

# VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO USANDO TÉCNICAS DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E GEOESTATÍSTICA

## *SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL USING TECHNIQUES OF PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS AND GEOESTATISC*

**Sueli Martins de Freitas ALVES<sup>1</sup>; Daniel Marçal de QUEIROZ<sup>2</sup>;  
Gracielly Ribeiro de ALCÂNTARA<sup>3</sup>; Elton Fialho dos REIS<sup>4</sup>**

1. Professora, Doutora, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás - UFG, Anápolis, GO, [suelifreitas@ueg.br](mailto:suelifreitas@ueg.br); 2. Professor, Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, Brasil; 3. Engenheira Agrícola, MSc, doutoranda – UFV, Viçosa, MG, Brasil; 4. Professor, Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola – UFG, Anápolis, GO, Brasil.

**RESUMO:** Este trabalho tem por objetivo utilizar a análise multivariada em conjunto com a geoestatística para estudo da variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo em áreas de plantio direto de soja em sucessão com milho. Em um talhão de 22 hectares, para a qual foi definida uma grade amostral de 40 x 40 m, perfazendo um total de 120 pontos, foram coletadas em cada ponto amostras de solo para análises físico-químicas. Os dados foram analisados por meio de componentes principais como forma a identificar novas variáveis, gerando-se novos valores para cada ponto amostral. Foram extraídos três componentes, que explicaram 78,11% da variabilidade total dos dados. Em seguida, foi utilizada a análise geoestatística para verificar a existência de dependência espacial dos dados gerados para as componentes principais selecionadas, o que foi feito a partir do ajuste de funções teóricas aos modelos de semivariogramas experimentais. A CP2 não apresentou dependência espacial. As componentes principais 1 e 3 apresentaram dependência espacial e correlacionaram-se respectivamente, com a textura e fertilidade do solo e com a acidez do solo. A técnica de análise multivariada em conjunto com a geoestatística diminuiu o número de mapas facilitando a análise da variabilidade espacial dos atributos avaliados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise multivariada. Geoestatística. Semivariograma

### INTRODUÇÃO

A caracterização da variabilidade espacial da produtividade e dos atributos físicos e químicos do solo são essenciais para o gerenciamento de uma cultura e que por meio dessas informações é possível o mapeamento dos atributos em questão e elaboração de mapas de prescrição e levando-se em conta a variabilidade natural dos fatores de produção, pode-se aplicar apenas as quantidades efetivamente necessárias em cada ponto de acordo com um mapa de prescrição, previamente elaborado e que, portanto, as técnicas de aplicação localizada de insumos se tornam muito importantes para uma agricultura rentável (SOUZA et al., 2008).

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo torna-se fundamental para aperfeiçoar as aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes, reduzindo a degradação ambiental provocada pelo excesso destes, melhorando o controle do sistema de produção das culturas (SOUZA et al., 2004; SILVA et al., 2008).

Para analisar a estrutura da fertilidade dos solos, é necessária a avaliação dos diversos

nutrientes que respondem por ela, o que, muitas vezes, ao ser realizado por meio de análises estatísticas tradicionais, baseadas na independência das observações, não são adequadas para estudos de variabilidade espacial de atributos do solo e devem ser complementadas por análises espaciais que consideram as correlações entre observações vizinhas e maior amostragem da população (HAMLETT et al., 1986).

A análise geoestatística permite detectar a variabilidade e distribuição espacial dos atributos estudados e, portanto, constitui importante ferramenta na análise e descrição detalhada da variabilidade dos atributos do solo (VIEIRA, 2000; CARVALHO et al., 2002; VIEIRA et al., 2002). Contudo, estes métodos univariados podem gerar vários mapas de isolinhas, o que dificulta a interpretação.

O grande número de variáveis que envolvem todo o processo de agricultura de precisão aliado às variações temporais e espaciais no campo e aos múltiplos objetivos a serem atingidos, torna o processo de tomada de decisão complexo (SILVA et al., 2010). Uma opção de análise da variabilidade

espacial dos dados é aliar o uso de técnicas de análise multivariada, que visa à redução dimensional do número de variáveis, à geoestatística. A redução e a simplificação do número de variáveis, criando novas variáveis interpretativas, permitirão uma maior facilidade de interpretação dos mapas (SILVA et al, 2010). Segundo estes autores, o método de análise multivariada baseado nos componentes principais forneceu componentes interpretáveis, e as técnicas de análise multivariada, em associação com a geoestatística, facilitaram a avaliação da variabilidade do solo.

