



# VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS EM UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO SOB CULTIVO COM GOIABA (*Psidium guajava* L.)<sup>1</sup>

José Márcilio da Silva<sup>2</sup>, Lucas Figueira da Silva<sup>3</sup>, Daniel Rosendo da Silva Sobrinho<sup>4</sup> & João Pedro Figueira da Silva<sup>5</sup>

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cultivo com goiaba por meio da análise de geoestatística nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m. Foi realizada amostragem regionalizada utilizando malha regular com dimensão de 50 m x 50 m, totalizando 36 pontos georreferenciado equidistantes 10 m. A análise geoestatística foi utilizada para a determinação de modelos teóricos de variogramas e para a interpolação por krigagem dos dados que foram gerados, a fim de analisar a variabilidade espacial dos atributos dos solos. O pH apresentou variabilidade espacial baixa nas duas profundidades e o Al na profundidade de 0,10-0,20 m com moderada variabilidade espacial na profundidade de 0,0-0,10 m. O Ca e Mg apresentaram moderada variabilidade espacial nas duas profundidades. O modelo esférico de semivariograma foi ajustado para todos atributos nas duas profundidades, com alcances variando entre 12,5 m e 24,1 m para os atributos pH e Al, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoestatística, manejo do solo, dependência espacial, krigagem.

## SPATIAL VARIABILITY OF THE CHEMICAL ATTRIBUTES IN A RED-YELLOW LATOSOL UNDER CULTIVATION CONTINUOUS

**ABSTRACT:** The objective of the work was to evaluate the spatial variability of soil chemical attributes under cultivation with guava through geostatistics analysis in the depths of 0.0-0.10 m and 0.10-0.20 m. Sampling was performed regionalized using regular grid with dimension of 50 m x 50 m, totaling 36 georeferenced points equidistant 10 m. The geostatistical analysis was applied to determine theoretical models of variograms and interpolation kriging of the data that have been generated in order to analyze the spatial variability of the soil attributes. The pH presented low spatial variability on both depths and Al on depth 0.10-0.20 m with moderate spatial variability on the depth 0.0-0.10 m. Ca and Mg showed moderate spatial variability in both depths. The spherical semivariogram model was adjusted for all attributes in both depths, close to 12.5 m and 24.1 m for pH and Al, respectively.

**KEYWORDS:** Geostatistics; soil management; spatial dependence, kriging.

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura da goiaba (*Psidium guajava* L.) originária da América Tropical é uma frutífera com atividade de alta rentabilidade e com grande possibilidade de expansão no Brasil, um dos maiores produtores mundiais; sua produção está concentrada nas regiões sudeste, nordeste, centro oeste e sul, sendo os estados de São Paulo, Pernambuco e Bahia os maiores produtores (GONZAGA NETO, 2001).

Os métodos e técnicas geoestatística aplicada à agricultura de precisão vem sendo utilizadas no Brasil com a finalidade de identificar um padrão de amostragem adequado para monitorar e avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo, visando à otimização da produção agrícola, a minimização do impacto ambiental e a redução dos custos de produção (VIEIRA, 2000), caracterizando as zonas homogêneas de manejo de insumos agrícolas de forma a contribuir para se alcançar uma agricultura econômica, ecologicamente viável e sustentável com aplicações de insumos agrícolas em locais específicos (SILVA, 2006).

O conhecimento da variabilidade dos atributos químicos do solo é uma importante etapa para a definição de zonas de manejo da fertilidade do solo, permitindo à aplicação de fertilizantes a taxa variável (MENDES; SILVA; BASSOI, 2014) e, para o uso racional dos insumos agrícolas (BERNARDI et al., 2014). Portanto, através deste conhecimento as práticas de manejo serão aperfeiçoadas com aplicações localizadas de insumos

<sup>1</sup> Pesquisa financiada pela PROPESQ do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE).

<sup>2</sup> Docente do IFPE/Campus Barreiros. Departamento de Agricultura. E-mail: [marcilio@barreiros.ifpe.edu.br](mailto:marcilio@barreiros.ifpe.edu.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade de Agronomia de Garanhuns. Departamento de Agronomia. E-mail: [lucas\\_f.silva@hotmail.com](mailto:lucas_f.silva@hotmail.com)

<sup>4</sup> e <sup>5</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE/Campus Barreiros. Departamento de Agricultura. E-mail: [daniel\\_rosendo@hotmail.com](mailto:daniel_rosendo@hotmail.com) ; [jpfigueira07@gmail.com](mailto:jpfigueira07@gmail.com)

agrícolas nas quantidades requeridas, melhorando e controlando o sistema de produção das culturas agrícolas e também na avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (SILVA, 2006; SOUZA et al., 2007), permitindo a aplicação de insumos agrícolas no local correto e na quantidade exata, promovendo o aumento da produtividade das culturas (CAVALCANTE et al., 2007), mostrando que a variabilidade do solo não é puramente aleatória, ela apresenta correlação e também dependência espacial (SILVA, 2006).

