

DESEMPENHO ESTATÍSTICO DO SWAT+ NA MODELAGEM HIDROLÓGICA DE UMA GRANDE BACIA DO PAMPA BRASILEIRO

BRUNA MOREIRA SELL¹; DANIELLE BRESSIANI²; SAMANTA TOLENTINO
CECCONELLO³; SAMUEL BESKOW⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – brunamoreirasell@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – daniebressiani@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – satolentino@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – samuel.beskow@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Entender o comportamento hidrológico de uma dada bacia hidrográfica é etapa fundamental para a tomada de decisão no que diz respeito às estratégias de gestão e planejamento dos recursos hídricos. Devido à complexidade dos processos envolvidos no ciclo hidrológico e suas inter-relações, bem como das variações espaciais e temporais associadas, os modelos hidrológicos são ferramentas importantes no âmbito da engenharia hidráulica e hidrológica.

A exemplo da grande gama de modelos disponíveis neste segmento, está o *Soil & Water Assessment Tool* (SWAT). O SWAT tem uma vasta rede de usuários ao longo de todo o mundo, se destacando por gerar resultados satisfatórios (ARNOLD et al., 2012), ser objeto de estudo e meio de investigação científica (SWAT, 2022) e, por isso, utilizado por muitas agências governamentais, instituições privadas e por universidades e outras instituições envolvidas em pesquisas de ponta (BRESSIANI et al., 2015). O SWAT+ é a nova versão do SWAT, com novo formato de código e com melhorias em relação à representação espacial e da conexão hidrológica (BIEGER et al., 2019).

Devido às especificidades do modelo, aliado às características singulares das áreas de aplicação, CASAVECCHIA (2017) aponta que é importante que se verifique o desempenho do modelo antes da sua aplicação final em bacias hidrográficas, como ferramenta de decisão, a fim de reduzir os erros nas previsões. Logo, a interpretação de um conjunto de medidas estatísticas é passo fundamental para avaliar o desempenho do SWAT.

A bacia hidrográfica do rio Camaquã (BHRC) apresenta relevância econômica, social e ambiental para o Rio Grande do Sul, porém, sofre com intensos conflitos pelo uso d'água devido à relação entre demanda e disponibilidade hídrica. Em virtude da inexistência de um monitoramento fluviométrico adequado, capaz de estimar os componentes do balanço hídrico na bacia, a modelagem hidrológica com o SWAT se mostra uma alternativa viável para tal processo. Desta forma, este estudo objetivou analisar o desempenho estatístico do SWAT+ para representar os componentes do balanço hídrico da bacia hidrográfica do rio Camaquã (BHRC) para auxiliar no suporte ao planejamento dos recursos hídricos na região sul do Brasil.

2. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido na BHRC, localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul e pertencente à região hidrográfica litorânea. Abrange uma área de cerca de 21.657km², englobando total ou parcialmente 28 municípios

(CGBHRC, 2022). A seleção pela BHRC se deu em função da sua importância econômica, social e ambiental para a região sul do Brasil e pelos diversos usos da água, como também pelo fato de possuir um plano de bacias que norteia diretrizes futuras importantes para o planejamento e gestão da bacia (CGBHRC, 2022).

Para o desenvolvimento do estudo, o modelo SWAT+ foi utilizado. O processamento dos dados de entrada foi realizado na interface do QSWAT+, em uma extensão do software livre de código aberto QGIS, e no SWAT+ Editor, já as análises estatísticas se valeram do SWAT+ Toolbox, ferramenta para calibração e validação.

Embora o modelo SWAT+ conte com bancos de dados padronizados para variáveis de entrada, em escala global, foram utilizadas informações locais disponíveis em bases públicas. As fontes utilizadas, bem como as tomadas de decisão e técnicas de pré-processamento são descritas com detalhes em SELL, BRESSIANI e BESKOW (2020).

Já em SELL, BRESSIANI e BESKOW (2021) são descritas as modificações pontuais necessárias para aproximar a compatibilização dos processos envolvidos na estimativa do balanço hídrico, com as informações disponíveis para a região de interesse. Foi analisado o comportamento hidrológico da BHRC e identificados os principais ajustes necessários.

Nesta etapa atual, a avaliação estatística do desempenho do SWAT+ é analisada tomando como base norteadora os parâmetros mais sensíveis identificados pelo método *Sobol* (ZHANG et al., 2013) e o desempenho do modelo é avaliado pelos coeficientes (MORIASI et al., 2007): de *Nash-Sutcliffe* (NSE), *Root Mean Square Error* ou erro médio quadrático (RMSE) e *PBias*. O hidrograma observado e o hidrograma simulado são comparados, na escala mensal e diária. Para fins de interpretação dos resultados, é relevante pontuar que quanto maior o valor de NSE mais adequada é a simulação. De maneira oposta, quanto menor o módulo percentual de PBias melhor a tendência média dos valores simulados serem maiores ou menores do que os dados observados, sendo o seu valor ideal de PBias igual a 0. O mesmo se estende para o RMSE, quanto menor o erro, melhor é o ajuste.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após uma longa seleção, com base na literatura, foram elencados os parâmetros que podem levar a grandes influências na modelagem. Por meio do modelo *Sobol* no programa SWAT+ Toolbox chegou-se aos três mais sensíveis para a BHRC. A saber: quantidade de água disponível nas camadas de solo – A_{wc} (mm H_2O/mm solo), densidade aparente – BD (g/cm^3) e curva número na condição de solo úmido (CN2).

