

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÓDICOS

DESENVOLVIMENTO DO BANCO DE DADOS DE SOLOS BRASILEIRO PARA MODELAGEM HIDROLÓGICA

Ottoni Marques Moura de Leon¹; Danielle Bressiani²; Luis Fernando da Silva Martinez³; Eduardo Luceiro Santana⁴ & Luís Carlos Timm⁵

Abstract: Hydrological models are widely used tools for simulating the water cycle in watersheds, enabling the prediction of hydrological phenomena and supporting environmental decision-making and management. Among these models, the Soil & Water Assessment Tool (SWAT) stands out due to its versatility and sensitivity to the quality of input data—particularly soil data. In the Brazilian context, obtaining such data remains a significant barrier, due to factors such as the dispersion of data sources or the lack of parameters organized in the format required by the model. This study aimed to develop a Brazilian soil database adapted to the structure and parameter requirements of the SWAT model, considering both territorial coverage and the complexity of the necessary attributes. The database was organized based on the following steps: 1) analysis of the model needs: identification and understanding of the parameters required by SWAT; 2) data collection, three main sources were used: HYBRAS, FEBER and EMBRAPA; 3) data filtering: profiles containing the minimum data were selected - profiles with organic carbon, textural fractions, depth and minimum location were selected; 4) selection and application of pedotransfer functions to estimate missing parameters, such as hydraulic conductivity in saturated soil, available water capacity, density, albedo and USLE-K; 5) selection and application of complementary criteria for soil parameter classifications. The final result was the Brazilian Soil Data Bank for Hydrological Modeling, with 7,944 samples, covering the entire national territory and ready for use in the SWAT model.

Resumo: Modelos hidrológicos são ferramentas amplamente utilizadas para simular o ciclo da água em bacias hidrográficas, viabilizando a predição de fenômenos e subsidiando decisões e manejo ambiental. Entre esses, destaca-se o modelo Soil & Water Assessment Tool - SWAT, amplamente utilizado por sua versatilidade e sensibilidade à qualidade dos dados de entrada, sobretudo aos dados de solo. No contexto brasileiro, a obtenção desses dados é uma barreira, por fatores como a dispersão das fontes ou a ausência de parâmetros organizados no formato exigido pelo modelo. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um banco de dados de solos brasileiro, adaptado à organização e parâmetros exigidos pelo modelo SWAT, contemplando abrangência territorial e a complexidade dos parâmetros. O banco foi organizado a partir das seguintes etapas: 1) análise das necessidades do modelo: identificação e compreensão dos parâmetros exigidos pelo SWAT; 2) levantamento de dados, foram utilizadas três fontes principais: HYBRAS, FEBER e EMBRAPA; 3) filtragem dos dados: foram selecionados os perfis contendo os dados mínimos - perfis com carbono orgânico, frações texturais, profundidade e localização mínima foram selecionados; 4) seleção e aplicação de funções de pedotransferência para estimar parâmetros ausentes, como condutividade hidráulica em

1) Afiliação: Universidade Federal de Pelotas - UFPel, ottonibaixo@gmail.com

2) Afiliação: Universidade Federal de Pelotas - UFPel, daniebressiani@gmail.com

3) Afiliação: Universidade Federal de Pelotas - UFPel, nandoonly4work@gmail.com

4) Afiliação: Universidade Federal de Pelotas - UFPel, eduardoluceirosantana@hotmail.com

5) Afiliação: Universidade Federal de Pelotas - UFPel, lcartimm@yahoo.com.br

solo saturado, capacidade de água disponível, densidade, albedo e USLE-K; 5) seleção e aplicação de critérios complementares para classificações de parâmetros do solo. O resultado final foi o Banco Brasileiro de Dados de Solo para Modelagem Hidrológica, com 7.944 amostras, cobrindo todo o território nacional e pronto para uso no modelo SWAT.

Palavras-Chave – Dados de Solo, Função de Pedotransferência, Modelagem hidrológica.

INTRODUÇÃO

Modelos hidrológicos são ferramentas fundamentais para a compreensão do ciclo hidrológico em escala de bacia hidrográfica, permitindo simular a dinâmica da água, avaliar impactos, prever fenômenos e auxiliar na gestão dos recursos hídricos, subsidiando decisões de manejo e planejamento ambiental (López-Ballesteros *et al.*, 2023; Janjić; Tadić, 2023; Tan *et al.*, 2020). Esses modelos necessitam de parâmetros de entrada, como dados de clima, de uso e cobertura do solo, de relevo e de propriedades do solo. No entanto, a obtenção e organização dos dados de entrada pode ser uma barreira e fonte de incertezas para a modelagem hidrológica (Bressiani *et al.*, 2015).