Segundo Mendes; Silva; Bassoi (2014), as práticas de manejo em uma área intensamente cultivada impõe marcante variabilidade de curto alcance nos atributos do solo. Em áreas onde o solo está submetido a diferentes tipos de manejo, uso e ocupação, além da sua variabilidade natural, a utilização de práticas agrícolas são fatores adicionais de variabilidade; contudo, torna-se importante a avaliação através do estudo da variabilidade espacial dos seus atributos químicos (SOUZA et al., 2007; ARTUR et al., 2014).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo é indispensável para a caracterização da área e para a geração de mapas temáticos os quais, facilitam o entendimento do comportamento e da ocorrência dessas variáveis nas áreas estudadas, consequentemente, da interferência no processo de produção (CRUZ et al., 2014).

O uso da geoestatística é de fundamental importância na análise, descrição e verificação da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo (VIEIRA; XAVIER; GREGO, 2008), seus métodos e técnicas aplicada a agricultura de precisão, levaram cientistas do solo a utilizar esta combinação para mostrar que o manejo adotado no solo influencia de forma diferente a variabilidade espacial dos atributos do solo (SILVA et al., 2008; CAMPOS et al., 2009; SILVA et al., 2015), realizando com precisão um planejamento agrícola, a partir da separação de ambientes e adequação de práticas agrícolas adaptadas às restrições impostas aos atributos dos solos (CAMPOS et al., 2009), identificando nas amostras uma medida da correlação espacial, realizando estimativas de valores não amostrados a partir de alguns valores conhecidos na população (VIEIRA, 2000).

Segundo Lima; Silva; Silva (2013), para analisar a estrutura da dependência espacial dos atributos químicos do solo, muitos nutrientes devem ser analisados conjuntamente, pois a fertilidade do solo é um fator decisivo para o rendimento satisfatório das culturas. Assim, a variabilidade espacial horizontal e vertical, pode alterar significativamente a produtividade média em uma área de cultivo contínuo. Segundo Mendes; Silva; Bassoi (2014), o solo naturalmente apresenta heterogeneidade, tanto vertical como horizontalmente em consequência das interações que ocorrem entre os fatores e processos envolvidos na sua formação.

Com base neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial dos atributos

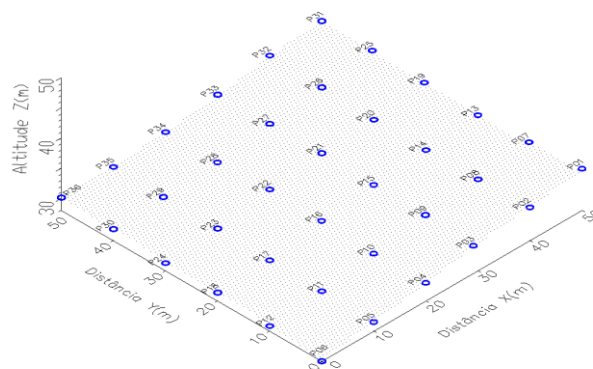
químicos em um latossolo vermelho amarelo cultivado com a cultura da goiaba.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Sapé, localizada no município de Barreiros, PE em área pertencente ao Instituto Federal de Pernambuco, Campus Barreiros, PE. A região situa-se na latitude 08° 49' 30'' S e longitude 35° 12' 00'' W com altitude média de 22 m e temperatura média anual de 25°C. O solo que caracteriza a região de estudo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2013) com declividade ondulado a fortemente ondulado.

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima referido é o As<sup>t</sup>, caracterizado pelo clima tropical denominado úmido, com ocorrência de chuvas de outono-inverno, com precipitação média anual de 1500 mm (APAC, 2016).

