

AVALIAÇÃO DE FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA ESTIMATIVA DO PONTO DE SATURAÇÃO E DO PONTO DE MURCHA PERMANENTE DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO FRAGATA, SUL DO RS

JULIANE BORBA DE COUTO¹; MAURICIO FORNALSKI SOARES²; ANGELO GARCIA COSTA³; LUÍS CARLOS TIMM⁴; TAMARA LEITZKE CALDEIRA BESKOW⁵

¹Universidade Federal de Pelotas – jubleane@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – mauriciofornalski@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – costagarciaangelo@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – lctimm@ufpel.edu.br

⁵Universidade Federal de Pelotas – tamaraleitzkecaldeira@gmail.com

INTRODUÇÃO

A curva retenção de água no solo é uma importante propriedade hidrológica relacionada ao fluxo de água no solo, manejo de irrigação e produção das culturas, potencial erosivo, entre outros (REICHARDT; TIMM, 2020). Para a estimativa destes parâmetros em áreas extensas, como na escala de bacia hidrográfica, há a necessidade de recorrer ao uso de estimativas relacionando estes atributos hídricos com variáveis atmosféricas e outros dados de solos, eventualmente disponíveis em levantamentos pedológicos ou em banco de dados (McBRATNEY et al., 2002).

Devido à difícil determinação de algumas propriedades hidráulicas do solo, devido a custos elevados e tempo demandado, alguns pesquisadores propuseram equações de estimativa de atributos do solo chamadas de funções de pedotransferência (FPT), que são modelos matemáticos para estimativa de atributos de obtenção mais difícil a partir de outros de disponibilidade razoável. As funções de pedotransferência (FPT) desenvolvidas em condições edafoclimáticas semelhantes à de um determinado local podem apresentar bom desempenho na estimativa da umidade do solo em determinados pontos da curva de retenção. Por exemplo, para estimativa de pontos da curva de retenção de água no solo, usando informações básicas de análise do solo. (textura, carbono orgânico, porosidade, etc.) (MICHELON, 2010). Países em desenvolvimento, como o Brasil, onde é mais comum o monitoramento em grandes bacias hidrográficas, utilizam as FPT para calibração e validação de modelos hidrológicos, enquanto vários modelos demandam um grande número de informações temporais e espaciais, o que muitas vezes impede que sejam aplicados (CALDEIRA et al., 2018).

O objetivo deste trabalho foi avaliar duas funções de pedotransferência encontradas na literatura para os pontos de murcha permanente (1500kPa) e de saturação (0kPa) utilizando atributos hidrológicos do solo da Bacia Hidrográfica do Arroio Fragata, sul do Rio Grande do Sul

2. METODOLOGIA

O trabalho foi conduzido na bacia hidrográfica do Arroio Fragata (Bhaf), ao sul do estado do Rio Grande do Sul, na qual foi estabelecida uma transeção espacial de 15 km partindo da seção de controle fluviométrica “Passo dos Carros” em sentido noroeste. Nesta transeção foram coletadas 100 amostras deformadas e indeformadas de solo em pontos equidistantes 150m. Tendo em vista os

atributos físicos e hidrológicos do solo determinados, foi realizada uma busca na literatura por funções de pedotransferência que permitissem, através destes, determinar a umidade nos pontos de saturação (0 kPa) e de murcha permanente (1500kPa) da curva de retenção de água do solo. Foram priorizadas as funções de pedotransferência desenvolvidas para condições edafoclimáticas semelhantes as da área de estudo. Neste sentido, avaliaram as FPTs de Obalum; Obi (2012) (eq. 1 e 2) e de Michelin et al. (2010) (eq. 3 e 4).

$$\Theta_0 = 47.244 + 12.122\text{MOS} \quad (\text{eq. 1})$$

$$\Theta_{1500} = 4.995 + 0.497 (\text{Argila.DS}) + 0.082\text{Areia} \quad (\text{eq. 2})$$

$$\Theta_0 = 0,2255 - 0,0804\text{DS} + 0,5122\text{Mic} + 0,4115\text{PT} \quad (\text{eq. 3})$$

$$\Theta_{1500} = -0,1974 + 0,1093\text{Dp} - 0,3050\text{Mac} + 0,0011\text{Silte} + 0,0024\text{Argila} \quad (\text{eq. 4})$$

Os dados foram submetidos à estatística descritiva, com o propósito de uma análise exploratória e avaliação do comportamento da distribuição. Para tal, foram calculadas as medidas de posição (média aritmética e mediana), de dispersão (desvio padrão, variância e coeficiente de variação) e as que indicam o formato da distribuição (coeficientes de assimetria e curtose). Além disso, foi também realizado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, o qual verifica a normalidade dos dados.

