

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

MODELAGEM HIDROLÓGICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MAQUINÉ (RS) UTILIZANDO O SWAT

*Luana Lavagnoli Moreira¹; Teiva Fernanda Schettert²; Sofia Royer Moraes³;
Danrlei de Menezes⁴ & Masato Kobiyama⁵*

RESUMO – A modelagem hidrológica proporciona a reconstrução e o entendimento da dinâmica da bacia hidrográfica por meio da simulação dos processos hidrológicos. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo estimar as vazões médias mensais utilizando a simulação hidrológica a partir dos dados de precipitação mensais com aplicação do modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). O local de estudo é a bacia hidrográfica do rio Maquiné (510 km²), inserida no bioma Mata Atlântica, região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Os dados climatológicos utilizados no modelo foram do período de 1989 à 2013 com aquecimento de 3 anos e passo de tempo de simulação mensal. Os testes realizados no SWAT identificaram os seguintes parâmetros de calibração mais sensíveis: CN2 (número da curva para condição de umidade II); CANMAX (máximo interceptado pela vegetação) e GW_REVAP (coeficiente de ascensão da água à zona de saturação). O resultado da simulação foi avaliado através dos índices estatísticos Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) e razão entre a raiz do erro quadrático médio e o desvio padrão (RSR) que apresentaram valores de 0,55 e 0,67, respectivamente, após a calibração. Esses valores indicam desempenho satisfatório do modelo, com vazão média mensal na ordem de 20 m³/s no rio Maquiné.

Palavras-Chave – vazões, calibração, recursos hídricos.

ABSTRACT – The hydrological modeling provides the representation and understanding of the watershed dynamics through the simulation of the hydrological processes. In this sense, the present work aimed to estimate the monthly mean discharge using hydrological simulation from the rainfall data with the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model. The study site is the Maquiné river watershed (510 km²), which is part of the Atlantic Forest biome, in the northeastern region of the state of Rio Grande do Sul. The climatological data used in the model were from 1989 to 2013 with a 3-year heating and monthly simulation time step. The SWAT tests identified the following most sensitive calibration parameters: CN2 (initial SCS runoff curve number for moisture condition II); CANMAX (maximum canopy storage) and GW_REVAP (groundwater "revap" coefficient). The results of the simulation were evaluated using the Nash-Sutcliffe Coefficient (NSE) and the ratio of the root mean square error to the standard deviation of measured data (RSR), which presented values of 0.55 and 0.67, respectively after calibration. These values indicate satisfactory performance of the model, with mean discharge equal 20 m³/s in Maquiné river.

Keywords – discharge, calibration, water resources.

1) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, lavagnoliluana@gmail.com, 51 3308-7518

2) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, teivaschettert@gmail.com, 51 3308-7518

3) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, sofiaroyermoraes@gmail.com, 51 3308-7518

4) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, d.menezes18@gmail.com, 51 3308-7518

5) Professor do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, masato.kobiyama@ufrgs.br, 51 3308-7518

1 - INTRODUÇÃO

O monitoramento de bacias é indispensável para o entendimento dos seus processos hidrológicos e sua dinâmica como um todo. Entretanto, há baixa disponibilidade de recursos humanos com qualificação técnica e recursos financeiros para proporcionar uma cobertura efetiva das bacias existentes em nosso país.

A modelagem hidrológica foi desenvolvida para proporcionar a representação do comportamento da bacia hidrográfica através da simulação de processos hidrológicos a fim de estimar as variáveis não monitoradas. Além disso, contribui efetivamente para fornecer informações necessárias para projetos relacionados à gestão dos recursos hídricos.

Nessa perspectiva, os modelos hidrológicos permitem prever os possíveis impactos sobre a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos e a resposta da bacia à diferentes ações (NEITSCH *et al.*, 2011). Exemplo disso são as precipitações extremas, estiagens e mudança do uso do solo, em que os modelos apresentam-se como ferramentas para avaliação dos processos hidrológicos em diferentes escalas espaciais e temporais (SPRUILL *et al.*, 2000; TUCCI, 2005). Ainda, com o aprimoramento de sistemas de informações geográficas (SIG), os modelos hidrológicos são desenvolvidos e aplicados com maior embasamento físico uma vez que o uso de um SIG possibilita a representação dos parâmetros dos modelos de forma distribuída (VEITH *et al.*, 2010).

O modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) tem atraído o foco de inúmeras pesquisas devido à sua ampla utilização (GASSMAN *et al.*, 2007). O modelo foi desenvolvido na década de 90, nos Estados Unidos, pelo *Agricultural Research Service* e pela *Texas A & M University*. O SWAT é um modelo matemático que permite que diferentes processos físicos sejam simulados em uma bacia hidrográfica (ARNOLD e ALLEN, 1996)

Nesse sentido, o SWAT é capaz de simular o comportamento hidrológico, a produção de água e sedimentos, a qualidade da água e contribuição ou perda de nutrientes em função das alterações do uso e ocupação do solo (WU e XU, 2006). Inicialmente, o SWAT foi projetado para estimar a quantidade e a qualidade da água sob diferentes condições ao longo do tempo em bacias pequenas e grandes com precisão satisfatória (FRANCESCONI *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2016; GOLMOHAMMADI *et al.*, 2017).

O conhecimento das vazões médias de longo período e sua variabilidade são indicadores da disponibilidade hídrica, na qual a vazão média de uma bacia é a maior vazão que pode ser regularizada. Alterações na vazão média da bacia refletem modificações no sistema de fluxo e mudança no uso do solo na bacia (TUCCI, 2003). Nessa perspectiva, a bacia hidrográfica do rio Maquiné carece de informações, principalmente no que se refere a simulações de vazões. Os primeiros trabalhos realizados na bacia envolveram a avaliação da dimensão fractal da rede de

drenagem (TAVARES *et al.*, 2017), a distribuição da chuva na bacia (GODOY *et al.*, 2017) e a variabilidade temporal e espacial da erosividade da chuva na bacia (MOREIRA *et al.*, 2018).

Assim, o objetivo deste trabalho consiste em estimar as vazões médias na bacia hidrográfica do rio Maquiné por meio da aplicação do modelo SWAT para obter dados necessários à gestão dos recursos hídricos, suprimindo a carência de monitoramento.

2 - METODOLOGIA

A modelagem hidrológica foi aplicada na bacia hidrográfica do rio Maquiné, localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul - Brasil como limites 29° 23'S a 29°45'S e 50°07'W a 50°22'W, abrangendo uma área de drenagem de 510 km². A área de estudo localiza-se no bioma Mata Atlântica, está inserida predominantemente no município de Maquiné/RS com uma pequena parte localizada ao norte no município de São Francisco de Paula/RS (Figura 1). O rio Maquiné é formado por diversos afluentes, os quais destacam-se os arroios Lageado, Garapiá, Forqueta, do Ouro, Ligeiro Encantado e Água Parada.

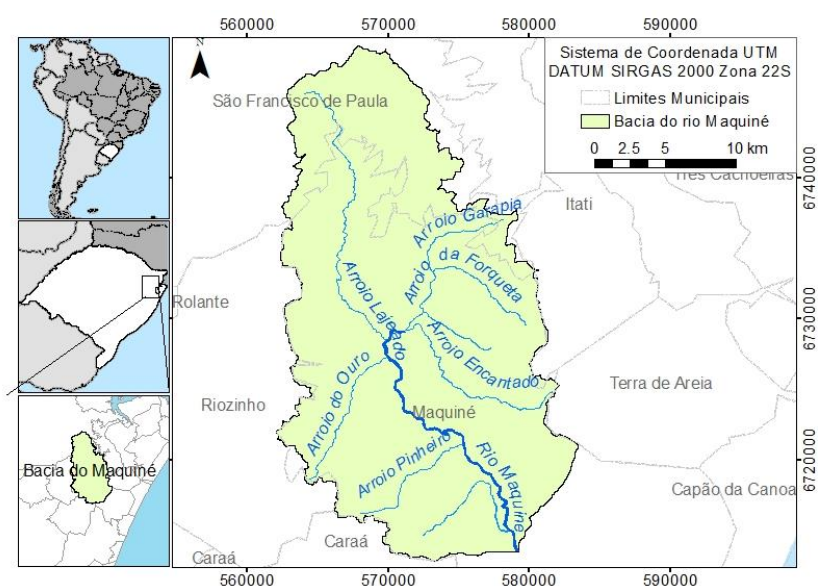


Figura 1 – Localização da bacia do rio Maquiné, RS.