As amostras de solo foram coletadas com auxílio de um trado tipo sonda no ponto de cruzamento entre linhas e colunas da malha regular com dimensão de 50 m X 50 m (Figura 1), nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, totalizando 72 amostras coletadas em 36 pontos georreferenciados espaçados equidistantes 10 m, para a realização das análises químicas: pH (em água), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) (EMBRAPA, 2011). O número de amostras em trabalhos geoestatístico depende da heterogeneidade do solo como condição natural ocorrendo no sentido horizontal e vertical em função dos fatores de formação do solo, pois quanto maior a heterogeneidade do solo, maior será o número de amostras necessárias (SILVA, 2006), para estimar o valor médio dos atributos do solo.



**Figura 1** – Malha de distribuição dos pontos de amostragem regionalizada coletada na área experimental.

Antes da análise geoestatística foi aplicada a estatística descritiva para obtenção das medidas de posição (média, mediana, valores máximos e mínimos) e de dispersão (variância, desvio-padrão, e coeficientes de variação, assimetria e curtose). A análise exploratória tem o objetivo de identificar previamente os dados discrepantes (*outliers*), a normalidade de distribuição de frequência e a variação dos dados (GREGO; OLIVEIRA; VIEIRA,

2014). Foi utilizado o Excel for Windows com *Software Action Stat versão 3.1* para análise exploratória e verificar a normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 5% de significância.

A análise geoestatística foi utilizada para verificar e quantificar a existência do grau de dependência espacial dos atributos químicos do solo, utilizando o *Software Surfer* versão 12.0 na determinação de modelos teóricos de variogramas pelo ajuste do semivariograma (VIEIRA, 2000), para identificação da variabilidade espacial, que é um medidor do grau de semelhança entre vizinhos para determinação da semivariância experimental ( $\gamma^*(h)$ ) estimado pela Equação 1 (GREGO; OLIVEIRA; VIEIRA, 2014).

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

em que  $N(h)$  é o número de pares em uma mesma direção  $h$ ;  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i + h)$  valores medidos da variável na posição  $(x_i)$  e  $(x_i + h)$ . Para que a variável avaliada tenha dependência espacial é necessário que o semivariograma seja crescente com a distância, após ter um aumento com a distância, se estabiliza no valor da variância dos dados (GREGO; OLIVEIRA; VIEIRA, 2014).

Para estimar os semivariogramas experimentais foram testados os modelos matemáticos básicos: esférico (ESF), exponencial (EXP), gaussiano (GAUS) e linear (LIN). Os semivariogramas dos modelos transitivos básicos foram escalonados pela variância dos dados no sentido de padronizar a escala, determinando os seguintes parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C_1$ ) e alcance ( $a$ ) da dependência espacial. O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado pela relação  $C_1/(C_0+C_1)$ , em que  $IDE < 25\%$  é baixo,  $25\% < IDE < 75\%$  é médio e  $IDE > 75\%$  é alta dependência espacial (ZIMBACK, 2001). Definidos os semivariogramas teóricos, fez-se a interpolação por krigagem ordinária para a determinação de valores em locais não amostrados. A partir da utilização da krigagem ordinária foram gerados mapas de contorno de isolinhas usando o *Software Surfer* versão 12.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2014), para o ajuste de semivariograma. A função de ajuste do semivariograma é o aspecto mais importante da geoestatística na escolha do modelo a ser validado para geração dos mapas de krigagem. O critério da validação cruzada, segundo Faraco et al. (2008) foi considerado o mais adequado para o ajuste dos resultados obtidos de semivariogramas como alternativa para validação entre o valor estimado e o valor observado experimentalmente.

O coeficiente de variação (CV) foi classificado segundo metodologia de Mulla e McBratney (2000), no qual um

atributo apresenta-se com pequena, média e alta variabilidade para os valores de 0-15%, 16-35% e  $> 36\%$ , respectivamente.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 está descrito os resultados da análise exploratória dos atributos químicos do solo avaliados considerando a amostragem regionalizada.

Observa-se na Tabela 1 que os valores da média e da mediana em todos os atributos estão próximas, caracterizando distribuição assimétrica positiva à direita. Confirmados pelos valores da mediana menores que os valores da média e pela normalidade dos dados indicando distribuição normal para todos os atributos avaliados pelo teste de K-S a 5% de significância, corroborando com Silva (2006). Esses valores indicam uma tendência da maior frequência de dados menor que a média. Os valores de coeficiente de curtose negativos (distribuição de frequência platicúrtica) demonstram maior variabilidade em torno da média.

De acordo com Carvalho; Silveira; Vieira (2002), valores teóricos de assimetria e curtose de 0-3, respectivamente, indicam a normalidade dos dados.

