

## **VARIABILIDADE ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DE UM CAMBISSOLO CULTIVADO COM MAMÃO NO SEMI-ÁRIDO DO RN**

*José Alessandro Guimarães Lima*  
Engenheiro Agrônomo. E-mail: [josealexandro@yahoo.com.br](mailto:josealexandro@yahoo.com.br)

*Alessandra Monteiro Salviano Mendes*  
Pesquisadora Embrapa Semi-Árido, caixa postal 23, Petrolina-PE, CEP 56302-970. E-mail: [amendes@cpatsa.embrapa.br](mailto:amendes@cpatsa.embrapa.br)

*Gustavo Pereira Duda*  
Professor Adjunto, Departamento de Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró-RN, CEP 59625-900. E-mail: [gpduda@ufersa.edu.br](mailto:gpduda@ufersa.edu.br)

*Cristiano Vieira Ferreira*  
Engenheiro Agrônomo

**RESUMO** - Este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial de características físicas de um Cambissolo Háplico típico (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. Nas amostras de solo determinou-se a granulometria, densidade do solo e das partículas, conteúdo de água retida na tensão de 0,03 e 1,5 MPa. A partir dessas análises calculou-se a porosidade total do solo e a água disponível. Os dados foram avaliados por estatística descritiva e pela análise da dependência espacial com base no ajuste de semivariogramas. O coeficiente de variação indicou variabilidade baixa para os teores de areia grossa e total, conteúdo de água retida na tensão de 0,03 e 1,5 MPa, densidades do solo e das partículas e porosidade total; e média para os teores de argila, silte e água disponível. Com exceção dos conteúdos de água retidos na tensão de 0,03 e 1,5 MPa e da densidade de partículas, as demais variáveis apresentaram dependência espacial, sendo o esférico e o exponencial os modelos ajustados aos semivariogramas. O efeito pepita teve pequena contribuição na variância total dos dados, indicando forte dependência espacial para os teores de areia fina e argila, porosidade total e água disponível. As demais variáveis apresentaram dependência moderada. Houve grande variação na distância até onde as características físicas do solo apresentam dependência espacial.

**Palavras-chave:** coeficiente de variação, geoestatística, características físicas, carica papaya

## **SPATIAL VARIABILITY OF HIDRO-PHYSICAL CHARACTERISTICS IN CAMBIDS SOIL UNDER PAPAYA CULTURE IN THE SEMI-ARID REGION OF RN STATE**

**ABSTRACT** - This work had as objective to evaluate spatial variability of physical characteristics of a Typical Haplocambids (CX), under papaya culture, by means of the geostatistic. The analyzed area presented 43 sampling points, where soil samples were collected, in the layer of 0 - 0.2 m. In the soil samples granulometry, soil bulk density, particles density, water content at tension of 0.03 and 1.5 MPa were measured. From these analyses the total porosity and water availability were calculated. Data were evaluated by descriptive statistics and by analysis of the spatial dependence based in semivariograms adjustment. The variation coefficient indicated low variability for total and coarse sand contents, water content at tension of 0.03 and 1.5 MPa, soil bulk and particles density and total porosity; and medium for clay, silt e available water contents. Except for water content at tension of 0.03 and 1.5 MPa and particles density, the other variables presented space dependence, being the spherical and exponential models adjusted to all the semivariograms. The nugget effect had small contribution in the data total variance, indicating strong spatial dependence for fine sand and clay contents, total porosity and available water. The other variables showed moderate dependence. There was a great variation in the distance until where the physical characteristics of the ground present spatial dependence (reach).

**Key words:** variation coefficient, geostatistic, physical characteristics, carica papaya

## INTRODUÇÃO

Os atributos físicos do solo variam entre pontos relativamente próximos em área de mesma unidade taxonômica, muitas vezes de forma significativa. Em consequência dessas variações o uso do valor médio é, às vezes, de pouca utilidade, podendo conduzir a decisões de manejo equivocadas, principalmente no sistema solo-água-planta (MACEDO *et al.*, 1998). Neste sentido, a variabilidade espacial das propriedades do solo deve ser bem conhecida, visando minimizar os erros na amostragem e no manejo do solo quanto a fertilização, irrigação, calagem entre outros.