A primeira etapa da modelagem no SWAT consistiu na delimitação da bacia em 11 sub-bacias de forma a abranger os principais afluentes do rio Maquiné e a estação fluviométrica (Figura 2a). Além disso, a rede de drenagem foi obtida por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros (Figura 2b), fornecido pelo *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), desenvolvido em outubro de 2011, através de cooperação conjuntado *Ministry of Economy, Trade, and Industry of Japan* (METI) e *United States National Aeronautics and Space Administration* (NASA).

Em seguida foram compatibilizados os dados de pedologia (Figura 1c) fornecido pelo IBGE (2016) e de uso e ocupação do solo (Figura 2d) obtido através do método de classificação orientada ao objeto (GEOBIA) com uso de imagens de satélite *RapidEye* com resolução espacial de 5 metros e das classes de declividades geradas através do MDE. A partir dos dados anteriores foram definidas as unidades de resposta hidrológica (*hydrologic response units – HRU*).

Em cada tipo de solo da bacia do rio Maquiné (chernossolo, cambissolo, neossolo litólico e gleissolo) foram definidos: o número de horizontes do solo (NLAYERS); a profundidade de cada horizonte (SOL_Z); as porcentagens de argila (CLAY), silte (SILT), areia (SAND) e cascalho (ROCK) obtidos pelo projeto RADAM (BRASIL, 1975); a densidade do solo (SOL_BD) foi estimada com base na tabela de classificação textural e densidade aparente do solo de Taylor (1966); a capacidade de água no solo (SOL_AWC) foi estimada pela equação proposta por Dias Junior *et al.* (2000) usando dados de umidade relativa obtida em Brasil (1975); a condutividade do solo (SOL_K) baseou-se na tabela de classificação textural e condutividade hidráulica de Dent e Yong (1981); e o albedo do solo (SOL_ALB) segundo a tabela de uso do solo e albedo de Oliveira *et al.* (2013).

