

## Variabilidade espacial dos atributos físicos de solos em área de citricultura na Amazônia Oriental.

**Danielle do Socorro Nunes Campinas<sup>(1)</sup>; Paulo Roberto da Silva Farias<sup>(2)</sup>; Herdjanía Veras de Lima<sup>(2)</sup>; Fábio Júnior de Oliveira<sup>(3)</sup>; Michel Keisuke Sato<sup>(4)</sup>; André Gustavo Campinas Pereira<sup>(5)</sup>.**

<sup>(1)</sup>) Doutorando do Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia; Avenida Presidente Tancredo Neves, Nº 2501 Bairro: Montese, CEP: 66.077-901, Belém- PA, e-mail: danielle.campinas@ufra.edu.br; <sup>(2)</sup> Professor; Universidade Federal Rural da Amazônia; Belém-PA; <sup>(3)</sup> Mestre em Agronomia pela Universidade Federal Rural da Amazônia; <sup>(4)</sup> Mestrando do Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia; <sup>(5)</sup> Estudante de Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia.

**RESUMO:** As propriedades físicas do solo podem apresentar variabilidade espacial mesmo em solos com características aparentemente homogêneas. O objetivo deste estudo foi avaliar o grau de dependência espacial de algumas propriedades físicas do solo através de técnicas de geoestatística em área cultivada com citros, no município de Capitão Poço, Nordeste Paraense. Os atributos físicos estudados foram a densidade do solo, resistência do solo à penetração, macroporosidade e microporosidade, no qual utilizou-se técnicas de geoestatística na determinação da dependência espacial e interpolação por krigagem. Os resultados indicam que a área apresenta valores de resistência a penetração superior a 2,0 MPa. As variáveis macroporosidade, microporosidade e resistência à penetração apresentaram grau de dependência espacial moderado. O uso das técnicas de geoestatística apresentou-se como uma importante ferramenta para avaliação da variabilidade espacial das propriedades físicas do solo.

**Termos de indexação:** Dependência espacial, krigagem, manejo do solo.

### INTRODUÇÃO

Em áreas de cultivo, devido o manejo exercido, há ocorrência de fontes adicionais de heterogeneidade no solo, além da variabilidade natural (Camargo et al., 2010).

A variabilidade espacial das propriedades físicas do solo pode ser ocasionada em consequência de fatores geológicos e pedológicos de formação do solo, ou, podem ser induzidas por lavoura ou outras práticas de gestão (Iqbal et al., 2005). Técnicas de geoestatística têm sido bastante utilizadas em estudos sobre variabilidade das propriedades dos solos, pois elas permitem quantificar a existência das variações espaciais dos diversos atributos físicos

tais como a densidade do solo (Ds), umidade, porosidade do solo e resistência do solo a penetração (RP), possibilitando uma descrição detalhada destas propriedades no tempo ou no espaço. De acordo com Bottega et al. (2011), estes atributos tem sido utilizados como indicadores de qualidade física e estão diretamente relacionados a produtividade de culturas. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o grau de dependência espacial de algumas propriedades físicas do solo através de técnicas de geoestatística em diferentes áreas cultivadas com citricultura, no município de Capitão Poço, Nordeste Paraense.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Ornela, localizada no município de Capitão Poço, entre as latitudes 01°43'20" e 01°44'10" S, e as longitudes 47°7'30" e 47°6'40" W, nordeste paraense, em geral, os solos do município são classificados como Latossolo Amarelo. A área experimental cultivada de laranja, possui textura franco-arenosa, implantada há 7 anos, no qual se utiliza o processo de gradagem, roçagem e, quando necessária, ocorre a entrada de tratores com carretas e pulverizadores. Selecionou-se uma área de 6 ha, com espaçamento entre amostras de 50x50m perpendiculares entre si, totalizando 24 pontos. Para determinação dos atributos foram coletadas amostras indeformadas na profundidade de 0-7cm utilizando um trado holandês em anel metálico de 100 cm<sup>3</sup> (5cm de altura e diâmetro).

As variáveis estudadas foram microporosidade, macroporosidade, densidade do solo e resistência do solo a penetração de raízes. As metodologias utilizadas foram: microporosidade (EMBRAPA, 1997); O volume de macroporos foi calculado pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A densidade do solo (BLAKE & HARTGE 1986).

A resistência do solo à penetração (MPa) foi determinada com o auxílio de um penetrômetro eletrônico, consistindo no deslocamento vertical de uma haste metálica cônica de área de base 0,1167 cm<sup>2</sup>, semi-ângulo de 30° e velocidade de penetração 1,0 cm min<sup>-1</sup>. Realizaram-se 240 leituras, com três repetições por amostra. As cinco primeiras e as cinco últimas leituras foram descartadas, a fim de diminuir o erro experimental (Figueiredo et al., 2011).

