

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA MEDIDA EM CAMPO E MODELADA PELO SOFTWARE HYDRUS-1D NO ACURIZAL (PANTANAL) E NO CERRADÃO

Larissa Leite Pavão¹; Luciana Sanches²; Osvaldo Borges Pinto Júnior³; Jonas Spolador⁴; Nara Luísa Reis de Andrade⁵; Carlos Roberto Ribeiro Malhado⁶; Vanessa Rakel de Moraes Dias⁷, & Cristiano Gabriel Persch⁸

Abstract: Saturated hydraulic conductivity (K_s), measured directly in the field using a dual-pressure infiltrometer (Dual Head) installed *in situ*, represents a significant advance in the physical-hydrological characterization of natural areas, especially when it contributes to the validation of predictive models based on pedotransfer functions, such as those implemented in the Hydrus-1D software. In this study, K_s was evaluated in two distinct phytophysionomies in the state of Mato Grosso: the Acurizal (Pantanal) and the Cerradão. K_s measurements were carried out using a DualHead infiltrometer along a transect with six sampling points in Acurizal and a transect with ten sampling points in Cerradão. K_s modeling in the Hydrus-1D software was performed based on soil physical attributes such as texture and density. Both soils were classified as sandy clay loam, with the Acurizal showing higher porosity, lower density, and better infiltration capacity. The results revealed high variability in the measured K_s data ($cv > 66\%$) and lower dispersion in the estimates, which tended to underestimate, especially in the Cerradão. Both study areas showed good permeability, with the variability of K_s being greater in the measured data than in the estimated values. However, Hydrus-1D proved to be limited in estimating K_s for the typical eutrophic haplic Planosol in the Pantanal and the dystrophic red-yellow Latosol in the Cerrado of Mato Grosso. This study reinforces the importance of field measurements for the validation of predictive models and contributes to improving hydrological modeling in Brazilian tropical ecosystems.

Resumo: A condutividade hidráulica saturada (K_s), medida diretamente em campo com o uso de infiltrômetro de dupla pressão (DualHead) instalado *in situ*, representa um avanço importante na caracterização físico-hídrica de áreas naturais, especialmente quando contribui para a validação de modelos preditivos baseados em funções de pedotransferência, como os implementados no software Hydrus-1D. Neste estudo, avaliou-se a K_s em duas fitofisionomias distintas do estado de Mato Grosso: o Acurizal (Pantanal). As medições de K_s foram realizadas com infiltrômetro DualHead em transecto com seis pontos amostrais no Acurizal, e em transecto com dez pontos amostrais no

1) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Fernando Correa da Costa, 2367, Cuiabá-MT, 78060-900, Brasil. e-mail: larissaleite.engamb@gmail.com

2) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Fernando Correa da Costa, 2367, Cuiabá-MT, Brasil. e-mail: luciana.sanches@ufmt.br

3) Departamento de Ciências Ambientais, Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade de Cuiabá. Av. Beira Rio, 3100, Cuiabá-MT, 78065-443, Brasil, e-mail: osvaldo.borges@gmail.com

4) Instituto Federal de Mato Grosso, Rua Professora Zulmira Canavarros, 95, Cuiabá-MT, 78005-200, Brasil, e-mail: jonas.spolador@blv.ifmt.edu.br

5) Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná-RO, 76900-726, Brasil, e-mail: naraluisar@unir.br

6) Departamento de Ciências Ambientais, Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade de Cuiabá. Av. Beira Rio, 3100, Cuiabá-MT, 78065-443, Brasil, e-mail: malhadocrr@gmail.com

7) Universidade do Estado de Mato Grosso, CPEDA, Rod. MT 358, km 07, Jd. Aeroporto, Tangará da Serra-MT, 78300-000, Brasil. e-mail: vrmdias@hotmail.com

8) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso. Av. Fernando Correa da Costa, 2367, Cuiabá-MT, Brasil. e-mail: cristiano.persch@ufmt.br

Cerradão. A modelagem da K_s no software Hydrus-1D foi realizada a partir de atributos físicos do solo, como textura e densidade. Ambos os solos foram classificados como franco-argilo-arenosos, sendo que o Acurizal apresentou maior porosidade, menor densidade e melhor capacidade de infiltração. Os resultados revelaram alta variabilidade nos dados medidos de K_s ($cv > 66\%$) e menor dispersão nas estimativas, que tenderam à subestimação, especialmente no Cerradão. Ambas as áreas de estudo apresentaram boa permeabilidade, sendo que a variabilidade da K_s foi maior nos dados medidos do que nos estimados. No entanto, o Hydrus-1D mostrou-se limitado para estimar a K_s do planossolo háplico eutrófico típico, na área do Pantanal, e do latossolo vermelho-amarelo distrófico, no Cerrado mato-grossense. Este estudo reforça a importância das medições de campo para a validação de modelos preditivos e contribui para o aprimoramento da modelagem hidrológica em ecossistemas tropicais brasileiros.

