

POTENCIAL DAS FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA EM CAPTURAR A ESTRUTURA DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO

MIGUEL DAVID FUENTES-GUEVARA¹; LUCIANA MARINI KOPP²; TONISMAR DOS SANTOS PEREIRA³; THIAGO RODRIGUES DA ROSA⁴ LUCIANA MONTEBELLO DE OLIVEIRA⁵; LUÍS CARLOS TIMM⁶

Universidade Federal de Pelotas – ¹miguelfuge@hotmail.com; ²lucianakopp@gmail.com; ³tonismarpereira@gmail.com; ⁴thiagorodrigues2000@outlook.com.br; ⁵lu.montebello@gmail.com; ⁶lctimm@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O uso de funções de pedotransferência (FPT) é muito amplo nas áreas de hidrologia, ciências ambientais e agrárias, devido a que as propriedades hidráulicas do solo estimadas pelas FPT são importantes para os modelos de armazenagem de água no solo, transporte de solutos e processos de infiltração e drenagem (SILVA et al., 2017).

A pesar da relevância das FPT como ferramentas úteis na geração de dados faltantes nos bancos de dados de atributos do solo, os quais servem como parâmetros de entrada nos modelos hidrológicos, ultimamente tem-se notado o indiscriminado uso das FPT desenvolvidas no mundo sem previamente avaliar-se as acurácias e incertezas nas estimações, perdendo-se assim confiabilidade nos resultados das estimações (MINASNY e HARTEMINK, 2011). Além disso, a maioria das FPT foram desenvolvidas para solos de clima temperado e também tem sido aplicadas indiscriminadamente em solos de clima tropical, os quais variam em relação à sua estrutura porosa, mineralogia, conteúdos de argila e silte, e atributos químicos e físicos (MINASNY e HARTEMINK, 2011), levando a que o desempenho e eficiência das FPT nas condições de clima tropical seja afetado.

A estimacão da curva de retenção de água no solo (CRAS) mediante FPT é uma das propriedades hidráulicas mais exploradas na literatura e dentre as classificações das FPT, o tipo mais utilizado são as FPT pontuais, as quais estimam o conteúdo de água no solo em pontos específicos de tensões da CRAS, assim, encontram-se na atualidade uma maior porcentagem de estudos que desenvolveram FPT pontuais.

Nota-se recentemente que há poucos estudos que avaliam a transferabilidade e aplicabilidade das FPT paramétricas na estimacão das propriedades hidráulicas do solo em condições de clima subtropical e principalmente a capacidade das mesmas em capturar a estrutura de dependência espacial (EDE) em grandes escalas.

Frente ao exposto anteriormente, o objetivo do trabalho foi avaliar a aplicabilidade e confiabilidade das FPT paramétricas de clima temperado e tropical para estimar o conteúdo de água no solo a escala de bacia hidrográfica em clima subtropical, também como os seus potenciais em capturar a estrutura de dependência espacial.

2. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica de Pelotas (BHP), localizada no estado de Rio Grande do Sul, tendo como ponto de controle e drenagem o Ponte Cordeiro de Farias com uma extensão de 370 km². Na BHP estabeleceu-se

uma transeção espacial de 25 km, começando desde o ponto de controle até o ponto mais distante na bacia em direção noroeste, procurando-se abranger o maior tipo de solos. Ao longo da transeção foram demarcados 100 pontos de coletas equidistantes entre si (250 m) com ajuda de um GPS, depois sendo plotados no mapa da bacia utilizando o software ArcGIS.

Em cada um dos pontos demarcados realizaram-se amostragens de solo na camada de 0-0.20 m, coletando-se amostras deformadas no centro da camada do solo para mensurar os conteúdos de argila, silte, areia e carbono orgânico. Adicionalmente, amostras indeformadas foram também coletadas no meio da camada utilizando anéis volumétricos para determinar a densidade do solo e conteúdo de água no solo retido em diferentes tensões. Seguidamente a CRAS foi construída pela medição do conteúdo de água no solo em sete pontos de potenciais matriciais $\theta(h)$ (0, -1, -6, -10, -33, -100 e 1.500 kPa).

Os dados dos atributos físico-hídricos do solo foram analisados mediante análise exploratória das estatísticas descritivas usando o software R versão 4.3.1 com ajuda do pacote "agricolae". Os dados referentes à CRAS medida em cada ponto da transeção foram ajustados ao modelo van Genuchten (1980)-Mualem (VGM), obtendo-se os parâmetros θ_r , α e n .

