

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DAS HIPÓTESES DE ESTACIONÁRIEDADE DE 1ª E 2ª ORDEM EM ATRIBUTOS FÍSICO-HIDRÍCOS DO SOLO COLETADOS EM UMA TRANSEÇÃO ESPACIAL

LUANA NUNES CENTENO¹; WILLIAN SILVA BARROS² ARLAN DA SILVA FERREIRA³; SAMANTA TOLENTINO CECCONELLO⁴, TIRZAH MOREIRA SIQUEIRA⁵, LUÍS CARLOS TIMM⁶

¹*Universidade Federal de Pelotas – luananunescenteno@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas– wsbarros@hotmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas– arlansil@yahoo.com.br*

⁴*Universidade Federal de Pelotas– satolentino@gmail.com*

⁵*Universidade Federal de Pelotas– tirzahmelo@hotmail.com*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – luisctimm@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

Os atributos físicos, químicos e biológicos do solo são variáveis no espaço e no tempo em consequência, principalmente, das características intrínsecas do material de origem e dos fatores de sua formação. A intensidade dessa variação em uma área depende das condições ambientais e como estas influenciam os atributos do solo, tanto ao longo do tempo como com relação ao uso e manejo adotado (VASU et al., 2016).

Segundo YAMAMOTO; LANDIM (2013), à medida que aumenta a distância entre os pontos amostrais no espaço, diminui a influência de um ponto sobre o outro. Sendo assim, a inferência da continuidade espacial de uma variável dita regionalizada pode ser avaliada, sustentando-se na estatística de dois pontos.

Para que a continuidade espacial seja quantificada por meio de modelos espaciais, SOARES (2006) salienta que é assumido que a função aleatória apresenta diversos graus de estacionariedade, principalmente estacionariedade de 1ª e 2ª ordem, a saber: 1ª ordem - as variáveis aleatórias possuem médias iguais, pois desta forma a média passa a ser independente da localização, contudo, aceitar esta hipótese implica em tomar como verdade que a média das amostras da área estudada sejam representativas, ou seja, que ocorre uma homogeneidade entre os valores, o que raramente ocorre; e 2ª ordem - tem como base a existência da variância finita e que a correlação entre duas variáveis aleatórias é independente da localização, sendo apenas dependente da distância espacial entre elas (CORSTANJE; GRUNWALD; LARK, 2008).

Entretanto, as formas atualmente empregadas para testar as hipóteses de estacionariedade supracitadas são, em suma, qualitativas, o que torna o método subjetivo uma vez que os resultados estão baseados na opinião de cada pesquisador. Neste trabalho buscou-se propor uma metodologia quantitativa para testar as hipóteses de estacionariedade de 1ª e 2ª ordem, tendo como base atributos físico-hídricos coletados ao longo de uma transeção espacial construída na bacia hidrográfica do Arroio Pelotas, seção de controle Ponte Cordeiro de Farias, sul do estado do Rio Grande do Sul (RS).

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo foi a Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (BHAP), à montante da seção de controle Ponte Cordeiro de Farias, que está situada entre as coordenadas geográficas 31°23'36" a 31°48'49" Sul e 52°12'24" a 52°38'27" Oeste, no estado do Rio Grande do Sul.

A BHAP foi escolhida em virtude da importância econômica e social para a região sul do Rio Grande do Sul. Foi estabelecida uma transeção espacial de 25 km a partir da seção de controle onde foram demarcados 100 pontos amostrais equidistantes entre si de 250 m.

Em cada ponto da transeção foram coletadas amostras de solo deformadas, na camada representativa de 0,00 a 0,20 m, para determinar o teor de carbono orgânico seguindo metodologias descritas, respectivamente, em GEE; BAUDER (1986) e TEDESCO et al. (1995). Também foram coletadas, em cada ponto da transeção e na mesma camada de solo, amostras com estrutura preservada em anéis com dimensões de 0,05 m x 0,047 m de altura e diâmetro, respectivamente, para determinar a densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, de acordo com metodologias descritas em EMBRAPA (1997). Nas mesmas amostras preservadas, foi determinada a condutividade hidráulica do solo saturado pelo método do permeâmetro de carga constante (LIBARDI, 2012).