Palavras-Chave – atributos físicos do solo, modelagem hidrológica, pedotransferência, planície de inundação, savana florestada.

INTRODUÇÃO

O Pantanal é um bioma majoritariamente brasileiro, caracterizado por ser a maior planície de inundação do mundo, com uma área de aproximadamente 140.000 km² somente em território nacional (Gonçalves et al., 2011; Marques et al., 2017). No Brasil, está localizado na região Centro-Oeste, sendo alimentado pelo rio Paraguai e seus afluentes, cujas nascentes se encontram nos planaltos circundantes (Alho et al., 2019). O bioma abrange partes dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo que 34,27% de sua área está situada no Mato Grosso e 65,73% no Mato Grosso do Sul (Silva et al., 1998). Uma particularidade da sua relevância ecológica são os pulsos sazonais de inundação que influenciam os processos ecofisiológicos e energéticos do ecossistema (Silva e Abdon, 1998; Lorenzon et al., 2012; Rebellato et al., 2012; Novais et al., 2016). Além disso, a interação entre o regime de inundações e as características do solo e relevo resulta na ocorrência de diferentes fitofisionomias que compõem esse bioma (Pott e Adámoli, 1999; Carneiro, 2015). Uma dessas fitofisionomias é o Acurizal, assim denominado devido à dominância da palmeira Acuri (*Scheelea phalerata* (Mart. ex Spreng.) Burret), considerada uma espécie invasora, sobretudo em áreas de interflúvio. Sua presença é frequentemente associada a solos férteis (Negrelle, 2015).

Outro bioma de grande relevância ambiental, tanto por sua extensão quanto por suas particularidades vegetativas e hidrológicas, é o Cerrado. Trata-se do segundo maior bioma da América do Sul em extensão, com aproximadamente 2.039.386 km², o que corresponde a cerca de 25% do território brasileiro (Klink e Machado, 2005). Sua área contínua abrange os estados da Bahia, Maranhão, Piauí, Tocantins, Rondônia, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e o Distrito Federal (Silva et al., 2008).

Localizado majoritariamente na porção central do país, no Planalto Central Brasileiro, região de altitudes elevadas, o Cerrado exerce papel fundamental na distribuição dos recursos hídricos do Brasil. É nele que se originam importantes regiões hidrográficas brasileiras e sul-americanas, sendo que suas águas alimentam oito das doze regiões hidrográficas brasileiras, fenômeno conhecido como “efeito guarda-chuva”.

A vegetação do Cerrado é composta por formações campestres, savânicas e florestais, as quais apresentam diferentes fitofisionomias que variam em densidade e porte das espécies florísticas. Áreas com maior fertilidade do solo tendem a abrigar uma vegetação mais diversa (Ribeiro et al., 2011; Vourlitis et al., 2013; Roquette, 2018). Dentre essas formações, destaca-se a florestal, o Cerradão,

uma floresta de terra firme composta predominantemente por árvores altas, com altura entre 8 e 10 metros, incluindo espécies como *Astronium fraxinifolium* Schott, *Aspidosperma subincanum* Mart., *Rhamnidium elaeocarpum* Reiss. e *Curatella americana* L. (Vourlitis et al., 2013).

Apesar da relevância hidrológica dos biomas Cerrado e Pantanal, ainda são escassos os estudos que abordam os processos físicos do fluxo de água em áreas naturais, dificultando a aplicação de modelos preditivos no sistema solo–planta–atmosfera. A compreensão das trocas de massa entre a superfície e a atmosfera exige o entendimento dos processos físico-hídricos no solo, sendo a condutividade hidráulica uma variável essencial, por expressar a facilidade de movimentação da água no solo e influenciar diretamente a infiltração e o escoamento superficial (Gonçalves e Libardi, 2013).

