



## VARIABILIDADE ESPACIAL DA UMIDADE VOLUMÉTRICA DO SOLO NO PONTO DE MURCHA PERMANENTE UTILIZANDO A TÉCNICA DE CO-KRIGAGEM

**MIRITZ, Guilherme Kunde<sup>1</sup>; VIEGAS, Lucas Souza<sup>2</sup>; AQUINO, Leandro Sanzi<sup>3</sup>; BARTELS, Guilherme Kruger<sup>2</sup>; TIMM, Luís Carlos<sup>4</sup>; PARFITT, José Maria B.<sup>5</sup>; NEBEL, Álvaro Luiz Carvalho<sup>6</sup>; PAULETTO, Eloy Antonio<sup>7</sup>**

<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, Bolsista IC-CNPq DER (Departamento Engenharia Rural)/FAEM (Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel)-UFPEL (Universidade Federal de Pelotas) Campus Universitário – Caixa Postal 354 – CEP 96010-900-Capão do Leão. E-mail: guilhermemiriz@hotmail.com

<sup>2</sup> Graduando em Agronomia, Bolsista PIBIC DER/FAEM/UFPEL

<sup>3</sup> Mestrando em Agronomia – Solos, DS (Departamento de Solos)/FAEM/UFPEL

<sup>4</sup> Professor Adjunto DER/FAEM/UFPEL

<sup>5</sup> Pesquisador Embrapa Clima Temperado - Estação Terras Baixas

<sup>6</sup> Professor Doutor, Conjunto Agrotécnico Visconde da Graça (CAVG-UFPEL)

<sup>7</sup> Professor associado DS/FAEM/UFPEL

### 1. INTRODUÇÃO

Os atributos físico-hídricos do solo são informações de importante valia para o dimensionamento e o manejo dos sistemas de irrigação e drenagem (Bernardo et al., 2006). No entanto, as variações do material de origem, clima, relevo, organismos e tempo e/ou os efeitos das práticas de manejo agrícola adotadas são fatores que afetam a variabilidade espacial desses atributos em diferentes escalas (McGraw et al., 1994). Vários trabalhos têm destacado a importância de considerar a estrutura de variabilidade espacial dos atributos do solo em futuras práticas agrícolas, na busca de um manejo mais adequado e racional do solo e da água. Nesse sentido, ferramentas geoestatísticas têm sido aplicadas no intuito de delimitar zonas homogêneas dos atributos, possibilitando que as práticas agrícolas sejam desenvolvidas de forma mais precisa e sustentável.

Contudo, estudos envolvendo a aplicação dessas ferramentas na análise da variabilidade espacial necessitam de uma elevada densidade de pontos amostrais, sendo que para alguns atributos do solo, a amostragem pode se tornar inviável do ponto de vista prático, devido à alta densidade de amostragem e aos procedimentos laboratoriais serem mais trabalhosos e de custos elevados. Exemplo disso é a determinação do conteúdo de água no solo referente à capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) e ao ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) (Vereecken, 1995; McBratney et al., 2002). Para contornar esse problema, a co-krigagem permite inferir sobre a variabilidade espacial de um atributo a partir da correlação espacial com uma co-variável, de determinação mais simples e menos trabalhosa. A co-krigagem é um procedimento

geoestatístico em que variáveis regionalizadas podem ser estimadas em conjunto, com base na correlação espacial entre si, que deve ser alta para que as estimativas sejam consistentes. Esta técnica procura minimizar a variância dos erros de estimativa, explorando a correlação entre as variáveis, ou seja, as estimativas são feitas com base nos semivariogramas cruzados efetuados entre as variáveis de interesse (Vieira, 2000).

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo identificar a estrutura de variabilidade espacial de  $\theta_{PMP}$  do solo, utilizando uma co-variável de fácil determinação por meio da construção do semivariograma cruzado e da interpolação por co-krigagem.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Uma malha regular de 10 m X 10 m, totalizando 100 pontos amostrais, foi estabelecida em uma área da Estação Experimental de Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Em cada ponto, foram retiradas amostras deformadas e indeformadas na camada de 0-0,20 m, para a determinação dos atributos físicos (porosidade total, densidade do solo e as frações areia, silte e argila) e hídricos (conteúdo de água no solo retido nas tensões 0, 1, 6, 33, 100 e 1.500 kPa).

Dos 100 pontos amostrados foram retirados 50 pontos da variável primária (conteúdo de água referente ao  $\theta_{PMP}$ , que corresponde a tensão de 1.500 kPa), de modo que as distâncias entre os pontos ficou de 10m no eixo X e 20m no eixo Y. A variável secundária, fração argila, escolhida por ser de fácil determinação e por ter apresentado boa correlação com a variável primária, permaneceu com os 100 pontos amostrados.