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa foi utilizar a análise multivariada em conjunto com a geoestatística para estudo da variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo em áreas de produção sucessiva de soja e milho em plantio direto.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nesta pesquisa são provenientes de um experimento realizado por Alcântara (2010) na fazenda Novo Horizonte, localizada no município de Gameleira de Goiás, GO, com altitude de 980 m, longitude 48° 42' W e latitude 16° 22' S. A área de estudo foi classificada como um Latossolo Vermelho-Escuro com textura média a argilosa Alcântara (2010), com declividade média variando de 1 a 5%. Na área de estudo o plantio direto vem sendo utilizado há 10 anos com plantio da cultura de soja em sucessão com milho.

Os dados foram coletados em um talhão de 22 hectares em uma grade amostral de 40 x 40 m, totalizando 120 pontos georeferenciados com a utilização de um receptor de GPS, com sistema de correção diferencial em tempo real. Em cada ponto da grade de amostragem foram coletadas amostras para análises químicas do solo: pH, potássio (K, mg.dm<sup>-3</sup>), fósforo (P, mg.dm<sup>-3</sup>), cálcio (Ca, cmolc.dm<sup>-3</sup>), magnésio (Mg, cmolc.dm<sup>-3</sup>), Alumínio trocável (Al, cmolc.dm<sup>-3</sup>), zinco (Zn, mg.dm<sup>-3</sup>), acidez potencial (H+Al, cmolc.dm<sup>-3</sup>), matéria orgânica (MO, g.dm<sup>-3</sup>), e análise granulométrica do solo (areia, silte e argila, g.kg<sup>-1</sup>). Após análise química, foram calculados os seguintes atributos de fertilidade do solo: capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (SB).

Após a obtenção dos dados, estes foram analisados por meio das medidas de posição e dispersão, assimetria e curtose. O cálculo destas estatísticas contribuiu para a descrição das variáveis em estudo. Para interpretação do coeficiente de assimetria (Cs), que é utilizado para caracterizar

como e quanto à distribuição de frequências se afasta da simetria, foi adotado como critério que se  $C_s > 0$  tem-se a distribuição assimétrica à direita, se  $C_s < 0$  a distribuição é assimétrica à esquerda; e se  $C_s = 0$  a distribuição é simétrica. O coeficiente de curtose (Ck) mostra a dispersão (achatamento) da distribuição em relação à curva normal, e como critério para sua interpretação foi adotado que se  $C_k = 0$  a distribuição é mesocúrtica, se  $C_k < 0$  é platicúrtica e se  $C_k > 0$  é leptocúrtica.

Os valores encontrados também foram analisados por meio da estatística exploratória para a verificação da presença de valores discrepantes. O critério utilizado para identificação de dados discrepantes foi o proposto por Tukey (1977).

Para análise dos dados, as variáveis foram padronizadas (média igual a zero e variância igual a unidade), pois cada uma delas apresenta unidades de medidas diferentes. A análise de componentes principais (CP) foi realizada com base na matriz de correlação existente entre as componentes e os atributos físico-químicos, de forma a identificar novas variáveis que explicam a maior parte da variabilidade, gerando-se novos valores para cada ponto amostral correspondente aos componentes principais.

A seleção do número de componentes principais foi baseada no critério de análise da qualidade de aproximação da matriz de correlações, utilizando-se os componentes associados a autovalores superiores a 1 (MINGOTI, 2007).

Após a seleção das CP's, a análise geoestatística foi utilizada para os dados gerados, ou seja, para as componentes principais selecionadas. Para o estudo da correlação dos componentes principais com os atributos físico-químicos do solo, consideraram-se significativos os valores superiores a 0,7 (ZWICK; VELICER, 1986).

A geoestatística foi utilizada para verificar a existência e, neste caso, quantificar o grau de dependência espacial dos dados gerados a partir da análise de componentes principais, o que foi feito a partir do ajuste de funções teóricas aos modelos de semivariogramas experimentais. Utilizando-se o software GS<sup>+</sup> (Robertson, 1998) para o ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais, foram determinados os parâmetros efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C_1$ ), variância estrutural ( $C_1$ ) e alcance (a).

Para a seleção do melhor modelo adotou-se como critério a menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR), o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o maior valor do coeficiente de regressão obtido pelo método de validação cruzada.

