

## ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS DO MODELO *SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOLS* (SWAT+) EM BACIA HIDROGRÁFICA RURAL, NO SUL DO RIO GRANDE DO SUL

SAMANTA TOLENTINO CECCONELLO<sup>1</sup>; DANIELLE BRESSIANI<sup>2</sup>; LUANA NUNES CENTENO<sup>3</sup>; EDVANIA APARECIDA CORRÊA ALVES<sup>4</sup>; LUIS CARLOS TIMM<sup>5</sup>; MARIA CÂNDIDA MOITINHO NUNES<sup>6</sup>

<sup>123456</sup> Universidade Federal de Pelotas – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água – [satolentino@gmail.com](mailto:satolentino@gmail.com)<sup>1</sup>; [daniebressiani@gmail.com](mailto:daniebressiani@gmail.com)<sup>2</sup>; [luananunescenteno@gmail.com](mailto:luananunescenteno@gmail.com)<sup>3</sup>; [edvania.alves@ufpel.edu.br](mailto:edvania.alves@ufpel.edu.br)<sup>4</sup>; [luisctimm@gmail.com](mailto:luisctimm@gmail.com)<sup>5</sup>; [nunes.candida@gmail.com](mailto:nunes.candida@gmail.com)<sup>6</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

A erosão é um processo natural, porém intensificado pelas atividades antrópicas. No Brasil, o principal agente de desagregação das partículas do solo é a precipitação (ALVES et al., 2023). No entanto, além da precipitação, diversos fatores hidrossedimentológicos desempenham papéis significativos neste processo. Entre eles, destaca-se o escoamento superficial, que está intrinsecamente relacionado com uso e cobertura da terra, o relevo, as características intrínsecas do solo e suas práticas de manejo, além das práticas conservacionistas (AVAND et al., 2023). Sendo assim, para se estimar a perda de solos e a produção de sedimentos, é necessário considerar na modelagem os componentes hidrossedimentológicos e suas complexas interações (GHOSH; KUNDU, 2022).

A modelagem hidrossedimentológica possibilita a elaboração de mapas que identificam as áreas mais suscetíveis à erosão, bem como a estimativa das perdas de solo e da quantidade de sedimentos que chegam aos corpos hídricos (SILVA et al., 2023). Essas informações desempenham um papel fundamental no planejamento e na gestão dos recursos hídricos, contribuindo para a adoção de medidas preventivas e estratégias de conservação do solo. Entre os diversos modelos hidrossedimentológicos, destaca-se o *Soil and Water Assessment Tools Plus* (SWAT+), um modelo versátil, que considera diferentes componentes hidrológicos e agrônômicos, baseado em processos físicos, contínuo e semi-distribuído (ARNOLD et al., 1998). No entanto, a capacidade desse modelo em representar adequadamente a realidade está diretamente relacionada à calibração e validação para determinada região. Como etapa prévia à calibração, é necessário realizar a análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo para a região de estudo (BRESSIANI, 2016).

Existem diferentes técnicas para realizar a análise de sensibilidade, sendo geralmente classificadas como abordagens locais ou globais (BRESSIANI, 2016). As abordagens locais avaliam como a saída do modelo varia quando um parâmetro é alterado, mantendo os outros parâmetros constantes. Por outro lado, as abordagens de sensibilidade global consideram as mudanças em todos os parâmetros selecionados simultaneamente ao medir a variabilidade na saída. De acordo com ABBASPOUR (2015), quanto menor for a variação no valor da função devido a alterações nos valores do parâmetro, menos sensível é o parâmetro no modelo. Desta forma é evidente que análise de sensibilidade é fundamental, para direcionar futuros procedimentos de calibração e validação de modelos específicos. Portanto, este estudo objetivou identificar os parâmetros mais sensíveis do modelo SWAT+ para uma bacia hidrográfica rural localizada no sul do Rio Grande do Sul, através da ferramenta R-SWAT.

## 2. METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do arroio Cadeia (BHAC) entre as coordenadas geográficas 31°39' e 31°27' de latitude Sul e 52°33' e 52°42' de longitude Oeste, localizada no sul do estado do Rio Grande do Sul. A BHAC engloba os municípios de Pelotas, Morro Redondo e Canguçu, apresentando uma área de drenagem de 121,97 Km<sup>2</sup>. Para o desenvolvimento do estudo foi utilizado o modelo SWAT+ versão 2.2.2 (TEXAS A&M UNIVERSITY, 2023). Para a modelagem inicial com o SWAT+ foram utilizados dados hidrometeorológicos de precipitação (mm H<sub>2</sub>O), temperatura máxima/mínima do ar (°C), radiação solar (MJ/m<sup>2</sup>dia), velocidade média do vento (m/s) e umidade relativa do ar (%), estes foram obtidos junto à Estação Meteorológica da Estação Experimental da Cascata na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA para a série histórica diária de 1990 a 2019 (EMBRAPA, 2020). Ainda foram necessários o modelo digital de elevação (MDE), do ALOS World 3D (AW3D30) com resolução espacial de 30 metros; mapa de solos, elaborado por Cunha, Silveira e Severo para o COREDE Sul (CUNHA, SILVEIRA, SEVERO, 2006); propriedades físico-hídricas dos solos, listadas em estudos desenvolvidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em diversos municípios do Rio Grande do Sul e mapa de usos e cobertura da terra obtido do MapBiomas para o ano de 1990. As fontes de dados utilizadas, bem como as tomadas de decisão e técnicas de pré-processamento dos dados de entrada no modelo SWAT+ são descritas em CECCONELLO et al. (2023).