Os resultados das estimativas de umidade do solo obtidas pelas FPT's empregadas neste trabalho foram comparados aos resultados obtidos quando da determinação da curva de retenção para cada ponto da transeção. Os indicadores estatísticos utilizados para avaliar o desempenho das FPTs foram o erro médio (ME), a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) e o coeficiente de determinação. O RMSE é um indicador da exatidão da estimativa, revelando a tendência da FPT de superestimar os valores se positivo ou de subestimar se negativo, enquanto que o ME quantifica a dispersão dos valores medidos e estimados em torno da linha 1:1. Os valores estimados pelas FPTs e os medidos de cada variável também foram plotados em gráficos 1:1 para uma inspeção visual do desempenho das mesmas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 1 permitem visualizar que, de acordo com a classificação de Wilding e Drees (1983) os coeficientes de variação (CV) para ponto de saturação (Θ_s), matéria orgânica do solo (MOS), Areia, porosidade total (PT) e densidade do solo (DS) são considerados baixos ($CV \leq 15\%$), enquanto os valores de ponto de murcha permanente (Θ_{PMP}), Argila e microporosidade do solo (Mic) os CV foram considerados moderados ($15\% < CV \leq 35\%$) e apenas para Silte foi considerado alto ($CV \leq 35\%$). Apenas as séries de dados do Θ_s , MOS e Mic tiveram suas distribuições de frequência normal de acordo com o p-valor do teste de Kolmogorov-Smirnov. A FPT Θ_0 desenvolvida por Obalum e Obi (2012) possui dentre as variáveis independentes a densidade de partícula (Dp), atributo este indisponível no banco de dados. O valor médio de $2,65 \text{ g.cm}^3$ foi adotado para o cálculo desta FPT (eq. 1).

Tabela 1: Análise exploratória e teste de normalidade dos dados da transeção da BHAF

Atributo	\hat{X}	Med	S ²	CV	Ass.	Curt	KS	Norm.
$\Theta_s(0\text{kPa})$	0,4	0,4	32.6	13.5	0.6	0.4	0.12	Sim
$\Theta_{PMP}(1500\text{kPa})$	0.2	0.2	0.0	28.8	1.3	3.1	0.03	Não
MOS	3.8	3.8	0.1	9.2	0.8	1.0	0.06	Sim
Argila	16.8	15.5	29.2	32.2	1.6	3.7	0,00	Não
Areia	64.8	66.1	85.1	14.2	-1.9	5.9	0,00	Não
Silte	18.4	16.7	45.6	36.7	2.6	9.4	0,00	Não
PT	42.4	41.6	32.6	13.5	0.6	0.4	0,00	Não
Mic	29.4	28.9	31.0	18.9	0.8	0.8	0.15	Sim
DS	1.5	1.5	0.0	9.5	-1.0	0.8	0,00	Não

\hat{X} : média; Med.: mediana; CV%: S²: variância; Ass.: coeficiente de assimetria; Curt: coeficiente de curtose; coeficiente de variação; KS: Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov(p-valor); Norm: normalidade

Mesmo sem a disponibilidade da Dp, as FPT's desenvolvidas por Obalum e Obi (2012) apresentaram melhores resultados tanto para Θ_0 quanto para o Θ_{PMP} (Tabela 1). Ambas apresentaram um melhor ajuste de acordo com o r^2 . De acordo com os valores de RMSE é possível observar que todas as FPT's subestimaram os valores das séries originais, sendo que a FPT Θ_0 de Obalum e Obi (2012) apresentou o menor valor. Entre as FPT's Θ_{PMP} , a de Michelin et. al (2010) apresentou um resultado bastante instável, com forte subestimação da Θ_{PMP} .

Tabela 2: Resultados métricos das FPT's avaliadas para os dados da BHAF

FPT	RMSE	ME	r^2
eq. 1	0,06	-0,03	0.4
eq. 2	0,08	-0,06	0.3
eq. 3	0,10	-0,09	0.6
eq. 4	0,13	-0,12	0.05

RMSE - raiz do erro quadrático médio; ME - erro médio; R^2 - coeficiente de determinação.

