

## CLUSTERIZAÇÃO E FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA NA ESTIMATIVA DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO EM ESCALA DE BACIA HIDROGRÁFICA

ANGELO GARCIA COSTA<sup>1</sup>; MAURICIO FORNALSKI SOARES<sup>2</sup>; SAMUEL BESKOW<sup>3</sup>; LUANA NUNES CENTENO<sup>4</sup>; DOUGLAS RODRIGO KAISER<sup>5</sup>; LUÍS CARLOS TIMM<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [costagarciaangelo@gmail.com](mailto:costagarciaangelo@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [mauriciofornalski@gmail.com](mailto:mauriciofornalski@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [samuelbeskow@gmail.com](mailto:samuelbeskow@gmail.com)

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – [luananunescenteno@gmail.com](mailto:luananunescenteno@gmail.com)

<sup>5</sup>Universidade Federal da Fronteira Sul – [douglasrodrigokaiser@gmail.com](mailto:douglasrodrigokaiser@gmail.com)

<sup>6</sup>Universidade Federal de Pelotas – [lctimm@ufpel.edu.br](mailto:lctimm@ufpel.edu.br)

### 1. INTRODUÇÃO

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_{Sat}$ ) é um dos principais parâmetros físico-hídricos do solo, utilizados na modelagem hidrológica e elucidação de fenômenos ligados à dinâmica do sistema solo planta atmosfera (REICHARDT; TIMM, 2020). No entanto, devido à alta variabilidade espacial e temporal da  $K_{Sat}$ , bem como o esforço necessário para uma coleta de dados a campo, muitas vezes é difícil obter informações precisas de  $K_{Sat}$  em uma resolução mínima exigida pela maioria dos modelos hidrológicos disponíveis. (BECKER et al, 2018).

Neste sentido, métodos alternativos para estimativa da  $K_{Sat}$  têm sido utilizados, como as Funções de Pedotransferência (FPT). De acordo com BOUMA (1989), FPT são funções que estimam propriedades do solo mais complexas de serem obtidas a partir de outras propriedades disponíveis em bancos de dados de solos.

Devido sua praticidade e simplicidade, as regressões lineares múltiplas têm sido amplamente utilizadas na construção de FPT's (CORNELIS et al., 2001). A seleção de variáveis independentes que possam colaborar com o aprimoramento das estimativas da variável dependente normalmente é realizada a partir de correlações lineares, porém não há um consenso entre pesquisadores que este seja o método mais eficiente.

Neste contexto a aplicação de técnicas estatísticas multivariadas, como a análise de cluster, para seleção de variáveis independentes na modelagem de FPT's, pode ser utilizada, pois permite avaliar simultaneamente um conjunto de características, levando-se em consideração as relações entre estas (HAIR et al., 2009). Essas técnicas possibilitam inferências sobre conjuntos de dados em um nível de significância conhecido, permitindo assim ampla faixa de compreensão da distribuição geral dos resultados (BITENCOURT et al, 2016).

Diante disto, este estudo objetivou (i) selecionar variáveis dependentes por meio de estatística multivariada, aplicando a análise de cluster e (ii) gerar e validar funções de pedotransferência a partir de regressões lineares múltiplas.

### 2. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em uma malha experimental na bacia hidrográfica da Sanga Ellert (BHSE), localizada no município de Canguçu-RS, compreendendo uma área de drenagem de 0,66km<sup>2</sup>. O relevo regional varia de ondulado à forte ondulado, com altitude entre 310 e 420 metros e predomínio de vegetação de

mata ou arbustiva rala, sendo os solos rasos e esparsos entre afloramentos rochosos.

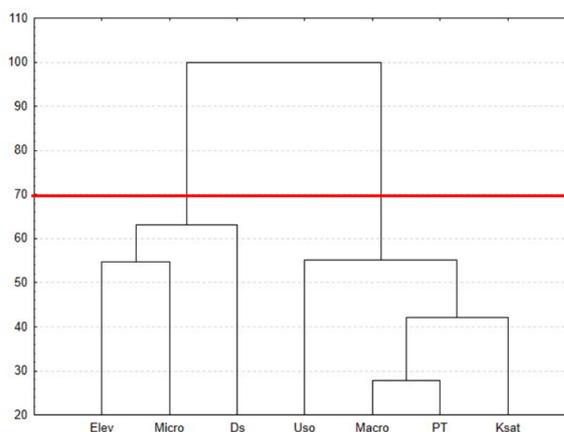
Em cada ponto da malha, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada (cilindros volumétricos) na camada de 0 - 0,20 m, para determinação da condutividade hidráulica de solo saturado ( $K_{sat}$ ), densidade do solo ( $D_s$ ), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro). As metodologias de determinações de todas as variáveis podem ser encontradas em EMBRAPA (1997). Com relação ao relevo, foi extraído o valor de elevação (Elev) de cada ponto amostral a partir do Modelo Digital de Elevação derivado da base cartográfica de HASENACK e WEBER (2010), na escala de 1:50.000. Em cada ponto, também foi identificado o tipo de uso do solo (USO), o qual foi categorizado a partir dos valores médios de  $K_{sat}$ , em função da sua magnitude.

Para a seleção das variáveis independentes foi aplicada a análise de cluster, contendo a distância Euclidiana e o método de *Ward's*. Após a formação do dendrograma seu corte foi estabelecido em relação às maiores distâncias em que os grupos foram formados, porém, levando em conta a não heterogeneidade dos dados dentro de cada grupo formado, sendo este feito a critério do pesquisador (HAIR et al., 2009).