Entre os modelos mais utilizados está o Soil and Water Assessment Tool (SWAT), modelo semi-distribuído que subdivide a bacia hidrográfica em unidades de resposta, por meio de sobreposição de dados de relevo, uso e cobertura da terra e características pedológicas (Asurza-Véliz; Lavado-Casimiro, 2020; Arnold *et al.*, 2012). Até o momento, são mais de 6.800 publicações internacionais utilizando o SWAT, dos quais 214 referem-se ao território brasileiro.

Sua versatilidade e abrangência em termos de parâmetros contribuem para sua ampla aplicação em diferentes regiões e para distintas finalidades (Zhao *et al.*, 2024). A precisão das simulações, entretanto, dependem diretamente da qualidade dos dados de entrada (Lee *et al.*, 2024). Bressiani *et al.* (2015) ressaltam que a escassez de dados de solo que contemplem os requisitos do modelo para o território brasileiro, gera limitações nas aplicações.

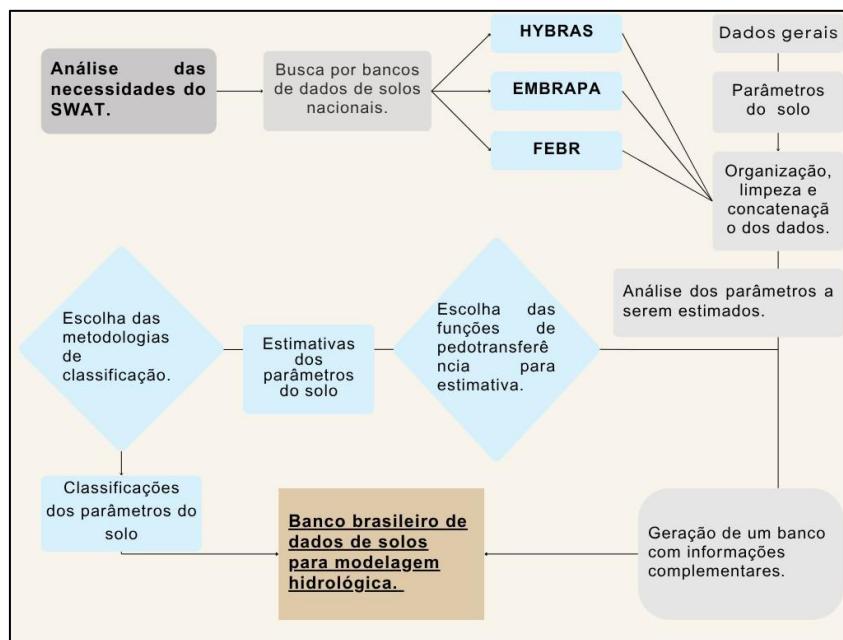
Entre os parâmetros de solo necessários para o SWAT estão alguns de difícil obtenção, existindo a necessidade, na maioria das vezes, de serem estimados por meio de funções de pedotransferência (FPT). Baseado no supracitado, destaca-se a necessidade iminente de um banco de dados de solos para o Brasil que contenha todos os parâmetros e organização necessários para o modelo SWAT.

O objetivo geral desse trabalho foi desenvolver um banco de dados de solos para o território brasileiro, adaptado às necessidades e requisitos do modelo SWAT. Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: I) reunir e organizar dados de diferentes bases de dados nacionais; II) selecionar e aplicar funções de pedotransferência para estimar os atributos do solo faltantes; III) sistematizar os dados no formato compatível com o modelo SWAT.

METODOLOGIA

A construção do banco se iniciou pela compreensão das necessidades, em relação a parâmetros e organização, de dados do solo para o modelo SWAT. Com base nesses requisitos, foram definidas as etapas seguintes: 1) busca por bancos de dados que contemplassem as necessidades em relação a parâmetro e território; 2) realização da curadoria e concatenação desses; 3) identificação dos parâmetros faltantes a serem estimados e triagem dos métodos mais apropriados para estimativa; 4) seleção e aplicação dos métodos mais adequados para as classificações necessárias dos parâmetros do solo; 5) limpeza final dos dados. O fluxograma da metodologia para o desenvolvimento do Banco Brasileiro de Dados de Solo para Modelagem Hidrológica (SWAT) está exposto na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma da construção do banco



A primeira etapa consistiu na identificação dos atributos de solos exigidos pelo modelo SWAT. Os principais parâmetros são: as frações texturais (areia, silte e argila), a condutividade hidráulica em solo saturado (K_{sat}), a densidade do solo (BD), a quantidade de água disponível (AWC), o carbono orgânico (CBN), o ULE-K, o albedo, o número de camadas, a profundidade da raiz e a profundidade da camada. Também são requeridas classificações complementares de parâmetros do solo, como grupo hidrológico do solo e classe textural.