Os gráficos de dispersão entre os valores medidos e estimados pelas FPT's (Fig. 1) mostram o desempenho superior das FPT's de Obalum; Obi (2012). Nos gráficos de dispersão para estas FPT's (fig. 1a e 1c) verifica-se que os pontos estão próximos da linha 1:1 e com pouca dispersão. Para as FPT's Michelin et. al (2010), a referente ao ponto Θ_0 (Fig. 1b) apresentou relativa simetria de distribuição dos pontos em relação a linha 1:1, embora bastante subestimada. A FPT's de Michelin et. al (2010) para o ponto Θ_{PMP} apresentou o pior resultado, com grande dispersão e assimetria em relação a linha 1:1.

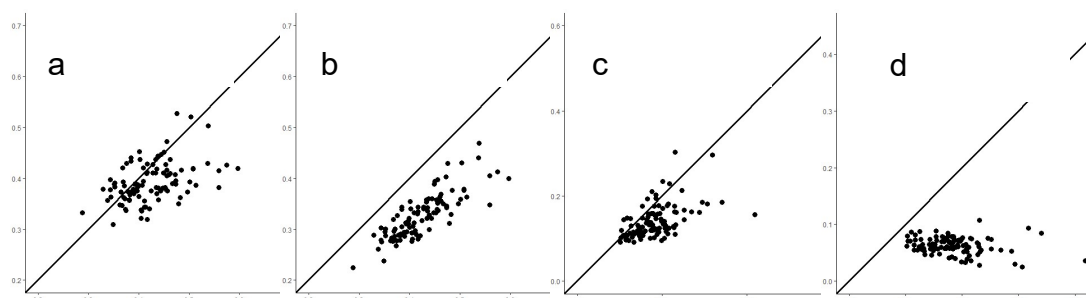


Figura 1: Gráficos de dispersão para o resultado das funções de pedotransferência avaliadas; a: Θ_s Obalum e Obi (2012); b: Θ_s Michelin et. al (2010); c: $\Theta_{PMP}(1500\text{kPa})$ Obalum e Obi (2012); d: Θ_{PMP} Michelin et. al (2010).

4. CONCLUSÕES

Os melhores desempenhos de predição foram obtidos pelas funções de pedotransferência propostas por Obalum e Obi (2012) para a tensão de Θ_{PMP} e Θ_s , respectivamente. Das funções de pedotransferência desenvolvidas por Michelin et. al (2010), aquela referente ao ponto Θ_s teve um desempenho relativamente melhor. Excluindo-se a função de pedotransferência para o ponto Θ_{PMP} desenvolvida por Michelin et. al (2010), os resultados foram satisfatórios e possivelmente poderão ser empregados como fontes de dados para modelagem hidrológica na BHAF.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALDEIRA, T.L. ; OLIVEIRA, V.A. ; STEINMETZ, A. A. ; VIOLA, M.R. ; BESKOW, S. Modelagem hidrológica determinística chuva-vazão em bacias hidrográficas: uma abordagem introdutória. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**. ISSN 2448-1661 Pelotas, RS, UFPel-Ceng <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/RBES/index> v.5, n.1, p.22-32, jul. 2018.

CHAKRAVARTI, I.M.; LAHA, R.G.; ROY, J. **Kolmogorov-Smirnov (K-S) test**. In: **Handbook of Methods of Applied Statistics**, V. I, p. 392-394, 1967. New York: Wiley.

MCBRATNEY, A.B; MINASNY, B.; CATTLE, S.R.; VERVOORT, R.W. From pedotransfer functions to soil inference systems. **Geoderma**, v.109, n.1-2, p. 41-73, 2002.

MICHELON, Cleudson Jose; Carlesso, Reimar; Oliveira, Zanandra Boff de; Kniesl, Alberto Eduardo; Petry, Mirta Teresinha; Martins, Juliano Dalcin. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.40, n.4, p.848-853, abr, 2010.

OBALUM, Sunday E; OBI, Martin E; Moisture characteristics and their point pedotransfer functions for coarse-textured tropical soils differing in structural degradation status. **HYDROLOGICAL PROCESSES Hydrol. Process.** (2012) Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/hyp.9398.

REICHARDT K, TIMM LC (2020) **Soil, plant and atmosphere: concepts, processes and applications**. Springer, Basel

WILDING L.P., DREES L.R. (1983) **Spatial variability and pedology**. Elsevier, New York,