Seguidamente quatro FPT paramétricas (2 clima temperado e 2 clima tropical) foram selecionadas para estimar os parâmetros de VGM, sendo a seleção das mesmas de acordo às condições climáticas (temperado e tropical) dos solos e pela capacidade de abranger uma grande magnitude e variabilidade de amostras de diversos tipos de solos. Depois, escolheram-se os $\theta(h)$ -10, -33 e -1500 kPa para ser determinados a partir dos parâmetros de VGM estimados pelas FPT, com o objetivo de comparação com os dados medidos na transeção.

A confiabilidade dos modelos foi avaliada com respeito à correspondência entre os valores medidos e estimados, via índices estatísticos, tais como, o erro meio (ME), a raiz quadrada do erro meio (RMSE) e o coeficiente de determinação (r^2), seguido do ranqueamento das FPT mediante os índices de acordo à metodologia de CORNELIS et al. (2001).

A capacidade das FPT em descrever a EDE de cada valor de $\theta(h)$ escolhidos foi avaliada mediante análise geoestatística, utilizando-se o estimador robusto de CRESSIE e HAWKINS (1980) que tem a capacidade de quantificar a EDE entre as variáveis que incluem *outliers* e não apresentam normalidade. Assim, determinaram-se os semivariogramas experimentais tanto nos dados observados como os estimados de $\theta(h)$ mediante o pacote "gstat" no software R. Logo, os semivariogramas teóricos foram ajustados aos dados medidos de $\theta(h)$, onde o melhor ajuste obtido foi o modelo esférico. Para comparação, o mesmo modelo teórico foi ajustado aos dados estimados pelas FPT nos mesmos pontos de $\theta(h)$. Os parâmetros de ajustes de todos os modelos de semivariogramas foram determinados, tais como, efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C) e alcance (A). O grau de dependência espacial (GDE) de cada variável foi calculado por $GDE=C_0/C_0+C$ e classificado de acordo com o critério de CAMBARDELLA et al. (1994), o qual considera grau forte quando $GDE \leq 25\%$, moderado quando $25 < GDE \leq 75\%$, e fraco quando $GDE > 75\%$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo das estatísticas descritivas com a análise exploratória dos atributos do solo utilizados para examinar as FPT são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Estatísticas descritivas dos atributos do solo ao longo da transeção

Atributos do solo	Min	Max	Med.	DP	CV	Ass.	Curt.	K-S
Argila (%)	6.54	32.53	17.50	5.20	29.72	0.09	-0.24	0.05
Silte (%)	1.49	42.28	19.77	6.31	31.91	0.67	1.46	0.11
Areia (%)	35.70	91.57	62.73	9.72	15.50	-0.08	0.29	0.06
DS (g cm ⁻³)	1.06	1.68	1.43	0.14	9.82	-0.58	0.08	0.08
CO (%)	1.91	3.20	2.30	0.24	10.59	0.87	1.52	0.08
MO (g kg ⁻¹)	32.93	55.18	39.68	4.20	10.59	0.87	1.52	0.08

Min: valor mínimo; Max: valor máximo, Med: valor médio; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Ass: coeficiente de assimetria; Curt: coeficiente de curtose; K-S: teste de Kolmogorov-Smirnov (valor crítico: 0.136, para $\alpha=5\%$); DS: densidade do solo; CO: carbono orgânico; MO: matéria orgânica.

Os resultados na tabela 1 mostram que os atributos DS, CO e MO apresentaram baixa variabilidade ($CV < 15\%$) em relação à média e os atributos argila, silte e areia exibiram moderada variabilidade com CV entre 15 e 30%. Os valores de coeficiente de assimetria e curtose estiveram mais próximos de zero, apontando que as distribuições dos dados tenderam a ser normais, assim, os valores médios desses atributos podem ser considerados como o ponto central da distribuição. Esse fato é corroborado pelos padrões de frequência de todos os atributos que seguiram uma distribuição normal ao encontrar-se os valores do teste de Kolmogorov-Smirnov por debaixo do valor crítico de 0.136 ($P\text{-valor} < 0.05$).

Os desempenhos das FPT avaliadas para estimar $\theta(h)$ mostram-se na tabela 2, apresentando os índices estatísticos e os valores do ranqueamento.

Tabela 2. Desempenho das FPT para estimação do conteúdo de água no solo.