Conforme Mulla e McBratney (2000), o CV do pH apresenta pequena (0-15%) e média (16-35%) variação nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente. Os atributos Ca, Mg e Al apresentam alta ( $> 36\%$ ) variação nas duas profundidades. Resultados semelhantes foram encontrados por Bottega et al (2013) e Lima et al (2013). Para Carvalho; Silveira; Vieira (2002) existe grande variação quanto a dependência espacial das propriedades químicas do solo, conforme o método de cultivo e profundidade do solo. Os maiores CV (60,77% e 53,71%) foram encontrados para o atributo Al nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente, e o menor CV (14,94%) para o pH na profundidade de 0,0-0,10 m. Segundo Silva (2006), os atributos que apresentam maiores CV demonstram sua grande variação em torno da média. Entretanto, o mesmo não se aplica para o pH na profundidade de 0,0-0,10 m devido este apresentar pequena variação, indicando que a profundidade é um fator importante no estudo da variabilidade espacial do solo.

Os atributos pH e Al não apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de significância, diferentemente dos atributos Ca e Mg, o que pode estar relacionado com a não aplicação de calcário na área. Os resultados deste trabalho estão de acordo com os obtidos por diversos pesquisadores (ZANÃO JUNIOR et al. 2010; BOTTEGA et al. 2013; LIMA; SILVA; SILVA, 2013; SANTOS et al. 2015).

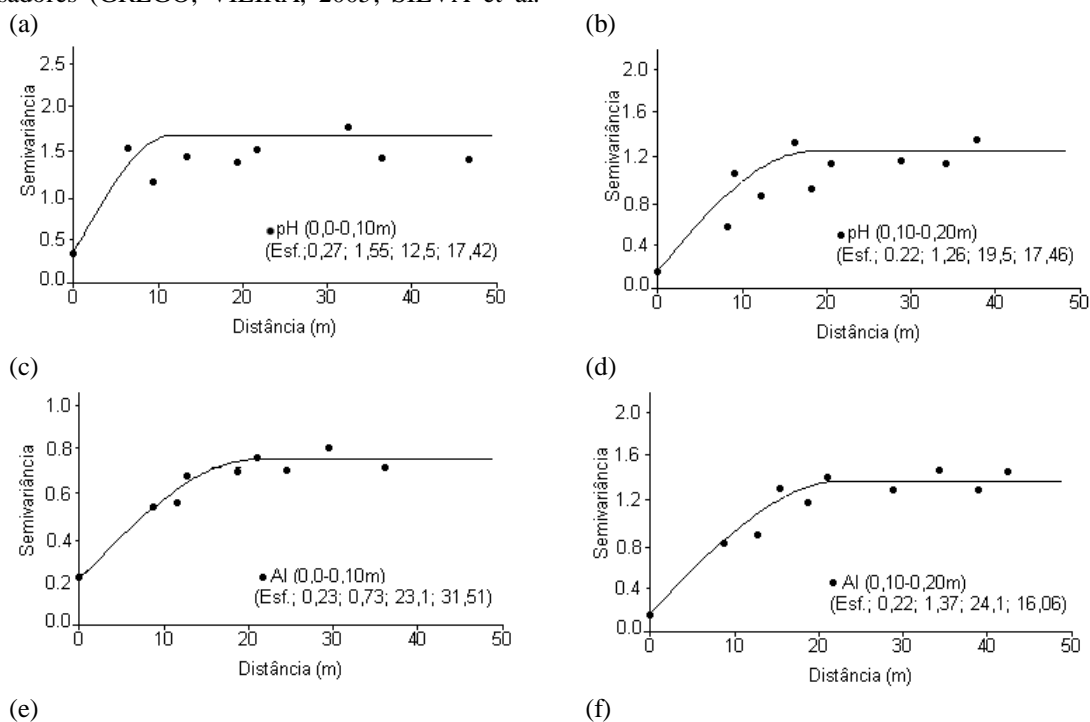
**Tabela 1** – Estatística descritiva dos atributos químicos pH ( $\text{CaCl}_2$ ), Ca ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), Mg ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) e Al ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), coletadas a partir da média de 36 pontos amostrados na área de cultivo contínuo nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m.