Embora existam métodos consolidados para sua medição, a determinação da condutividade hidráulica em campo é onerosa e complexa, o que torna atrativa a utilização de modelos baseados em atributos do solo como preditores dessa variável (Bocuti et al., 2020). As chamadas Funções de Pedotransferência (FPTs) utilizam dados de fácil obtenção, como textura, porosidade, densidade e teor de água, para estimar propriedades de medição mais difícil, como a condutividade hidráulica e a curva de retenção de água no solo (Bouma, 1989; Caviglione, 2018).

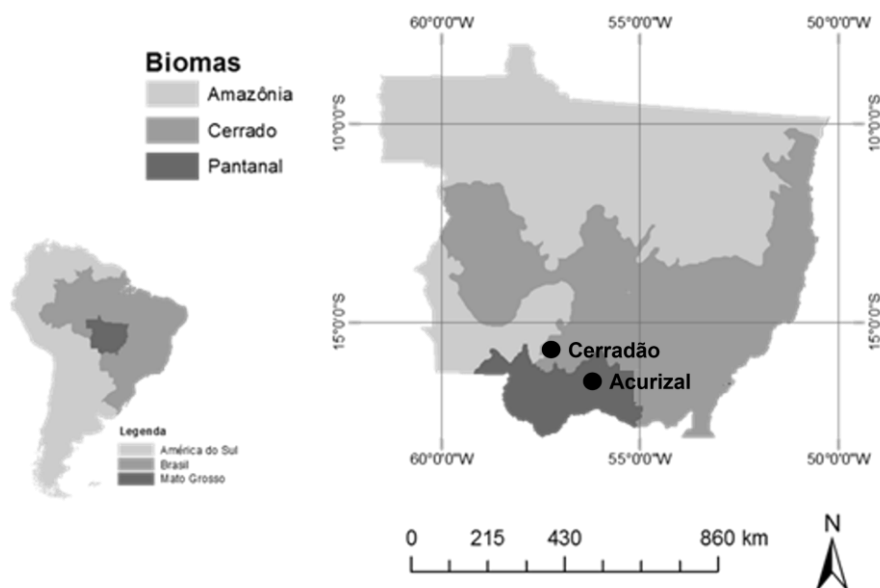
O objetivo deste trabalho foi avaliar a condutividade hidráulica saturada (K_s), tanto por meio de medições em campo quanto por modelagem utilizando o software Hydrus-1D, em duas fitofisionomias distintas do estado de Mato Grosso: o Acurizal, no Pantanal, e o Cerradão.

MATERIAL E MÉTODOS

Áreas de estudo

O estudo foi realizado em duas áreas naturais no estado de Mato Grosso (Figura 1).

Figura 1 – Localização geográfica do Brasil e do estado de Mato Grosso na América do Sul; distribuição espacial dos biomas Floresta Amazônica, Pantanal e Cerrado em Mato Grosso e localização geográfica das áreas de estudo.



A primeira localiza-se no Acurizal, no Parque Baía das Pedras, parte da Estância Ecológica do SESC Pantanal, no município de Poconé (16°30'15''S, 56°24'15''O), caracterizada como floresta semidecídua dominada por *Scheelea phalerata*, com alta diversidade florística (Hofmann et al., 2010;

Sanches et al., 2015; Vourlitis et al., 2017). O solo é um Planossolo Háplico Eutrófico Típico, de textura franco-arenosa a franco argilo-arenosa, com porosidade de $0,45 \text{ m}^3/\text{m}^3$, pH 6,4 e teor médio anual de carbono de $27,55 \text{ g/kg}$ (Pavão et al., 2019; Dias, 2015). O clima é tropical (Aw), com estação seca no inverno (Alvares et al., 2013; Cunha e Junk, 2004; Vourlitis e Rocha, 2011; Hofmann et al., 2010).

A segunda área é um Cerradão localizado na Fazenda Miranda, em Santo Antônio do Leverger ($15^\circ 43' 40.5''\text{S}$, $56^\circ 04' 45.6''\text{O}$), com latossolo vermelho-amarelo distrófico, superfície cascalhenta, boa drenagem e vegetação arbórea alta (8–10 m) (Vourlitis et al., 2013). Essa fitofisionomia representa cerca de 1% do bioma Cerrado e é classificada como savana florestada ou woodland, com clima tropical semiúmido (Aw), duas estações bem definidas, precipitação anual superior a 1200 mm e temperatura média de $26,3 \pm 0,9^\circ\text{C}$ (Fonseca, 2008).