Para análise da dependência espacial, foi calculado o índice de dependência espacial, o qual foi classificado de acordo com a proposta de Zimback (2001): a dependência espacial fraca para valores  $\leq 25\%$ ; entre  $25\%$  e  $75\%$ , moderada e  $\geq 75\%$  dependência forte.

Quando comprovada a correlação espacial entre as amostras por meio da análise dos semivariogramas foram elaborados os mapas de isolinhas utilizando a krigagem como técnica de interpolação, para cada componente principal selecionada. A krigagem é uma técnica usada na geoestatística para estimar valores para locais não amostrados, considerando os parâmetros do semivariograma, que resulta em valores sem tendência e com variância mínima (SILVA et al., 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo da análise descritiva foram realizados cálculos de medidas descritivas (Tabela 1). Para interpretação do coeficiente de variação a variabilidade das variáveis foi classificada segundo Warrick e Nielsen (1980) em baixa ( $CV < 12\%$ ), média ( $12 < CV < 62\%$ ) e alta ( $CV > 62\%$ ). De acordo com este critério as variáveis P e AL são as que apresentaram um coeficiente de variação alto. Segundo Silva et al (2003) e Alcântara (2010), essa

variabilidade pode ser atribuída, em parte, em parte à aplicação localizada de fertilizantes e ao efeito residual da adubação. A CTC é uma característica físico-química fundamental ao manejo adequado da fertilidade do solo, quanto maior a CTC do solo, maior o número de cátions que este solo pode reter. Na área em questão a CTC é classificada como nível médio ( $6,62 \text{ cmolc.dm}^{-3}$ ). O solo é considerado fértil, pois apresentou  $65,11\%$  de saturação por bases (SB), o que indica que a área apresenta boas condições de fertilidade e propício para o bom desenvolvimento de soja e milho (CASTRO, 2004). Alcântara (2010) apresenta uma discussão detalhada dos valores obtidos na análise descritiva de cada variável utilizada neste trabalho.

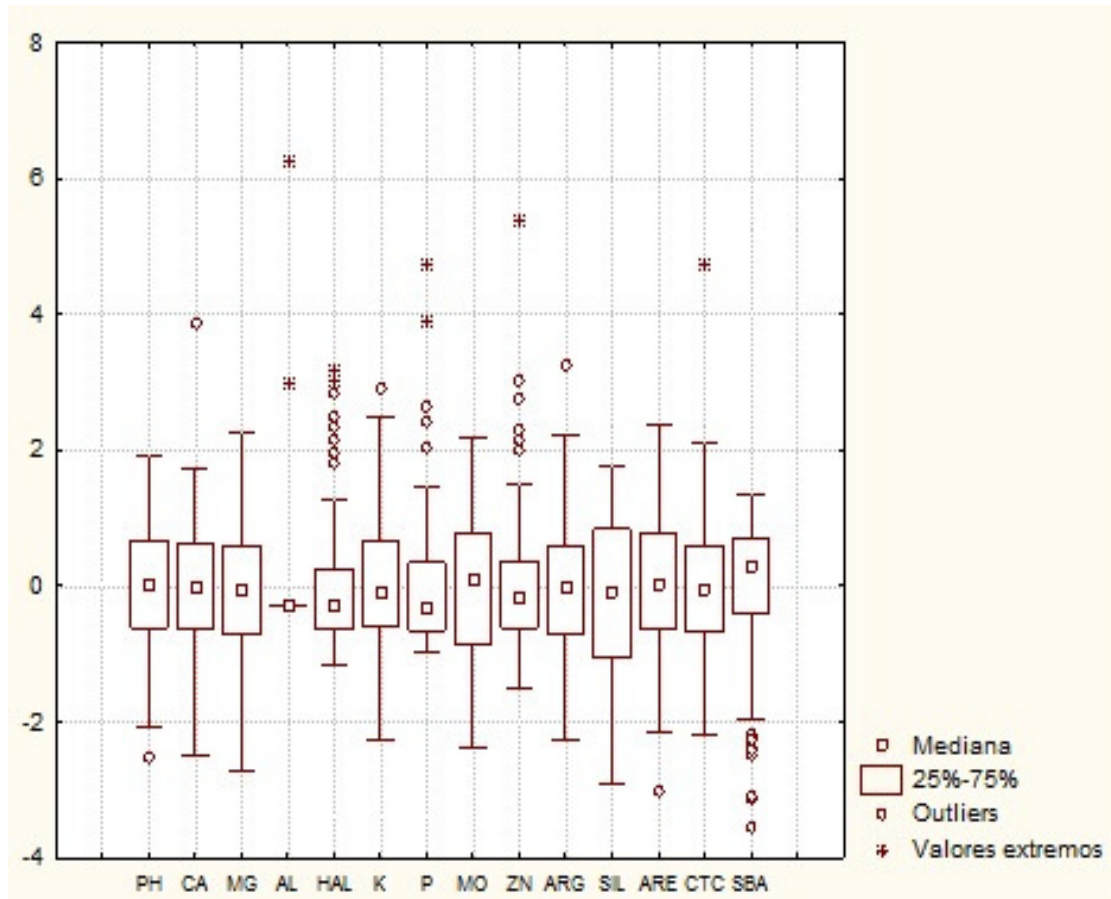
Para a análise exploratória após a padronização dos dados foram elaborados os gráficos de Box-plot (Figura 1), nos quais se verificam a existência de pontos com valores bem discrepantes em relação aos demais, como é o caso dos atributos químicos Al, H+Al (acidez potencial), P, Zn, CTC e saturação por base. Os valores discrepantes podem afetar a variância aleatória, com implicação direta sobre a correlação espacial (SANTOS et al., 2011; MELLO et al., 2008). Dessa maneira os valores discrepantes foram removidos para prosseguimento da análise dos dados, conforme descrito por Tukey (1977).

