

Variabilidade espacial de características químicas de um Cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do Rio Grande do Norte

Alessandra Monteiro Salviano Mendes¹, Gustavo Pereira Duda², José Alexandro Guimarães Lima³, Laerte Bezerra do Amorim⁴

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos de um Cambissolo Háplico léptico (CX), sob cultivo de mamão, por meio da geoestatística. A área amostrada apresentou 43 pontos amostrais, onde foram coletadas amostras de solo, na camada de 0 - 0,2 m, e amostras do tecido foliar. Nas amostras de solo determinou-se pH, CE, Ca, Mg, Na, K, P, C. A partir dessas análises calculou-se a CTC, S, V e PST. Os dados foram avaliados por estatística descritiva e por meio de técnicas geoestatísticas. O coeficiente de variação indicou variabilidade baixa para pH e V (%), e alta para P e CE, enquanto as demais variáveis apresentaram variação alta. A maioria das variáveis apresentaram dependência espacial, sendo o esférico o modelo ajustado a todos os semivariogramas. O efeito pepita teve pequena contribuição na variância total dos dados, indicando forte dependência espacial para todas as variáveis estudadas. Houve pequena variação na distância até onde as características químicas do solo apresentaram dependência espacial.

Palavras chave: geoestatística, fertilidade do solo, semivariogramas

Spatial variability of chemical characteristics of an Inceptsol under papaya culture in the semi-arid region of Rio Grande do Norte State

ABSTRACT

This work had as objective to evaluate the spatial variability of chemical attributes of an Inceptsol, under papaya culture, by geostatistics. The studies area presented 43 points, where were collected soil samples, from 0 – 0.2 m depth layer and leaf samples. In the soil samples were determined pH, EC, Ca, Mg, Na, K, P, C. After these analyses it was calculated CEC, S, V and ESP. The data were evaluated by descriptive statistics and geostatistics techniques. The variation coefficient indicated low variability for pH and V, and high for P and EC, while the others presented high variation. The most variable presented spatial dependence, being the spherical model adjusted to all the semivariograms. The nugget effect had low contribution on total data variance, indicating strong spatial dependence for all variables studied. There was low variation in the distance until where the chemical characteristics of the soil present spatial dependence.

Keys words: geostatistic, soil fertility, semivariograms

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o primeiro produtor mundial de mamão, com a maior produtividade média do mundo, 48,57 t/ha, que é 174,87% superior a média mundial, de 17,67 t/ha (Souza, 2002). É cultivado em quase todo território, merecendo destaque o estado da Bahia com 56,68% da produção nacional, seguido do Espírito Santo com 30,51% (Souza, 2002). O Estado do Rio Grande do Norte, em 2006, aumentou, em comparação ao ano anterior, em 23% o volume exportado, gerando receita de aproximadamente US\$ 5 milhões (Legnaro, 2007).

A produtividade agrícola de uma área é influenciada por vários fatores, dentre eles, a fertilidade dos seus solos, que podem ser naturalmente férteis ou se tornarem férteis por meio de um manejo adequado. Para isso, é necessário se conhecer e quantificar a variação das suas propriedades químicas, pois o conhecimento do padrão de variabilidade de cada característica química do solo é importante para definir o melhor procedimento de amostragem do solo para fins de avaliação de sua fertilidade. Vários pesquisadores (Berg & Oliveira, 2000; Salviano, 2003; Miranda et al., 2004) têm mostrado, por meio das técnicas geoestatísticas, que a variabilidade do solo não é puramente aleatória, apresentando correlação ou dependência espacial.

Diante do exposto, este estudo objetivou avaliar a variabilidade de características químicas do solo, em uma área de produção de mamão, utilizando métodos sugeridos pela estatística descritiva e verificando, também, a dependência espacial das propriedades.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O Município de Baraúna está localizado na microrregião de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte, numa altitude de 94 m a uma longitude (S) de 5° 04 44 e latitude (W) 37° 37 00 e umidade relativa do ar em torno de 70%. O clima é semi-árido com temperatura média em torno de 27,4 °C. A precipitação média é de 820,9 mm anuais, distribuídos irregularmente entre os meses de março e abril. O relevo é plano, com existência de pequenas depressões, sendo sua declividade máxima de 3%. O solo

em estudo foi classificado como Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico (CX) SiBCS (Embrapa, 2006).

A área escolhida cultiva mamão do Grupo Formosa da variedade Taynung nº 1. Dentro da área escolhida foi selecionado um sítio de amostragem com dimensões de 100 x 100 m (1,00 ha) e selecionadas 43 unidades amostrais (Figura 1) onde se coletaram as amostras de solo, na camada de 0-20 cm. Cada amostra de solo foi composta por quatro sub-amostras, coletadas no sentido norte-sul-leste-oeste, na projeção da copa das plantas.

