

GEOESTATÍSTICA APLICADA AO ESTUDO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DE CABECEIRA EM CANGUCÚ-RS

MAURICIO FORNALSKI SOARES¹; DOUGLAS RODRIGO KAISER²; SAMUEL
BESKOW²; DIONI GLEI BONINI BITENCOURT²; ALEXSSANDRA DAYANNE
SOARES DE CAMPOS²; LUÍS CARLOS TIMM³

¹Universidade Federal de Pelotas – mauriciofornalski@gmail.com

²Universidade Federal da Fronteira Sul – douglasrodrigokaiser@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – samuelbeskow@gmail.com

²Universidade Federal do Pampa – dioniglei@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – alexssandra1_sc@yahoo.com.br

³Universidade Federal de Pelotas – lctimm@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A variabilidade espacial dos atributos do solo tem sido objeto de estudo desde o início do século XX. Inicialmente, era estudada por meio de ferramentas da estatística clássica que não consideram a posição das observações da variável no domínio amostral. Ferramentas estatísticas da análise de séries Temporais/Espaciais (autocorrelogramas, crosscorrelogramas, modelos de espaço de estados, etc.) e da Geoestatística (semivariogramas, semivariogramas cruzados, krigagem, etc.), que consideram a posição no espaço (ou no tempo) e a possível dependência entre as observações da variável em estudo, têm sido aplicadas no intuito de estudar a variabilidade das diferentes variáveis que compõem o sistema Solo-Planta-Atmosfera (REICHARDT; TIMM, 2012).

A krigagem ordinária é um dos principais métodos de interpolação espacial geoestatística, utilizada em estudos hidrológicos para mapear atributos físico-hídricos do solo com boa precisão, gerando mapas com estimativas não tendenciosas e variância mínima de estimação em locais não amostrados. Para isto, é essencial que a modelagem da continuidade espacial seja consistente (KERRY; OLIVER, 2007).

Devido à sensibilidade do estimador de semivariâncias clássico de Matheron em séries de dados que apresentam *outliers* (dados discrepantes), Cressie e Hawkins (1980) propuseram um estimador mais robusto. Para tanto, eles removeram o quadrado presente nos incrementos do estimador de Matheron. Basicamente, a ideia era de que a raiz quadrada diminuísse a contaminação por valores discrepantes (CRESSIE; HAWKINS, 1980). Este estimador é conhecido como estimador robusto de Cressie e Hawkins, na qual o denominador representa uma correção com base na hipótese do processo base a ser estimado tem diferenças normalmente distribuídas sobre todos os *lags* (WEBSTER; OLIVER, 2007).

Este trabalho teve como objetivo caracterizar a distribuição espacial dos atributos condutividade hidráulica do solo saturado (K_0), macroporosidade (MacP) e densidade do solo (DS) a partir da construção de semivariogramas e da interpolação via krigagem ordinária. Estes atributos foram selecionados por apresentarem forte correlação linear, fato este amplamente relatado na literatura (PACHEPSKY; PARK, 2015; MULLER 2018).

2. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em uma sub-bacia hidrográfica da bacia hidrográfica do arroio Pelotas, denominada de bacia hidrográfica da sanga Ellert (BHSE), localizada no município de Canguçu, região Sul do Estado do Rio Grande do Sul.

A BHSE possui área de aproximadamente 0,66km² e altitude variando de 310,9 a 419,4 m. A precipitação é bem distribuída ao longo do ano e a média anual varia de 1300 a 1400 mm. O relevo regional varia de ondulado a forte ondulado, com predomínio de vegetação de mata ou arbustiva rala, sendo os solos rasos e esparsos entre afloramentos rochosos (CUNHA, 1996). O solo da área delimitada na bacia compreende basicamente a classe de solos denominada Neossolos (EMBRAPA, 2018).

Para o estabelecimento da malha amostral e a obtenção das coordenadas UTM de cada ponto, utilizou-se o software ArcGIS (ESRI, 2014). Foi estabelecida uma malha amostral com pontos espaçados de 50 m na direção oeste por 75 m na direção sul, contabilizando 106 pontos amostrais na primeira bateria de coletas de solo. Posteriormente, a fim de melhor capturar a estrutura de variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo em distâncias menores que a estabelecida (50 m x 75 m), foi realizado um adensamento amostral coletando mais 78 pontos, espaçados de 25 m entre si em ambas as direções, totalizando 184 pontos amostrais em toda a área da bacia. A demarcação de cada ponto na área da BHSE foi realizada com equipamento GPS de navegação.

Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada na camada de 0-0,20 m, sendo determinados os seguintes atributos físico-hídricos do solo: densidade do solo, macroporosidade e condutividade hidráulica do solo saturado (K_0). Também foram coletadas amostras com a estrutura não preservada para análise da granulometria.

Cada conjunto de dados foi avaliado por meio da estatística clássica para obtenção de medidas de posição (média aritmética e mediana), de dispersão (desvio padrão, variância e coeficiente de variação) e de medidas que indicam o formato da distribuição (coeficientes de assimetria e curtose). A normalidade das séries de dados foi avaliada pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. A possível correlação entre os dados foi avaliada por meio do teste não paramétrico de Spearman,

Os semivariogramas experimentais foram ajustados aos modelos teóricos de semivariogramas e os parâmetros efeito pepita (c_0), patamar ($C+c_0$) e alcance (a) foram obtidos bem como o grau de dependência espacial (GDE), segundo Cambardella et al. (1994). O software R-Project (R CORE TEAM, 2018) foi utilizado em todas as análises estatísticas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o teste de Spearman, com nível de significância à 1%, a K_0 apresentou correlação linear com a macroporosidade (0,72). Esta correlação é confirmada por diversos trabalhos científicos (PACHEPSKY; PARK, 2015; MULLER 2018) nas quais é relatado que os valores de K_0 aumentam com o aumento da macroporosidade do solo, uma vez que esta expressa a parte do espaço poroso que está disponível ao movimento de água no solo, sobretudo em resposta à força da gravidade (MULLER, 2018).

A correlação entre os valores de K_0 e DS também demonstrou um padrão esperado, relativamente menor que entre a K_0 e a macroporosidade, e negativo (-0,50). Segundo Pachepsky e Park (2015), pode-se supor que alterações na densidade do solo afetam principalmente o volume e a relação entre a macro/microporosidade de um solo, influenciando assim a área disponível ao fluxo de água.

Todas as séries de dados não apresentaram tendência de normalidade de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de probabilidade. Em vista disso, optou-se pelo uso do estimador robusto de Cressie e Hawkins (1980)

para a construção dos semivariogramas experimentais (LARK, 2000; KERRY; OLIVER, 2007). Os semivariogramas experimentais dos atributos DS e MacP foram ajustados ao modelo exponencial enquanto que o da K_0 foi ajustado ao modelo esférico (Figura 1).

O GDE de todas as variáveis foi classificado como moderado ($25\% < GDE \leq 75\%$; CAMBARDELLA et al., 1994). A faixa de dependência espacial da variável MacP foi a menor (57,61 m), enquanto que a de DS e de K_0 foi relativamente maior e similar entre as duas variáveis (130,06 m e 131,00 m, respectivamente). Isto sugere que as estruturas de dependência espacial de K_0 e de MacP, embora descritas por modelos diferentes, sejam similares do ponto de vista de alcance espacial.

