



Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos¹



Paulo C. M. da Silva² & Lúcia H. G. Chaves³

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada à UFPB

² UFPB/CCT/DEAg, Av. Aprígio Veloso, 882, CEP 58109-970, Campina Grande, PB. E-mail: paulomoura@deag.ufpb.br (Foto)

³ DEAg/CCT/UFPB. Fone: (83) 310-1186. E-mail lucia@deag.ufpb.br

Protocolo 047 - 11/4/2001

Resumo: Este experimento foi conduzido no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, em uma área de 200 ha, correspondente à Extensão Maria Tereza, Petrolina, PE, com o objetivo de se avaliar os teores de fósforo, potássio e matéria orgânica do solo da referida área e as suas variabilidades espaciais. Foram amostrados 71 pontos com espaçamento irregular, em duas profundidades, de 0 - 0,3 e de 0,3 - 0,6 m. As propriedades químicas avaliadas foram matéria orgânica, fósforo e potássio e os dados analisados através da estatística descritiva e da geoestatística. Pela análise descritiva constatou-se que os dados de pH foram os que menos variaram (CV = 10,81 e 9,84% nas profundidades de 0 - 0,3 e de 0,3 - 0,6 m, respectivamente) e os correspondentes ao fósforo apresentaram as maiores variações (CV = 108,1 e 175,96%, nas duas profundidades, respectivamente). A análise da distribuição das freqüências mostrou que o potássio tem uma distribuição aproximadamente normal nas duas profundidades e as demais propriedades químicas não aparentam ter distribuição normal. Constatou-se que o solo da Extensão Maria Tereza apresenta baixa fertilidade, necessitando ser adubado quando utilizado para fins agrícolas. As análises geoestatísticas realizadas revelaram que o melhor modelo para o potássio e matéria orgânica, foi o esférico e, para o fósforo, o exponencial. Nas duas profundidades, todas as variáveis estudadas apresentaram forte dependência espacial.

Palavras-chave: fertilidade, variabilidade espacial, geoestatística

Evaluation and spatial variability of phosphorus, potassium and organic matter in a Podzol

Abstract: The experiment was conducted in the Irrigated Perimeter Senator Nilo Coelho, in an area of 200 ha corresponding to the Extensão Maria Tereza, Petrolina, PE. It had as its objective the evaluation of the phosphorus, potassium and organic matter values of the soil of the referred area and their spatial variabilities. 71 points were sampled with irregular spacing, in two depths, of 0 - 0.3 and of 0.3 - 0.6 m. The chemical properties analyzed were the organic matter, phosphorus and potassium. The data were analyzed through the descriptive statistics and geostatistics. For the descriptive analysis it was verified that the pH data showed the smallest variation (CV = 10.81 and 9.84% for the depths of 0 - 0.3 and of 0.3 - 0.6 m, respectively) and the data corresponding to phosphorus presented the largest variations (CV = 108.1 and 175.96%, in the two depths, respectively). The analysis of the frequency distribution showed that potassium has a normal distribution in the two depths and the other chemical properties did not present normal distribution. The soil of the Extensão Maria Tereza presents low fertility and should be fertilized when used for agricultural purposes. The geostatistical analyses revealed that the best model for potassium and organic matter is the spherical and for the phosphorus is the exponential. In the two depths all the studied parameters presented a strong spatial dependence.

Key words: fertility, spatial variability, geostatistics

INTRODUÇÃO

A produtividade agrícola de uma área é influenciada, dentre outros fatores, pelas propriedades químicas dos seus solos, ou seja, pela fertilidade dos mesmos.

Os solos podem ser naturalmente férteis ou se tornarem férteis através de um manejo adequado. Para tal, é necessário se conhecer e quantificar a variação das suas propriedades químicas, tanto horizontal como verticalmente, uma vez que os mesmos, por serem sistemas dinâmicos e abertos, estão em constante modificação, constituindo assim corpos heterogêneos. Essas variações espaciais podem ser avaliadas através de técnicas estatísticas descritivas, que não levam em consideração a estrutura espacial existente nos solos amostrados e através de técnicas geoestatísticas, que verificam a relação entre as várias amostras de uma mesma área, usando-se o estudo de variáveis regionalizadas e sazoadas.

Pesquisas de campo têm mostrado a importância do estudo das variações das condições do solo como aspecto fundamental para se implementar uma agricultura mais eficiente e rentável. E, segundo Coelho (1983) com exceção do pH dos solos, as propriedades químicas apresentam maior variação que as propriedades físicas dos solos.