Medição in loco da condutividade hidráulica saturada do solo (K_s)

Ensaio de condutividade hidráulica saturada (K_s) foram realizados em cada um dos pontos delimitados nas áreas de estudo, adjacentes ao ponto de amostragem de solo. As medições foram realizadas por um infiltrômetro de dupla carga (DualHead infiltrometer, Decagon Device, Estados Unidos, 2016) em abril de 2016 no Acurizal e no Cerradão em novembro e dezembro de 2018, e janeiro de 2019. Em ambos os casos, os ensaios de condutividade ocorreram simultâneos com as coletas de solo dos respectivos pontos de coleta.

O infiltrômetro de dupla carga é um infiltrômetro de pressão, que armazena água no topo do solo, e usa a pressão do ar para criar duas cargas de pressão diferentes. Ele mantém automaticamente os níveis corretos de água e mede as taxas de infiltração por meio de dois ciclos de pressão completos, cada ciclo é composto por dois períodos de mesma duração, um com a pressão sendo mantida em uma carga alta e o outro com a pressão mantida em uma carga baixa. A unidade de controle coleta todos os dados e calcula a média desses dados em duas pressões diferentes e, desta forma, determina a condutividade hidráulica saturada de campo (K_s).

Modelagem da condutividade hidráulica saturada do solo (K_s) pelo Hydrus-1D

As estimativas da condutividade hidráulica saturada (K_s) foram feitas por meio do software Hydrus-1D, utilizando-se como parâmetros de entrada os dados geometria do sistema solo. Esse processo foi feito por meio de uma rotina de redes neurais, denominada Rosetta, a qual implementa funções de pedotransferência (FPTs) que preveem os parâmetros de van Genuchten (θ_r , θ_s , α , n e K_s) de forma hierárquica, utilizando dados de textura e densidade dos solos estudados, para estimar os parâmetros hidráulicos do solo (Šimůnek et al., 2005; Šimůnek et al., 2012; Van Genuchten et al., 1980).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise da condutividade hidráulica saturada (K_s) indicou alta heterogeneidade nos valores medidos, especialmente no Acurizal, onde a média foi de $69,9 \pm 49,15 \text{ mm/h}$. A amplitude de $115,92 \text{ mm/h}$ e o coeficiente de variação próximo de 70% evidenciam a elevada variabilidade dos dados (Figura 2; Tabela 1). No Cerradão, a média da K_s medida foi $69,50 \pm 46,19 \text{ mm/h}$. A amplitude, $165,35 \text{ mm/h}$, também superou a média o que refletiu no elevado coeficiente de variação de 66,45% (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

Figura 2 – Condutividade hidráulica saturada (K_s , mm/h) medida com o infiltrômetro Dual Head e estimada pelo software Hydrus-1D no Acurizal e no Cerradão.

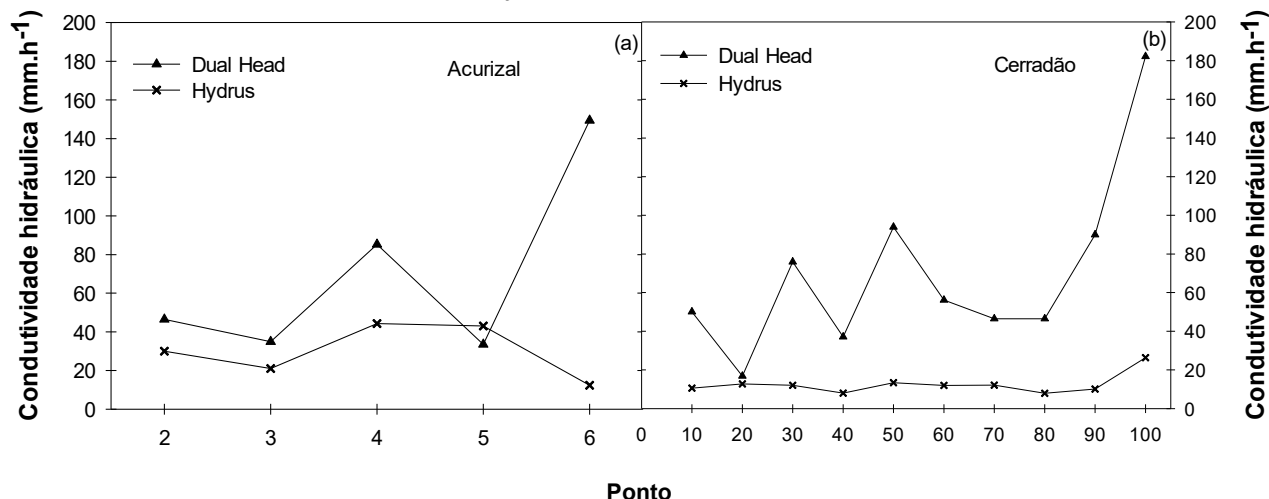


Tabela 1 – Média, amplitude (AM), desvio padrão (\pm DP) e coeficiente de variação (CV) das condutividades hidráulicas medidas e estimadas no Acurizal e no Cerradão.