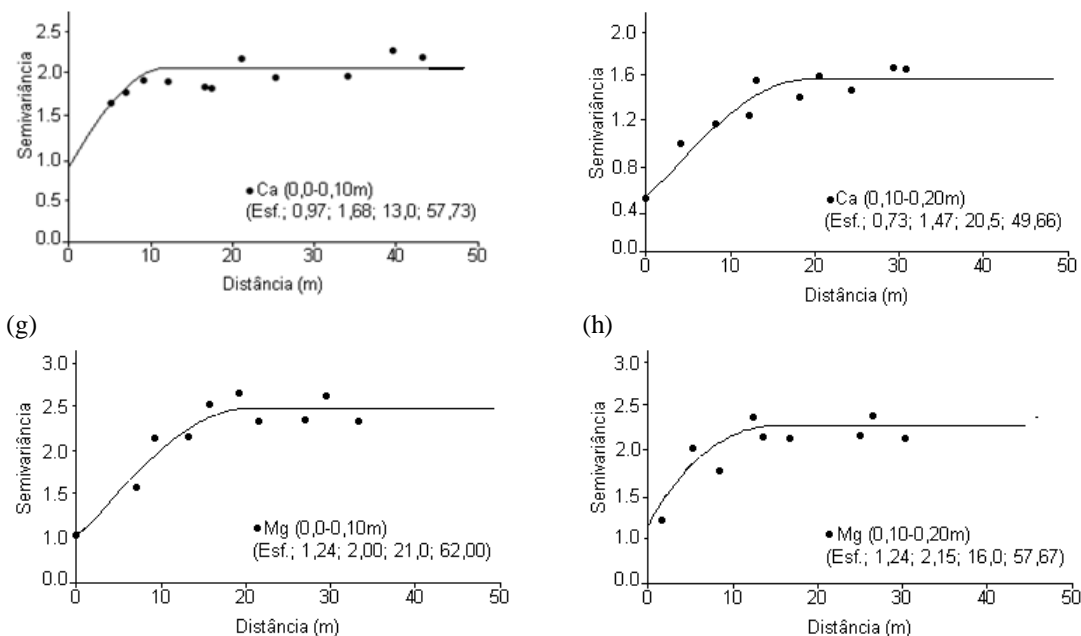
Atributos	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	$\delta$	CV	Cs	$C_k$	$d^{(3)}$
pH (em água) <sup>1</sup>	4,94a	4,85	3,49	6,23	0,74	14,94	0,06	-0,84	0,13*
pH (em água) <sup>2</sup>	4,94a	4,89	3,42	6,60	0,82	16,61	-0,02	-0,63	0,12*
Ca ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) <sup>1</sup>	3,13a	3,00	1,10	7,60	1,27	40,46	1,19	2,31	0,17*
Ca ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) <sup>2</sup>	2,67b	2,50	0,80	6,90	1,21	45,41	1,45	3,07	0,19*
Mg ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) <sup>1</sup>	4,04a	3,97	0,97	7,75	1,49	36,87	0,28	-0,13	0,08*
Mg ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) <sup>2</sup>	3,72b	3,35	0,83	7,23	1,47	39,45	0,73	0,12	0,13*
Al ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) <sup>1</sup>	1,11a	0,99	0,33	3,14	0,68	60,77	1,23	1,69	0,15*
Al ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) <sup>2</sup>	1,13a	0,99	0,33	2,31	0,61	53,71	0,46	-0,97	0,14*

<sup>1</sup>: profundidade de 0-0,10 m; <sup>2</sup>: profundidade de 0,10-0,20 m;  $\delta$ : desvio-padrão; CV: coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria;  $C_k$ : coeficiente de curtose; <sup>(3)\*</sup>: distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância. Para um mesmo atributo, médias seguidas de mesma letra minúscula em coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os semivariogramas foram ajustados ao modelo esférico (ESF) por apresentar, neste estudo, melhor ajuste em relação aos outros modelos avaliados através da técnica de validação cruzada (ROSSONI, 2014), para todos os atributos, e por ser um modelo de maior ocorrência nos trabalhos para os atributos do solo de acordo com vários pesquisadores (GREGO; VIEIRA, 2005; SILVA et al.

2008; BOTTEGA et al. 2013; LIMA; SILVA; SILVA, 2013). Os resultados mostraram a ocorrência de dependência espacial para todos os atributos nas duas profundidades estudadas. A análise espacial dos modelos e parâmetros de ajustes dos semivariogramas está descrito na Figura 2.