Vários autores (Vieira et al., 1981; Vieira et al., 1983; Trangmar et al., 1985, Souza et al., 1998; Salviano et al., 1998; Oliveira et al., 1999 e Berg & Oliveira, 2000) têm mostrado, através das técnicas geoestatísticas, que a variabilidade do solo não é puramente aleatória, apresentando correlação ou dependência espacial.

O Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, localizado no município de Petrolina, PE, teve sua extensão ampliada recentemente, através da incorporação de uma nova área, nunca antes explorada, que recebeu o nome de “Extensão Maria Tereza”, a qual será utilizada para a produção agrícola.

Considerando-se o que foi exposto e se sabendo que a incorporação de novas áreas ao sistema produtivo exige conhecimento prévio das características químicas dos solos que serão trabalhados, que não existe nenhum estudo sobre a área “Extensão Maria Tereza” e, ainda, que o conhecimento da variabilidade dos atributos de seu solo irá auxiliar na escolha do manejo mais adequado a ser utilizado na área, em relação à aplicação de fertilizantes, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os teores de fósforo, potássio e matéria orgânica do solo da referida área e as suas variabilidades espaciais.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho - Extensão Maria Tereza, localizado no município de Petrolina, PE, sob administração da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF, 1999). A Extensão Maria Tereza, situada nas coordenadas 09° 09' S e 40° 22' W, é composta por 574 lotes com diferentes áreas, totalizando 4712 ha; no entanto, a unidade experimental correspondeu a 200 ha localizados no núcleo de colonização 19, formado por 10 lotes e uma área de sequeiro, em uma região de relevo plano e área de Alissolos (EMBRAPA, 1999). Na área de sequeiro e em cada lote foram coletadas 11 e 6 amostras de solo, respectivamente. Os pontos de coleta destas amostras foram georeferenciados considerando os mapas cartográficos e as plantas baixas das áreas

amostradas. Após serem coletadas nas profundidades de 0 - 0,3 e 0,3 - 0,6 m, as amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento da Engenharia Agrícola, que faz parte do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba onde, depois de secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura, foram analisadas quimicamente. Foram determinados teores de potássio (K), matéria orgânica (MO) e fósforo (P) segundo metodologia recomendada pela EMBRAPA (1997).

Inicialmente, o comportamento das variáveis do solo foi avaliado por meio de medidas descritivas: média, valores máximo e mínimo, coeficiente de curtose e coeficiente de variação (CV). De acordo com os valores de CV, a variabilidade dessas variáveis foi classificada, segundo Warrick & Nielsen (1980) em baixa ($CV < 12\%$), média ($12 < CV < 62\%$) e alta ($CV > 62\%$). Avaliou-se, também, a distribuição de frequência dos dados, verificando-se se seguiam a distribuição normal ou lognormal. Para verificar a aderência ou não dos dados a distribuição normal, aplicou-se o teste de Komolgorov-Smirnov (KS) a nível de 1% de probabilidade, o qual consiste, segundo Costa Neto (1997) no cálculo das diferenças entre as probabilidades da variável normal reduzida e as probabilidades acumuladas dos dados experimentais. Se o valor calculado em módulo for menor que o tabelado, a distribuição experimental é aceita como aderente à distribuição normal. Para um número de amostras (n) maior que 50, calcula-se KS pela equação:

$$KS = \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{p}{2}\right)}{2n}} \quad (1)$$

donde:

- KS - diferença máxima admitida entre a curva experimental e a teórica
- p - nível de significância escolhido
- n - número de dados amostrados

A análise da dependência espacial foi feita por meio da geoestatística, utilizando-se o semivariograma, com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca, o qual pode ser estimado por:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N_i(h)} \sum_{j=1}^{N_i(h)} [z(s_j) - z(s_j + h)]^2 \quad (2)$$

em que: $N(h)$ é o número de pares de pontos $z(s_j)$ e $z(s_j + h)$ separados por uma distância h , informando quão diferentes se tornam os valores em função de h (Couto et al., 2000). O semivariograma foi representado pelo gráfico de $\gamma^*(h)$ versus h . Os semivariogramas foram confeccionados em uma única direção, ou seja, direção norte. Sendo assim os semivariogramas em estudo são do tipo unidirecional (Guerra, 1988). Após o ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\gamma^*(h)$ foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma, ou seja, o efeito pepita, C_o , o patamar, C , e o alcance de dependência espacial, “a” (Couto et al., 2000). Para se analisar o grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de