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos atributos físico-químicos do solo, em área de plantio direto de soja em sucessão com milho.

Atributos	Média	Mediana	Mín.	Máx.	DP	Ass.	Curt.	CV (%)
Argila ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	300,58	300,00	190,00	460,00	49,13	0,52	0,29	16,34
Silte ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	81,08	80,00	50,00	100,00	10,67	0,03	-0,10	13,16
Areia ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	618,33	620,00	440,00	760,00	59,23	-0,42	0,07	9,58
pH $\text{CaCl}_2$	5,69	5,70	4,50	6,60	0,47	-0,44	-0,34	8,31
Ca ( $\text{cmolc.dm}^{-3}$ )	2,10	3,00	1,00	6,10	0,80	0,14	1,07	26,83
Mg ( $\text{cmolc.dm}^{-3}$ )	1,12	1,10	0,30	1,80	0,30	-0,25	0,09	27,10
Al ( $\text{cmolc.dm}^{-3}$ )	0,01	0,00	0,00	0,20	0,03	3,91	16,14	367,59
Acidez potencial H+Al ( $\text{cmolc.dm}^{-3}$ )	2,26	2,10	1,60	4,10	0,58	1,75	2,52	25,52
K ( $\text{mg.dm}^{-3}$ )	97,28	95,00	35,00	177,00	27,54	0,20	0,07	28,31
P ( $\text{mg.dm}^{-3}$ )	18,08	12,70	1,20	100,00	17,24	2,22	5,98	95,35
MO ( $\text{g.dm}^{-3}$ )	50,26	51,00	30,00	69,00	8,55	-0,21	-0,72	17,01
Zn ( $\text{mg.dm}^{-3}$ )	3,51	3,25	1,00	12,40	1,65	1,93	6,85	47,08
CTC a pH 7,0 (T) ( $\text{cmolc.dm}^{-3}$ )	6,62	6,59	4,94	10,29	0,77	0,89	3,34	11,65
Sat. Bases (%)	65,11	68,38	25,59	80,15	11,13	-1,52	2,13	17,10

pH – potencial hidrogeniônico; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; H – hidrogênio; K – potássio; P – fósforo; MO – matéria orgânica; Zn – zinco; CTC- capacidade de troca catiônica; Sat. Bases – saturação por bases. Min. – mínimo; Máx. – máximo; DP – desvio padrão; Ass. – coeficiente de assimetria; Curt. – coeficiente de curtose e CV – coeficiente de variação (%).

Fonte: Alcântara (2010).



**Figura 1.** Box-plot dos atributos físico-químicos do solo, em área de plantio direto de soja em sucessão com milho (dados padronizados: média igual a zero e variância igual à unidade).

Para cada variável foi quantificado o grau de dependência espacial e aquelas que não apresentaram efeito pepita puro foi feito o ajuste das funções teóricas aos modelos de semivariogramas experimentais (Tabela 2). Verifica-se que oito variáveis apresentaram dependência espacial e, portanto, seriam elaborados oito mapas de isolinhas para serem analisados. Visando reduzir o número de variáveis a serem analisadas procedeu-se a análise de componentes principais, para as todas as variáveis e foram extraídas três componentes, que apresentaram autovalores superiores a 1, e explicaram respectivamente, 60,09%, 9,36% e 8,66% da variabilidade total dos dados (Figura 2). As demais contribuíram de forma irrisória e, portanto, não foram considerados na análise. Estas três componentes foram giradas através da rotação varimax, para facilitar a interpretação da contribuição das variáveis (pesos) em cada componente principal.

