

SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA PELO MODELO SWAT PARA UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO BIOMA PAMPA

ALICE ALONZO STEINMETZ¹; VINÍCIUS AUGUSTO DE OLIVEIRA²; DANIELLE
DE ALMEIDA BRESSIANI², SAMUEL BESKOW³

¹Universidade Federal de Pelotas – alicesteinmetz@gmail.com

²Universidade Federal de Lavras – aovinicius@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – daniebressiani@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – samuelbeskow@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas antrópicas representam uma preocupação crescente em todo o mundo. Estas mudanças, de acordo com o “Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas”, culminarão na ocorrência de desastres naturais ligados a eventos climáticos extremos, como secas e inundações severas (SONKOUÉ et al., 2018), tornando a gestão de recursos hídricos ainda mais desafiadora devido às incertezas atreladas às condições hidrológicas no futuro.

As mudanças futuras no clima e seus possíveis impactos na resposta hidrológica de bacias hidrográficas tornam imprescindível o entendimento dos possíveis problemas associados ao abastecimento de água, geração de energia, práticas agrícolas, bem como, para o planejamento futuro, o que torna necessário quantificar os possíveis efeitos dessas mudanças sobre os processos hidrológicos. Para isto, podem ser utilizados em associação: Modelos Climáticos Globais, com projeções de clima futuro, e modelos hidrológicos (ZHANG et al., 2014).

Modelos hidrológicos podem ser empregados para avaliar os impactos das projeções do clima futuro no ciclo hidrológico, como o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). O SWAT é um modelo hidrológico semi-distribuído que permite a consideração de várias ações de gerenciamento, incluindo as melhores práticas de gestão e mudanças no uso do solo, além de ser amplamente utilizado em grandes bacias para estimar hidrogramas, ferramenta gráfica da hidrologia de grande relevância para a análise de vazões resultantes de eventos extremos.

Inúmeros são os estudos que buscam avaliar, via modelagem hidrológica, o impacto das mudanças climáticas sobre diversos processos hidrológicos em bacias hidrográficas. A utilização de modelos hidrológicos é essencial para que o passado seja bem simulado e, portanto, que o comportamento das bacias esteja fisicamente bem representado, para que então se torne possível a simulação do futuro tanto em relação às mudanças climáticas como às melhores práticas de manejo. A partir disso, o objetivo do estudo foi avaliar se o modelo hidrológico SWAT calibrado e validado consegue simular, de forma satisfatória, os hidrogramas diário e mensal para a bacia hidrográfica do rio Piratini.

2. METODOLOGIA

Este estudo contempla a bacia hidrográfica do rio Piratini (BHRP), localizada no sul do Brasil, a qual é uma sub-bacia pertencente à bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo (BHMSG) (Figura 1) e à região de bioma Pampa. A BHMSG é uma bacia transfronteiriça com área total de 62.250 km², da qual 53% está localizada em território uruguaio e 47% está em território brasileiro. Como a água de seus cursos hídricos é utilizada para agricultura, abastecimento público e transporte, a

BHMSG desempenha um papel econômico fundamental no sul do Brasil (BESKOW et al., 2016).