Tabela 1. Medidas descritivas dos dados de potássio (K), matéria orgânica (MO) e fósforo (P) do solo, nas duas profundidades

Variável	Média	Valor		Coeficiente		Teste KS
		Menor	Maior	Variação (%)	Curtose	
Profundidade 0 - 0,3 m						
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,23	0,07	0,53	37,03	1,42	0,071**
MO (g kg ⁻¹)	4,20	0,18	15,53	89,10	0,12	0,208
P (mg dm ⁻³)	1,37	0	5,16	108,10	0,01	0,198
Profundidade 0,3 - 0,6 m						
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,18	0,03	0,60	46,51	8,02	0,149**
MO (g kg ⁻¹)	2,67	0	9,69	89,67	-0,28	0,210
P (mg dm ⁻³)	0,35	0	2,67	175,96	4,66	0,288

**Significativo a nível de 1% de probabilidade

Cambardella et al. (1994) em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm efeito pepita $\leq 25\%$ do patamar, de dependência espacial moderada quando o efeito pepita está entre 25 e 75% e de dependência espacial fraca, quando o efeito pepita é $>75\%$.

Os mapas de isolinhas foram elaborados de acordo com Souza et al. (2000) utilizando-se as informações provenientes dos semivariogramas durante o processo de krigagem na interpolação dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas descritivas calculadas para as variáveis amostradas nas duas profundidades, são apresentadas na Tabela 1.

Apesar dos teores de potássio variarem de baixo a alto, os valores das médias são classificados como médios, segundo EMATER (1979) sendo maior na camada superficial do solo, concordando com Jorge (1969). Na profundidade de 0 - 0,3 m, os teores de matéria orgânica variam de baixo a médio e, na profundidade, de 0,3 - 0,6 m, são todos classificados como baixos. Nos solos minerais isto normalmente ocorre, ou seja há, em geral, acúmulo de matéria orgânica na camada superficial. Nas duas profundidades, segundo EMATER (1979) os teores encontrados para o fósforo são classificados como baixos, ocorrendo maior concentração do elemento na camada superficial do solo (Figuras 1 A e B).

Observando-se os menores e maiores valores encontrados para as três variáveis, constata-se grande amplitude de variação, mas como a amplitude total considera apenas os valores