A variabilidade do solo foi avaliada primeiramente através de análise exploratória dos dados, através de estatística descritiva. Para caracterização da dependência espacial, utilizou-se a análise geoestatística, sendo construído um semivariograma conforme Vieira et al. (1983):

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variabilidade das propriedades do solo de acordo com a análise de estatística descritiva para as variáveis analisadas são apresentados na tabela 1.

Os valores de coeficientes de variação (CV) são adimensionais e permitem a comparação de valores entre diferentes atributos do solo (SANCHEZ et al., 2009), de acordo com a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980) do coeficiente de variação (CV), as variáveis densidade do solo e microporosidade apresentaram baixa variabilidade, corroborando com resultados encontrados por outros autores (Wang & Shao, 2011), indicando baixa dispersão entre estes atributos. A RP apresentou média variabilidade (12% - 60%) e o atributo MA (> 60%) (Tabela 1).

**Tabela 1-** Estatística descritiva para as variáveis das amostras coletadas nas profundidades de 0-7cm.

| Estatísticas      | Atributos |       |       |       |
|-------------------|-----------|-------|-------|-------|
|                   | Ds        | MA    | MI    | RP    |
| <b>Média</b>      | 1,55      | 0,05  | 0,37  | 2,64  |
| <b>Mediana</b>    | 1,54      | 0,04  | 0,38  | 2,54  |
| <b>Mínimo</b>     | 1,40      | 0,01  | 0,24  | 0,79  |
| <b>Máximo</b>     | 1,67      | 0,16  | 0,42  | 5,80  |
| <b>Assimetria</b> | -0,30     | 1,55  | -1,85 | 0,48  |
| <b>Curtose</b>    | -0,18     | 2,52  | 3,59  | -0,97 |
| <b>DP</b>         | 0,07      | 0,04  | 0,04  | 1,57  |
| <b>Variância</b>  | 0,004     | 0,002 | 0,002 | 2,479 |
| <b>CV (%)</b>     | 4,27      | 79,88 | 11,84 | 59,60 |

\*Ds= densidade do solo (mg m<sup>-3</sup>); MA= macroporosidade (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>); MI= microporosidade (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>); RP= resistência a penetração (Mpa); DP= desvio padrão e CV= coeficiente de variação.

A densidade do solo na área variou de 1,40 a 1,69 (Mg m<sup>-3</sup>). De acordo com a literatura a densidade do solo para a classe-textural franco-arenosa varia entre 1,6 g cm<sup>-3</sup> a 1,8 g cm<sup>-3</sup> (Reynolds et al., 2002), sendo um indicativo que a densidade do solo na área de estudo não oferece limitação física, apesar do intenso manejo exercido nela.

Verifica-se uma heterogeneidade da variável RP, na qual ocorre uma variação dos valores mínimos e máximos de resistência a penetração (0,79 a 5,80 MPa), tendo média de 2,64 MPa. Valores de resistência à penetração (RP) estão superiores a 2,0 MPA, limite considerado restritivo a resistência do solo a penetração de raízes em área cultivada com pomar de citros por Blainski et al. (2008). Segundo estes autores, as amplitudes de densidade do solo impostas pelo uso e manejo resultam na necessidade de maior conteúdo de água no solo para manter os valores de resistência do solo à penetração igual ou inferior ao valor crítico de 2,0 MPa para o cultivo de citros e culturas anuais quando comparados a outros tipos de uso como mata nativa e pastagem.

Na análise espacial, os atributos apresentaram comportamentos diferentes de acordo com o manejo (Tabela 2). A análise de dependência espacial foi avaliada segundo Cambardella et al. (1994), por meio do coeficiente de efeito pepita (CEP), definido como a razão entre o efeito pepita e o patamar (C<sub>0</sub>/C+C<sub>0</sub>). Se o CEP ≤ 0,25 a amostra apresenta alta dependência espacial, isto é, a componente aleatória é pequena; se 0,25 < CEP ≤ 0,75 a amostra apresenta moderada dependência espacial, isto é, a componente aleatória é importante e se CEP ≥ 0,75 a amostra tem baixa dependência espacial.