A partir das variáveis pré-selecionadas foram elaboradas regressões lineares múltiplas para estimar a  $K_{sat}$ , as quais foram avaliadas através dos índices estatísticos: coeficiente de determinação ( $r^2$ ), erro médio (ME) e raiz quadrada do erro médio ao quadrado (RMSE). A soma de cada índice foi utilizada como critério para selecionar o modelo com melhor desempenho (CORNELIS et al., 2001).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o corte do dendrograma em 70%, foram obtidos dois grupos de variáveis, sendo o grupo contendo a  $K_{sat}$ , PT, Macro, Uso e  $D_s$ , o utilizado neste estudo, por serem variáveis com menor dissimilaridade para a estimativa da  $K_{sat}$  (Figura 1). Estas variáveis foram combinadas para a elaboração das FPT's e posteriormente realizada a validação dos modelos e avaliação do desempenho.



**Figura 1** – Dendrograma dos atributos físico-hídricos, topográfico e uso do solo da BHSE.

As PTF's foram geradas com 75% dos dados selecionados aleatoriamente, sendo os demais 25% utilizados para validar o modelo. A Tabela 1 apresenta os resultados das RLM's juntamente com suas métricas RMSE, ME e  $r^2$ , bem como o ranqueamento de Cornellis.

A PTF 6 apresentou os melhores resultados, no entanto, este modelo apresentou o mesmo  $r^2$  da PTF 3 e PTF 5. De acordo com o critério de ranqueamento de CORNELLIS (2001), a partir da soma de RMSE's e ME's,

podemos inferir que se trata do modelo de melhor desempenho entre todos os elaborados no presente trabalho.

Tabela 1 - Validação e desempenho dos modelos de estimativa da  $K_{sat}$  da BHSE.

Modelo	RMSE	ME	$r^2$	Rank
PTF 1 = $-0.672+0.080*Mac-1.395*PT$	0,62	-0,06	0,41	6
PTF 2 = $-2.013+0.0804*Mac+0.513*D_s$	0,62	-0,02	0,41	5
PTF 3 = $-2.25+0.0662*Mac+0.289*Uso$	0,64	0,003	0,42	2
PTF 4 = $-14.917+0.0801*Mac+12.901*PT+5.383*D_s$	0,63	-0,02	0,41	4
PTF 5 = $-1.858+0.0764*Mac-1.657*PT+0.315*Uso$	0,64	-0,001	0,42	3
PTF 6 = $-19.428+15.8*PT+0.076*Mac+0.326*Uso+6.625*D_s$	0,66	0,002	0,42	1

Mac – Macroporosidade; PT – Porosidade Total;  $D_s$  – Densidade do solo; Uso – Uso do solo; RMSE - raiz do erro quadrático médio; ME - erro médio;  $R^2$  - coeficiente de determinação.

É provável que a PTF 6 tenha apresentado melhores resultados devido ao maior número de variáveis independentes, fazendo com que o modelo se ajuste melhor a realidade observada. Já a PTF 3, segunda colocada no ranking, provavelmente obteve um bom desempenho devido a incorporação da macroporosidade e do uso do solo como variáveis independentes. A porosidade do solo, fundamentalmente a macroporosidade, constitui o principal caminho da água no solo restando evidente a aproximação destes atributos com a  $K_{sat}$  (LIU et al., 2018). Alguns estudos (KURNIANTO et al., 2018, LIU et al., 2018) sugerem que a  $K_{sat}$  é afetada pelo uso do solo, principalmente nas camadas superficiais. Isto se deve ao fato de que o manejo do solo promove modificações físicas nas camadas superficiais, alterando a dinâmica da água no solo.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise estatística multivariada demonstrou ser uma ferramenta útil para a seleção de variáveis independentes. O método de regressão linear múltipla modelou de forma satisfatória a condutividade hidráulica do solo saturado da bacia hidrográfica Sanga Ellert. Devido sua boa posição no ranking e sua praticidade (uso de apenas duas variáveis), a PTF 3 é a mais indicada.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BECKER, R.; GEBREMICHAEL, M.; MÄRKER, M. Impact of soil surface and subsurface properties on soil saturated hydraulic conductivity in the semi-arid Walnut Gulch Experimental Watershed, Arizona, USA. **Geoderma**, [s.l.], v. 322, p.112-120, jul. 2018. Elsevier BV.
- BITENCOURT, D et al. Multivariate and geostatistical analyses to evaluate lowland soil levelling effects on physico-chemical properties. **Soil and Tillage Research**, [s.l.], v. 156, p.63-73, mar. 2016. Elsevier BV.
- BOUMA, J. **Using soil survey data for quantitative land evaluation**. Advance in Soil Science, v. 9, p. 177-213, 1989.
- CORNELIS, Wim M. et al. Evaluation of Pedotransfer Functions for Predicting the Soil Moisture Retention Curve. **Soil Science Society of America Journal**, [s.l.], v. 65, n. 3, p.638-648, 2001. Soil Science Society of America.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212 p.

HAIR Jr., J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E. & TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre, Bookman, 2009. 688p.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).

KURNIANTO, S et al. The influence of land-cover changes on the variability of saturated hydraulic conductivity in tropical peatlands. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [s.l.], v. 24, n. 4, p.535-555, 19 mar. 2018. Springer Nature.

LIU, Z et al. Land use dependent variation of soil water infiltration characteristics and their scale-specific controls. **Soil and Tillage Research**, [s.l.], v. 178, p.139-149, mai. 2018. Elsevier BV.