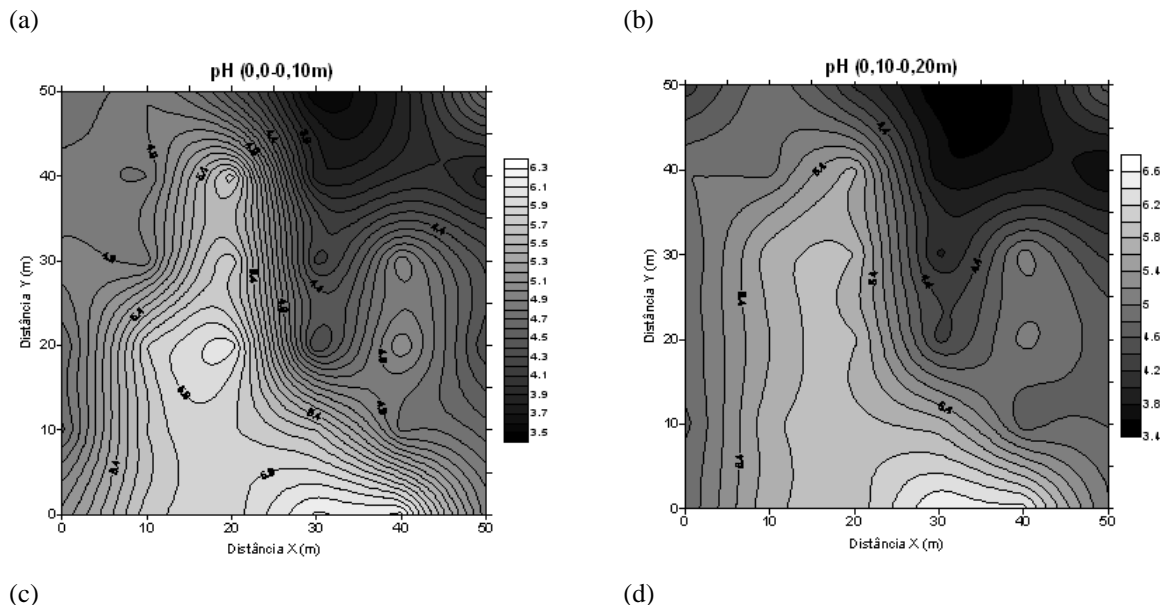


**Figura 2** – Modelos e parâmetros (Co; Co+C<sub>1</sub>; (a); GD) dos semivariogramas escalonados do atributo pH (CaCl<sub>2</sub>) (a, b); Al (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) (c, d); Ca (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) (e, f) e Mg (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) (g, h) nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente.