A primeira componente principal (CP1) apresentou correlação elevada (correlação maior do que 0,70) com cinco dos 12 atributos analisados, sendo que os atributos que correlacionaram positivamente foram pH, areia e CTC e

negativamente foram argila e silte (Tabela 3). Assim, a CP1 foi denominada de textura e fertilidade do solo. A segunda componente principal (CP2) apresentou correlação elevada com dois dos 12 atributos analisados, sendo que os atributos P e Zn se correlacionaram positivamente (Tabela 3). A terceira componente principal (CP3) apresentou correlação elevada com três dos 12 atributos analisados, sendo que os atributos que se correlacionaram positivamente foi saturação de bases e negativamente foram Al e H+Al. Assim, a CP3 foi denominada de acidez do solo (Tabela 3). Silva et al. (2010), ao analisar os atributos químicos do solo utilizando geoestatística associada a análise multivariada identificou a primeira componente principal (CP1) correlacionada com a acidez e a segunda (CP2) com a matéria orgânica do solo.

A análise geoestatística foi realizada utilizando-se os valores do primeiro, do segundo e do terceiro componente principal, e foram ajustados aos semivariogramas experimentais (Tabela 2) o modelo exponencial para a CP1 (textura e fertilidade do solo) e gaussiano para a CP3 e o esférico (acidez do solo), respectivamente (Tabela 2). A CP2 apresentou efeito pepita puro (Tabela 2),

o que corresponde à total ausência de correlação espacial, ou seja, não apresentou dependência espacial.

Após definição dos modelos e parâmetros dos semivariogramas, os dados foram interpolados por meio da krigagem ordinária para mapear a textura e fertilidade do solo (CP1) e a acidez do solo (CP2), segundo os componentes selecionados (Tabela 2). Os alcances de dependência espacial

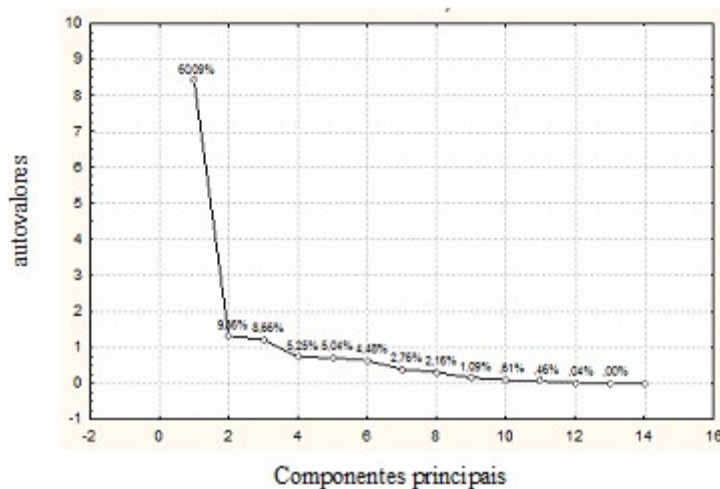
foram de 96,0 e 73,5 m para CP1 e CP3, respectivamente, indicando maior variabilidade para a CP3. Na confecção de mapas temáticos, quanto maior o alcance maior será a precisão na estimativa por krigagem. A primeira e a terceira componente principal apresentaram de acordo com índice de dependência espacial (IDE) proposto por Zimback (2001), uma moderada e forte dependência espacial, respectivamente.

**Tabela 2.** Modelos teóricos de semivariância ajustados para as propriedades físico-químicas do solo e para as três componentes principais.

