

ESTIMATIVA DA DENSIDADE DO SOLO E O EFEITO DO NÚMERO DE ESTRUTURAS NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA

MIGUEL DAVID FUENTES-GUEVARA¹; RÔMULO FÉLIX NUNES²; LEONIR DUTRA JÚNIOR³; TIRZAH MOREIRA SIQUEIRA⁴; CLÁUDIA LIANE RODRIGUES DE LIMA⁵; LUÍS CARLOS TIMM⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – miguelfuge@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas– nunes.romulo@outlook.com

³Universidade Federal de Pelotas– leonirdutrajr@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – tirzahsiqueira@hotmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas– clrlima@yahoo.com.br

⁶Universidade Federal de Pelotas– lctimm@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Os monitoramentos dos atributos do solo possuem papel importante nos sistemas agrícolas, sendo frequentemente utilizados como indicadores da qualidade física estrutural, na tomada de decisões em escala de bacias hidrográficas (BESKOW et al., 2016; FREITAS et al., 2004). A caracterização da variabilidade espacial e a distribuição destes atributos podem ser adequadas informações para subsidiar intervenções de uso e manejo dos solos nestas áreas. Nesse sentido, a geoestatística torna-se relevante por representar e entender como os fenômenos naturais variam em função do espaço (MATHERON, 1963). A densidade é um dos atributos do solo utilizados para detectar zonas degradadas por compactação e pisoteio animal em solos (STEFANOSKI et al., 2013).

A bacia hidrográfica Santa Rita (BHSR), objeto deste estudo, localiza-se no sul do Rio Grande do Sul (RS), no município de Pelotas, sendo uma unidade de planejamento fundamental socioeconomicamente para a região, pois colabora com a alimentação dos corpos hídricos para o abastecimento de água para a população de Pelotas. Por este motivo, o estudo teve como objetivo identificar o efeito de diferentes estratégias de modelagem da função de continuidade espacial no comportamento da variabilidade e distribuição espacial da densidade do solo na BHSR.

2. METODOLOGIA

Foi estabelecida, na BHSR, uma malha experimental de 238 pontos amostrais com distribuição irregular, sendo o menor distanciamento entre os pontos de 10,0 cm. Em cada ponto amostral coletou-se uma amostra com estrutura preservada na camada intermediária de 7,5 - 12,5 cm, para determinação da densidade do solo seguindo a metodologia proposta por Embrapa (2011). Após, os dados de densidade do solo foram submetidos a análise estatística descritiva para determinação da média e variância.

Posteriormente, os dados foram submetidos a análises geoestatísticas utilizando os programas *SGeMS* (*Stanford Geoestatistical Modeling*; REMY et al., 2009) e *GSLIB* (*Geoestatistical Software Library*; DEUTSCH e JOURNAL, 1998). Seguidamente, modelaram--se os semivariogramas experimentais mediante análise anisotrópica em oito direções principais de busca: 0°, 22,5°, 45°, 67,5°, 90°, 112,5°, 135°, 157,5°, utilizando o estimador clássico de Matheron

(MATHERON, 1963) para ajustar uma função matemática (semivariograma teórico) aos pontos de semivariâncias experimentais. Assim, obteve-se posteriormente os parâmetros efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C$), alcance (a) e o modelo (Esférico; Exponencial; ou Gaussiano). A Equação 1 demonstra um exemplo de uma função teórica com uma estrutura.

$$\gamma(h) = C_0 + C \cdot \text{Modelo} \left(\frac{\text{Direção maior continuidade}}{a \text{ (maior continuidade)}} , \frac{\text{Direção menor continuidade}}{a \text{ (menor continuidade)}} \right) \quad (1)$$

O semivariograma teórico utilizado para modelar a continuidade espacial pode ser subdividido em duas ou mais parcelas da função (estruturas) que compõe a função geral. Para este estudo, foram definidas três estratégias de modelagem da continuidade espacial: 1ª - semivariograma teórico com uma estrutura; 2ª - semivariograma teórico com duas estruturas; 3ª - semivariograma teórico com três estruturas.

A distribuição espacial da densidade do solo foi estimada através da krigagem ordinária (Equação 2) (REICHARDT; TIMM, 2020).

$$Z_{ko}^*(x_0) = \sum_{i=0}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

Onde, $Z_{ko}^*(x_0)$ é definido como a estimativa de uma variável Z (densidade do solo) em um local não amostrado x_0 do domínio, representando a posição em que é realizada a estimativa. $Z(x_i)$ é definido como uma variável aleatória que assume diferentes valores observados de Z em função da posição (x_i) dentro da área experimental. Já λ_i são os pesos ou ponderadores associados a cada valor observado $z(x_i)$ usado na estimativa de $Z_{ko}^*(x_0)$.