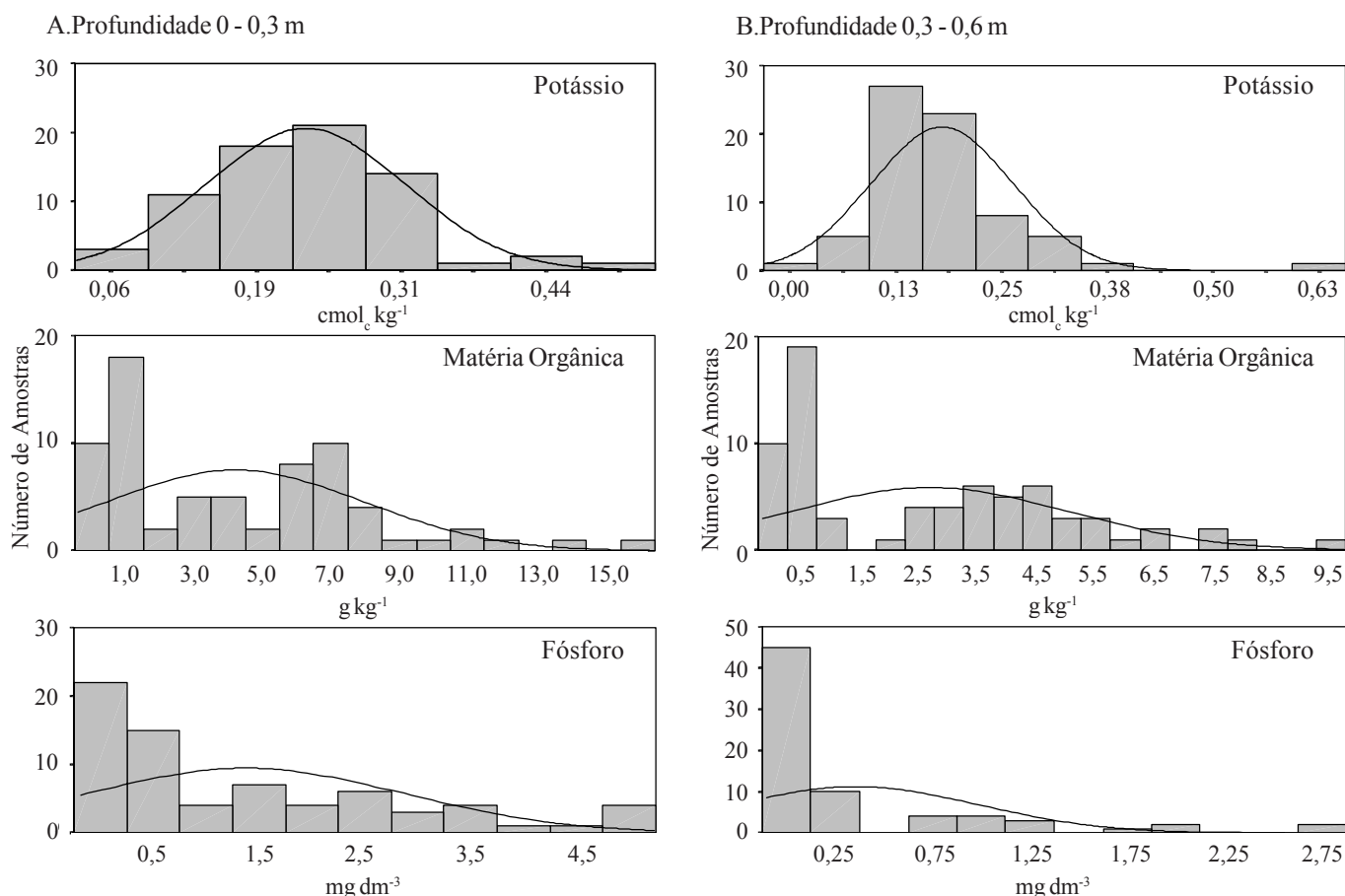


Figura 1. Histograma de frequência e linhas de distribuição normal para os teores de potássio, matéria orgânica e fósforo na profundidade de (A) 0 - 0,30 e (B) 0,30 - 0,60 m

extremos de um conjunto de dados, um valor discrepante pode mascarar a realidade, como mostram os histogramas de frequência (Figuras 1 A e B) que apresentaram assimetria à esquerda. Observa-se, por exemplo, no caso do potássio que, apesar da amplitude dos dados desse elemento, a maior parte das amostras de solo apresentou teores médios.

Com base nos limites do CV propostos por Warrick & Nielsen (1980) para a classificação de propriedades do solo observa-se na Tabela 1, que o fósforo e a matéria orgânica apresentam alta variação, enquanto o potássio apresenta variação média. O fósforo é o que apresenta os maiores valores de CV, concordando com Souza et al. (1997), Souza et al. (1998) e Salviano et al. (1998).

Apesar de não ter sido encontrado um valor igual a 3 para os coeficientes de curtose, o que caracteriza distribuição normal dos dados (Spiegel, 1985) segundo o teste KS a 1% de probabilidade, os dados referentes ao potássio, nas duas profundidades, se distribuem de forma normal (Tabela 1). Com base nisto, a média aritmética pode ser usada para inferir sobre a variabilidade das amostras e a dependência espacial entre as

mesmas pode e deve ser modelada por meio da geoestatística (Webster, 1985).

Na Figura 2 têm-se os semivariogramas experimentais construídos para o potássio, a matéria orgânica e o fósforo, nas profundidades de 0 - 0,3 e 0,3 - 0,6 m, respectivamente. De acordo com esses semivariogramas, foram estimados os parâmetros efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$), alcance e relação efeito pepita/patamar (expressa em porcentagem) para as variáveis estudadas nas duas profundidades (Tabela 2).