Área de estudo	k_s	Média (mm/h)	AM (mm/h)	\pm DP (mm/h)	CV (%)
Acurizal	medida	69,90	115,92	49,15	70,30
	estimada	30,14	31,87	13,82	45,85
Cerradão	medida	69,51	165,35	46,19	66,45
	estimada	12,52	18,39	5,19	41,46

Os dados estimados de K_s no Acurizal apresentaram uma dispersão menor do que os dados medidos. A média da K_s estimada foi $30,14 \pm 13,82$ mm/h. A amplitude, 31,87 mm/h, se aproximou mais da média estimada, quando comparada com a média da K_s medida, contudo, ainda foi superior à média. Consequentemente, o coeficiente de variação também foi menor com valor aproximado de 45,8%.

A menor variabilidade dos dados estimados de condutividade hidráulica saturada em relação aos medidos, também ocorreu no Cerradão. Em geral, a média de K_s estimada foi $12,52 \pm 5,19$ mm/h, a amplitude entre a K_s medidos foi 18,38 mm/h e o CV 41,46%. De acordo com os critérios de Warrick e Nielsen (1980), a variabilidade dos dados medidos foi considerada alta ($CV > 62\%$), enquanto a variabilidade dos dados estimados foi considerada média ($12\% < CV < 62\%$). Essa acentuada variabilidade da K_s tanto em estimativas como em medições também foi verificada por Bernardes (2005), Marques et al. (2008), podendo ser atribuída à heterogeneidade natural do solo e a fatores como macroporosidade, distribuição de partículas, densidade do solo e infiltrações preferenciais, como ao longo de raízes.

A menor variabilidade nos dados estimados neste trabalho, pode ser atribuída a homogeneidade dos valores dos atributos físicos do solo que serviram de parâmetro de entrada para a estimativa da K_s .

No Cerradão, a subestimativa da K_s pelo modelo foi mais acentuada em relação ao Acurizal. Embora as áreas apresentem textura semelhante, a maior densidade do solo no Cerradão pode ter sido interpretada pelo modelo como um fator de restrição ao fluxo de água. Isso ocorre porque solos mais densos tendem a ter maior proporção de microporos em relação aos macroporos (Tormena et al.,

2002), e o fluxo de água ocorre preferencialmente nos macroporos (Soracco et al., 2012), enquanto os microporos retêm a água. No Acurizal, não foram observadas correlações significativas entre as condutividades hidráulicas (medida e estimada) e os atributos físicos do solo (Tabela 2).

Por outro lado, no Cerradão, essas relações foram mais evidentes: a K_s medida apresentou correlação positiva com a fração silte ($r = 0,72$) e negativa com a fração argila ($r = -0,93$), enquanto a K_s estimada correlacionou-se negativamente com a fração argila ($r = -0,94$) e positivamente com a fração areia ($r = 0,75$) (Tabela 2).

Tabela 2 – Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a condutividade hidráulica saturada medida e a estimada e os atributos físicos do solo no Acurizal e no Cerradão (Densidade do solo (DS), umidade volumétrica (UV), Porosidade total (PT) e as frações granulométricas silte, argila e areia. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: p -valor $\leq 0,05$ (*); (**) p -valor $\leq 0,01$; (***) p -valor $\leq 0,001$

Área de estudo	K_s	DS	UV	PT	Silte	Argila	Areia
Acurizal	medida	0,184	-0,474	-0,489	0,182	-0,235	-0,096
	estimada	-0,185	0,217	0,237	0,451	0,513	-0,526
Cerradão	medida	-0,420	-0,127	0,018	0,716**	-0,931***	0,561
	estimada	-0,660*	-0,030	0,304	0,514	-0,939***	0,753*

A correlação positiva com o silte pode ocorrer pelo fato dessa fração ter pequena ou nenhuma viscosidade ou plasticidade, conseqüentemente, uma massa úmida com presença de silte poderá apresentar fissuras pela falta de plasticidade. Sendo assim, o material siltoso será carregado pelo fluxo de água, aumentando as fissuras e conduzindo mais água.