Atributos	Modelo	A	C <sub>0</sub> +C	C <sub>0</sub>	IDE (C/ C <sub>0</sub> +C)	R <sup>2</sup>	SQR	VC
pH CaCl <sub>2</sub> <sup>1</sup>	EPP*	-	-	-	-	-	-	-
Mg (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	EPP*	-	-	-	-	-	-	-
K (mg.dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	EPP*	-	-	-	-	-	-	-
P (mg.dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	EPP*	-	-	-	-	-	-	-
Zn (mg.dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	EPP*	-	-	-	-	-	-	-
CTC (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	EPP*	-	-	-	-	-	-	-
Areia (g.kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	Esférico	410,40	2996,00	1395,00	0,53	0,90	326134	0,90
MO (g.dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	Esférico	138,30	57,83	28,04	0,52	0,80	90,10	0,95
Argila(g.kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	Exponencial	2805,00	4573,00	1582,00	0,65	0,89	126296	0,99
Silte (g.kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	Exponencial	528,30	110,70	55,30	0,50	0,90	216,00	0,92
Ca (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	Exponencial	121,20	0,45	0,064	0,86	0,72	9,12E-03	0,66
H+Al (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	Exponencial	3032,70	0,79	0,14	0,82	0,83	0,01	1,14
Al (cmolc.dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	Gaussiano	2057,68	0,005	0,0003	0,94	0,97	8,09E-08	0,96
V (%) <sup>1</sup>	Gaussiano	1390,84	440,90	65,00	0,85	0,96	4919,00	1,03
CP1	Exponencial	96,00	1,07	0,54	0,50	0,79	0,023	0,75
CP2	EPP*	-	-	-	-	-	-	-
CP3	Gaussiano	73,50	2,95	0,47	0,84	0,95	0,034	1,04

pH – potencial hidrogeniônico; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; H+Al – acidez potencial; K – potássio; P – fósforo; MO – matéria orgânica; Zn – zinco; CTC - capacidade de troca catiônica a pH 7; V% – saturação por bases; CP1 – componente principal 1; CP2 - componente principal 2; CP3 – componente principal 3. A – alcance; C+C<sub>0</sub> – patamar; C<sub>0</sub> – efeito pepita; IDE – Índice de Dependência Espacial de acordo com Zimback (2001). VC – coeficiente de regressão da validação cruzada; R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação e SQR – soma dos quadrados dos resíduos. EPP\* – Efeito Pepita Puro.

<sup>1</sup> Fonte: Alcântara (2010).



**Figura 2.** Porcentagem da variância da total explicada por cada componente principal.

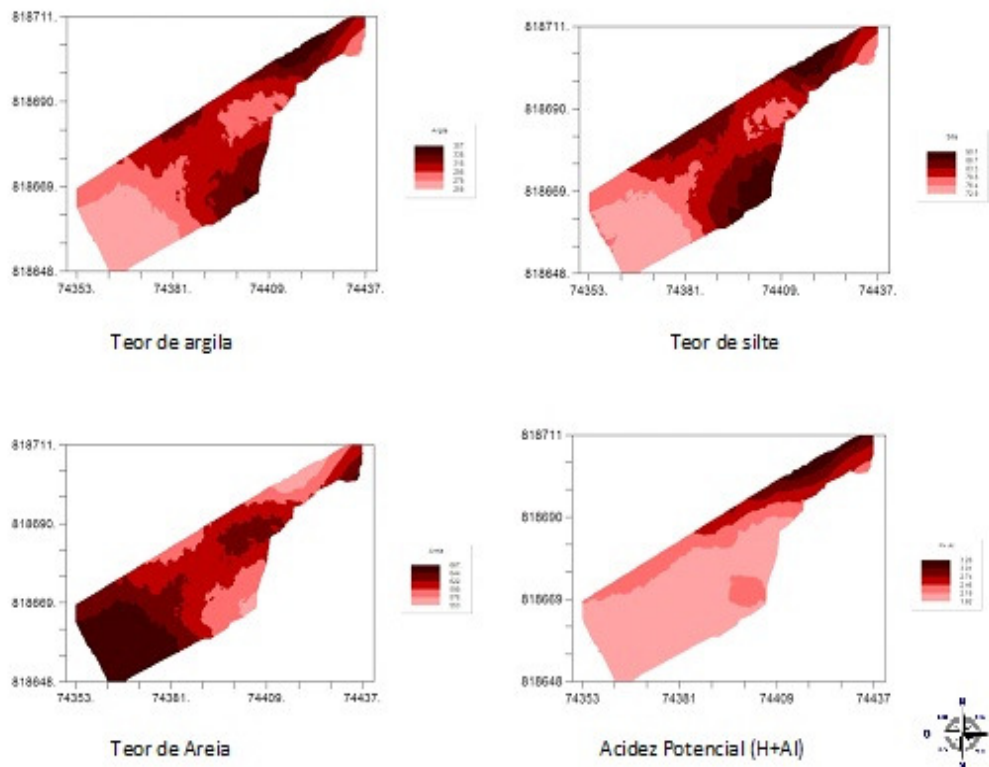
**Tabela 3.** Correlação dos atributos físico-químicos do solo com as componentes principais.

