

ANISOTROPIA DOS ATRIBUTOS FÍSICO- HÍDRICOS DOS SOLOS DA SUB- BACIA SANTA RITA, PERTENCENTE A BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO MOREIRA

RÔMULO FÉLIX NUNES¹; LEONIR ALDRIGHI DUTRA JUNIOR²; LUANA
NUNES CENTENO²; TIRZAH MOREIRA SIQUEIRA²; CLÁUDIA LIANE
RODRIGUES DE LIMA²; LUIS CARLOS TIMM³

¹ Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) – nunes.romulo@outlook.com

² Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) – leonirdutrajr@gmail.com2

² Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) – luananunescenteno@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) – tirzahmelo@hotmail.com

² Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) – clrlima@yahoo.com.br

³ Universidade Federal de Pelotas (UFPeI) – luisctimm@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Atributos do solo em escala de bacia hidrográfica podem apresentar uma alta variabilidade espacial, principalmente pela complexidade das interações dos processos formadores e de seus diferentes usos e manejos, gerando assim diferentes padrões de distribuição espacial, variando a intensidade do fenômeno em diferentes direções (BITENCOURT et al., 2018). A essa característica de variação dos fenômenos naturais que ocorrem com mais intensidade em uma direção e com menos intensidade em outra, dá-se a denominação de anisotropia (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

A modelagem da anisotropia é realizada por meio do cálculo da função semivariância que demonstra a dissimilaridade entre pares de pontos a uma determinada distância e em diferentes direções de análise (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo realizar o estudo da anisotropia de alguns atributos físico-hídricos dos solos da sub-bacia hidrográfica Santa Rita, localizada na Bacia Hidrográfica do Arroio Moreira (BHAM), à fim de quantificar a continuidade espacial e, identificar as direções de maior intensidade de variação dos atributos em estudo.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização da área de estudo

A sub-bacia hidrográfica Santa Rita (SBHSR), localizada na Bacia Hidrográfica do Arroio Moreira (BHAM), Pelotas, Rio Grande do Sul, possui aproximadamente 10,54 km². Caracteriza-se pelas coordenadas geográficas 355168,619 L e 6495482,457 N, no sistema de projeção UTM, Zona 22S, Datum SIRGAS 2000, com uma altitude média de 108,80 m.

2.2. Levantamento dos dados

Foi estabelecida uma malha amostral de 44 pontos, com distribuição espacialmente irregular sendo o distanciamento entre pontos de 300 m. Em cada ponto da malha, camada de 0-0,20 m, foram coletadas três amostras com estrutura preservada em anéis com dimensões de 0,05 m de altura x 0,05 m de diâmetro, para determinar a densidade do solo (Ds), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma), porosidade total (PT), conforme (EMBRAPA, 2011) e a condutividade hidráulica do solo saturado (Ksat) seguindo metodologia em LIBARDI (2005).

Também foi coletada em cada ponto uma amostra com estrutura não preservada para a determinação dos teores de argila, silte e areia pelo método da pipeta (GEE; BAUDER, 1986).

2.3. Análises Estatísticas

Aplicou-se a estatística descritiva (medidas de posição, de dispersão e de formato da distribuição foram calculadas) no intuito de realizar uma análise exploratória de todos os conjuntos de dados (ANDRIOTTI, 2003). Os dados de Ksat como apresentaram uma tendência de não-normalidade, resultado bastante comum na literatura, foram transformados por meio da função logaritmo neperiano (ln(Ksat)). O comportamento anisotrópico dos conjuntos de dados foi avaliado pelo cálculo de semivariogramas experimentais direcionais os quais foram ajustados aos semivariogramas teóricos. A função semivariância pode ser entendida como a estimativa da semivariância em função da distância de separação entre os pares de observações de uma dada variável medida em x_i e x_i+h , sendo expressa matematicamente por meio da Equação 1 (ANDRIOTTI, 2003).

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

onde $n(h)$ é o número de pares de observações da variável Z e h é a distância de separação entre os pares de observações $n(h)$ medidos em x_i e x_i+h . Neste estudo, a anisotropia foi analisada em 8 direções: 0° , $22,5^\circ$, 45° , $57,5^\circ$, 90° , $112,5^\circ$, 135° , $157,5^\circ$. Para cada direção, três modelos teóricos (Gaussiano, Exponencial e Esférico) foram ajustados aos semivariogramas experimentais, sendo determinados os parâmetros alcance (a), patamar ($c+c_0$), contribuição (c) e efeito pepita (c_0) a partir do software de modelagem geoestatística da Universidade de Stanford (SGeMS).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Ds e a PT apresentaram baixa dispersão ($CV < 15\%$, WILDING; DREES, 1983) em torno da média indicando uma maior homogeneidade destas distribuições na área de estudo. Os dados de Mi, Argila, Silte e Areia apresentaram dispersão classificada como moderada ($15 < CV \leq 35\%$), enquanto que as de Ma, Ksat e ln(Ksat) foram classificadas como de alta dispersão ($CV > 35\%$).