Após, realizou-se a validação cruzada, supondo que um elemento da amostra não tenha sido amostrado (observado), retirando o valor amostrado e, calculando-o a partir dos vizinhos (n^0 de amostradas - 1). Este processo foi repetido até que todas os pontos amostrados fossem estimados, obtendo no final do processo um valor observado, referente ao amostrado e um valor estimado no mesmo local. Propiciando assim, calcular o erro médio absoluto da estimativa (Média |Valor observado - Valor estimado|) e, avaliar a capacidade dos modelos ajustados em estimar a densidade do solo para escolher a melhor estratégia, (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo apresentou média de $1,53 \text{ Mg m}^{-3}$ e variância de 0,0177. O patamar (estabilização do semivariograma teórico) foi fixado pela variância dos dados (Figura 1). O maior alcance foi encontrado na estratégia com três estruturas (Equação 5), com 4095 m (Figura 1c), seguido daquelas com duas estruturas e uma estrutura (Equações 4 e 3, respectivamente). A função esférica (Esf) foi a que melhor representou o fenômeno espacial em todas as estratégias (Equações 3, 4 e 5).

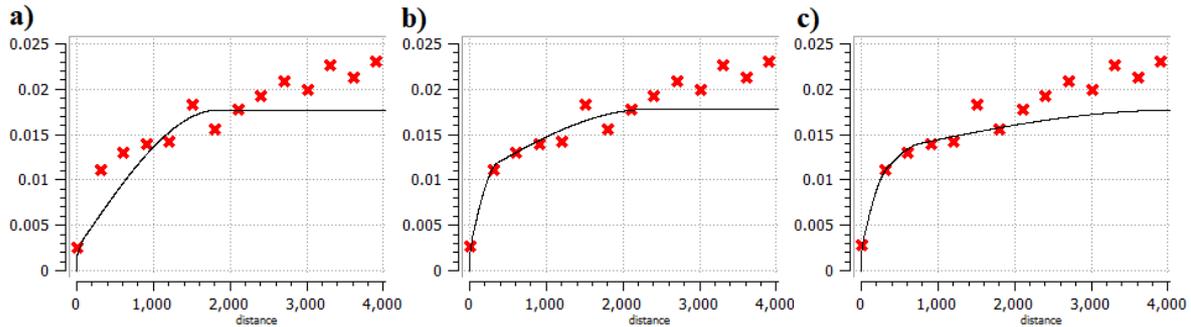


Figura 1 - Semivariogramas para densidade do solo na bacia hidrográfica Santa Rita. a) com uma estrutura; b) com duas estruturas e c) com três estruturas.

$$\gamma(h) = 0,0024 + 0,0153 \text{Esf} \left(\frac{N157,5E}{1845m}, \frac{N67,5E}{45m} \right) \quad (3)$$

$$\gamma(h) = 0,0024 + 0,0077 \text{Esf1} \left(\frac{N157,5E}{2340m}, \frac{N67,5E}{310m} \right) + 0,0077 \text{Esf2} \left(\frac{N157,5E}{360m}, \frac{N67,5E}{300m} \right) \quad (4)$$

$$\gamma(h) = 0,0024 + 0,0051 \text{Esf1} \left(\frac{N157,5E}{4095m}, \frac{N67,5E}{310m} \right) + 0,0051 \text{Esf2} \left(\frac{N157,5E}{765m}, \frac{N67,5E}{225m} \right) \quad (5)$$

$$+ 0,0051 \text{Esf3} \left(\frac{N157,5E}{315m}, \frac{N67,5E}{180m} \right)$$

Pode-se observar que de forma geral, as distribuições espaciais das três estratégias capturaram comportamento similar da variabilidade espacial, com valores densidade mais baixos ao norte e mais elevados ao sul da bacia (Figura 2).