Para este estudo, realizou-se a análise de sensibilidade global dos parâmetros para a estimativa de vazão em escala mensal através do pacote R-SWAT (NGUYEN et al., 2022). O método utilizado no R-SWAT foi a Amostragem Hipercúbica Latina uniforme (LHS) com 100 iterações. Foram selecionados 19 parâmetros relacionados aos processos de escoamento, evapotranspiração, percolação, recarga, infiltração etc. Os parâmetros avaliados, bem como seus intervalos foram definidos com base na literatura (BRESSIANI, 2016; ANDRADE et al., 2017), na experiência das modeladoras e no esperado para a região, dadas as características físicas da BHAC. A sensibilidade dos parâmetros é determinada por meio da aplicação de um sistema de regressão múltipla, em que os parâmetros gerados pelo LHS são relacionados com os valores da função objetivo. O coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) foi escolhido como função objetivo. O *t-test* é utilizado para identificar a significância relativa de cada parâmetro, e quanto maior valor absoluto o parâmetro possuir, mais sensível ele será. O *p-valor* determina a significância da sensibilidade e valores próximos de zero indicam os parâmetros mais significativos (ABBASPOUR, 2015).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de sensibilidade automática para a variável vazão, realizada pela ferramenta R-SWAT são apresentados na Tabela 1. O parâmetro mais sensível foi *canmx.hru*, pois apresentou o maior valor de *t-Stat* em termos absolutos com 8,943 e menor *p-valor* com  $1,35 \cdot 10^{-13}$ . O segundo e terceiro parâmetros mais sensíveis foram o *perco.hru*, e *flo\_min.aqu*, pois apresentaram valores de *t-Stat* em termos absoluto de 6,807 e 5,983; e valores de *p-valor* de  $1,66 \cdot 10^{-9}$  e  $5,85 \cdot 10^{-8}$ , respectivamente. Ressalta-se que o ranking 19 para a sensibilidade significa que o parâmetro *slope.hru* foi o que exerceu menor influência para a variável analisada (vazão no passo de tempo mensal), pois apresentou o valor *t-Stat* em termos absoluto 0,120 e *p-valor* de 0,904.

Tabela1. Análise de sensibilidade mensal para a variável vazão.

Nome parâmetro	Descrição do parâmetro no SWAT+	<i>t-Stat</i> absoluto	<i>p-valor</i>	Ranking
canmx.hru	Quantidade máxima de água interceptada pelas plantas	8,943	1,35E-13	1
perco.hru	Coefficiente de percolação	6,807	1,66E-09	2
flo_min.aqu	Profundidade da água subterrânea necessária para ocorrer fluxo de retorno	5,983	5,85E-08	3
alpha.aqu	Constante de recessão do escoamento de base	3,154	0,002	4
latq_co.hru	Coefficiente número da curva de evapotranspiração da planta	3,071	0,003	5
esco.hru	Fator de compensação de evaporação da água no solo	2,086	0,005	6
revap_co.aqu	Coefficiente de controle do fluxo da água entre as zonas saturada e não saturada	2,103	0,038	7
revap_min.aqu	Limiar de profundidade da água no aquífero raso para que ocorra percolação para o aquífero profundo	1,179	0,076	8
cn2.hru	Curva-número (CN) para a condição de umidade AMCII	1,711	0,090	9
ovn.hru	Coefficiente de Manning para fluxo terrestre	1,212	0,228	10
surlag.bsn	Tempo de retardamento do escoamento superficial direto	1,093	0,277	11
awc.sol	Capacidade de água disponível	0,868	0,387	12
chn.rte	Coefficiente de Manning para o canal principal	0,802	0,425	13
lat_ttime.hru	Tempo necessário para o retorno do fluxo lateral	0,786	0,434	14
chk.rte	Condutividade hidráulica efetiva do canal principal	0,513	0,609	15
epco.hru	Fator de compensação do consumo de água pelas plantas	0,409	0,683	16
k.sol	Condutividade hidráulica do solo saturado	0,266	0,790	17
slope_len.hru	Comprimento médio da encosta	0,254	0,800	18
slope.hru	Inclinação média da encosta	0,120	0,904	19