Valores θ	FPT	Clima	origem	ME	RMSE	R ²	Ran
-10 kPa	RASA	Temperado	EUA e Europa	0.1025	0.1232	0.26	3
	RLR8	Temperado	Hungria	0.1564	0.1794	0.00	4
	B4V	Tropical	Nordeste de Brasil	-0.0311	0.0644	0.42	1
	MLC	Tropical	Savana brasileira	0.0463	0.0706	0.48	2
-33 kPa	RASA	Temperado	EUA e Europa	0.1028	0.1206	0.30	3
	RLR8	Temperado	Hungria	0.1765	0.1977	0.00	4
	B4V	Tropical	Nordeste de Brasil	-0.0366	0.0695	0.35	2
	MLC	Tropical	Savana brasileira	0.0299	0.0622	0.44	1
-1500 Kpa	RASA	Temperado	EUA e Europa	-0.0429	0.0746	0.23	3
	RLR8	Temperado	Hungria	0.0609	0.1058	0.01	4
	B4V	Tropical	Nordeste de Brasil	-0.0353	0.0691	0.27	2
	MLC	Tropical	Savana brasileira	-0.0074	0.0594	0.27	1

RASA: ROSETTA (areia + silte + argila); RLR8: RAJKAI et al. (2004) regressão linear com oito variáveis; B4V: BARROS et al. (2013) modelo com quatro variáveis; MLC: MEDRADO e LIMA (2014) modelo completo. Ran: ranqueamento.

De forma geral os melhores desempenhos foram manifestados pelas FPT desenvolvidas para os solos de clima tropical, o qual pode ser atribuído à particularidade das propriedades físico-químicas e mineralógicas dos bancos de dados de solos utilizados, semelhante aos solo de clima subtropical localizados na transeção da BHP. De acordo com o ranqueamento, a FPT MLC obteve o

melhor desempenho com ranqueamento 1 para os $\theta(-33 \text{ kPa})$ e $\theta(-1500 \text{ kPa})$, apresentando os menores valores de ME 0.0299 e $-0.0074 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, RMSE 0.0622 e $0.0594 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e maiores r^2 0.44 e 0.27 respectivamente. Por outro lado, no $\theta(-10 \text{ kPa})$ o modelo B4V, também de clima tropical, apresentou o melhor desempenho. O pior desempenho foi manifestado pela FPT RLR8, obtendo nota 4 no ranqueamento e apresentando valores de r^2 próximos de 0 em todos os valores de $\theta(h)$ avaliados.

Avaliando-se a variabilidade espacial mediante a análise geoestatística encontrou-se que os dados de variância estiveram em concordância com os valores de patamar (C_0+C) para todos os conjuntos de dados medidos, confirmando que não há tendência nas séries. Para todos os dados medidos de $\theta(h)$ o GDE foi fraco ($GDE > 75\%$) e o alcance da dependência em média foi de 1200 m, valor muito maior ao leg de espaçamento amostrado na transeção, demonstrando uma dependência espacial em escalas superiores aos 250 m. Observando-se o potencial das FPT em representar a variabilidade espacial, a FPT B4V apresentou a maior proximidade com os valores dos parâmetros de ajuste dos semivariogramas das variáveis avaliadas ($\theta(h)$), porém mostrando baixo potencial em capturar a EDE de todos os conteúdos de água selecionados, tendo a tendência de suavizar a variabilidade dos atributos.

4. CONCLUSÕES

Neste estudo, as FPT paramétricas de clima temperado apresentaram os piores desempenhos em relação às FPT de clima tropical para estimar o conteúdo de água no solo nos diferentes potenciais matricos selecionados ao longo da transeção na BHP localizada em clima subtropical, e tanto as FPT paramétricas de clima temperado como as de clima tropical mostraram baixo potencial para capturar a estrutura de dependência espacial.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501–1511, 1994.
- CORNELIS, W. M.; RONSYN, J.; VAN MEIRVENNE, M.; HARTMANN, R. Evaluation of Pedotransfer Functions for Predicting the Soil Moisture Retention Curve. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 638–648, 2001.
- CRESSIE, N.; HAWKINS, D. M. Robust estimation of the variogram: I. **Journal of the International Association for Mathematical Geology**, v. 12, n. 2, p. 115–125, 1980.
- MINASNY, B.; HARTEMINK, A. E. Predicting soil properties in the tropics. **Earth-Science Reviews**, v. 106, p. 52–62, 2011.
- SILVA, A. C.; ARMINDO, R. A.; BRITO, A. dos S.; SCHAAP, M. G. An Assessment of Pedotransfer Function Performance for the Estimation of Spatial Variability of Key Soil Hydraulic Properties. **Vadose Zone Journal**, v. 16, n. 9, p. 1–10, 2017.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science society of American Journal**, v. 44, p. 892–897, 1980.