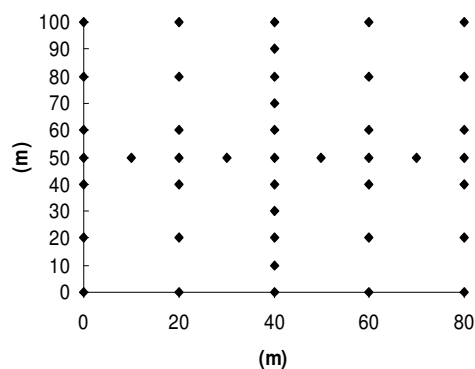


Figura 1. Esquema de amostragem para obtenção dos semivariogramas.

As amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) utilizada para caracterização química, conforme metodologia da Embrapa (1997). Determinou-se o pH em água na relação 1:2,5 de solo:solução; o carbono orgânico (C) pelo método de Walkley-Black; o potássio (K) e o sódio (Na) trocáveis por fotometria de chama, o fósforo (P) disponível, extraído por Mehlich-1, por colorimetria, o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) trocáveis por titrimetria. A acidez potencial (Al + H) foi determinada por titrimetria após extração com acetato de cálcio 0,5 mol/L a pH 7,0. Com base nessas análises calcularam-se a CTC total do solo, a soma de bases (S), a saturação por bases (V) e a percentagem de saturação por sódio (PST).

Os dados foram avaliados por meio da média, mediana, desvio padrão, valores máximos e mínimos, coeficientes de assimetria e curtose e do coeficiente de variação para obter informações sobre a dispersão e a distribuição das variáveis em estudo. A variabilidade das

variáveis foi classificada por meio dos valores de CV, segundo Warrick & Nielsen (1980), como baixa (CV < 12%), média (12 < CV < 62%) e alta (CV > 62%). A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ao nível de 1% de probabilidade. A análise da dependência espacial foi feita por meio da geoestatística que se baseia na suposição de que medições separadas por distâncias pequenas são mais semelhantes umas às outras, que aquelas separadas por distâncias maiores. A semivariância é, por definição, dada por:

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

sendo N(h) o número de pares de valores medidos Z(x_i), Z(x_i + h), separados por um vetor h. O gráfico de $\gamma(h)$ é denominado semivariograma. Do ajuste de um modelo matemático aos valores estimados de $\gamma(h)$ foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma: efeito pepita (C_o), patamar (C_o + C) e o alcance (a).

Cada variável foi classificada segundo o seu grau de dependência espacial, segundo os critérios de Cambardella et al. (1994). Quando a razão entre o efeito pepita e o patamar [C_o/(C_o + C)], expressa em porcentagem, é ≤ 25% do patamar, a dependência espacial dessa variável é considerada forte, entre 25 e 75% é moderada e se a razão for > 75% é considerada fraca.

Os mapas de isolinhas foram elaborados utilizando-se as informações provenientes dos semivariogramas durante o processo de krigagem na interpolação dos dados como definido em Fuks (1998) e Vieira (2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva para as variáveis (Tabela 1), indicaram ajuste à distribuição normal. Os valores da média e mediana, para todas as variáveis, estão próximos, mostrando distribuições simétricas, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria próximos de zero. Os resultados referentes ao teste K-S corroboram essa afirmativa para todas as variáveis, exceto teor de fósforo. Silva et al. (2003) e Silva & Chaves (2001) também não

verificaram a normalidade dos dados para teor de P no solo. Todavia, a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, mas é conveniente que a distribuição não apresente caudas muito longas, de forma a não comprometer as análises (Cressie, 1991), pois a estimação por krigagem apresenta melhores resultados quando a normalidade dos dados é satisfeita (Paz-Gonzalez et al., 2001).

Tabela 1. Resumo estatístico das características químicas de um Cambissolo Háptico léptico.