Já a correlação inversa da condutividade hidráulica com a argila pode ocorrer pela diminuição de macroporos, resultante da presença dessa fração granulométrica, já que as menores frações granulométricas tendem a ocupar os maiores espaços vazios, formados entre as partículas de maior diâmetro (areia) o que reflete em maior porção de microporos, os quais retêm a água no solo e, como consequência, há diminuição do fluxo. Isso explica também a correlação positiva entre a condutividade hidráulica estimada e a areia, uma vez que o fluxo de água se dá preferencialmente através dos macroporos.

Os indicadores estatísticos do desempenho do modelo Hydrus-1D na estimativa da condutividade hidráulica saturada no Acurizal e no Cerradão estão apresentados na Tabela 4. No Acurizal não houve correlação significativa entre os dados de K_s estimados e os medidos ($r=0,49$). No Cerradão, entre a K_s medida e a modelada houve correlação de 0,84.

Tabela 3 – Indicadores estatísticos para análise de desempenho do modelo Hydrus-1D na estimativa da condutividade hidráulica saturada no Acurizal e no Cerradão. Coeficiente de correlação de Pearson (r), Índice de concordância de Willmott (d), Erro Médio Absoluto (MAE; mm/h), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE; mm/h) e Erro Médio Percentual Absoluto (MAPE; %) obtidos entre a K_s medida e a K_s estimada no Acurizal e no Cerradão.

Área de estudo	p -valor	r	d	MAE	RMSE	MAPE
Acurizal	0,3965	0,49	0,41	43,59	64,84	0,49
Cerradão	0,0022	0,84	0,44	56,99	69,49	0,76

A menor correlação entre a K_s medida e a estimada no Acurizal quando comparada com Cerradão pode ter ocorrido devido ao fato do número de amostras coletadas no Acurizal ser insuficiente para que fossem notadas possíveis correlações. Isso porque o número de dados medidos de K_s no Acurizal correspondeu a metade do número de dados de K_s do Cerradão.

O índice de Willmott foi inferior que 0,5 nas duas áreas de estudo, sendo $d=0,41$ e $d=0,44$ no Acurizal e Cerradão, respectivamente. O MAE, a RMSE e o MAPE apresentaram resultados elevados para os dois locais, mostrando que os valores estimados foram discrepantes dos valores medidos, o que indica limitação do modelo em relação as previsões da K_s nos solos estudados.

De acordo com Dias e Soares (2019), a limitação do Hydrus-1D na estimativa de alguns parâmetros hidráulicos do solo, provavelmente suceda em função do processamento das variáveis ocorrer por análises de redes neurais que possuam poucas fontes de dados referentes a solos brasileiros e que, portanto, resulte em erros.

CONCLUSÕES

Este estudo conclui que as variáveis micrometeorológicas e o vigor da vegetação apresentam sazonalidade influenciada pelas condições geográficas e fitofisionômicas; que os solos do Pantanal e do Cerradão possuem textura franco-argilo-arenosa, com maior porosidade e melhor infiltração no Acurizal, onde a densidade e a textura foram suficientes para boa estimativa da K_s pelo Hydrus-1D; que a variabilidade da K_s foi maior nos dados medidos do que nos estimados em ambas as áreas, com boa permeabilidade geral; e que o Hydrus-1D mostrou limitações na estimativa da K_s em ambos os tipos de solo, destacando-se como ferramenta auxiliar e não substitutiva da medição de campo na modelagem físico-hídrica de áreas naturais.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua sincera gratidão às instituições que apoiaram o desenvolvimento desta pesquisa: Universidade Federal de Mato Grosso, Universidade de Cuiabá. E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, por meio da concessão de bolsa de doutorado à Larissa Leite Pavão (CNPq 3720177).