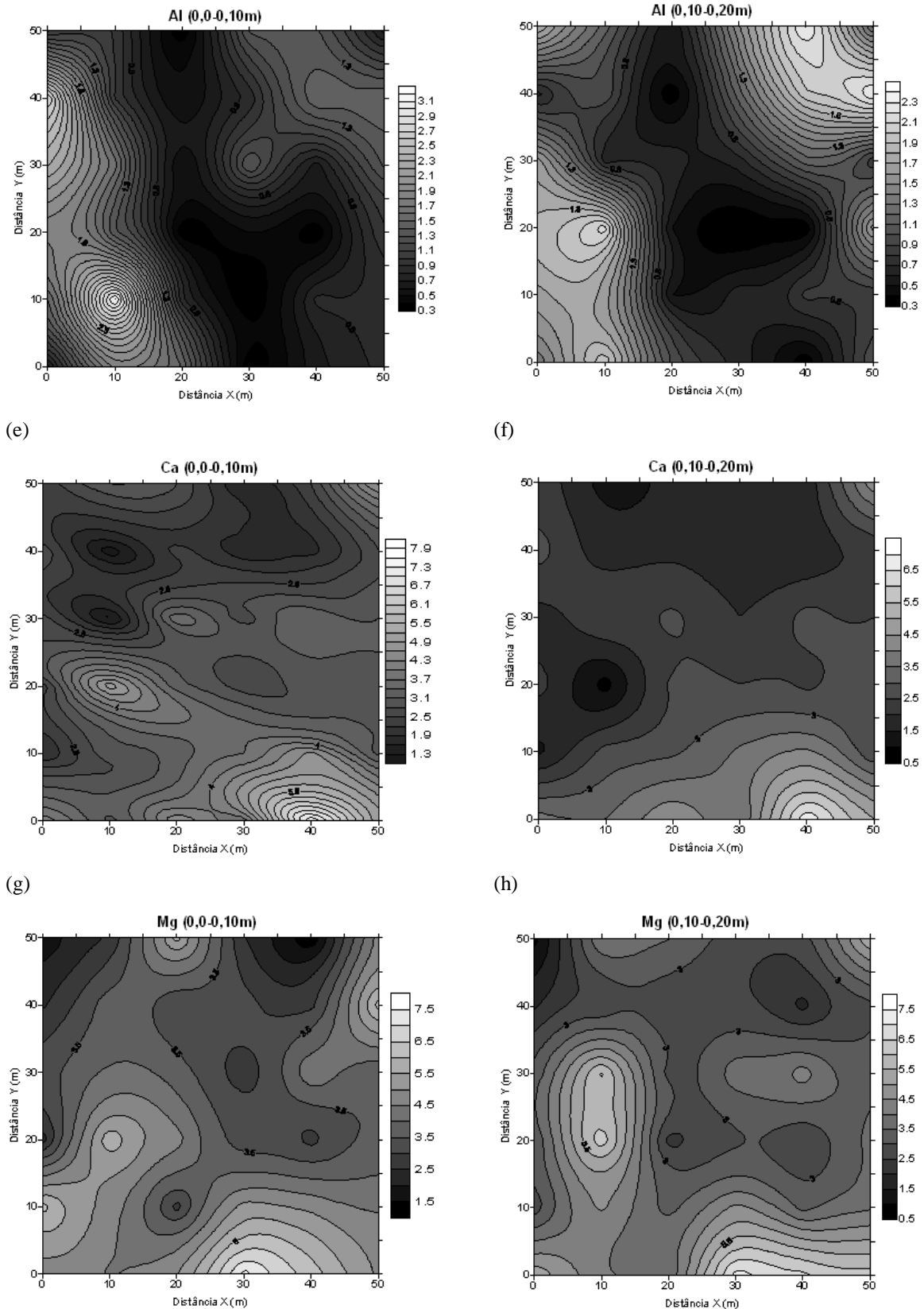
De acordo com Zimback (2001), os atributos pH (a) e (b) e Al (d) (Figura 2) apresentaram baixa dependência espacial com alcances de 12,5 m (a) e 19,5 m (b) para o pH e, 24,1 m para o Al (d). Os atributos Al (c), Ca (e) e (f) e Mg (g) e (h) apresentaram moderada dependência espacial com alcances de 23,1 m, 13,0 m, 20,5 m, 21,0 m e 16,0 m, respectivamente. Segundo Silva (2006) o alcance indica a distância até onde os pontos amostrais

estão correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados em uma área cujo raio seja o alcance, são semelhantes entre si do que os separados por distâncias maiores.

Os resultados obtidos neste trabalho corroboram com os encontrados por Carvalho; Silveira; Vieira (2002).







**Figura 3** – Mapas da distribuição espacial (krigagem) dos atributos pH ( $\text{CaCl}_2$ ), Al ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), Ca ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e Mg ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente.

A Figura 3 mostram os mapas de krigagem ordinária da distribuição espacial dos atributos químicos pH, Al, Ca e

Mg, analisados nas profundidades de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m.

De acordo com Grego e Vieira (2005), o uso de mapas de krigagem ordinária identifica e quantifica a variabilidade espacial dos atributos do solo. Observa-se nas duas profundidades no atributo pH ((a) e (b)) que a maior concentração ocorre na região inferior e central do mapa (maior declive) onde há menores teores de Al ((c) e (d)), e menores na região superior direita (menor declive), com maiores teores de Al ((c) e (d)), podendo ter ocorrido devido o Al ser um gerador de acidez, diminuindo o pH do solo. O pH e o Al apresentam o mesmo padrão espacial na área de cultivo contínuo. Os atributos Ca ((e) e (f)) e Mg ((g) e (h)) apresentam o mesmo padrão espacial com maiores concentrações na região inferior do mapa, com moderada dependência espacial em toda área de cultivo contínuo. Os resultados encontrados neste trabalho para os atributos pH, Ca, Mg e Al, estão de acordo com os encontrados por diversos pesquisadores (CARVALHO; SILVEIRA; VIEIRA, 2002; GREGO; VIEIRA, 2005; SILVA, 2006; SILVA et al. 2008; BOTTEGA et al. 2013; LIMA; SILVA; SILVA, 2013; ARTUR et al. 2014).