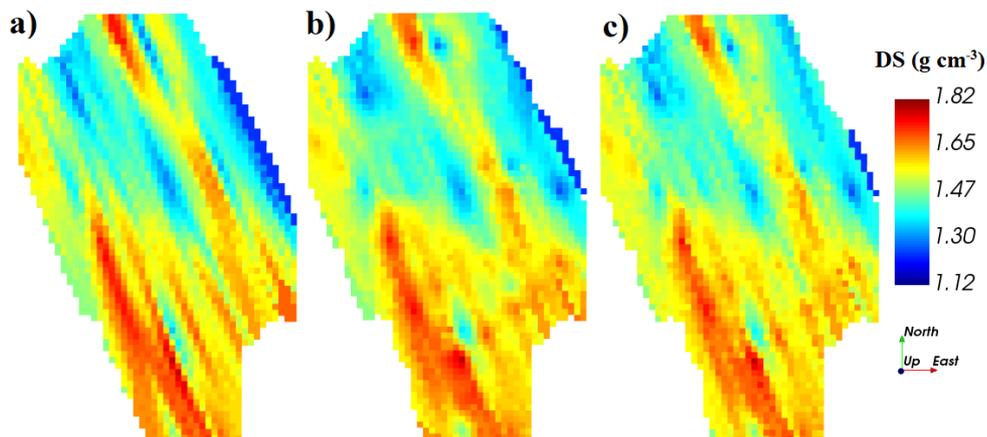


Figura 2 – Distribuição espacial da densidade do solo estimada por krigagem ordinária. a) com uma estrutura; b) com duas estruturas e c) com três estruturas na bacia hidrográfica Santa Rita.

A eficiência da krigagem ordinária em estimar a densidade do solo foi testada mediante a validação cruzada (Figura 3), demonstrando que a estratégia que melhor estimou foi com duas estruturas (Figura 3b), obtendo o maior coeficiente de correlação da regressão ($r=0,8871$), seguidos pelas estratégias com três e uma estrutura, respectivamente (Figuras 3c e 3a). No entanto, verifica-se que as correlações de ambas foram muito próximas. Este resultado indica que as três estratégias obtiveram um maior desempenho na estimativa da densidade nos locais do solo amostrados. A estratégia que apresentou o menor erro médio

absoluto foi a com duas estruturas ($0,0477 \text{ Mg m}^{-3}$), seguida pela com três estruturas ($0,0484 \text{ Mg m}^{-3}$) e com uma estrutura ($0,0498 \text{ Mg m}^{-3}$).

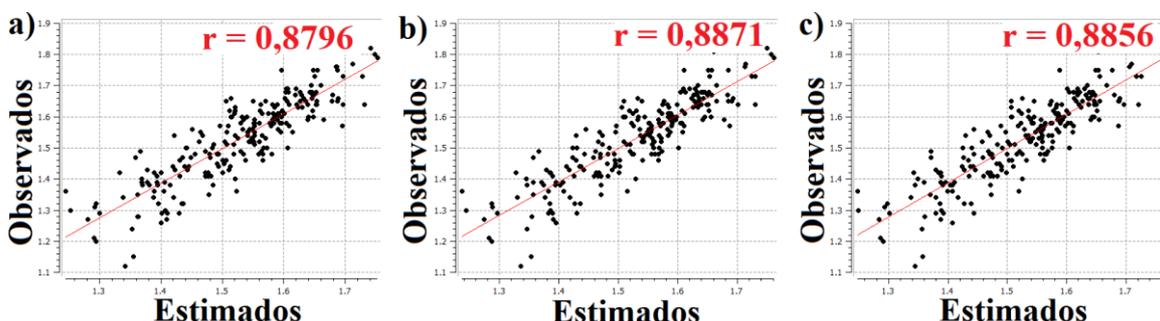


Figura 3 – Validação cruzada a partir de regressão entre os dados observados em campo (coletados) e estimados a partir de krigagem ordinária na mesma localização. a) com uma estrutura; b) com duas estruturas e c) com três estruturas na bacia hidrográfica Santa Rita.

4. CONCLUSÕES

Verificou-se o impacto do número de estruturas no ajuste do semivariograma teórico sobre a qualidade das estimativas e na distribuição espacial da densidade do solo ao longo da bacia hidrográfica Santa Rita, obtendo-se que a estratégia de modelagem com duas estruturas estimou com maior desempenho a densidade do solo no espaço.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BESKOW, S. et al. Potential of the LASH model for water resources management in data-scarce basins: a case study of the Fragata River basin, southern Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, p. 2567 – 2578, 2016.
- DEUTSCH, C.V.; JOURNEL, A.G. **GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide**, 2nd edition. Oxford University Press, New York, 1998.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise do Solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 2011.
- FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, L. C. Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.1, p. 85 – 91, 2004.
- MATHERON, G. Principles of Geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, n. 8, p. 1246 – 1266, 1963.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Soil, Plant and Atmosphere: Concepts, Processes and Applications**. Switzerland: Springer Nature, 2020.
- REMY, N.; BOUCHER, A.; WU, J. **Applied geostatistics with SGeMS: A user's guide**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p. 1301 – 1309, 2013.
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215 p.