Dentre esses, o conjunto mínimo de parâmetros observacionais necessários para subsidiar a estimativa dos demais inclui: as frações texturais, o carbono orgânico e a profundidade. São atributos obtidos com frequência nos levantamentos de solo, logo, são mais frequentes em bancos de dados de solo. A partir deles, é possível estimar os demais parâmetros requeridos pelo modelo, por meio da aplicação de FPT, utilizando-os como variáveis preditoras.

A segunda etapa teve por base a coleta de dados, priorizando a obtenção de dados de solos que tivessem o conjunto mínimo de parâmetros do solo e abrangência territorial nacional. Foram utilizadas três bases principais para essa versão do Banco: Hydrophysical Database for Brazilian Soils - HYBRAS (Ottoni *et al.*, 2018), Repositório Brasileiro Livre para Dados Abertos do Solo - FEBR (Anjos *et al.*, 2021) e o Banco de Dados de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (EMBRAPA, 2014).

O banco de dados de solos para o modelo SWAT necessita de parâmetros, formato, ordem e cabeçalhos específicos para contemplar sua finalidade. Esse deve ser dividido em colunas, organizadas em: 1) primeiro bloco contém nome e números de identificação do perfil de solo; 2) segundo bloco, que contém informações únicas sobre todo o perfil do solo (uma única informação para todas as camadas), como classificação textural e número de camadas; 3) terceiro bloco, apresenta as informações sobre cada camada do solo, como K_{sat} , AWC e frações texturais.

Após a obtenção, organização dos dados, realizou-se um filtro, para ver quais dos dados obtidos contemplavam as necessidades básicas do banco. Os parâmetros mínimos necessários e georreferencia ou cidade e estado do perfil.

Os parâmetros obtidos por meio de estimativa foram a Ksat, a AWC, a BD, o USLE-K e o Albedo. Para cada parâmetro houve um estudo prévio afim de compreender funções de pedotransferência (FPT) mais apropriadas. Essa escolha teve por base o desempenho da função e a utilização de preditores presentes no banco, priorizando preditores observados e disponibilizados.

As propriedades que foram estimadas e as respectivas FPT utilizadas foram:

- 1) Ksat. Foi utilizada a FPT desenvolvida por Ottoni *et al.* (2019), expressa na Equação 1;

$$Ksat = 10^{\frac{(2,039 - 0,00874 \times Silte - 0,00723 \times Argila)}{2,4}} \quad (1)$$

- 2) AWC, utilizou-se a FPT desenvolvida por Teixeira *et al.* (2021), expressa na Equação 2;

$$AWC = \{1 + [0,35941 \times (-0,02128887 \times Areia - 0,01005814 \times Silte - 0,01901894 \times Argila + 0,0001171219 \times Areia \times Silte + 0,0002073924 \times Areia \times Argila + 0,00006118707 \times Silte \times Argila - 0,000006373789 \times Areia \times Silte \times Argila)]^{2,7874}\} \quad (2)$$

- 3) BD, utilizou-se a FPT desenvolvida por Benites *et al.* (2007), expressa na Equação 3;

$$BD = 1,5224 - 0,005 \times Argila \quad (3)$$

- 4) USLE-K, utilizou-se a FPT desenvolvida por Willians (1995) expressa na Equação 4;

$$Usle - K = \frac{0,2 + 0,3 \times e^{(-0,0256 \times Areia \times (1 - \frac{Silte}{100}))}}{(Argila + Silte)^{0,3} \times (1 - \frac{0,25 \times MO}{MO + e^{(3,72 - 2,95 \times MO)}})} \quad (4)$$

- 5) Albedo, utilizou-se a FPT desenvolvida por Baumer (1990), expressa na Equação 5.