O conhecimento de características físico-hídricas do solo como a capacidade de retenção de água, densidade do solo e granulometria, dentre outras, é muito importante na escolha do sistema de irrigação a ser utilizado, no cálculo da quantidade de água a ser aplicada na irrigação, bem como sua frequência de aplicação, tornando-se óbvio que o conhecimento da variabilidade destas propriedades dentro da área a ser irrigada é de extrema importância (SOUSA *et al.*, 1999). Além disso, a variabilidade espacial de características físicas do solo como porosidade total e densidade podem auxiliar no monitoramento da compactação do solo em áreas de uso intensivo de máquinas agrícolas (SOUZA *et al.*, 2004b).

Vários estudos relatam que a variabilidade das propriedades físicas do solo apresenta correlação ou dependência espacial (CARVALHO *et al.*, 2002; CARVALHO *et al.*, 2003; SALVIANO, 2003; SOUZA *et al.*, 2004a,b). A geoestatística é a ferramenta utilizada para estudar a variabilidade espacial, pois possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural das características avaliadas, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem.

Os semivariogramas, gráficos que relacionam a semivariância de uma variável qualquer com uma distância, apresentam três parâmetros importantes: o efeito pepita ( $C_0$ ), o valor da semivariância para a distância zero, representa o componente da variação ao acaso; o patamar ( $C+C_0$ ) é o valor da semivariância onde a curva se estabiliza sobre um valor constante; e o alcance (a), a distância máxima até onde ocorre dependência espacial (VIEIRA, 2000).

Após a seleção do semivariograma da variável em estudo e havendo dependência espacial, podem-se interpolar valores em

qualquer posição da área estudada, sem tendência e com variância mínima, por meio da técnica de krigagem (VIEIRA, 2000).

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

## MATERIAL E MÉTODOS

O Município de Baraúna tem uma área de 888 km<sup>2</sup> e 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". O clima é semi-árido com temperatura média anual em torno de 27,4 °C. A precipitação média é de 820,9 mm anuais, distribuídos irregularmente entre os meses de fevereiro e junho. O relevo é plano, com existência de pequenas depressões, sendo sua declividade máxima de 3%. O solo da área em estudo foi classificado como Cambissolo Háplico típico (CX) (EMBRAPA, 1999).

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.

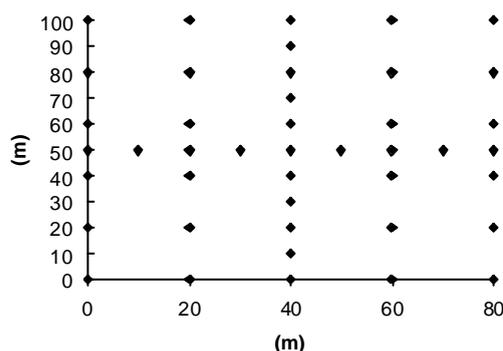


Figura 1. Esquema de amostragem para obtenção dos semivariogramas.

Foram determinadas a composição granulométrica, com o uso do dispersante hexametáfosfato de sódio, a densidade do solo pelo método do anel volumétrico; a densidade

das partículas pelo método do balão volumétrico, todos segundo metodologia da EMBRAPA (1997). A retenção de água foi determinada pelo método da placa e membrana de pressão (RICHARDS, 1949) nas tensões de 0,03 (CC) e 1,5 Mpa (PMP). A água disponível foi obtida foi obtida pela diferença entre a CC e PMP e expressa em mm.

A variabilidade dos dados foi avaliada 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 (VIEIRA *et al.*, 1983; ROBERTSON, 1998) e do ajuste de semivariogramas. Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o melhor coeficiente de determinação e a menor soma de quadrados do resíduo. A função semivariância foi calculada para todas as direções (semivariograma isotrópico) com o objetivo de perceber a presença de dependência espacial dos dados.