Observa-se que os semivariogramas construídos para o fósforo (Figuras 2 A e B) se ajustam melhor ao modelo exponencial, enquanto aqueles construídos para o potássio e a matéria orgânica se ajustam ao modelo esférico, concordando com vários trabalhos, que mostram que este modelo tem uma melhor adaptação ao semivariograma das propriedades químicas do solo, quando estudadas do ponto de vista espacial (Trangmar et al., 1985; Souza, 1992; Cambardella et al., 1994; Salviano et al., 1998; Oliveira et al., 1999) (Tabela 2). Com um ajuste menos restritivo, os dados de potássio poderiam ter sido adequados a um modelo do tipo "efeito pepita puro", o qual

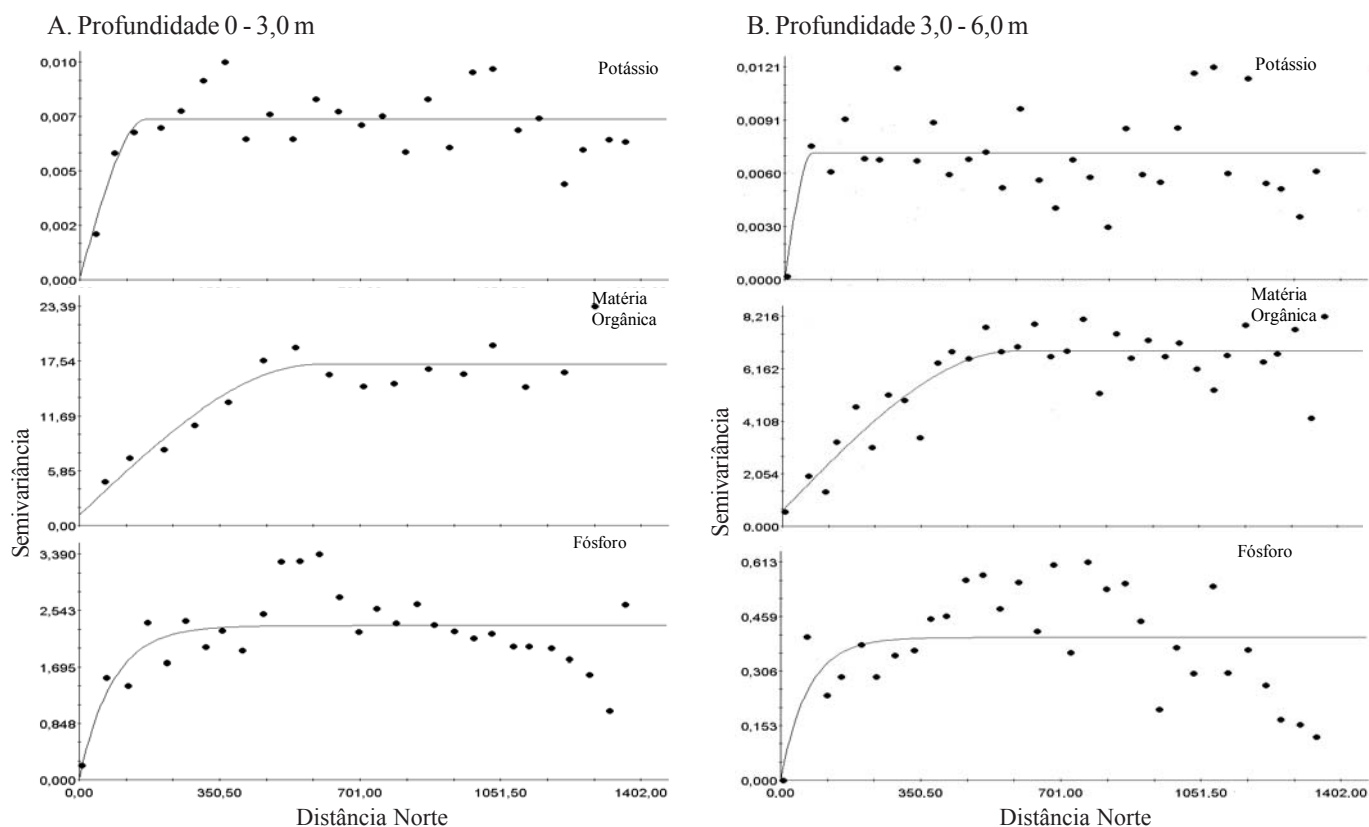


Figura 2. Semivariogramas experimentais das variáveis potássio, matéria orgânica e fósforo na profundidade de (A) 0 - 0,30 e (B) 0,30 - 0,60 m

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$), alcance e relação efeito pepita/patamar (expressa em porcentagem) dos modelos ajustados aos semivariogramas para as variáveis estudadas nas duas profundidades