Variáveis	M ⁽¹⁾	Md ⁽²⁾	Mn ⁽³⁾	Mx ⁽⁴⁾	S ⁽⁵⁾	As ⁽⁶⁾	C ⁽⁷⁾	CV ⁽⁸⁾
pH água								
(1:2,5)	7,25	7,3	6,33	7,94	0,37	0,62	0,09	5,2
CE (dS/m)	0,17	0,16	0,08	0,473	0,07	1,57	2,84	50,9
Ca (cmol/dm ³)	8,29	8,00	6,50	11,00	1,16	0,43	-1,08	14,0
Mg (cmol/dm ³)	3,08	3,00	1,90	5,10	0,71	0,68	0,43	23,2
K (cmol/dm ³)	0,65	0,64	0,28	1,11	0,19	0,43	0,09	29,3
Na (cmol/dm ³)	0,44	0,31	0,09	1,15	0,28	1,06	0,14	64,7
P (mg/dm ³)	5,88	0,48	0,00	45,22	12,31	2,43	4,80	209,4
C (g/kg)	8,74	8,72	5,85	11,67	1,36	0,32	-0,26	15,5
PST (%)	3,24	2,68	0,86	7,46	1,80	0,94	-0,17	55,5
S (cmol/dm ³)	12,45	12,07	10,15	16,27	1,52	0,76	-0,03	12,2
CTC (cmol/dm ³)	12,96	12,45	10,23	17,41	1,65	0,61	-0,44	13,6
V (%)	96,33	97,66	86,51	100,0	3,94	1,05	0,30	3,8

(1) Média, (2) Mediana, (3) valor mínimo, (4) Valor máximo, (5) desvio padrão, (6) coeficiente de assimetria, (7) curtose, (8) coeficiente de variação e (9) teste de normalidade dos dados, ** variável não segue distribuição normal (p=0,01)

O coeficiente de variação (Tabela 1) das variáveis estudadas permitiu classificar o pH, a S e a CTC como de baixa variabilidade, os teores de C, Ca, Mg e K como de média variabilidade e o teor de P, Na e a CE como de alta variabilidade, de acordo com os critérios de Warrick & Nielsen (1980).

Observando-se os semivariogramas (Tabela 2) constata-se que se encontrou dependência espacial para a maioria das variáveis. Quando não foi possível identificar a estrutura da variância, como no caso do teor de Mg e da soma de bases, diz-se que os semivariogramas apresentaram efeito pepita puro (EPP). Assim, pode-se assumir que a distribuição é completamente ao acaso, há independência entre amostras e os métodos da estatística clássica podem ser aplicados, sendo a média aritmética um valor que representa bem o conjunto de dados. No entanto, não significa, necessariamente, que não exista estrutura de

variância. Provavelmente, nesses casos, a dependência espacial ocorre em uma distância menor do que a distância entre os pontos de amostragem (lag) utilizada (Vieira, 2000).

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais para as características químicas de um Cambissolo Háplico léptico

	Modelo	Co ⁽¹⁾	Co+C ⁽²⁾	Ao ⁽³⁾	[Co/(Co+C ⁽²⁾)]x100 ⁽⁴⁾	R ²
pH	esf	0,030	0,150	35,40	20,00	0,84
CE						
(1:5)	esf	0,002	0,008	25,70	25	0,66
CEes	esf	0,190	0,890	25,60	21,30	0,63
CTC	esf	0,720	3,210	23,50	22,00	0,44
MO	esf	1,280	5,790	24,20	22,00	0,50
Ca	esf	0,280	1,400	24,10	20,00	0,49
Mg	EPP ⁽⁵⁾	0,520				
Na	esf	0,012	0,087	33,90	13,80	0,69
P		26,00				
	esf	0	155,200	36,10	16,75	0,76
K	esf	0,009	0,037	24,00	24,00	0,78
S	EPP	2,360				
V	esf	7,880	15,900	95,60	49,56	0,99
PST	esf	0,630	3,520	34,50	17,90	0,80

(1) Efeito pepita, (2) patamar, (3) alcance, (4) contribuição do efeito pepita, em percentagem, para a variância total dos dados, (5) efeito pepita puro.

Todas as variáveis apresentaram ajuste ao modelo esférico (Tabela 2). Nos estudos sobre variabilidade espacial de características químicas do solo, é comum o ajuste dos modelos esférico e exponencial (Carvalho et al. 2002; Silva et al. 2003; Miranda et al., 2004).

Os semivariogramas obtidos, de acordo com Cambardella et al. (1994), revelaram forte dependência espacial (Tabela 2), com exceção da saturação por bases. Outros pesquisadores também encontraram, em seus trabalhos, forte dependência espacial para características químicas do solo (Silva & Chaves, 2001; Silva et al., 2003; Miranda et al., 2004).

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 seus vizinhos (Guerra, 1988). Os valores de alcance apresentaram pouca variação, em torno de 25 m, exceto para a variável saturação por bases que foi de 95,60 m (Tabela 2). Os mesmos correspondem aos raios das áreas consideradas homogêneas para cada variável estudada.

Assim, 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). Além disso, quando se for fazer uso da estatística clássica, sendo necessária a total independência entre as amostras, essa deve ser a distância mínima entre elas (Carvalho et al., 2002).