A análise da dependência espacial é baseada 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<sub>i</sub>), Z(x<sub>i</sub> + h), separados por um vetor h. O gráfico de γ(h) é denominado semivariograma. Do ajuste de um modelo matemático aos valores estimados de γ(h) foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma: efeito pepita (C<sub>0</sub>), patamar (C<sub>0</sub> + 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<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub> + 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).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva (Tabela 1) mostram que 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 do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), ao nível de 1% de probabilidade, corroboram que a distribuição dos

Tabela 1. Resumo estatístico das características físico-hídricas e água disponível de um Cambissolo Háptico típico. Baraúna-RN, 2004.

Variáveis	M <sup>(1)</sup>	Med <sup>(2)</sup>	Mn <sup>(3)</sup>	Mx <sup>(4)</sup>	s <sup>(5)</sup>	Ass <sup>(6)</sup>	C <sup>(7)</sup>	CV <sup>(8)</sup>	KS <sup>(9)</sup>
Areia Grossa (kg/kg)	0,37	0,37	0,32	0,49	0,04	1,19	1,45	9,89	0,13
Areia Fina (kg/kg)	0,16	0,16	0,12	0,22	0,02	0,60	-0,26	15,07	0,12
Areia Total (kg/kg)	0,53	0,53	0,46	0,65	0,04	0,52	0,60	7,22	0,06
Silte (kg/kg)	0,21	0,22	0,10	0,27	0,04	-0,67	-0,44	20,42	0,15
Argila (kg/kg)	0,25	0,25	0,16	0,38	0,05	0,40	0,42	19,32	0,09
Água retida a 0,03 Mpa	0,21	0,20	0,16	0,25	0,02	0,26	-1,05	11,23	0,15
Água retida a 1,5 Mpa	0,13	0,13	0,10	0,15	0,01	-0,45	0,72	7,14	0,12
Densidade do solo (kg/m <sup>3</sup> )	1,22	1,21	1,15	1,33	0,03	1,03	2,29	2,74	0,12
Densidade das partículas (kg/m <sup>3</sup> )	2,67	2,67	2,56	2,74	0,05	-0,39	-0,69	1,73	0,22**
Porosidade Total (%)	54,33	54,78	50,25	56,84	1,69	-0,47	-0,78	3,12	0,14
Água Disponível (mm)	18,80	18,26	12,03	25,86	4,59	0,21	-1,44	24,43	0,14

(1) Média, (2) Mediana, (3) valor mínimo, (4) valor máximo, (5) desvio padrão, (6) coeficiente de assimetria, (7) curtose, (8) coeficiente de variação, (9) teste Kolmogorov-Smirnov, \*\* dados com distribuição não normal, segundo o teste KS ao nível de 1% de probabilidade.

dados segue a curva normal para todas as variáveis, exceto para a densidade de partículas. Outros pesquisadores encontraram distribuição normal para características físicas do solo (SOUZA *et al.*, 2004a,b; SALVIANO, 2003; VIEIRA, 1997; VIEIRA *et al.*, 1992). A normalidade dos dados não é uma exigência para a aplicação de técnicas de geoestatística, sendo apenas recomendado que a distribuição não apresente caudas muito alongadas para não comprometer as análises (WEBSTER, 1985; CRESSIE, 1991).

Adotando-se o critério de classificação para o coeficiente de variação (CV) proposto por Warrick & Nielsen (1980) para a medida de dispersão, seus valores se revelaram: (a) médios para as variáveis: areia fina, silte, argila e água disponível; e (b) baixos para as variáveis: areia grossa, areia total, conteúdos de água retida na tensão de 0,03 e 1,5 Mpa, densidade do solo e porosidade total. Vieira *et al.* (1992) e Vieira (1997) estudando a variabilidade espacial de características físicas em diferentes solos encontraram CVs considerados baixos e médios para teor de argila e silte respectivamente.

Observando-se os parâmetros dos semivariogramas (Tabela 2) constata-se dependência espacial para a maioria das variáveis. No entanto, para a água retida a 0,03 e

um valor que representa bem o conjunto de dados. No entanto, não significa, necessariamente, que não exista estrutura de variância. Provavelmente, nesse caso, a dependência espacial ocorre em uma distância menor do que à distância entre os pontos de amostragem utilizada (VIEIRA, 2000).