Os resultados apresentados na Tabela 1 evidenciam que a sensibilidade dos parâmetros para a bacia é influenciada, especialmente, por variáveis relacionadas a vegetação como a quantidade máxima de água interceptada pelas plantas (canmx.hru) e o coeficiente do número da curva de evapotranspiração da planta (latq\_co.hru) e com variáveis relacionadas ao solo e uso da terra, como perco.hru, esco.hru e cn2.hru, seguido pelas variáveis de fluxo de água subterrânea como a flo\_min.aqu, alpha.aqu, revap\_co.aqu e revap\_min.aqu, conforme o peso de cada um dos fatores. No estudo de NGUYEN et al. (2022), os parâmetros mais sensíveis encontrados para a vazão foram cn2.hru, ovn.hru e revap\_co.aqu. ANDRADE et al. (2017), verificaram que o parâmetro cn2.hru foi o que apresentou maior sensibilidade, porém no presente estudo este parâmetro mostrou-se com menor influência sobre a vazão, diferença possivelmente relacionada também ao intervalo inicial utilizado para análise do parâmetro. Além disso, a iteração complexa entre os diferentes parâmetros do modelo e suas relações com o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica trabalhada (BHAC) podem resultar em efeitos compensatórios, nos quais as mudanças em um parâmetro são mitigadas por ajustes em outros. Isso pode levar à aparente falta de influência de alguns

parâmetros quando analisados individualmente. É importante ressaltar que essa foi a primeira análise de sensibilidade realizada, e que essa etapa é fundamental tanto previamente à calibração, como para auxiliá-la em seu processo.

#### 4. CONCLUSÕES

Foi possível concluir que os parâmetros do modelo SWAT+ que influenciam na vazão mensal da BHAC são os relacionados à vegetação, solo e uso da terra e fluxos subterrâneos. A partir desta análise de sensibilidade e verificação dos parâmetros mais sensíveis, estudos futuros serão realizados com o objetivo de calibrar e validar o modelo SWAT+ para a bacia estudada, visando estimar a produção de sedimentos e realizar simulações de cenários futuros para identificar os usos e sistemas de manejo mais adequados.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASPOUR, K. C. **SWAT-CUP 2012: SWAT calibration and uncertainty programs - A user manual**. [s.l.] Eawag Aquatic Research, 2015.
- ALVES, M.A.B. et al. Effects of land use and cropping on soil erosion in agricultural frontier areas in the Cerrado-Amazon Ecotone, Brazil, using a rainfall simulator experiment. **Sustainability**, v. 15, n. 6, p. 4954, 2023.
- ANDRADE, C. W. L. et al. Análise de sensibilidade de parâmetros do modelo SWAT em uma sub-bacia da Região Nordeste, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 51, n. 2, p. 440–453, 2017.
- ARNOLD, J.G. et al. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 1, p. 73-89, 1998.
- AVAND, M. et al. A new approach for smart soil erosion modeling: integration of empirical and machine-learning models. **Environmental Modeling & Assessment**, v. 28, n. 1, p. 145-160, 2023.
- BRESSIANI, D.A. **Coping with hydrological risks through flooding risk index, complex watershed modeling, different calibration techniques, and ensemble streamflow forecasting**. 2016. 224f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo.
- CECCONELLO, S. T. et al. Impactos do manejo e rotação de culturas na modelagem hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do arroio Cadeia/Canguçu, RS. In: 4º CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSSEDIMENTOLOGIA.2023, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2023.
- CUNHA, N.G. da; SILVEIRA, R. J. da C.; SEVERO, C. R. S. **Solos e terras do planalto sul-rio-grandense e planícies costeiras**. Pelotas: [s. n.], 2006.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Dados meteorológicos diários da Estação Experimental da Cascata referente ao período de 01/01/1990 a 31/12/2019**. Pelotas: [s. n.], 2020.
- GHOSH, S.; KUNDU, S.. Morphometric characterization and erosion assessment of gullies in the lateritic badlands of Eastern India using ALOS AW3D30 DEM and topographic indices. **Geocarto International**, v. 37, n. 25, p. 10096-10129, 2022.
- NGUYEN, T.V. et al. An interactive graphical interface tool for parameter calibration, sensitivity analysis, uncertainty analysis, and visualization for the Soil and Water Assessment Tool. **Environmental Modelling & Software**, v. 156, p. 105497, 1 out. 2022.
- SILVA, T. P. et al. Evaluating hydrological and soil erosion processes in different time scales and land uses in southern Brazilian paired watersheds. **Hydrological Sciences Journal**, v. 00, n. 00, p. 1–18, 21 jun. 2023.
- TEXAS A&M UNIVERSITY. **SWAT+ Interface Version Archive**. 2023. Disponível em: <https://plus.swat.tamu.edu/#/>. Acesso em: 10 ago. 2023.