$$Albedo = \frac{0,6}{e^{(0,4 \times Matéria Orgânica)}} \quad (5)$$

Como complemento para o banco de dados, foram catalogadas as seguintes informações: 1) Numeração de identificação do dado, permitindo a correlação direta com o banco de dados de solo; 2) Responsável pela amostra original, para contemplar o responsável pela amostra e dar o devido crédito; 3) Classificação original para o tipo de solo, com base no SiBCS da EMBRAPA; 4) Cidade e estado onde o dado foi coletado; 5) Latitude e longitude do dado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O banco resultante, Banco Brasileiro de dados de Solo para Modelagem Hidrológica, contém 7.944 amostras de perfis de solo, distribuídas por todo o território brasileiro. Os dados possuem os parâmetros e classificações contemplantes das necessidades para a utilização direta no SWAT e SWAT+. O banco contém também material de apoio, com metadados, fontes de dados, e dados de

geolocalização dos perfis, permitindo a espacialização do dado em qualquer ferramenta SIG. Na Figura 2 está ilustrado o banco de dados no formato SWAT.

Figura 2 – Banco Brasileiro de Dados de solo para Modelagem Hidrológica

SOL_Z1	SOL_BD1	SOL_AWC1	SOL_K1	SOL_CBN1	CLAY1	SILT1	SAND1	ROCK1	SOL_ALB1	USLE_K1
100	0,87	0,14	8,60	2,44	53	39	8	5	0,033	0,17
130	0,95	0,09	8,52	2,2	79	18	3	1	0,044	0,16
300	0,78	0,09	10,44	3,57	74,5	11,61	13,89	12,64	0,009	0,09
200	1,38	0,22	7,05	9,5	28,7	69	2,3	0	0,001	0,30
150	1,33	0,13	10,86	21,1	39	39	22	0	0,000	0,13
240	1,37	0,22	6,84	9,4	30,9	68,7	0,4	0	0,001	0,33
100	1,43	0,23	7,59	28,8	18,6	73,7	7,7	0	0,000	0,27
170	1,38	0,19	8,12	28,2	28,9	61,8	9,3	0	0,000	0,21
170	1,32	0,15	9,19	18,7	41,2	45,5	13,3	0	0,000	0,15

O banco de dados customizado brasileiro apresenta resolução e complexidade mais elevadas que as de bancos de dados de solos globais contendo dados harmonizados, o que pode influenciar positivamente os resultados e processos de simulação em modelos hidrológicos de longo prazo (Janjić; Tadić, 2023; Lee *et al.*, 2024). Os dados de apoio facilitam a escolha dos dados para utilização no modelo, pois permite espacializar os dados, vendo quais são mais adequados, por proximidade e ordem do solo.

A distribuição de dados abrange todo o território brasileiro, embora não de forma uniforme. Alguns estados apresentam uma densidade de dados significantemente mais elevada. A Figura 3 apresenta a distribuição dos dados de solo presentes no Banco desenvolvido.

Figura 3 – Distribuição dos dados de perfis de solo no território brasileiro



Fonte das divisões políticas: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). Fonte do Mapa: Autores.

A maior presença de perfis de solo em determinados estados pode estar correlacionada a tradição agrícola e ao pioneirismo em instituições de pesquisa e ensino. O estado com o maior número de perfis de solo é Minas Gerais, com 900 perfis, seguido do estado do Rio Grande do Sul, com mais de 800 perfis, seguidos de Rio de Janeiro e Amazonas. Em Viçosa, Minas Gerais, foi criado o primeiro curso de Engenharia Florestal do país, e em Pelotas, Rio Grande do Sul, foi criado o primeiro curso de Agronomia do país, respectivamente em 1966 e 1973 (Reifsneider *et al.*, 2010).

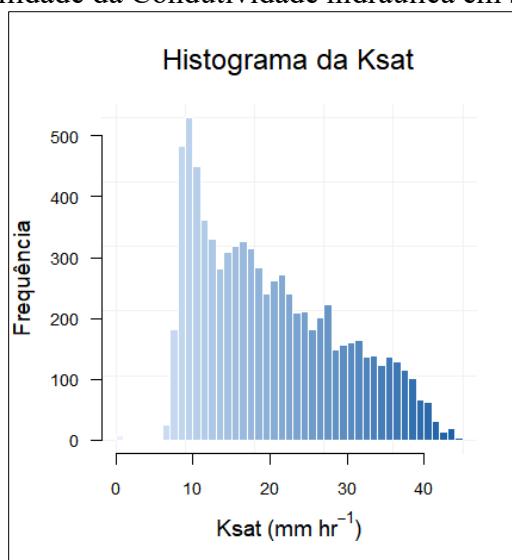
Por outro lado, o Tocantins é o estado com o menor número de perfis de solo, com 46 perfis, refletindo a escassez de dados físico-hídricos de solo no Estado (Andrade *et al.*, 2021). Esse fato pode se relacionar com a recente criação do estado, datada do ano de 1988.