Variável	C_0	$C_0 + C_1$	Alcance	$[C_0 / (C_0 + C_1)] \times 100$	Modelo
Profundidade 0 - 0,3 m					
K ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,0011	0,0074	168,00	14,80	Esférico
MO (g kg^{-1})	1,2100	17,060	592,00	7,09	Esférico
P (mg dm^{-3})	0,2550	2,31	107,00	11,03	Exponencial
Profundidade 0,3 - 0,6 m					
K ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0,0000	0,0071	70,00	0	Esférico
MO (g kg^{-1})	0,4800	6,7840	575,00	7,07	Esférico
P (mg dm^{-3})	0,0270	0,400	98,00	6,75	Exponencial

garante a total aleatoriedade dos dados obtidos, ou seja, a média correspondente a esses dados poderia ser usada para descrever o seu comportamento.

O efeito pepita reflete a variabilidade não explicada ou variação não detectada em função da distância da amostragem utilizada, como variações locais, erros de análise, erros de amostragem e outros (Guerra, 1988). Como é impossível quantificar a contribuição individual desses erros (Arzeno, 1990) o efeito pepita pode ser expresso como porcentagem do patamar facilitando, assim, a comparação do grau de dependência espacial das variáveis em estudo (Trangmar et al., 1985).

Os semivariogramas para o potássio, matéria orgânica e fósforo, de acordo com a classificação proposta por Cambardella et al. (1994) e devido às características intrínsecas do solo, revelaram forte dependência espacial, uma vez que os valores do efeito pepita foram menores que 25% do patamar (Tabela 2). Oliveira et al. (1999) e Salviano et al. (1998) também encontraram, em seus trabalhos, forte dependência espacial para o potássio e a matéria orgânica, respectivamente.

O alcance da dependência espacial é um parâmetro importante no estudo do semivariograma, uma vez que indica a zona de influência de uma amostra, ou seja, define a distância máxima até onde o valor de uma variável possui relação de dependência espacial com o seu próximo (Guerra, 1988). Na Tabela 2 pode-se observar que os valores do alcance obtidos variam de 107,00 a 592,00 m, na profundidade de 0 - 0,3 m e de 70,00 a 575,00 m na profundidade de 0,3 - 0,6 m, os quais correspondem aos raios das áreas consideradas homogêneas para cada variável estudada. Desta forma, todos os vizinhos situados dentro de um círculo com esses raios podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (Vieira & Lombardi Neto, 1995).

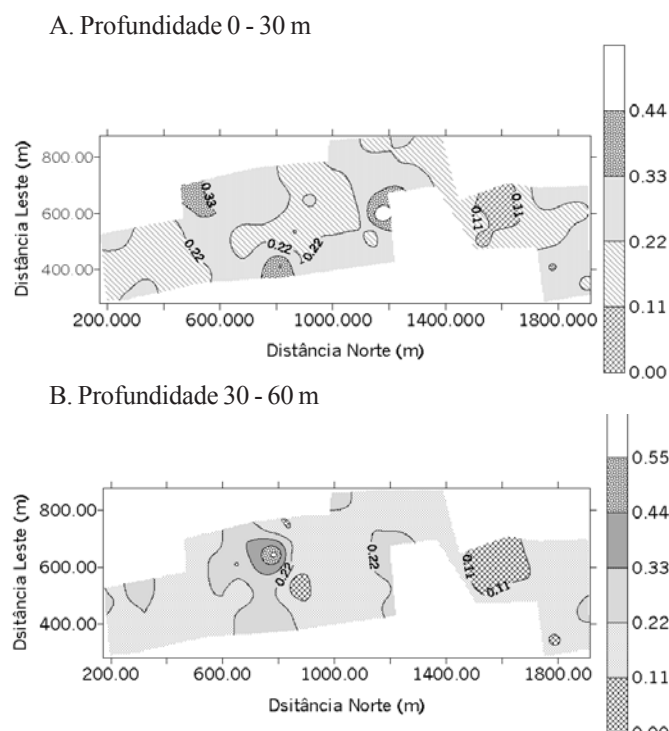


Figura 3. Mapas de isolinhas para os teores de potássio ($\text{c mol}_c \text{ dm}^{-3}$) de (A) 0 - 0,3 e (B) 0,3 - 0,6 m