Tabela 1: Estatística Clássica aplicada aos atributos físico-hídricos do solo determinados na camada de 0,00-0,20 m, sub-bacia Santa Rita, Pelotas-RS

Medida	Ds	Mi	Ma	PT	Ksat	ln(Ksat)	Argila	Silte	Areia
Média	1,57	0,31	0,07	0,38	99,80	3,85	0,17	0,23	0,60
Variância	0,019	0,003	0,002	0,003	12853,0	1,996	0,003	0,005	0,010
CV	8,83	18,44	61,08	14,05	113,60	36,67	31,54	29,36	16,39
Mínimo	0,97	0,19	0,02	0,30	2,63	0,97	0,07	0,07	0,29
Máximo	1,80	0,56	0,22	0,59	418,59	6,04	0,30	0,48	0,86
Amplitude	0,84	0,37	0,19	0,29	415,96	5,07	0,23	0,41	0,57

Ds - Densidade do solo ($Mg.m^{-3}$); Mi - Microporosidade (m^3m^{-3}); Ma - Macroporosidade (m^3m^{-3}); PT - Porosidade total (m^3m^{-3}); Ksat - condutividade hidráulica do solo saturado (cm/dia); ln(Ksat) - logaritmo neperiano da condutividade hidráulica do solo saturado (cm/dia); Argila - Teor de argila (%); Silte - Teor de silte (%); Areia - Teor de areia (%).

A escolha do melhor ajuste do semivariograma teórico ao experimental na modelagem da anisotropia foi baseada na r continuidade espacial e no número de pontos experimentais de semivariância ajustados ao modelo teórico de semivariograma. A Tabela 2 apresenta o resultado da modelagem da anisotropia dos dados de $\ln(K_{sat})$ nas 8 diferentes direções analisadas. Conforme pode-se verificar na Tabela 2, somente as direções de 22,5°, 67,5° e 90° apresentaram continuidade espacial, ou seja, não se obteve continuidade espacial dos dados de $\ln(K_{sat})$ nas direções 0°, 45°, 112,5°, 135°, 157,5°. Os resultados distintos dos parâmetros de ajustes do semivariograma teórico nas diferentes direções de análise comprovam a presença do fenômeno de anisotropia dos dados (BARBOSA, 2018). Na direção de 90° foi encontrada a maior faixa de dependência espacial entre os dados de $\ln(K_{sat})$, sendo o semivariograma experimental nesta direção ajustado ao modelo teórico esférico.

Tabela 2: Modelagem da anisotropia para a variável $\ln(K_{sat})$ na malha experimental estabelecida na sub-bacia Santa Rita, Pelotas-RS

Atributos	Parâmetros	Direções		
		22,5°	67,5°	90°
$\ln(K_{sat})$	c_0	0,60	0,65	0,55
	c	1,3962	1,3462	1,4462
	Alcance (m)	540,00	870,00	960,00
	Modelo	Exponencial	Esférico	Esférico

C- Contribuição; C_0 - Efeito Pepita

Os parâmetros de ajustes da modelagem variográfica referentes ao melhor ajuste de cada um dos atributos do solo são encontrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados da modelagem variográfica para os atributos estudados.

Atributos	c	c_0	$c+c_0$	a máx (m)	θ máx	a mín (m)	Modelo teórico
Ds	0,0152	0,0040	0,0192	1020,0	45,0	660,0	Gaussiano
Mi	0,0032	0,0001	0,0033	870,0	22,5	750,0	Gaussiano
Ma	0,0018	0,0001	0,0019	480,0	90,0	420,0	Gaussiano
PT	0,0028	0,0001	0,0029	1050,0	45,0	1050,0	Gaussiano
Silte	0,0043	0,0004	0,0047	1320,0	157,5	960,0	Gaussiano
Areia	0,0090	0,0005	0,0095	930,0	0,0	630,0	Exponencial
$\ln(K_{sat})$	1,4462	0,5500	1,9962	960,0	90,0	540,0	Esférico

c- Contribuição; c_0 - Efeito Pepita; $c+c_0$ - Patamar; a máx - Alcance Máximo;

θ máx - Direção de máximo alcance; a mín - Alcance mínimo; Ds - Densidade do solo; Mi - Micro porosidade; Ma - Macro porosidade; PT - Porosidade total; $\ln(K_{sat})$ - logaritmo neperiano da condutividade hidráulica do solo saturado.

O modelo gaussiano foi o que melhor descreveu a estrutura de variabilidade espacial de Ds, Mi, Ma, PT e Silte, enquanto os modelos exponencial e esférico foram os que melhor descreveram as estruturas dos dados de Areia e $\ln(K_{sat})$, respectivamente. A argila não apresentou continuidade espacial em nenhuma das direções analisadas, ou seja, são independentes entre si em todas as direções.

O atributos que apresentaram o maiores alcances foram silte, PT e Ds, respectivamente de 1320,0 m, 1050,0 m, e 1020,0 m de continuidade espacial, enquanto, a Ma apresentou menor alcance com 480,0 m de continuidade espacial.

O atributo $\ln(K_{sat})$ apresentou uma continuidade espacial de 960,0 m e o maior efeito pepita justificado pela alta variabilidade espacial.

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir com o estudo, que a metodologia proposta demonstrou-se eficaz na do estudo da anisotropia através da modelagem da variografia. Através da modelagem foi possível determinar os atributos que apresentaram maior continuidade espacial, bem como a orientação de ocorrência na área de estudo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2003. 165p.

BARBOSA, D. P. Modelagem do semivariograma considerano anisotropia e dados discrepantes no estabelecimento de zonas de manejo. **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2018, 63P.

BITENCOURT, D. G. B.; CENTENO, L. N.; TIMM, L. C.; GUIMARÃES, E. C.; PINTO, L. F. S.; PAULETTO, E. A. Geostatistical mapping of soil organic carbon using isotropic and anisotropic models considering soil mapping units represented at different scales. **In:** 21 Wordl Congress of Soil Science. Rio de Janeiro. 2018.

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. 230p.

GEE, G.W. BAUDER, J.W. Particle size analysis. **In:** KLUTE, A. (Ed.). **Methods of Soil Analysis**. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. 411p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, EDUSP, 2005. 335p

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.

YAMAMOTO, J. K., LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, 215P.