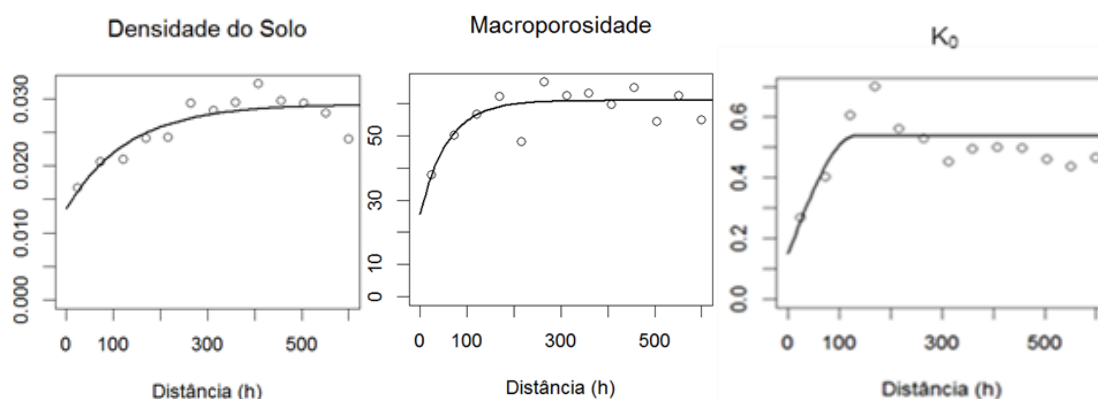


Figura 1 - Semivariogramas teóricos e experimentais para os atributos físico-hídricos Densidade do solo, Macroporosidade e Condutividade hidráulica do solo saturado (K_0).

Reichert et al. (2009) utilizaram as classes texturais do solo para classificar sua densidade como “baixa”, “moderada” e “alta”. A partir da krigagem dos dados de DS, em 45 pontos de coleta onde foi possível classificar a densidade do solo, esta foi considerada “baixa”, evidenciando que o solo da BHSE não apresenta problemas ligados a compactação do solo.

De acordo com classificação do USDA, os valores de K_0 determinados na BHSE, evidenciam que, em condições de saturação do solo na camada de 0-0,20 m, o movimento de água se enquadra na classe muito rápida ($K_0 > 0,508 \text{ m.h}^{-1}$), rápida ($0,152 < K_0 \leq 0,508 \text{ m.h}^{-1}$) e moderadamente rápida ($0,051 < K_0 \leq 0,152 \text{ m.h}^{-1}$), não identificando áreas em que o movimento de água fosse enquadrado na classe moderada ou lenta.

4. CONCLUSÕES

Os atributos densidade do solo, macroporosidade e condutividade hidráulica do solo saturado tiveram a estrutura de dependência espacial caracterizada pelos semivariogramas e a partir dos parâmetros de ajuste dos semivariogramas foi possível mapear a ocorrência dos atributos via krigagem ordinária.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 58, n. 5, p.1501-1511, 1994. Soil Science Society of America.
<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>.

CRESSIE, N.; HAWKINS, D. M. Robust estimation of the variogram: I. **Journal Of The International Association For Mathematical Geology**, [s.l.], v. 12, n. 2, p.115-125, abr. 1980. Springer Nature.<http://dx.doi.org/10.1007/bf01035243>.

CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J.; SEVERO, C. R. S.; SOARES, M. J.; COSTA, C. N.; NUNES, M. L; **Estudo dos solos do município de Canguçu. Pelotas, RS: EMBRAPA-CPACT**, Ed. UFPel, 1997, 90p. (EMBRAPA-CPACT, Documentos, 31/97).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2018. 306p.

ESRI – **Environmental Systems Research Institute**.ArcGIS. Sistema de Informação Geográfica para área de trabalho de computador, versão 10.1. 2014.

LARK, R. M..A comparison of some robust estimators of the variogram for use in soil survey. **European Journal Of Soil Science**, [s.l.], v. 51, n. 1, p.137-157, mar. 2000. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2389.2000.00280.x>

KERRY, R.; OLIVER, M.A. Determining the effect of asymmetric data on the variogram. I. Underlying asymmetry. **Computers & Geosciences**, [s.l.], v. 33, n. 10, p.1212-1232, out. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2007.05.008>.

MÜLLER, Karin et al. Characterising and linking X-ray CT derived macroporosity parameters to infiltration in soils with contrasting structures. **Geoderma**, [s.l.], v. 313, p.82-91, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.020>.

PACHEPSKY, Yakov; PARK, Yongeun. Saturated Hydraulic Conductivity of US Soils Grouped According to Textural Class and Bulk Density. **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 79, n. 4, p.1094-1100, 2015. Soil Science Society of America.<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2015.02.0067>.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.URL <http://www.Rproject.org/>.

REICHARDT, K; TIMM, L. C.. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri - SP: Manole, 2012. 500 p.

REICHERT, José Miguel et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil And Tillage Research**, [s.l.], v. 102, n. 2, p.242-254, mar. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002>.

USDA - Soil Survey Staff, Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture.Web Soil Survey. Available online at the following link: <https://websoilsurvey.sc.egov.usda.gov/>. Acessado [08/08/2018].