As séries de dados foram analisadas utilizando a estatística clássica, para determinar se as variáveis apresentam tendência à normalidade, pressuposto básico da geoestatística. Para a confecção dos semivariogramas, do ajuste do mesmo ao modelo teórico e dos mapas de contorno foi utilizado o software geoestatístico GS+ versão 7.0 (Gamma Design Software, 2004). O grau de dependência espacial foi analisado segundo a classificação proposta por Cambardella et al. (1994), o qual considera a dependência espacial forte, moderada e fraca quando a relação  $Co/(Co+C) \leq 25\%$ ,  $25\% < Co/(Co+C) \leq 75\%$  e  $Co/(Co+C) > 75\%$ , respectivamente.

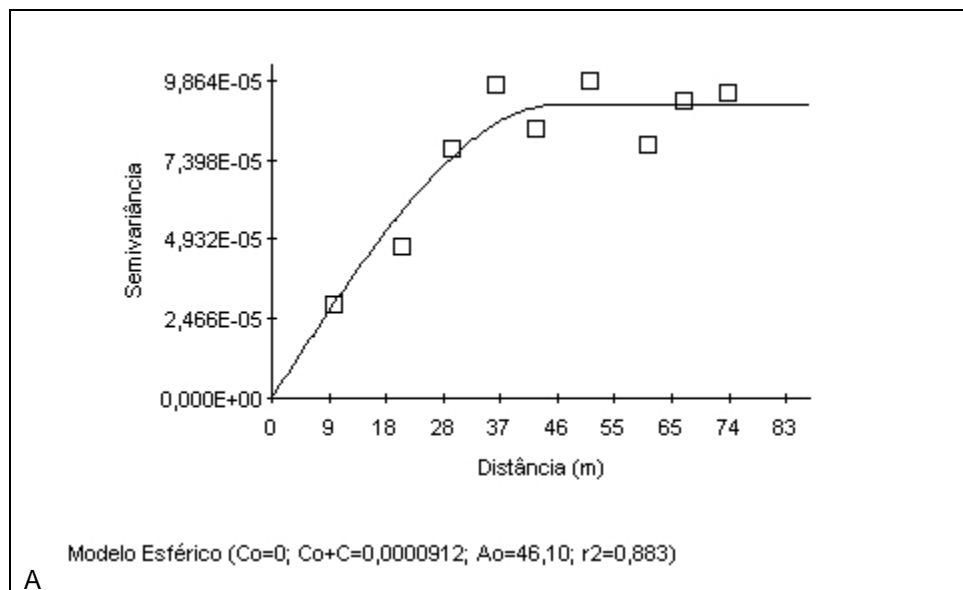
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

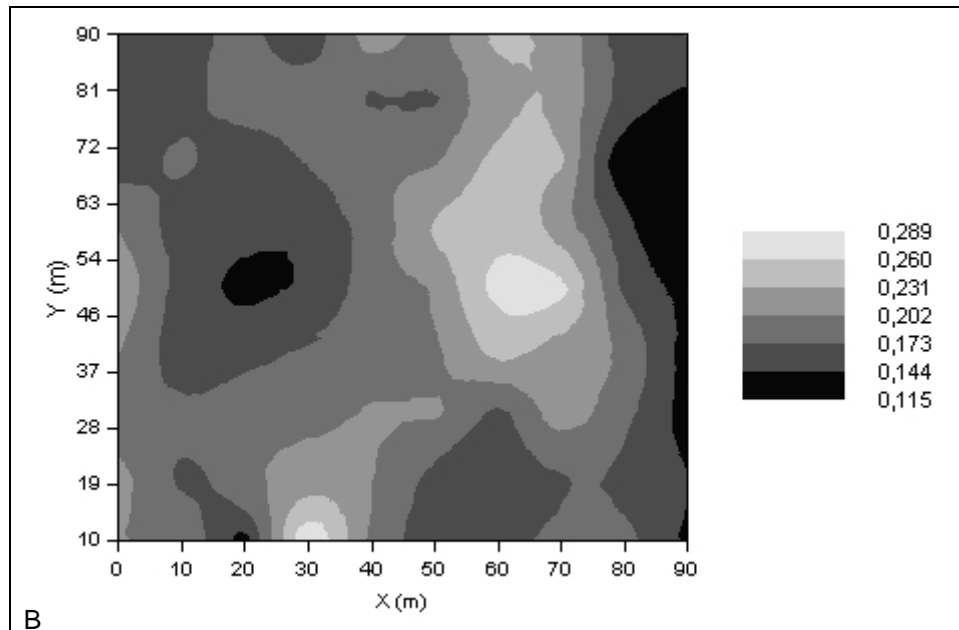
Na Tabela 1 são apresentados os resultados da estatística descritiva aplicada aos dados de  $\theta_{PMP}$ , para ambas as malhas amostrais com 100 e 50 pontos, e para o teor de argila dos 100 pontos amostrais. Verifica-se que os valores da média e da mediana são próximos e que os coeficientes de assimetria e curtose estão próximos a zero, indicando que a distribuição de todas as séries de dados tende à normal, i.e., a construção de uma malha menos densa não influenciou na distribuição dos dados. O mesmo comportamento foi verificado em relação à variação dos dados em torno da média (expresso pelo Coeficiente de Variação (CV)), que para ambas as densidades de amostragem de  $\theta_{PMP}$  foi classificada como de moderada dispersão ( $15\% < CV \leq 35\%$ ), já a densidade de amostragem da variável teor de argila foi classificada como de baixa dispersão ( $< 15\%$ ), segundo Wilding & Drees (1983).