O esférico e o exponencial foram os modelos ajustados aos dados para todas as variáveis que apresentaram estrutura de variância. O modelo exponencial não apresenta um valor finito de alcance, mas por fins práticos, existe um ponto além do qual a semivariância para de crescer (WEBSTER, 1985). Nos trabalhos de variabilidade espacial de características do solo é comum encontrar ajuste dos semivariogramas a estes dois modelos (SOUZA *et al.*, 2004a,b; VIEIRA *et al.* 2002; SILVA, 2001; QUEIROZ *et al.*, 1999).

Quanto as classes de dependência espacial definidas por Cambardella *et al.* (1994), observa-se que as variáveis, areia fina, argila, porosidade total e água disponível (Tabela 2) apresentaram forte dependência espacial, tendo as demais variáveis apresentado dependência espacial moderada. Vieira & Gonzalez (2003) encontraram forte dependência espacial para o teor de argila em um Latossolo do Estado de São Paulo, no entanto, Silva (1988), estudando a

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas experimentais para as características físico-hídricas e água disponível de um Cambissolo Háplico típico. Baraúna-RN, 2004.

Variável	Modelo	Co <sup>(1)</sup>	Co+C <sup>(2)</sup>	Ao <sup>(3)</sup>	[Co/(Co+C)]x100 <sup>(4)</sup>	R <sup>2</sup>
Areia Grossa	exponencial	0,0004	0,0015	16,50	26,67	0,50
Areia Fina	esférico	0,00005	0,0006	34,60	8,20	0,61
Areia Total	exponencial	0,0009	0,0021	63,40	43,90	0,99
Silte	exponencial	0,0012	0,0025	64,40	46,94	0,98
Argila	esférico	0,0003	0,0026	41,1	9,65	0,95
Água retida a 0,03 Mpa - CC	EPP <sup>(5)</sup>	0,0005	-	-	-	-
Água retida a 1,5 Mpa - PMP	EPP	0,0009	-	-	-	-
Densidade do solo -Ds	esférico	0,0006	0,0013	88,50	46,15	0,98
Densidade das partículas -Dp	EPP	0,0020	-	-	-	-
Porosidade Total - PT	esférico	0,627	2,958	30,50	21,20	0,89
Água Disponível - AD	esférico	3,10	21,16	29,00	14,65	0,47

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

0,15 MPa e para densidade das partículas do solo não foi possível identificar a estrutura da variância, diz-se então que os semivariogramas apresentaram efeito pepita puro (EPP). Para esses casos, 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

variabilidade espacial de atributos físicos do solo, observou contribuição elevada do efeito pepita para a variância total da população. Quando isto ocorre o efeito pepita é elevado, indica a possível ocorrência de erro analítico (variabilidade não explicada), ou ser devido a microvariações não detectadas, em face da distância de amostragem utilizada (CAMBARDELLA *et al.*, 1994).

Os valores do patamar, atingido quando a variância da diferença entre os pares de dados se torna constante com a distância entre eles, apresentaram grande variabilidade entre as variáveis.

O mesmo ocorreu para os valores de alcance encontrados que variaram de 16,50 m para o teor de areia grossa e 88,50 m para a densidade do solo. Os mesmos indicam a distância até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si

deve garantir a independência total entre elas (CARVALHO *et al.*, 2002).

Os parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados foram utilizados para estimar valores em locais não amostrados por meio da krigagem gerando os mapas de isolinhas (Figuras 2 e 3). As linhas fechadas e próximas caracterizam a área com maior variabilidade, enquanto a presença de linhas espaçadas é condição de uma variabilidade menor (Figura 2).