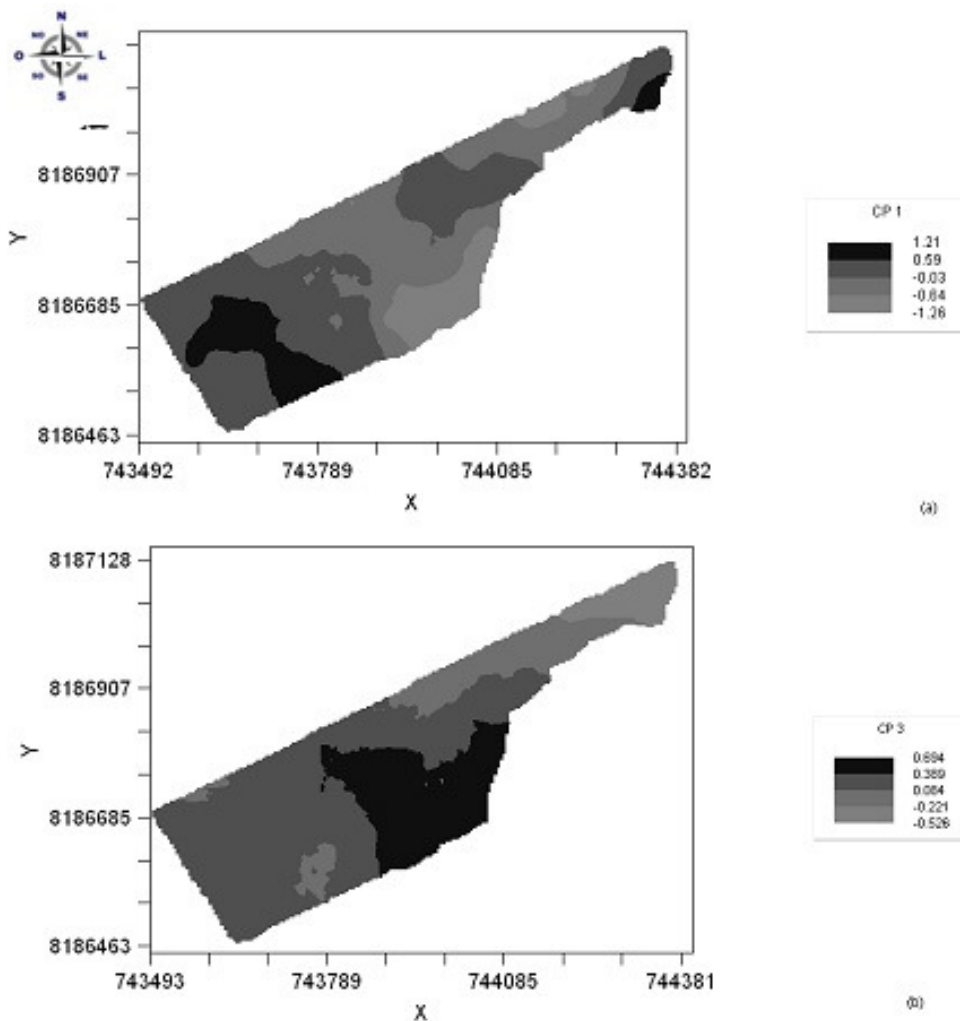
Atributos	CP1	CP2	CP3
pH CaCl <sub>2</sub>	0,686315	0,049897	0,631784
Ca (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	<b>0,775027</b>	0,290575	0,441148
Mg (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0,699816	0,156661	0,539546
Al (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	-0,119873	-0,156868	<b>-0,880566</b>
H+Al (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	-0,425430	-0,063573	<b>-0,856179</b>
K (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,147449	0,513917	0,485719
P (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,109688	<b>0,866567</b>	0,085829
MO (g.dm <sup>-3</sup> )	0,526927	-0,026269	0,237334
Zn (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,376047	<b>0,718853</b>	0,192908
Argila(g.kg <sup>-1</sup> )	<b>-0,875480</b>	-0,122755	-0,316735
Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	<b>-0,876374</b>	-0,109469	-0,236307
Areia (g.kg <sup>-1</sup> )	<b>0,884168</b>	0,121556	0,305325
CTC (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	<b>0,777545</b>	0,362938	0,075736
V (%)	0,602428	0,171359	<b>0,761943</b>

pH – potencial hidrogeniônico; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; H+Al – acidez potencial; K – potássio; P – fósforo; MO – matéria orgânica; Zn – zinco; CTC - capacidade de troca catiônica a pH 7; V% – saturação por bases; CP1 – componente principal 1; CP2 - componente principal 2; CP3 –componente principal 3. Consideraram-se significativos os valores superiores a 0,7 (ZWICK; VELICER, 1986).