REFERÊNCIAS

- ALHO, C. J. R.; MAMEDE, S. B.; BENITES, M.; ANDRADE, B. S.; SEPÚLVEDA, J. J. O. (2019). “Ameaças à biodiversidade do Pantanal brasileiro devido ao uso e ocupação do solo”. *Ambiente e Sociedade*, v. 22.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. (2013). “Köppen’s climate classification map for Brazil”. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, pp. 711–728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BERNARDES, R. S. (2005). *Condutividade hidráulica de três solos da região Norte Fluminense*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Campos dos Goytacazes-RJ.
- BOCUTI, E.; AMORIM, R. S. S.; DI RAIMO, L. A. DI L.; MAGALHÃES, W. A.; AZEVEDO, E. C. (2020). “Condutividade hidráulica efetiva e sua relação com os demais atributos dos solos do Cerrado”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 6, pp. 357–363.
- BOUMA, J. (1989). “Using soil survey data for quantitative land evaluation”. In: STEWART, B. A. *Advances in soil science*. New York: Springer-Verlag, Cap. 4, pp. 177–213.
- CARNEIRO, E. S. (2015). *Avaliação da produção de serapilheira e da dinâmica de macronutrientes em duas áreas de regimes hídricos distintos no Pantanal de Poconé – MT*. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Cuiabá, Cuiabá.

- CAVIGLIONE, J. H. (2018). “Pedotransfer functions of soil water properties to estimate the S-index”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 7, pp. 465–470.
- CUNHA, C. N.; JUNK, W. J. (2004). “Year-to-year changes in water level drive the of *Vochysia divergens* in Pantanal grassland”. *Applied Vegetation Science*, v. 7, pp. 103–110.
- DIAS, A. S.; SOARES, W. A. (2019). “Desempenho do modelo Hydrus - 1D utilizando diferentes formas de caracterização hidrodinâmica”. *Holos Environment*, v. 19, n. 3, pp. 376–390.
- DIAS, M. F. (2015). *Dinâmica do efluxo de CO₂ no solo em duas áreas de composições fitofisionômicas distintas*. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Cuiabá, UNIC, Cuiabá.
- FONSECA, M. (2008). *Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada cuiabana*. 78p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.
- GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. (2013). “Análise da determinação da condutividade hidráulica no solo pelo método do perfil instantâneo”. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, pp. 1174–1184.
- GONÇALVES, H. C.; MERCANTE, M. A.; SANTOS, E. T. (2011). “Hydrological cycle”. *Brazilian Journal of Biology*, v. 71, n. 1, pp. 241–253.
- HOFMANN, G. S.; HASENACK, J. L. P. C.; OLIVEIRA, L. F. B. (2010). *O clima na Reserva Particular de Patrimônio Natural Sesc Pantanal*. Rio de Janeiro: SESC, Departamento Nacional, 84 p.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. (2005). “Conservation of the Brazilian Cerrado”. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, pp. 707–713.
- LIMA, J. E. F. W. (2011). “Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado”. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 63, n. 3, pp. 27–29. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252011000300011&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 13 jul. 2021.
- LORENZI, H. (1992). *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. São Paulo: Plantarum, 352 p.
- LORENZON, T. H.; MACHADO FILHO, L. C. (2012). “Levantamento da diversidade edáfica em serapilheira de mata ciliar da Bacia do Rio Paraguai no Pantanal sul-mato-grossense – Brasil”. *Ecologic@*, v. 4, pp. 59–63.
- MARQUES, A.; PINTO JÚNIOR, O. B.; VOURLITIS, G. L. (2017). “Avaliação de produção de serapilheira em planície inundável no Pantanal Mato-Grossense”. *Ensaio Científico: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v. 21, n. 3, pp. 148–151.
- MARQUES, J. D.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JÚNIOR, O. F.; MARTINS, G. C. (2008). “Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas”. *Acta Amazônica*, v. 38, n. 2, pp. 193–206.
- NEGRELLE, R. R. B. (2015). “*Attalea phalerata* Mart. ex Spreng.: aspectos botânicos, ecológicos, etnobotânicos e agrônômicos”. *Ciência Florestal*, v. 25, n. 4, pp. 1061–1066.