**Tabela 1.** Estatística descritiva da variável  $\theta_{PMP}$  ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ), considerando duas malhas experimentais, e do teor de argila ( $\text{kg}.\text{kg}^{-1}$ ).

Variáveis	Nº de amostras	Média	Mediana	CV (%)	Assimetria	Curtose
$\theta_{PMP}$	50	0,1850	0,1815	20,43	0,701	0,560
$\theta_{PMP}$	100	0,1869	0,1838	20,58	0,379	-0,400
Teor de argila	100	0,1434	0,1443	9,19	0,083	-0,161

A partir da análise da correlação espacial entre as variáveis do solo, o teor de argila foi a variável que apresentou maior correlação espacial expressa pelo semivariograma cruzado (Fig. 1-A). O ajuste do semivariograma experimental cruzado a um modelo teórico possibilitou identificar os parâmetros da estrutura de variabilidade, que indicam um alcance de dependência espacial de 46,1 m (parâmetro  $A_0$ ). Essa estimativa, segundo a classificação de Cambardella et al. (1994), foi classificada como forte grau de dependência, pois a relação  $C_0/(C_0+C)$  é menor que 25%. Assim, dados de conteúdo de água retida no solo em base de volume, na tensão de 1.500 kPa, e correlacionados com o teor de argila separados por distâncias superiores ao alcance encontrado, 46,1m, são independentes entre si, possibilitando que seja utilizada apenas a estatística clássica. Por meio do semivariograma cruzado teórico foi possível aplicar a técnica de co-Krigagem para realizar a interpolação espacial dos dados de  $\theta_{PMP}$  com o intuito de construir o mapa de contorno (Fig. 1-B). A partir do mapa apresentado é possível a separação da área em regiões homogêneas, que permite um planejamento mais apurado de manejo em relação à técnica convencional.





**Figura 1** - Semivariograma cruzado entre as variáveis  $\theta_{PMP}$  (50 pontos) e teor de argila (100 pontos) (A) e o respectivo mapa de contorno  $\theta_{PMP}$  ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) (B).

#### 4. CONCLUSÕES

A utilização de uma malha menos densa, 50 pontos, para a variável  $\theta_{PMP}$  não interferiu nas suas propriedades estatísticas. O semivariograma cruzado superestimou o alcance de dependência espacial da variável  $\theta_{PMP}$ , tomando como co-variável o teor de argila. A técnica de co-krigagem possibilitou identificar zonas homogêneas de  $\theta_{PMP}$  quando correlacionada espacialmente com o teor de argila, expresso pelo semivariograma cruzado.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio financeiro ao projeto e pela concessão de bolsas, à CAPES pela concessão de bolsa e à EMBRAPA pela concessão da área experimental.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. 8ª ed. atualizada e ampliada. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625p.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F. & KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, v.58, p. 1501-1511, 1994.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences. Plainwell: Gamma Design Software, 2004.
- McGRAW, T. Soil test level variability in Southern Minnesota. *Better Crops with Plant Foods*, v.78, p.24-25, 1994.

VERECKEN, H. Estimating the unsaturated hydraulic conductivity from theoretical models using simple soil properties. *Geoderma*, v.65, p.81-92, 1995

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

WILDING, L. P. & DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L. P.; SMECK, N.E. & HALL, G.F. eds. *Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions*. New York, Elsevier, 1983. p.83-116.