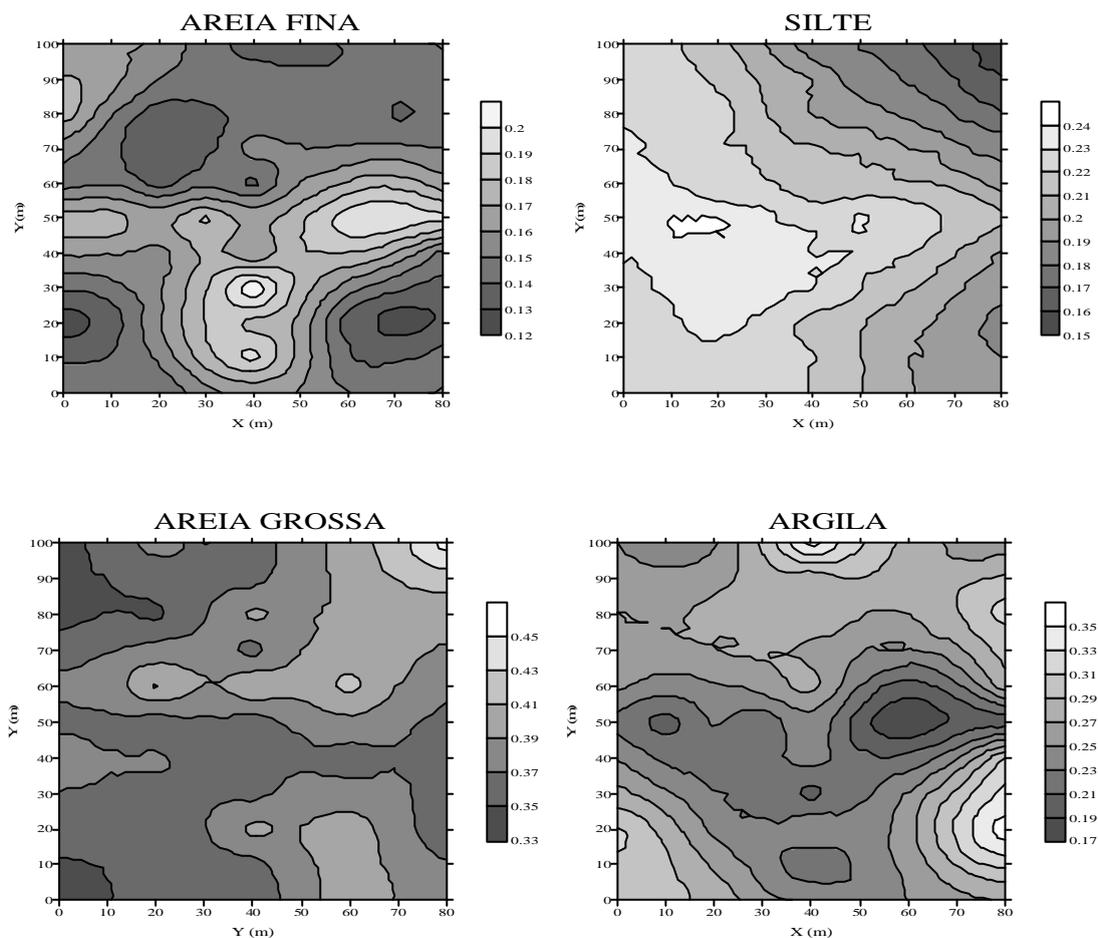


Figura 2. Mapas de isolinhas para os valores médios de areia fina, areia grossa, silte e argila, em kg/kg, de um Cambissolo Háplico típico. Baraúna-RN, 2004.

(VIEIRA *et al.*, 1983; SOUZA *et al.*, 1997; VIEIRA, 1997), ou seja, os pontos localizados em uma área cujo raio seja o alcance, são mais semelhantes entre si, do que os separados por distâncias maiores. Desta forma, todos os vizinhos situados dentro de um círculo com esses raios podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles. Além disso, essa deve ser a distância mínima entre amostras quando se

Há uma semelhança no padrão de distribuição espacial entre as frações granulométricas do solo, principalmente para areia fina e argila. Todavia, nota-se um inversão deste, ou seja, as áreas de maiores teores de argila coincidem com as de menores teores médios de areia fina.

O conhecimento dos valores de alcance e as localizações das áreas onde estão concentrados os maiores e/ou menores valores de determinada

característica físico-hídrica, são importantes para o planejamento do manejo da irrigação, tanto na agricultura convencional como na agricultura de precisão.