A calibração mensal da primeira versão foi obtida de forma totalmente automática, como apresenta a Figura 1. É possível identificar na Figura 1 que as vazões estimadas destoam das observadas, especialmente quando se trata de picos extremos máximos. Essa divergência pode ser verificada através dos coeficientes estatísticos: NSE 0,71, RMSE 96,71 e PBias 8,42. Observa-se que os coeficientes de NSE e PBias foram considerados bom e muito bom, respectivamente, porém, o RMSE foi considerado ruim (MORIASI et al., 2007). Demonstrando que o modelo teve um ajuste estatístico satisfatório, mas em termos da representação física não estimou bem o comportamento da bacia, considerando a sua vazão média mensal.

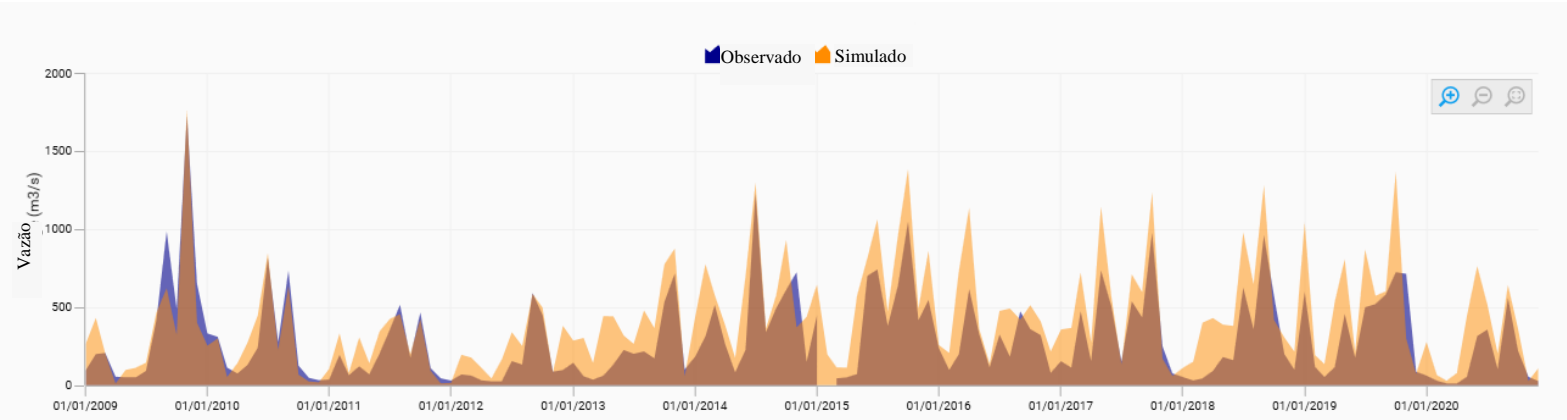


Figura 1 - Desempenho do modelo SWAT+ na modelagem das vazões mensais da BHRC. Gráfico realizado no programa SWAT+ Toolbox.

Se tratando de modelagem é bastante auspicioso encontrar valores de coeficientes estatísticos que estejam enquadrados dentro de patamares muito elevados. Contudo, dadas as incertezas e as variações naturais em termos espaço-temporais das condicionantes, nem sempre a calibração totalmente automática gera valores com ajuste muito bom, embora se observe importantes melhorias de automação da calibração que por consequência tem melhorado muito a etapa de calibração.

Ao avaliar o desempenho do modelo na escala diária (Figura 2) observa-se que as diferenças são ainda mais gritantes, haja vista que quanto mais fina a escala avaliada maiores são as incertezas e os pesos que cada variável assume no balanço hídrico, devido sua grande variação.