O banco de dados contempla os diferentes tipos de solos brasileiros, considerando a primeira ordem de classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2018). No entanto, não apresenta equidade na distribuição. Os solos com a maior densidade de dados são os Argissolo, Latossolo, Neossolo e Cambissolo, tendo mais de 500 perfis. O Argissolo, o Latossolo e o Neossolo são os solos que representam cerca de 70% da cobertura do território nacional (Santos *et al.*, 2011).

Em contrate, o Organossolo e o Vertissolo, são os solos com o menor número de perfis, inferior a 100. O Organossolo, o Vertissolo e o Chernossolo são solos com a menor área no país (Santos *et al.*, 2018).

Entre os parâmetros físico-hídricos do solo, a Ksat é um parâmetro central, pois influência de forma direta na infiltração e no escoamento da água no solo (Zhang; Schaap, 2019). É um atributo que apresenta grande variabilidade espacial (Wu *et al.*, 2024). No Banco os valores apresentados para o parâmetro, considerando apenas a primeira camada do solo, possuem a amplitude de 0.6 ao 44.69 mm/h. O valor médio presente no Banco é de 19.95 mm/h. O primeiro quartil (Q1) corresponde a valores iguais ou inferiores a 11,85 mm/h, enquanto o terceiro quartil (Q3) corresponde a valores iguais ou superiores a 26,69 mm/h. Dessa forma, observa-se que 50% dos dados de Ksat estão concentrados no intervalo interquartil, entre 11,85 e 26,69 mm/h. A Figura 4 apresenta o histograma com a variabilidade do parâmetro.

Figura 4 – Variabilidade da Condutividade hidráulica em solo saturado - Ksat



Para a análise da Ksat em classes de solos, os Neossolos foram divididos em dois grupos, um formado por Neossolo Litólico e Regolítico e outro pelo Neossolo Quartzarênico, devido aos comportamentos distintos observados. O Neossolo Quartzarênico é a classe de solo com a média mais alta para Ksat 36.32 mm/h. Enquanto o grupo dos demais Neossolos a Ksat média é de 18.94 mm/h.

Os Latossolos apresentaram uma média de 18.62, enquanto os Argissolos, 22.76 mm/h. O Espodossolo apresentou uma média elevada, se comparada as outras classes de solo, tendo 36.49 mm/h. O Cambissolo apresentou uma média baixa para Ksat, de 15.62 mm/h.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse artigo apresentamos a metodologia e o desenvolvimento do Banco Brasileiro de Dados de solo para Modelagem Hidrológica, com enfoque principal ao modelo Soil & Water Assessment Tool (SWAT e SWAT+), mas que poderá ser utilizado para qualquer aplicação. Para tal três fontes de dados nacionais foram utilizadas (HYBRAS, EMBRAPA, FEBR). Uma grande coleção de dados foi confeccionada, a partir de filtragem, e estimativas (FPTs) a partir dos dados existentes de forma a desenvolver e disponibilizar o Banco de Dados no formato necessário para a modelagem hidrológica com o SWAT e SWAT+.

O banco apresenta um número de dados satisfatório, distribuído em todo o território brasileiro e com maior densidade de cobertura em áreas historicamente mais estudadas por meio de modelagem hidrológica. No entanto, ter uma densidade maior de dados em algumas áreas é fundamental para melhorar e incentivar o aumento de trabalhos de modelagem hidrológica.

Os parâmetros físico-hídricos foram estimados por meio de funções de pedotransferência (FPTs), acrescentando informações necessárias para a modelagem, mas também um grau de incerteza. Essa abordagem se justifica por serem parâmetros difíceis de serem obtidos experimentalmente, ainda mais para extensão territorial continental do país. A estimativa torna-se a alternativa viável para o banco de dados, na qual o cuidado na escolha das FPTs é a possibilidade para reduzir essas incertezas.

Como próximos passos, pretende-se: ampliar a base de dados, desenvolver uma versão complementar com dados observados e criar ferramentas de uso e consulta ao banco. Além disso, pretende-se transformar o banco em uma plataforma multipropósito, adaptando-o a outros modelos como a outras finalidades. Assim como disponibilizar o banco de forma aberta e livre para facilitar os estudos de modelagem hidrológica. Esta iniciativa visa também dar suporte a modelagens a nível nacional e aprimorar ferramentas como o Brazilian Ecohydrological Simulation Tool (BEST).