Observando-se a Figura 3, percebe-se uma

sub-áreas o tempo de irrigação deverá ser definido em função da capacidade de retenção de água, sendo necessário para isso, que cada uma das sub-áreas a instalação de um medidor de umidade. Todavia a proposta de manejo

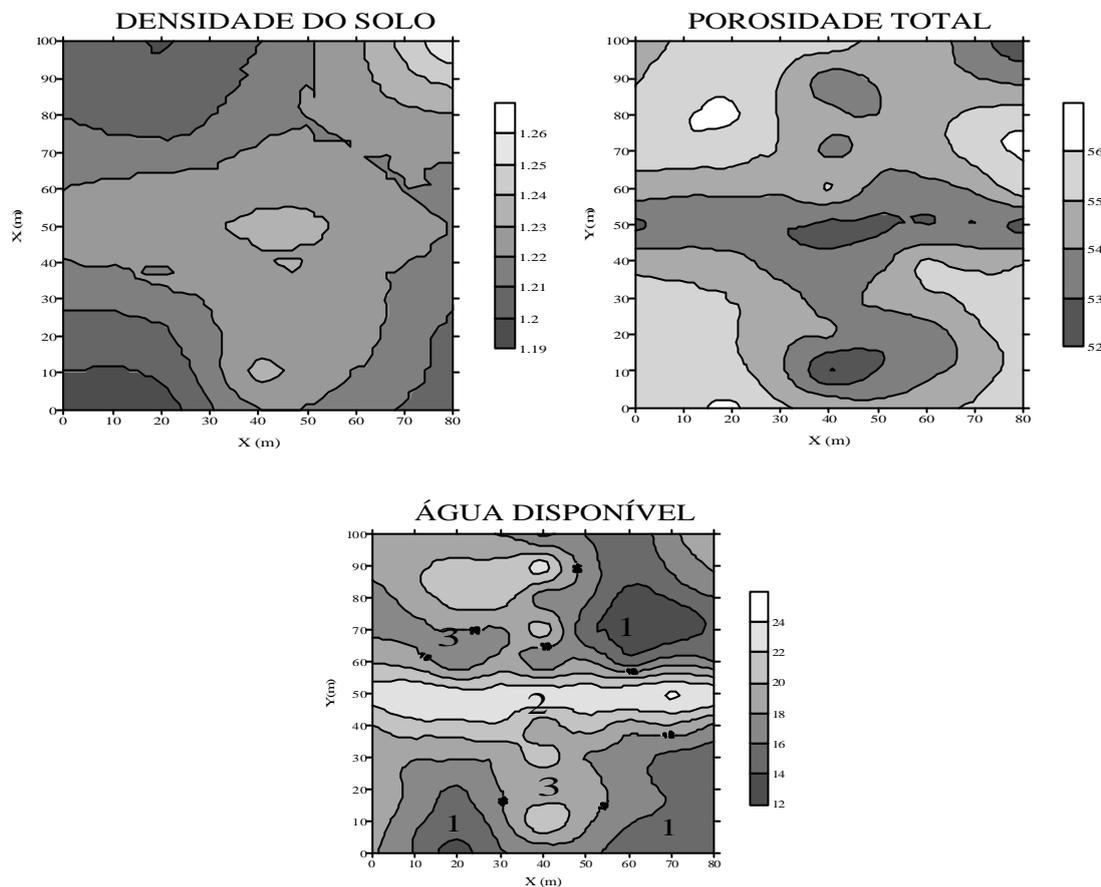


Figura 3. Mapas de isolinhas para valores médios da densidade do solo ( $\text{kg/m}^3$ ), porosidade total (%) e água disponível (mm) de um Cambissolo Háplico típico. Baraúna-RN, 2004.

semelhança no padrão de distribuição espacial da PT e da Ds, sendo que as áreas de maior Ds correspondem as menores médias da PT. O estudo da variabilidade dessas características torna-se importante, pois as mesmas estão correlacionadas com a resistência mecânica do solo à penetração e influenciam o desenvolvimento radicular das culturas.

Com base na visualização espacial da AD (Figura 3) dividiu-se a área em sub-áreas de variabilidade semelhante para fins de manejo da irrigação, de tal forma que as mesmas contivessem valores abaixo (1), acima (2) e em torno da média (3). Dentro de cada uma destas

dependerá do objetivo, se para fins agrícola ou de pesquisa. No caso do segundo objetivo, as sub-áreas podem constituir blocos onde serão aplicados os tratamentos e assim mitigar o efeito da variabilidade espacial nos obtidos. O manejo da irrigação levando-se em consideração a variabilidade espacial da área torna-se mais complicado, mas permitiria uma maior eficiência de aplicação de água nas sub-áreas.