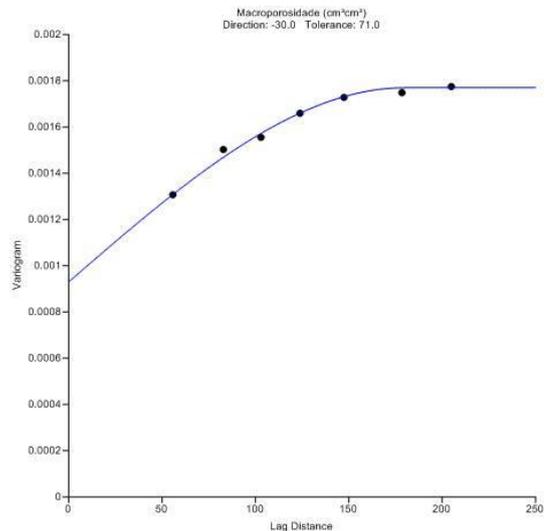
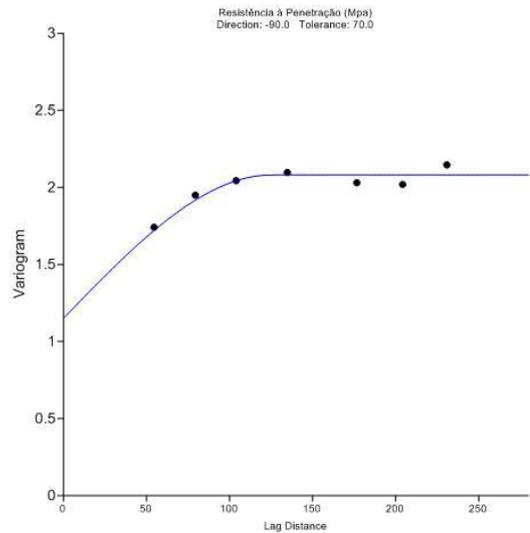
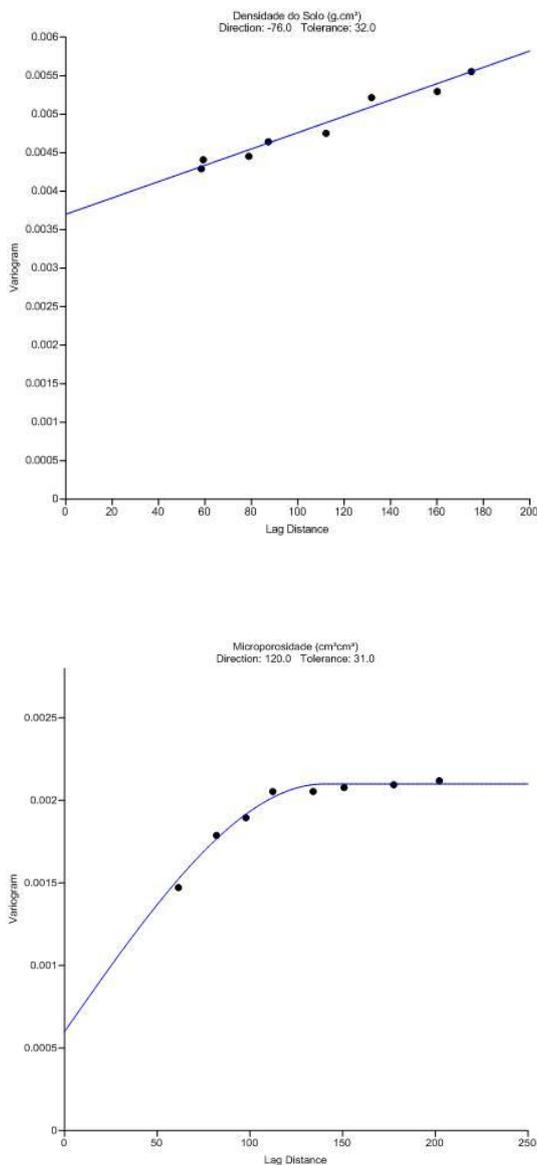
**Tabela 2.** Parâmetros dos variogramas e índice de dependência espacial dos atributos físicos em área de cultivo de citros e pasto no município de Capitão Poço.

| Estatísticas  | Atributos |        |       |       |
|---|-----------|--------|-------|-------|
|   | Ds        | MA     | MI    | RP    |
| <b>Modelo</b>   | Lin.      | Esf.   | Esf.  | Esf.  |
| <b>C<sub>0</sub></b>                                      | 0,0037    | 0,0009 | 0,000 | 1,150 |
|   |           |        | 6     | 0     |
| <b>C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub></b>                        | -         | 0,0018 | 0,002 | 2,080 |
|   |           |        | 1     | 0     |
| <b>a (m)</b>  | -         | 180    | 140   | 125   |
| <b>[C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)] x100</b> | -         | 52,54  | 28,57 | 55,29 |
| <b>R<sup>2</sup> (%)</b>                                  | -         | 98,86  | 99,78 | 88,02 |

\*Ds= densidade do solo (mg m<sup>-3</sup>); MA= macroporosidade (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>); MI= microporosidade (m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>); RP= resistência a penetração (Mpa); C<sub>0</sub>= efeito pepita; C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>= patamar; a = alcance; [C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)]x100= índice de dependência espacial.