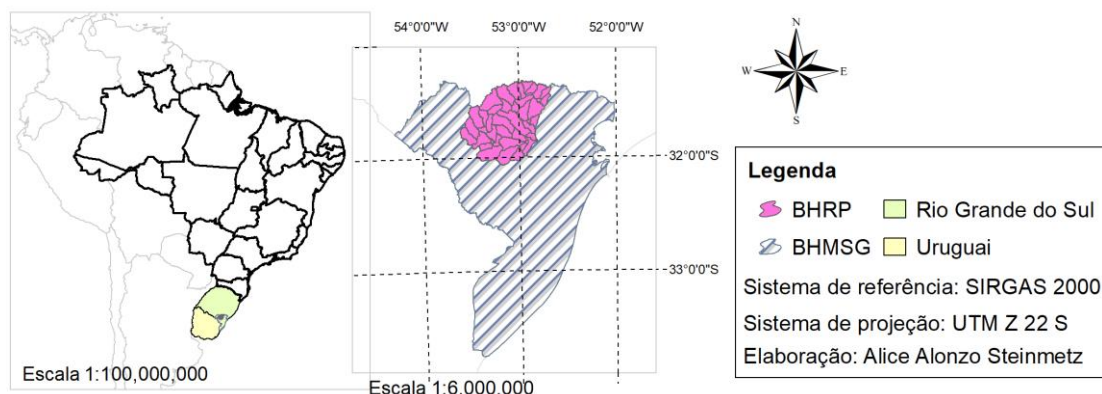


Figura 1 – Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Piratini e da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo no contexto do estado do Rio Grande do Sul, do Brasil e da América do Sul.

Para este estudo foi considerado apenas a área de drenagem da BHRP à montante da estação fluviométrica mantida pela Agência Nacional de Águas (ANA), denominada de “Pedro Osório”. Dessa forma, constituiu-se BHRP no SWAT, com 4.701,3 km². A base de dados espaciais foi definida a partir das informações requeridas pelo modelo hidrológico SWAT: dados de relevo, solo e uso e cobertura do solo.

Para o relevo foi empregado o Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido pela *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) da NASA (FARR et al., 2007), com resolução espacial de 30 m. A variação espacial dos solos na área de estudo foi extraída do Mapa de Solos da Região do Conselho Regional de Desenvolvimento da Região Sul, com base em estudos realizados por Cunha, Silveira e Severo (2006), apontando a classe de solo “Argissolo” com maior predominância. Para obtenção do mapa de uso do solo foi utilizada uma imagem do satélite Landsat 7, obtida junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos, a qual foi interpretada a partir da classificação supervisionada e teve como predominância para a BHRP a classe que representa o “Campo Nativo”.

Para compor a base de dados temporais, foram empregadas séries históricas de vazão, precipitação e variáveis meteorológicas. Para as séries históricas de vazão, foram utilizadas três estações fluviométricas e para as séries de precipitação, foram utilizadas dezesseis estações pluviométricas, sendo elas de responsabilidade da ANA. Dados diários de temperatura mínima e máxima do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e radiação solar foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia e Centro de Pesquisa Agropecuária Clima Temperado da EMBRAPA.

A modelagem hidrológica foi conduzida empregando o período de dados diários observados na seção de controle, no período de 2007 a 2016, sendo o primeiro ano utilizado para aquecimento do modelo, 2008 a 2012 e 2013 a 2016 para calibração e validação, respectivamente. Para a calibração diária e mensal, 20 parâmetros foram selecionados, conforme Oliveira et al. (2017), e a mesma foi feita através da calibração semi-automática pelo método do Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2). Tanto a calibração quanto a análise de incertezas foram realizadas no SWAT-CUP (ABBASPOUR, 2015). Já a validação, foi feita no ArcSWAT (TEXAS A&M, 2012).

A análise de desempenho foi realizada pelo coeficiente *Nash-Sutcliffe* (NS) (NASH e SUTCLIFFE, 1970), sua versão para valores logaritimizados (NS log), *percent bias* (PBIAS) e, através da análise de indicadores hidrológicos (vazão máxima, média e mínima anual, vazão de referência e produção de água).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos hidrogramas mensal e diário resultantes da modelagem hidrológica, foi possível constatar que, de forma geral, a calibração e a validação do modelo SWAT se mostraram satisfatórias para a BHRP. Porém, existe uma dificuldade na estimativa das vazões de pico considerando o passo diário de tempo, as quais foram melhor estimadas quando considerado o intervalo mensal. Ainda assim, a modelagem diária se sobressaiu com relação à mensal quando analisado o NS log com valores de 0,77 e 0,92 para a calibração e validação diária, respectivamente, e com NS log de 0,72 e 0,87 para a calibração e validação mensal (Tabela 1).