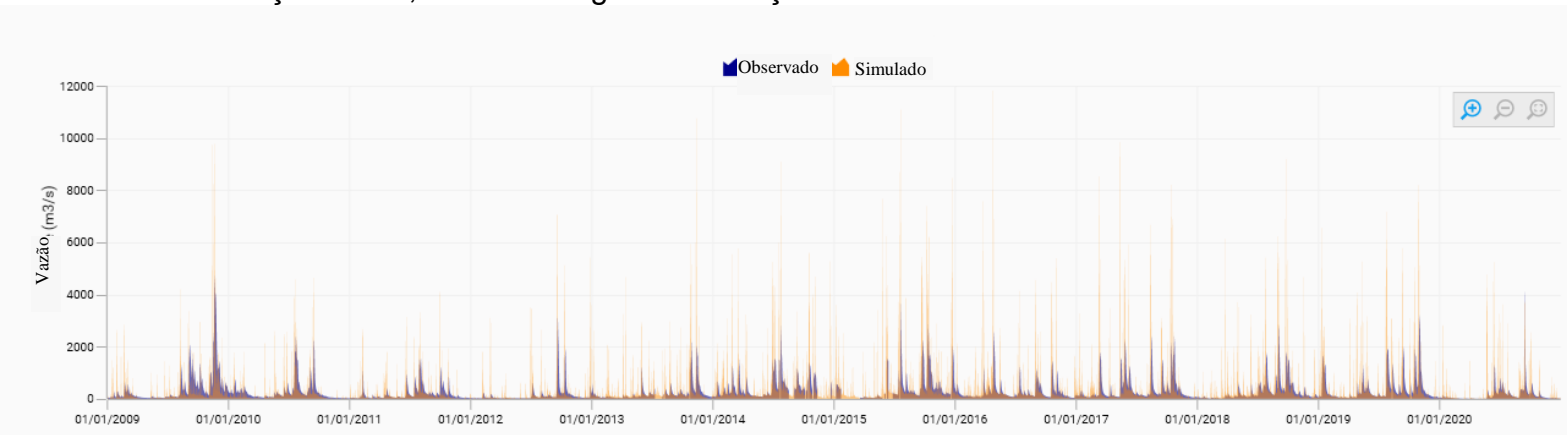


Figura 2 - Desempenho do modelo SWAT+ na modelagem das vazões diárias na BHRC. Fonte: SWAT+ Toolbox

Portanto, com base na Figura 2, vale ressaltar que esta primeira estimativa considerando a sua vazão média diária também não foi satisfatório para representar o comportamento físico da BHRC. Entretanto, ao mesmo tempo, evidenciou-se a necessidade de somar esforços para se chegar a uma calibração semiautomática dos parâmetros de forma que se possa alcançar a validação do modelo, para que assim, de fato, o modelo se torne efetivamente representativo da realidade física da bacia.

4. CONCLUSÕES

A experiência de modelar uma grande e importante bacia da região sul do Brasil, muito característica do bioma Pampa e com diversas peculiaridades de usos e de reflexo direto no âmbito social e financeiro da região, permitiu compreender a importância de todas as etapas necessárias para uma adequada modelagem hidrológica. Com o presente estudo pôde-se concluir que há necessidade de realizar a calibração semiautomática dos parâmetros mais sensíveis identificados no SWAT+ Toolbox para a BHRC, de modo que o modelo possa ser posteriormente validado e assim cumprir o seu papel de servir de suporte ao planejamento dos recursos hídricos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNOLD, J. G. et al. **Soil and Water Assessment Tool Input/Output Documentation Version 2012**. Texas Water Resources Institute, 2012. TRF-439.

BIEGER, K. et al. Representing the Connectivity of Upland Areas to Floodplains and Streams in SWAT+. **Jou. of the Amer. Water Reso. Assoc.**, v. 55, p. 578-590, 2019.

BRESSIANI D. A., et al. **Review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects**. Int J Agric & Biol Eng, 2015; v.8, n.3, p.9–35, 2015.

CASAVECCHIA, B. H. **Aplicação e Análises de Modelos Hidrológicos com Restrição de Dados em uma Sub-Bacia Hidrográfica da Amazônia**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais, Universidade Federal de Mato Grosso. 2017.

CGBHRC, Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã. **A Bacia Hidrográfica**. Acessado em 14 ago. 2022. Online. Disponível em: <http://www.comitecamaqua.com/index.php/a-bacia-hidrografica/caracterizacao-geral>

MORIASI, D. N. et al. Model evaluation systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Trans. ASABE**, v. 50, n. 3, p. 885-900, Mar. 2007.

SELL, B. M.; BRESSIANI, D. A.; BESKOW, S. Bases para Modelagem Hidrológica com SWAT+ em Bacia de Grande Porte. In: **Encontro de Pós-Graduação da UFPel**, 22. PELOTAS, 2020, **Anais**. Pelotas: Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação, 2020.

SELL, B. M.; BRESSIANI, D. A.; BESKOW, S. Modelagem do Balanço Hídrico de uma Bacia Hidrográfica de Grande Porte do Pampa Brasileiro com o SWAT+. In: **Encontro de Pós-Graduação da UFPel**, 23. PELOTAS, 2021, **Anais**. Pelotas: Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação, 2021.

ZHANG, C. et al. Sobol's sensitivity analysis for a distributed hydrological model of Yichun River Basin, China. **Journal of hydrology**, v. 480, p. 58-68. 2013.