2.2. Metodologia proposta

Com o intuito de investigar as hipóteses de estacionariedade, foi empregada a técnica de janelas móveis que consistiu no cálculo da média e da variância em conjuntos de dados agrupados em três cenários: 20 dados x 5 janelas, 10 dados x 10 janelas e 5 dados x 20 janelas. Ao contrário do que recorrentemente se encontra na literatura, as janelas móveis foram deslocadas sem sobreamento neste estudo, no intuito de analisar o processo de dependência espacial.

Os testes de hipóteses aplicados aos conjuntos de médias e de variâncias móveis expressam o quão próximo estas grandezas estatísticas estão ao longo do espaço. Sendo assim, para testar a hipótese de estacionariedade de 1ª ordem fez-se uso do teste *t*-Student e para a de 2ª ordem o teste Qui-quadrado.

A significância dos testes foi analisada por meio do *p*-valor, adotando um nível de 5%. A hipótese nula (H_0) adotada foi que os valores médios e a variância de cada conjunto dos atributos físico-hídricos do solo não variam ao longo do espaço, ou seja, são estacionários.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de K_0 não se comportaram de forma estacionária nos três cenários avaliados (Figura 1), aplicando o teste *t* ao nível de 5% de significância. Desta forma, a hipótese de estacionariedade de 1ª ordem não é atendida (hipótese nula rejeitada), independentemente do cenário avaliado.

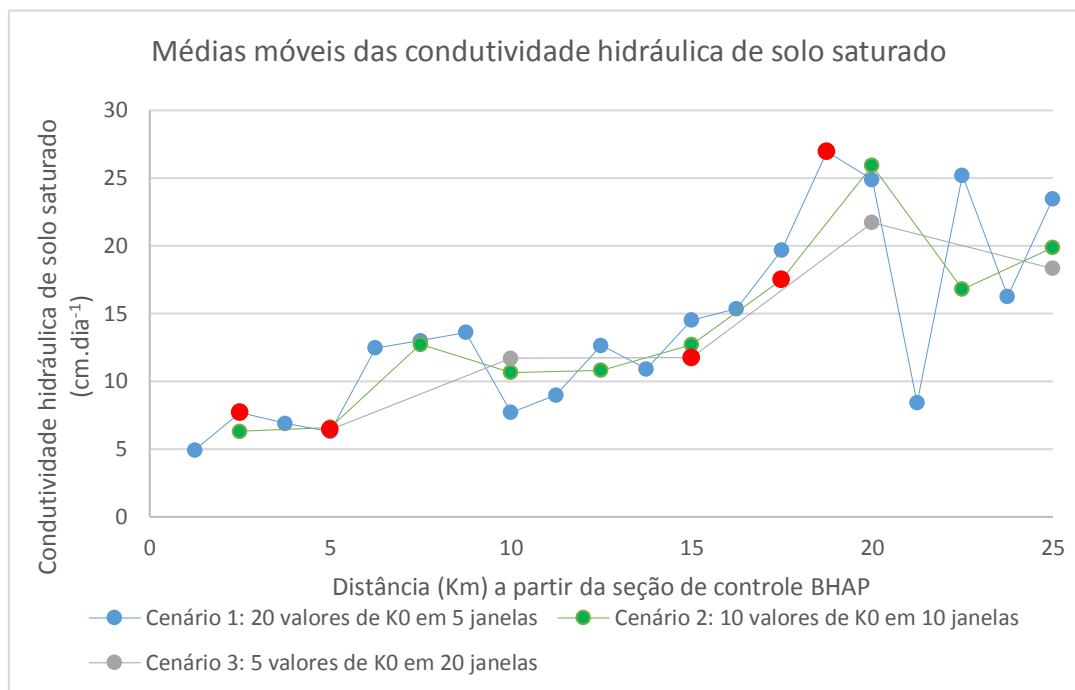


Figura 1: Distribuição espacial dos valores médios de condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) ao longo da transeção espacial de 25 km na Bacia do Arroio Pelotas, seção de controle Ponte Cordeiro de Farias.

*Médias de K_0 em vermelho se mantiveram abaixo do nível de significância adotado (p -valor = 0,05).