Foram confeccionados mapas de isolinhas ou contornos (Figuras 2, 3 e 4), produzidos por interpolação utilizando-se a técnica de krigagem ordinária. As linhas fechadas e próximas caracterizam a área com maior variabilidade, enquanto a presença de linhas espaçadas é condição de uma menor variabilidade.

O conhecimento dos valores de 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.

Há uma semelhança no padrão de distribuição espacial entre as variáveis Ce (1:5), Na e S com Cees, PST e CTC, respectivamente, o que se justifica já que estas variáveis foram calculadas ou estimadas em função das primeiras.

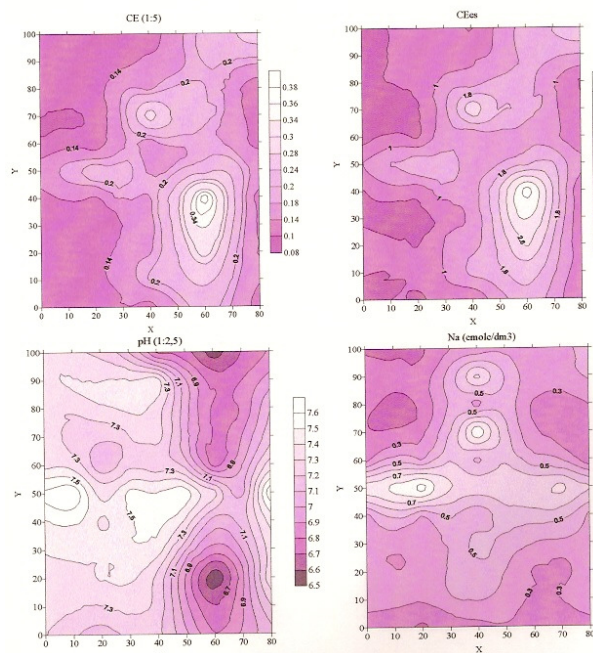


Figura 2. Mapas de isolinhas para os valores médios de CE (dS/m), pH e teor de Na (cmol/dm³) em um Cambissolo Háplico léptico .

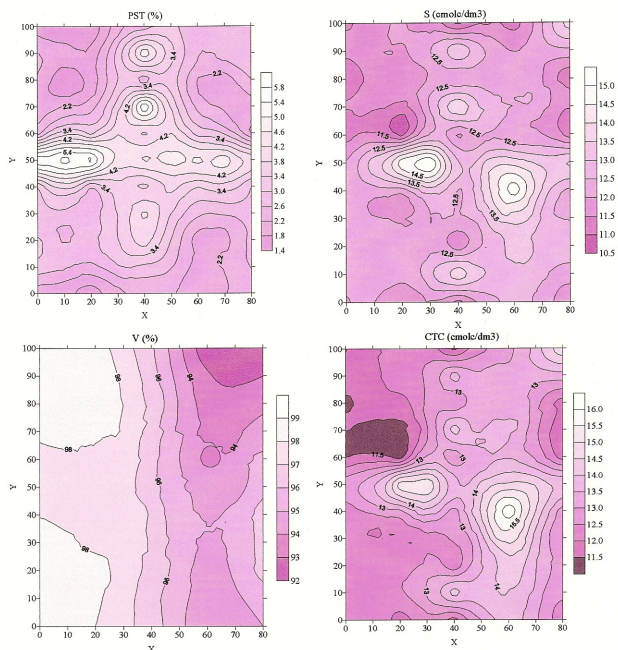


Figura 3. Mapas de isolinhas para os valores médios de PST (%), V (%), S (cmol_c/dm³) e CTC (cmol_c/dm³), em um Cambissolo Háplico léptico .

O padrão de variabilidade espacial (tendência) é semelhante também para as variáveis pH (Figura 2) e P (Figura 4), sendo, que nas áreas de menor pH se concentram os maiores teores de P. Vale salientar que o Mehlich-1 é um extrator ácido, podendo ter havido o desgaste deste durante o processo de extração.