Os mapas temáticos para o teor de argila, silte, areia e acidez potencial, conforme descritos por Alcântara (2010) estão apresentados na Figura 3

e podem ser comparados com os mapas temáticos das PC1 e CP3 apresentados na Figura 4.

**Figura 3.** Mapas temáticos para o teor de argila, silte, areia e acidez potencial (adaptado de Alcântara, 2010).



**Figura 4.** Mapas temáticos para a componente principal 1 (a) e componente principal 3 (b)

Na Figura 4(a) a área mais clara do mapa reflete um maior teor de argila e silte e menor capacidade de troca de catiônica, uma vez que estes atributos apresentaram uma correlação negativa com a componente principal 1, ou seja, quanto menor o valor da CP maior o teor destes elementos. Na Figura 4(b) a área mais clara reflete uma maior acidez, uma vez que os teores de Al e H+Al são maiores neste local, pois estes atributos se correlacionam negativamente com a CP3. Estes resultados são semelhantes aos apresentados na Figura 3.

## CONCLUSÕES

As técnicas de análise multivariada em conjunto com a geoestatística facilitaram a avaliação

da variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo, pois diminuiu o número de mapas a serem analisados, e no caso deste trabalho expressaram 78,11% da variabilidade total existente no conjunto de variáveis originais.

Os componentes principais 1 e 3 apresentaram dependência espacial correlacionaram-se respectivamente, com a textura e fertilidade do solo e com a acidez do solo.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor, por meio do Programa de cooperação acadêmica - Procad.

**ABSTRACT:** This study aims to use multivariate analysis in conjunction with geostatistics to spatial variability of physical and chemical attributes of soil in areas of no-till soybean in rotation with corn. In a plot of 22 hectares, which was set for a sampling grid of 40 x 40 m, a total of 120 points were collected at each point soil samples for physical and

chemical analysis. Data were analyzed using principal components as a way to identify new variables, generating new values for each sample point. Were extracted three components that accounted for 78.11% of total data variability. Then, geostatistical analysis was used to verify the existence of spatial dependence of data generated for the selected principal components, which was made from the set of functions to theoretical models of experimental semivariograms. The CP2 showed no spatial dependence. The principal components 1 and 3 spatially dependent and correlated respectively, with the texture and soil fertility and soil acidity. The multivariate analysis in conjunction with geostatistical decreased the number of maps to facilitate analysis of spatial variability of attributes.

**KEYWORDS:** Multivariate analysis. Geostatistics. Semivariogram.

---

## REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, R. G. **Variabilidade espacial de características físico-químicas e a condutividade elétrica aparente do solo sob plantio direto**. Anápolis, Universidade Estadual de Goiás, 2010. 89 p. (Dissertação de Mestrado)
- CARVALHO J. R. P.; VIEIRA S. R.; MORAN R. C. C. P. Análise de correspondência – uma ferramenta útil na interpretação de mapas de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 435-443, 2002.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, Apr. 2005, p. 169-177.
- HAMLETT, J. M., HORTON, R.; CRESSIE, A.C. Resistant and exploratory techniques for use in semivariogram analyses. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 868-875, 1986.
- MELLO, C. R. de; VIOLA, M. R.; MELLO, J. M. de; SILVA, A. M. da. Continuidade espacial de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 532-539, 2008.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 295p.
- SANTOS, E. H. M. dos; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite-GO. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, vol. 31, n. 1, p. 78-89, 2011.
- 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 Agrotecnologia**. Lavras, v. 32, p. 231-241, 2008.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C. TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 34, p. 15-22, 2010.
- SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJO, S. 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, vol. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1763-1771, 2004.



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, 2000, p.1-54.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: Alvarez, V. V. H.; Schaefer, C. E. G. R.; Barros, F.; Mello, J. W. V.; Costa, J. M. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 2, p. 1-45, 2002.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Application of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 385 p.

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

ZWICK, W. R.; VELICER, W. F. Factors influencing four rules for determining the number of components to retain. **Psychological Bulletin**, Washington, v. 99, p. 432-442, 1986.