O comportamento heterogêneo desta propriedade físico-hídrica do solo tem sido relatado na literatura já que ela é altamente variável no espaço, sendo influenciada por fatores de formação do solo e atividades antrópicas em uma dada área (SCHERPINSKI et al., 2010; REICHARDT; TIMM, 2016; VASU et al., 2016).

A hipótese de estacionariedade de segunda ordem (variâncias constantes dos conjuntos de dados de K_0 em cada cenário) também não foi atendida em nenhum dos cenários avaliados, rejeitando desta forma H_0 quando aplicado o teste Qui-quadrado ao nível de 5% de significância. O comportamento dos conjuntos de dados de densidade do solo e teor de carbono orgânico nos diferentes cenários foi semelhante aos de K_0 .

Este fato pode estar relacionado aos diferentes usos e manejos do solo na camada de 0-0,20 m ao longo da transeção espacial já que foram identificados usos bastante diversificados na Bacia do Arroio Pelotas, a montante da seção de controle Ponte Cordeiro de Farias, a citar: silvicultura, cultura anual, cultura permanente, pastagem cultivada, pastagem nativa e mata nativa Aquino (2015).

A hipótese de estacionariedade de 1ª ordem não foi atendida para os conjuntos de dados de porosidade total, macroporosidade e microporosidade em todos os cenários avaliados (20 dados x 5 janelas, 10 dados x 10 janelas e 5 dados x 20 janelas). Por outro lado, a hipótese de estacionariedade de 2ª ordem foi atendida para os três conjuntos de dados supracitados independentemente do cenário avaliado.

4. CONCLUSÕES

Com base na metodologia proposta, a hipótese de estacionariedade de 1ª ordem não foi atendida em nenhum dos conjuntos de atributos do solo e cenários avaliados. Entretanto, a hipótese de estacionariedade de 2ª ordem, baseado na metodologia proposta, foi aceita para os dados de porosidade total, macroporosidade e microporosidade nos três cenários avaliados.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e pela concessão de bolsas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, Leandro Sanzi. **Modelagem hidrológica da região Sul do Rio Grande do Sul utilizando os modelos SWAT e LASH**. 2015. Tese (Doutorado) - Curso de PPG em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.
- CORSTANJE, R.; GRUNWALD, S.; LARK, R.m. Inferences from fluctuations in the local variogram about the assumption of stationarity in the variance. **Geoderma**, [s.l.], v. 143, n. 1-2, p.123-132, jan. 2008. Elsevier BV.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.
- FREITAS, Kesse Pontes. **Ferramentas estatísticas para monitoramento de modelos inferenciais**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size Analysis. In: PAGE, A.L. (ed.). **Methods of soil analysis**, Part 1, Physical and mineralogical methods. Second Edition, Agronomy, p. 383 – 411, 1986.
- JURY, W. A.; et al. **Soil physics**. New York: John Wiley and Sons, 1991.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2ª ed. São Paulo, EDUSP, 2012. 346 p.
- NOGUEIRA, Denismar A.; PEREIRA, Giselle M.. Desempenho de testes para homogeneidade de variâncias em delineamentos inteiramente casualizados. **Revista Matemática e Estatística em Foco**, Alfenas, v. 2, n. 1, p.7-22, jan. 2013.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, Planta e Atmosfera**: Conceitos, processos e aplicações. 3ª edição, São Paulo: Ed. Manole, 2016. 524 p.
- SCHERPINSKI, Clementina et al. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [s.l.], v. 32, n. 1, p.7-13, 1 jan. 2010. Universidade Estadual de Maringá.
- SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente** 2. Ed. Lisboa: IST Press, 2006.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo**, plantas e outros materiais. 2ª edição. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia/UFRGS, 1995. 174p.
- VAN DELFT, Anne et al. A nonparametric test for stationarity in functional time series. **Ornell University Library**, S.i., v. 1, n. 8, p.1-34, ago. 2017.
- VASU, Duraisamy et al. Pedogenic processes and soil–landform relationships for identification of yield-limiting soil properties. **Soil Research**, [s.l.], v. 55, n. 3, p.273-285, maio 2017. CSIRO Publishing.
- YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo M Barbosa. **Geoestatística**: conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina do Livro, 2013. 215 p.