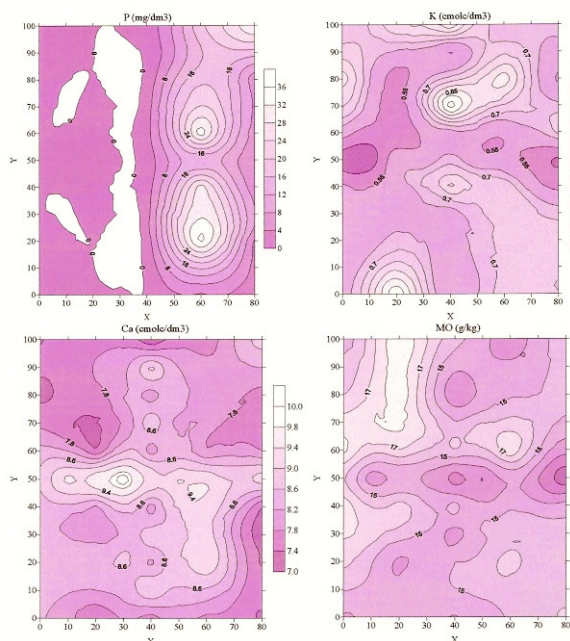


Figura 4. Mapas de isolinhas para os valores médios de P (mg/dm³), K (cmol_c/dm³), Ca (cmol_c/dm³) e MO (g/kg) em um Cambissolo Háplico léptico .

4 CONCLUSÕES

As maiores variabilidades, medidas por meio do CV, foram observadas para o teor de P e Na no solo e a CE; as menores foram para o pH e a saturação por bases. As demais variáveis estudadas apresentaram variabilidade média.

Com exceção do teor de P no solo, todas as variáveis apresentaram distribuição normal.

A análise da dependência espacial mostrou que as variáveis estudadas apresentaram forte correlação espacial.

Não foi possível o ajuste de semivariogramas para as variáveis Mg e S. Para as demais variáveis, o modelo ajustado aos dados foi do tipo esférico.

Com exceção da saturação por bases, os valores do alcance foram similares para as demais variáveis.

5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e ao Instituto Euvaldo Lodi – IEL pela concessão de bolsa de iniciação científica ao terceiro autor. À Empresa WG Fruticultura pela concessão da área para o experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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*, v.24, p.377-391, 2000.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.;KONOPKA, A.E. Spatial variability in Central Iowa soils. *Soil Science Society American Journal*, v.58, p.1501-1511, 1994.

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*, v.37, p.1151-1159, 2002.

- CRESSIE, N. *Statistics for spatial data*. 1 ed. New York: John Wiley & Sons, 1991. 900p.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2 ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. EMBRAPA-CNPS. 1997. 211p.
- EMBAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2 ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. EMBRAPA-CNPS. 2006. 412p.
- FUKS, S.D. Novos Modelos para mapas derivados de informações de solos. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. (eds.) *Sistemas de informações geográficas. Aplicações na agricultura*. 2 ed. Brasília: Embrapa-CPAC, 1998. 434p.
- GUERRA, P.A.G. *Geoestatística operacional*. Brasília: Ministério das Minas e Energia/ Departamento de Produção Mineral, 1988. 145p.
- LEGNARO, A. *Mamão*. Revista hortifruti Brasil, ano 5, n.54, jan./fev., p.24, 2007.
- MIRANDA, N.O.; OLIVEIRA, T.S.; LEVIEN, S.L.A.; MEDEIROS, J.F. Variabilidade espacial da produção do meloeiro irrigado por gotejamento na fazenda Santa Júlia em Mossoró-RN. *Caatinga*, v.17, p.121-128, 2004
- PAZ-GONZALEZ, A.; TABOADA CASTRO, M. T.; VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. *Canadian Journal of Soil Science*, v.81, p.469-479, 2001.
- SALVIANO, A.M. *Variabilidade espacial de características químicas, físicas e dos teores de micronutrientes e de metais pesados em áreas do "deserto salino" no estado do Rio Grande do Norte*. Viçosa. 2003. 189p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- SILVA, P.C.; CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, p.431-436, 2001.
- SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. *Revista Brasileira Ciência Solo*, v.27, p.1013-1020, 2003.
- SOUZA, J. da S. Mercado Mundial In: DANTAS, J.L.L. et al. (eds.). *Mamão pós-colheita*. Brasília: EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA/EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA, 2002. p.3-8. (Frutas do Brasil)
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (eds.) *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 2000. p.1-54
- VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. *Bragantia*, v. 54, p. 405-412, 1995.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of some physical properties of the soil. In: HILLEL, D. (ed.) *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.

¹ Pesquisadora da Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152, Zona Rural Rural, Cx. P. 23, 56300-970, Petrolina, PE. E-mail: amendes@cpatsa.embrapa.br

² Professor do Departamento de Ciências Ambientais. UFERSA, BR 110, Km 47, Presidente Costa e Silva, 59625-900, Mossoró-RN.

³ Engenheiro agrônomo. INCRA, bairro Amapá, S/N, 68500-000, Marabá – PA.

⁴ Aluno de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) UFRPE. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos CEP: 52171-900 – Recife-PE.