W.A.; NAGAHAMA, H.J.; CORTEZ, J.R. Resistência mecânica do solo à penetração em função da sua umidade e do tipo de penetrômetro. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.22, n.1, p.67, 2014.

SOUZA, E.R.; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G., MATOS, J.A. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil, **Agricultural Water Management**, v.99, p.26-32, 2011.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.

TAVARES, U.E.; MONTENEGRO, A.A.A.; ROLIM, M.M.; SILVA, J.S.S.; VICENTE, T.F.S.; ANDRADE, C.W.L. Variabilidade espacial da resistência à penetração e da umidade do solo em Neossolo Flúvico. **Water Resources and Irrigation Management**, v.3, n.2, p.79-89, 2014.

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L. Measurement of soil water content using time domain reflectometry (TDR): a field evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.574-582, 1985.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics. **New York: Academic**, 1980. p.319-344.