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio: da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, do Programa de Pós-Graduação em Recursos hídricos da Universidade Federal de Pelotas, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico, CNPq, projeto Universal 409280/21023-2. Agradecemos o apoio da rede do **ONSEADApta - Observatório Nacional de Segurança Hídrica e Gestão Adaptativa**.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. M.; ANDRADE, R. S.; COLLICCHIO, Erich. Mapping the Available Water Capacity in tropical climate soils for soybean (*Glycine max*) cultivation in the state of Tocantins-Brazil. *Revista Ambiente & Água*, v. 16, n. 5, p. e2718, 2021.
- ANJOS, M. A. dos; ROSA, A. S.; CONTI, G. *Repositório de Dados do Solo Brasileiro Data Repository of the Brazilian Soil*. 2021.
- ARNOLD, J. G. et al. SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, v. 55, n. 4, p. 1491-1508, 2012.
- ASURZA-VÉLIZ, F. A.; LAVADO-CASIMIRO, W. S. Regional parameter estimation of the SWAT model: Methodology and application to river basins in the Peruvian pacific drainage. *Water*, v. 12, n. 11, p. 3198, 2020.
- BAUMER, O. W. Predictions of soil hydraulic parameters. *WEPP Data Files for Indiana SCS National Soil Survey Lab*. Lincoln, Nebraska, United States, 1990.
- BENITES, V. M. et al. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. *Geoderma*, v. 139, n. 1-2, p. 90-97, 2007.
- BRESSIANI, D. A. et al. Review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v. 8, n. 3, p. 9-35, 2015.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Banco de dados de Solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2014.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2018.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Malhas territoriais – 2023*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.
- JANJIĆ, J.; TADIĆ, L. Fields of application of SWAT hydrological model—a review. *Earth*, v. 4, n. 2, p. 331-344, 2023.
- LEE, J. E. et al. Korean Soil Characteristics Database for SWAT-K Model. *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, v. 44, n. 4, p. 495-501, 2024.
- LÓPEZ-BALLESTEROS, A. et al. Assessing the effectiveness of potential best management practices for science-informed decision support at the watershed scale: The case of the Mar Menor coastal lagoon, Spain. *Science of the Total Environment*, v. 859, p. 160144, 2023.
- OTTONI, M. V. HYBRAS, Hydrophysical Database for Brazilian Soils: *Banco de dados hidrofísicos em solos no Brasil para o desenvolvimento de funções de pedotransferências de propriedades hidráulicas*, versão 1.0. CPRM, 2018.

OTTONI, M. V. et al. Pedotransfer functions for saturated hydraulic conductivity using a database with temperate and tropical climate soils. *Journal of Hydrology*, v. 575, p. 1345-1358, 2019.

REIFSCHEIDER, F. J. B. et al. Novos ângulos da história da agricultura no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010.

SANTOS, H. G. et al. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. Dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p. (Documentos / Embrapa Solos, n. 130). ISSN 1517-2627.

SANTOS, H. G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. ISBN 978-85-7035-800-4.

TAN, M. L. et al. A review of SWAT applications, performance and future needs for simulation of hydro-climatic extremes. *Advances in Water Resources*, v. 143, p. 103662, 2020.

TEIXEIRA, W. G. et al. Predição da água disponível no solo em função da granulometria para uso nas análises de risco no zoneamento agrícola de risco climático. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2021. Boletim técnico, v. 272, 2021.

WILLIAMS, J. R. The EPIC model. In: SINGH, V. P. (ed.). *Computer models of watershed hydrology*. Highlands Ranch: Water Resources Publications, 1995. cap. 25, p. 909–1000.

WU, X. et al. Temporal variability of saturated hydraulic conductivity on a typical black soil slope of northeast China. *Catena*, v. 236, p. 107742, 2024.

ZHAO, Jie et al. SWAT model applications: From hydrological processes to ecosystem services. *Science of The Total Environment*, p. 172605, 2024.

ZHANG, Y.; SCHAAP, M. G. Estimation of saturated hydraulic conductivity with pedotransfer functions: A review. *Journal of Hydrology*, v. 575, p. 1011-1030, 2019.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio: da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, do Programa de Pós-Graduação em Recursos hídricos da Universidade Federal de Pelotas, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico, CNPq, projeto Universal 409280/21023-2. Agradecemos o apoio da rede do **ONSEADApta - Observatório Nacional de Segurança Hídrica e Gestão Adaptativa**.