- NOVAIS, J. W. Z.; SANCHES, L.; SILVA, L. B. S.; MACHADO, N. G.; AQUINO, A. M.; PINTO JÚNIOR, O. B. (2016). “Albedo do solo abaixo do dossel em área de *Vochysia divergens* Pohl no Norte do Pantanal”. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 2, pp. 157–166. <https://doi.org/10.1590/0102-778631220150001>.
- PAVÃO, L. L.; SANCHES, L.; PINTO JÚNIOR, O. B.; SPOLADOR, J. (2019). “The influence of litter on soil hydro-physical characteristics in an area of Acuri palm in the Brazilian Pantanal”. *Ecohydrology & Hydrobiology*. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.04.004>.
- PINTO JÚNIOR, O. B.; VOURLITIS, G. L.; CARNEIRO, E. M. S.; DIAS, M. F.; HENTZ, C.; NOGUEIRA, J. S. (2018). “Interactions between vegetation, hydrology, and litter inputs on decomposition and soil CO₂ efflux of tropical forests in the Brazilian Pantanal”. *Forests*, v. 9, n. 5.
- POTT, A.; ADÁMOLI, J. (1999). “Unidades de vegetação do Pantanal de Paiaguás”. In: *Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal: manejo e conservação*, Corumbá. Vol. 2. Corumbá: EMBRAPA, pp. 183–202.
- REBELLATO, L.; CUNHA, C. N.; FIGUEIRA, J. E. C. (2012). “Respostas da comunidade herbácea ao pulso de inundação no Pantanal de Poconé, Mato Grosso”. *Oecologia Australis*, v. 16, n. 4, pp. 797–818.
- RIBEIRO, S. C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; KLEINN, C.; GASPAR, R. O. (2011). “Above- and belowground biomass in Brazilian Cerrado”. *Forest Ecology and Management*, v. 262, pp. 491–499.
- ROQUETTE, J. G. (2018). “Distribuição da biomassa no Cerrado e a sua importância na armazenagem do carbono”. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 3, pp. 1350–1363.
- SANCHES, L.; DIAS, V. R. M.; SALLO, F. S.; PALÁCIOS, R. S.; VALENTINI, C. M. A.; NOGUEIRA, J. S. (2015). “Composição florística e estrutura da comunidade vegetal nas fitofisionomias Cambarazal e Acurizal no Norte do Pantanal”. In: PASA, M. C. (Org.). *Múltiplos olhares sobre a biodiversidade IV*. Cuiabá: Carlini & Carniato Editorial, 368 p.
- SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. (2008). “Caracterização climática do bioma Cerrado”. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. *Cerrado: ecologia e flora*.
- SILVA, Á. P.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S. (2008). “Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração”. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 1.
- SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F. (2014). “Estimation of water percolation by different methods using TDR”. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 1.
- SILVA, G. J.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; BIANCHINI, A.; AZEVEDO, E. C.; MAIA, J. C. S. (2008). “Variação de atributos físico-hídricos em latossolo vermelho-amarelo do Cerrado mato-grossense sob diferentes formas de uso”. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 5, pp. 2135–2143.
- SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. (1998). “Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões”. *Pesquisa Agropecuária*, v. 33, Brasília, pp. 1703–1711.
- ŠIMŮNEK, J.; VAN GENUCHTEN, M. T.; SEJNA, M. (2005). *The Hydrus 1-D Software Package Manual*, v. 3.0. Riverside, CA: University of California Riverside.

- ŠIMŮNEK, J.; VAN GENUCHTEN, M. T.; SEJNA, M. (2012). “Hydrus: model use, calibration, and validation”. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v. 55, pp. 1261–1274.
- SORACCO, C. G.; LOZANO, L. A.; BALBUENA, R.; RESSIA, J. M.; FILGUEIRA, R. R. (2012). “Contribuição da macroporosidade para o fluxo total de água em um solo sob diferentes sistemas de preparo”. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 4, pp. 1149–1156.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. (2002). “Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo”. *Scientia Agricola*, v. 59, pp. 795–801.
- VAN GENUCHTEN, M. T. (1980). “A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils”. *Soil Science Society of America Journal*, v. 44, n. 5, pp. 892–898.
- VOURLITIS, G. L.; LOBO, F. D.; LAWRENCE, S.; DE LUCENA, I. C.; PINTO, O. B.; DALMAGRO, H. J.; EUGENIA, C.; ORTIZ, R.; NOGUEIRA, J. D. (2013). “Variations in stand structure and diversity along a soil fertility gradient in a Brazilian savanna (Cerrado) in southern Mato Grosso”. *Soil Science Society of America Journal*, v. 77, n. 4, pp. 1370–1379.
- VOURLITIS, G. L.; ROCHA, H. R. (2011). “Flux dynamics in the Cerrado and Cerrado-Forest Transition of Brazil”. In: HILL, M. J.; HANAN, N. P. (Eds.). *Ecosystem function in global savannas: measurement and modeling at landscape to global scales*. Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 97–116.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. (1980). “Spatial variability of soil physical properties in the field”. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 350 p.