Tabela 1. Estatísticas aplicadas para a avaliação do modelo SWAT para os períodos de calibração e validação na bacia hidrográfica do rio Piratini

| Calibração | | | | | | Validação | | | | | |
|------------|------|--------|------|--------|--------|-----------|------|--------|------|--------|--------|
| NS | | NS log | | PBIAS | | NS | | NS log | | PBIAS | |
| D | M | D | M | D | M | D | M | D | M | D | M |
| 0,55 | 0,81 | 0,77 | 0,72 | -13,26 | -42,29 | 0,72 | 0,86 | 0,92 | 0,87 | -32,38 | -18,96 |

De acordo com o NS e o NS log (Tabela 1), os hidrogramas estimados podem ser considerados com acurácia satisfatória para o intervalo de tempo diário e mensal, tanto na calibração quanto para a validação, indicando que o SWAT foi adequado para estimativas em períodos de cheias e estiagem, com valores superiores a 0,50 (MORIASI et al., 2007). De acordo com o PBIAS (Tabela 1), os resultados encontrados para a BHRP indicam superestimativa das vazões para o intervalo de tempo diário e mensal para a calibração e para a validação.

A partir da análise dos indicadores hidrológicos anuais, observou-se que as vazões máximas foram subestimadas pelo SWAT, enquanto que as vazões mínimas foram superestimadas. De acordo com TOBIN e BENNET (2009), um problema documentado do SWAT é o desempenho em eventos de vazão extrema em que o modelo tende a subestimar consideravelmente a vazão.

A superestimativa também foi encontrada para as vazões de referência, as quais apresentaram valores observados de $8,91 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $6,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e valores estimados de $20,69 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $17,58 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para Q_{90} e Q_{95} , respectivamente. Essas vazões são importantes quando se trata da outorga de uso da água, uma vez que mostram a vazões iguais ou excedidas em 90 e 95% do tempo.

Outro indicador analisado neste estudo foi a vazão média de longo termo, a qual é associada à disponibilidade hídrica e que representa a quantidade média de água disponível para atender à demanda oriunda das atividades humanas e para a conservação do ecossistema. A partir da vazão média de longo termo, pode-se estimar a produção de água da BHRP, resultando em $18,94 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ para valores observados e $23,44 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ para valores estimados.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que a calibração e a validação do modelo SWAT, para o passo de tempo mensal e diário, foram satisfatórias para a BHRP. As análises dos indicadores hidrológicos anuais podem servir de ferramenta para a elaboração de Planos de Bacia, de Planos Diretores e de Zoneamento Urbano em municípios ribeirinhos. E, ainda, os resultados encontrados podem servir como base para futuros estudos que abordam os prognósticos de acréscimos/atenuação na temperatura, precipitação, vazão, disponibilidade hídrica, entre outros, oriundos das mudanças climáticas, além de permitir a extração de hidrogramas para sub-bacias específicas não monitoradas, auxílio nos procedimentos de outorga de água, estudos de reservatórios, dimensionamentos hidrológicos e hidráulicos, entre outros.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASPOUR, K. SWAT-CUP 2012. **SWAT Calibration and Uncertainty Program—A User Manual**, 2015.

BESKOW, S. et al. Potential of the LASH model for water resources management in data-scarce basins: a case study of the Fragata River basin, southern Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, 2016.

CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. C.; SEVERO, C. R. S. **Solos e Terras do Planalto Sul-Rio-Grandense e Planícies Costeira**. Pelotas: EMBRAPA/CPACT, 2006. 43p.

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, v. 45, n. 2, RG2004, 2007.

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

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282-298, 1970.

OLIVEIRA, V. A. et al. Assessment of climate change impacts on streamflow and hydropower potential in the headwater region of the Grande river basin, Southeastern Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 15, p. 5005-5023, 2017.

SONKOUÉ, Denis et al. Evaluation and projected changes in daily rainfall characteristics over Central Africa based on a multi-model ensemble mean of CMIP5 simulations. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 137, n. 3-4, p. 2167-2186, 2019.

TEXAS A&M, U. **ArcSWAT software**, ArcSWAT 2012.10.19; 2012.

TOBIN, K. J.; BENNETT, M. E. Using SWAT to Model Streamflow in Two River Basins With Ground and Satellite Precipitation Data 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 45, n. 1, p. 253-271, 2009.

ZHANG, X.; XU, Y.; FU, G. Uncertainties in SWAT extreme flow simulation under climate change. **Journal of Hydrology**, v. 515, p. 205-222, 2014.