De acordo com os resultados obtidos nesta análise, os atributos macroporosidade, microporosidade e resistência a penetração apresentaram moderada dependência espacial, sendo um indicativo que as variáveis estão sendo influenciada pelo manejo, resultados semelhantes foram encontrados por Bottega et al. (2011).

Para determinação do melhor modelo estatístico levou em consideração o maior valor de  $R^2$ . Na figura 1, são apresentados os variogramas ajustados aos modelos teóricos que melhor descrevem o comportamento espacial dos atributos.



Distância (m)

**FIGURA 1.** SEMIVARIOGRAMAS AJUSTADOS AOS MODELOS TEÓRICOS PARA AS VARIÁVEIS: DS = DENSIDADE DO SOLO; MA = MACROPOROSIDADE; MI= MICROPOROSIDADE; RP = RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO, PARA ÁREA COM CITROS

O ajuste do modelo linear na densidade do solo indicam que a malha amostral não foi sensível em detectar dependência espacial. Resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho et al, (2011) em solos cultivados com cana-de-açúcar.

Os valores de RP se ajustaram ao modelo esférico, estes resultados concordam com outros estudos que indicam este mesmo modelo para esta variável (Bottega et al., 2011; Campos et al., 2012).

O alcance da dependência espacial é um parâmetro fundamental na interpretação do semivariograma, indicando a distância até onde os pontos amostrais tem correlação entre si, deste modo, os pontos localizados em uma área cujo raio seja o alcance são mais semelhantes entre si, do que os separados por distâncias maiores (Carvalho et al., 2002). Na área, a macroporosidade apresentou alcance de 180 m, a microporosidade 140 m e resistência à penetração o alcance máximo foi de 150 m.

Na área estudada, observa-se ainda a predominância de valores referentes à resistência à penetração na faixa de 2,60 a 5,80 MPa, indicando restrição física a penetração de raízes.

### CONCLUSÕES

O sistema de manejo estudado apresenta valores de resistência a penetração considerado restritivo fisicamente.

As variáveis macroporosidade, microporosidade e resistência à penetração apresentaram grau de dependência espacial moderado.

O uso das técnicas de geoestatística apresentou-se como uma importante ferramenta para avaliação da variabilidade espacial das propriedades físicas do solo.

### REFERÊNCIAS

BLAINSKI, É.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R.M.L.; Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.975-983, 2008.

BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.363-375.

BOTTEGA, E.L.; BOTTEGA, S.P.; SILVA, S.A.; QUEIROZ, D.M.; SOUZA, C.M. A.; RAFULL, L.Z.L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.2, p. 331-336, 2011.

CAMARGO, L.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Spatial variability of physical attributes of an alfisol under different hillslope curvatures. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.617-630, 2010.

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. *Revista Agroambiente*, v.6, n.1, p.09-16, 2012.

CARVALHO, M.P.; SORATTO, R.P.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob preparo convencional em Selvíria (MS). *Acta Sci.*, v.24, p.1353-1361, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro: **Embrapa**, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1997. 212p.

FIGUEIREDO, G.C.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; GIAROLA, N.F.B.; MORAES, S.O.; ALMEIDA, B.G. Improvement of a testing apparatus for dynamometry: procedures for penetrometry and influence of strain rate to quantify the tensile strength of soil aggregates. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.2, p.373-387, 2011.

GOLDEN SOFTWARE, INC. (Golden, Estados Unidos). SURFER for windows: realese 8.0, contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide. New York: 2002. 714p.

IQBAL, J.; THOMASSON J.A.; JENKINS, J.N.; OWENS, P.R.; WHISLER, F.D. Spatial Variability Analysis of Soil Physical Properties of Alluvial Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.69, p.1338-1350, 2005.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, v.110, p.131-146, 2002.

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

WANG, Y.Q.; SHAO, M. A. Spatial variability of soil physical properties in a region of the loess plateau of pr china subject to wind and water erosion. *Land Degradation & Development*. p.1-9, 2011.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (ed). *Applications of soil physics*. New York: Academic, 1980. cap. 2, p.319-344.