#### 4 CONCLUSÕES

- ✓ Os atributos químicos analisados variaram espacialmente de forma significativa, apresentando baixa e moderada dependência espacial, com ajuste ao modelo esférico, com menor alcance para o atributo pH (12,5 m (a)) e o maior para o atributo Al (24,1 m (d)).
- ✓ A malha de amostragem utilizada é adequada para determinação da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em cultivo contínuo, sua escolha pode ser fundamental para tomada de decisão.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia de Pernambuco pelo apoio financeiro ao projeto.

#### 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. Monitoramento Hidrológico. Recife, 2016. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/monitoramento/>> Acesso em 30 abr. 2016.

ARTUR, A.G.; OLIVEIRA, D.P.; COSTA, M.C.G.; ROMERO, R.E.; SILVA, M.V.C.; FERREIRA, T.O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.2, p.141-149, 2014.

BERNARDI, A.C.C.; CAMPANA, M.; BETTIOL, G.M.; OLIVEIRA, P.P.A.; INAMASSU, R.Y.; RABELLO, L.M. Variabilidade espacial de propriedades do solo, índices de vegetação e produtividade de pastagem sob manejo intenso. In: BERNARDI, A.C.C.;

NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H.; INAMASSU, R.Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014, p.513-522.

BOTTEGA, E. L. QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.44, n.1, p.1-9, 2013.

CAMPOS, M.C.C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.3, p.297-304, 2009.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. Variabilidade especial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.6, p.1329-1339, 2007.

CRUZ, L.E.C.; FILIPPINI, J.M.A.; PARFITT, J.M.B.; PILLON, C.N. Estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo em um agroecossistema de arroz irrigado para suporte à agricultura de precisão. In: BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H.; INAMASSU, R.Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014, p.209-216.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. rev. amp. Rio de Janeiro: Embrapa, 2013. 353p.

FARACO, M. A.; URIBE-OPACO, 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 Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p. 463-476, 2008.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer 12.0 – Surface Mapping System - User's Guide**. New York: Golden Software, 2014.

GONZAGA NETO, L. **Goiaba: produção-aspéctos técnicos**. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica Petrolina, PE, EMBRAPA Semiárido, 2001. 72p.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas individuais em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.2, p.169-177, 2005.

GREGO, C.R.; OLIVEIRA, R.P.; VIEIRA, S.R. Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. In: BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H.; INAMASSU, R.Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014, p.74-83.

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 Agronômica**, Fortaleza, v.44, n.1, p.16-23, 2013.

MENDES, A.M.S.; SILVA, D.J.; BASSOI, L.H. Variabilidade espacial de solo em pomar de uva de mesa em Petrolina – PE. In: BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V.; BASSOI, L.H.; INAMASSU, R.Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2014, p.380-388.

MULLA, D.J.; McBRATNEY, A.B. Soil spatial variability. In: SUMNER, M.E. (Ed.) **Handbook of soil science**. New York: CRC Press, 2000. Cap. 9, p.321-352.

ROSSONI, D.F. **Testes bootstrap para detecção de anisotropia especial em fenômenos contínuos**. Lavras, MG, 2014. 81f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2014.

SANTOS, E.O.J.; GONTIJO, I.; SILVA, M.B.; DRUMOND NETO, A.P. Variabilidade espacial de macronutrientes em uma lavoura de café conilon no Norte do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.46, n.3, p.469-476, 2015.

SILVA, E.N.S.; MONTANARI, R.; PANOSSO, A.R.; CORREA, A.R.; TOMAZ, P.K.; FERRAUDO, A.S. Variabilidade de atributos físicos e químicos do solo e produção de feijoeiro cultivado em sistema de cultivo mínimo com irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.2, p.598-607, 2015.

SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; VIEIRA, L.H.S.; OLIVEIRA, E. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.32, n.1, p.231-241, 2008.

SILVA, J.M. **Métodos geoestatístico no estudo de atributos químicos e físicos do solo em dois sistemas de cultivo da soja no cerrado**. Alegre, ES. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre, 2006.

SOUZA, Z.M.; BARBIERI, D.M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; CAMPOS, M.C.C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.31, n.2, p.371-377, 2007.

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

VIEIRA, S.R.; XAVIER, M.A.; GREGO, C.R. Aplicações de geoestatística em pesquisa com cana-de-açúcar. In: MIRANDA-DINARDO, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008, p.839-852.

ZANÃO JÚNIOR, L.A. LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C.; PEREIRA, J.M.A. 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, 2010.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. Botucatu, SP. 2001. 114 f. Tese (Livro-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de Paulista. Botucatu, 2001.