As áreas que apresentam maior quantidade de AD (áreas mais claras), coincidem com as áreas de maior Ds e menor PT do solo (Figura 3). Isso pode indicar uma redução da macroporosidade do solo em função de um processo de compactação

acarretando na maior retenção de água nessas regiões.

### CONCLUSÕES

As menores variabilidades, medidas por meio do CV, foram observadas para a densidade do solo e das partículas.

Com exceção da porosidade total, as demais variáveis apresentaram distribuição normal.

Existe dependência espacial para as características físicas do solo, com exceção da densidade das partículas, conteúdos de água retida na tensão de 0,03 e 1,5 Mpa.

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

Não foi possível o ajuste de semivariogramas as variáveis CC, PMP e densidade das partículas. Para as demais variáveis, os modelos ajustados foram do tipo esférico e exponencial.

Os valores de alcance apresentaram grande variação entre as variáveis estudadas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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**, Brasília, v.37, p.1151-1159, 2002.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.695-703, 2003.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 359p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA-CNPS, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 211p.
- UFERSA. Estação climatológica da UFERSA. Disponível em: <<http://www.ufersa.edu.br/cppgclima.asp>> Acesso em: 01 fev. /2005.
- FUKS, S. D. Novos modelos para mapas derivados de informações de solos. In: ASSAD, E.D., SANO, E. E. (ed.). **Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: Serviço de Produção de Informação/EMBRAPA/CPAC, 1998. p.373-410.
- MACEDO, J. R.; OTONNI FILHO, T. B.; MENEGUELLI, N. A. Variabilidade de características físicas, químicas e físico-hídricas em solo Podzólico Vermelho-Amarelo de Seropédica, RJ. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p.2043-2053, 1998.
- QUEIROZ, J. E., FILHO, G. M. S., GHEYI, H. R., SANTOS, R. V., SOUZA, L. C., SOUSA, J. R. Caracterização espacial da salinidade de um solo aluvial do projeto capoeira, estado da Paraíba. **resumos... XXVII CBCS**, Brasília, 1999.
- RICHARDS, L. A. Methods of measuring soil moisture tension. **Soil Science**, v. 68, p.95-112, 1949.
- ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for environment sciences – GS+ User's guide**. Plainwell, Gamma Design Software, 1988. 152p.
- 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**. 2003. 189f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- SILVA, A. P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. 1988. 105f. Tese (Doutorado em Solos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.
- SILVA, P. C. M. **Avaliação da variabilidade espacial de propriedades químicas do solo da**

- “Extensão Maria Tereza” - Perímetro irrigado senador Nilo Coelho, Petrolina-PE. 2001. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2001.
- SOUSA, J.R. de, QUEIROZ, J.E., GHEYI, H.R. Variabilidade espacial de características físico-hídricas e de água disponível em um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, 140-144, 1999.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, p.51-58, 2004a.
- SOUZA, Z. M., MARQUES JUNIOR, J. PEREIRA, G. T. Spatial variability of physical attributes of the soil in different landscape forms under sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.937-944, 2004b.
- SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 1-10, 1997.
- VIEIRA, S. R.; GONZALEZ, A. P. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. **Bragantia**, Campinas, v.62, p.127-138, 2003.
- 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: SBCS, 2000. p.1-54.
- VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v.56, p.181-190, 1997.
- VIEIRA, S. R., HATFIELD, J. L., NIELSEN, D. R., BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.51, p.1-75, 1983.
- VIEIRA, S. R.; CASTRO, O. M.; TOPP, G. C. Spatial variability of some soil physical properties in three soils of São Paulo, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, p.333-341, 1992.
- WARRICK, A. W., NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties the soil. In: Hill, D. (ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.
- WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. In: Stewart, B.A. (ed.) **Advance in Soil Science**, New York, v.3, p.1-70, 1985.