A forma de se visualizar essas áreas, que possuem variabilidade espacial comprovada, é mediante os mapas de isolinhas obtidos através da interpolação dos dados, pelo método da krigagem. As linhas fechadas e próximas caracterizam área com maior variabilidade, enquanto a presença de linhas espaçadas é condição de uma variabilidade menor (Figuras 3, 4 e 5). Segundo Oliveira et al. (1999) o conhecimento dos valores do alcance e as localizações das áreas onde estão concentrados os maiores e/ou menores valores de determinada variável química, são importantes para o planejamento do manejo da fertilidade do solo, tanto na agricultura convencional como na agricultura de precisão. Por exemplo, apesar dos teores de matéria orgânica serem considerados baixos praticamente

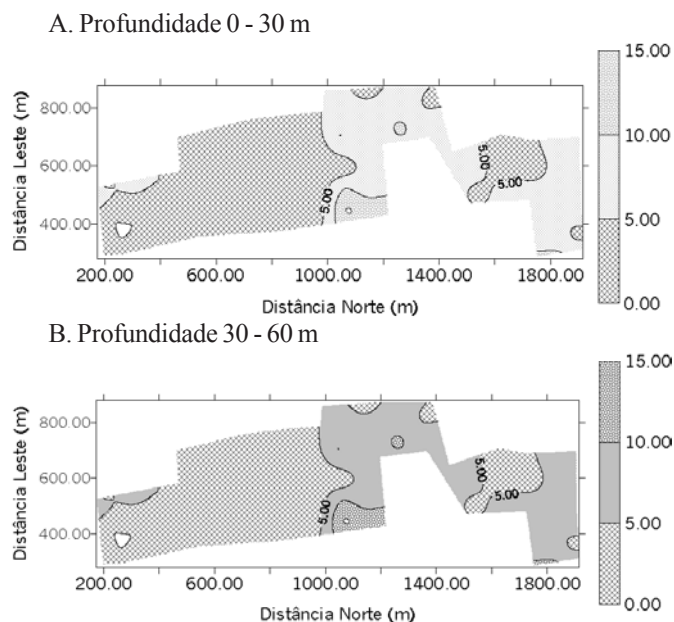


Figura 4. Mapas de isolinhas para os teores de matéria orgânica (g kg^{-1}) (A) 0 - 0,3 e (B) 0,3 - 0,6 m

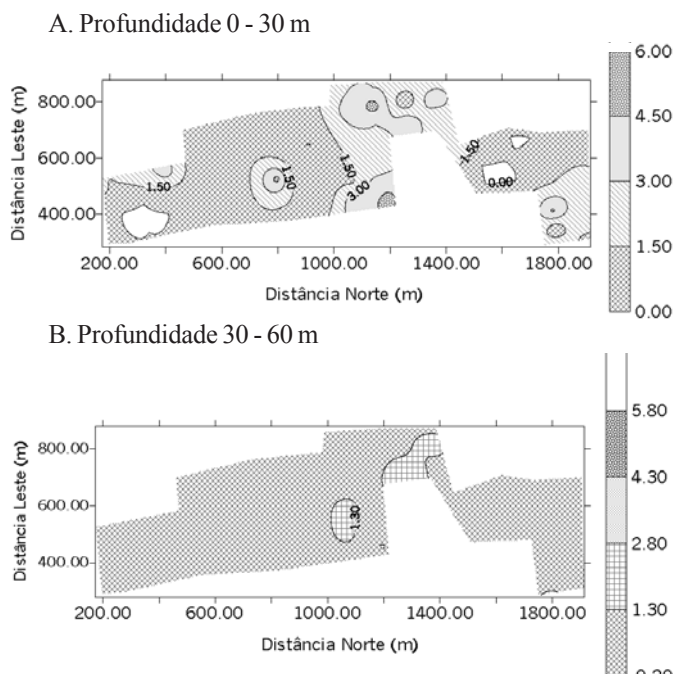


Figura 5. Mapas de isolinhas para os teores de fósforo (mg dm^{-3}) (A) 0 - 0,3 e (B) 0,3 - 0,6 m

em toda a área estudada, pode-se observar, na Figura 4, as subáreas mais críticas em relação a esses baixos teores. Da mesma forma, em uma adubação convencional a área Extensão Maria Tereza deveria receber a mesma quantidade de adubo fosfatado, uma vez que, em toda ela, o teor do elemento foi considerado baixo; no entanto, observa-se, na Figura 5, que o comportamento da distribuição do fósforo na área estudada é variável, sinalizando para que nela a distribuição do adubo seja diferenciada. Também se pode comprovar a diminuição do teor de fósforo com a profundidade.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que:

1. O solo da Extensão Maria Tereza apresenta baixa fertilidade, necessitando ser adubado quando utilizado para fins agrícolas.
2. As maiores variabilidades, medidas por meio do coeficiente de variação, foram observadas para o fósforo e matéria orgânica, enquanto o potássio apresentou média variabilidade.
3. Nas duas profundidades, o potássio apresentou distribuição normal. Para as demais variáveis químicas, não se constatou distribuição normal.
4. A análise de dependência espacial mostrou que, nas duas profundidades, as variáveis químicas estudadas apresentaram forte correlação espacial.
5. O modelo ajustado aos dados de fósforo foi do tipo exponencial, enquanto aos dados de potássio e matéria orgânica, foi do tipo esférico.

AGRADECIMENTOS

À Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco - CODEVASF, 3ª Superintendência Regional, pelas informações concedidas a respeito da área em estudo.

LITERATURA CITADA

- Arzeno, J.L. Avaliação física de diferentes manejos de solo em um Latossolo Roxo-Distrófico. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros"/USP, 1990. 259p. Tese Doutorado
- Berg, M. van den; Oliveira, J.B. Variability of apparently homogeneous soilscapes in São Paulo state, Brazil: I. Spatial analysis. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24, n.2, p 377-391, 2000.
- Cambardella, C.A.; Moorman, T.B; Novack, J.M; Parkin, T.B; Karlen, D.L; Turco R.F.; Knopka, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, Medison, v.58, p.1240-1248, 1994.
- Coelho, M.G. Variabilidade espacial de características físicas e químicas em um solo salino-sódico. *Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v. 14, p.149-156, 1983.
- CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco. Assistência técnica e extensão rural - ATER. Relatório anual 1999. Petrolina, 1999. 84p.
- Costa Neto, P.L.O. Estatística. 15 ed. São Paulo: Edgard Blucher. 1997. 468p.
- Couto, E.G.; Klamt, E.; Stein A. Estimativa do teor de argila e do potássio trocável em solos esparsamente amostrados no sul do estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, p. 129-139, 2000.
- EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. Sugestões de adubação para o estado da Paraíba; 1ª. aproximação. João Pessoa: EMATER-PB, 1979. 105p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- Guerra, P.A.G. Geoestatística operacional. Ministério das Minas e Energia/ Departamento de Produção Mineral, Brasília, 1988. 145p.
- Jorge, J.A. Solo: manejo e adubação. São Paulo: Editora Polígono, 1969, 146p.
- Oliveira, J.J.; Chaves, L.H.G.; Queiroz, J.E.; Luna, J.G. de. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, n.4, p.783-789, 1999.
- Salviano, A.A.C.; Vieira, S.R.; Sparovek, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.1, p 115-122, 1998.
- Souza, L. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 162p. Tese Doutorado
- Souza, L.C.; Queiroz, J.E.; Gheyi, H.R. Variabilidade espacial da salinidade em um solo aluvial no semi-árido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n.1, p. 35-40, 2000.
- Souza, L.S.; Cogo, N.P.; Viera, S.R.; Variabilidade das propriedades físicas e químicas do solo em pomar de citros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 21, n.3, p.367-372, 1997.
- Souza, L.S.; Cogo, N.P.; Viera, S.R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo, em relação a sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.3, p 77-86, 1998.
- Spiegel, M.R. Estatística. 2 ed. São Paulo: McGraw Hill, 1985, 454p
- Trangmar, B.B.; Yost, R.S.; Uehara, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, Kent, v. 38, p.45-94, 1985.
- Vieira, S.R.; Hatfield, J.L.; Nielsen, D.R.; Biggar, J.W. Geostatistics theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Califórnia, v.31 n.3, 1983, 75p.
- Vieira, S.R.; Lombardi Neto, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v. 54, p. 405-412, 1995.
- Vieira, S.R.; Nielsen, D.R; Biggar, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.45, p.1040-1048, 1981.
- Warrick, A.W.; Nielsen, D.R. Spatial variability of physical properties of the soil. In: Hillel, D. ed. Applications of soil physics, New York: Academic Press, 1980, Cap. 13, p.319-344.
- Webster, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. In: Stewart, B.A., *Advance in Soil Science*, New York, v.3, p.1-70, 1985.