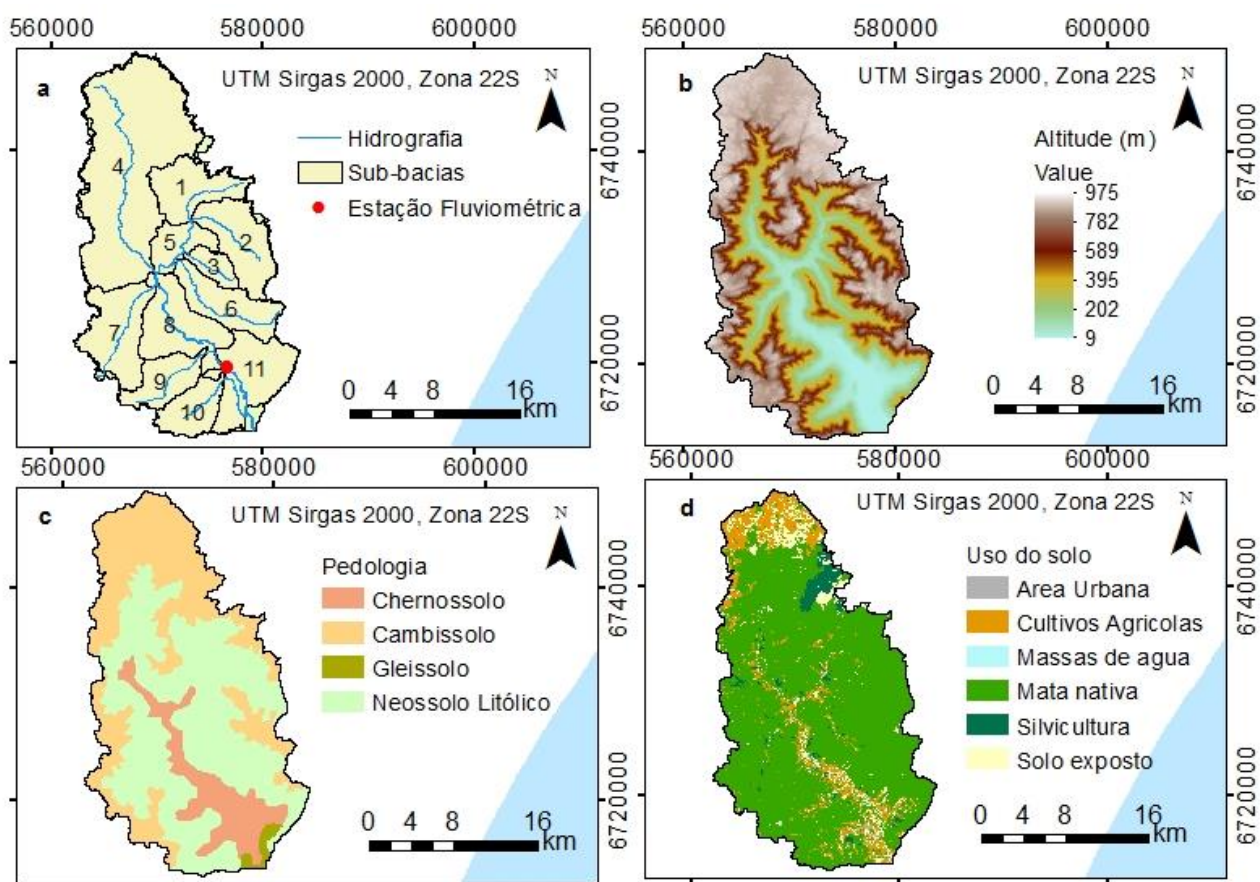


Figura 2 – Caracterização da bacia do rio Maquiné: (a) Mapas de sub-bacias com localização da estação fluviométrica; (b) altimetria; (c) pedologia; e (d) uso e ocupação do solo.

Nos parâmetros relativos ao uso e ocupação do solo, sendo o mais relevante a curva número do método SCS (CN), foram utilizados os valores definidos no SWAT, considerando a seguinte correlação: *agricultural land-generic* (AGRL) para cultivos agrícolas, *barren* (BARR) para solo exposto, *forest-evergreen* (FRSE) para mata nativa, *pine* (PINE) para silvicultura, *water* (WATR) para massa d'água e *residential-low density* (URLD) para área urbana.

Após definição das HRU, foram inseridos os dados climatológicos de radiação solar (kJ/m²), precipitação pluviométrica (mm), temperaturas máximas e mínimas do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m/s) provenientes da *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) do período de janeiro de 1989 até dezembro de 2013.

Por fim, procedeu a simulação no SWAT, onde foram definidos: o período de aquecimento de 3 anos (parcela inicial do tempo de simulação para tratar incertezas do modelo devido ao desconhecimento das condições iniciais); o período de simulação com base nos dados climáticos (1989 a 2013); o passo de tempo da simulação mensal; e as vazões médias como dados de saída.

Para calibração manual do modelo, foram utilizados os dados de vazão da única estação fluviométrica da bacia do rio Maquiné, código 87317030, sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA) e operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), para o período de 1992 a 2013 (Figura 2a). Antes da calibração, foram avaliados parâmetros mais sensíveis ao modelo através da alteração de seus valores máximos e mínimos e verificação na variação das vazões simuladas.

Para avaliação dos resultados obtidos após a calibração, foram escolhidas duas funções-objetivo amplamente empregadas na literatura envolvendo modelagem hidrológica por meio do SWAT: Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) e a razão entre a raiz do erro quadrático médio (RMSE) e o desvio padrão dos dados medidos (STDEV_{obs}) (RSR) indicados pelas equações 1 e 2.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_m - E_s)^2}{\sum_{i=1}^n (E_m - \bar{E})^2} \quad (1)$$

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_m - E_s)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_m - \bar{E})^2}} \quad (2)$$

onde E_m é o valor monitorado; E_s é o valor simulado; n é o número de eventos; \bar{E} é a média de eventos monitorados. Moriasi *et al.* (2007) apresentaram a relação de valores classificados como muito bom, bom, satisfatório e insatisfatório para cada coeficiente utilizado na calibração de modelos hidrológicos (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação dos coeficientes de calibração para a modelagem de vazões

Classificação	NSE	RSR
Muito boa	0,75 a 1,00	0 a 0,5
Boa	0,65 a 0,75	0,5 a 0,6
Satisfatória	0,50 a 0,65	0,6 a 0,7
Insatisfatória	< 0,50	> 0,7

Fonte: Adaptado de Moriasi *et al.* (2007).

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta as vazões estimadas pré e pós calibração pelo SWAT e vazões monitoradas pela estação fluviométrica de Maquiné referente à sub-bacia 11. Enquanto na Tabela 2 são apresentadas as vazões mensais de longo período estimadas pós calibração e monitoradas.

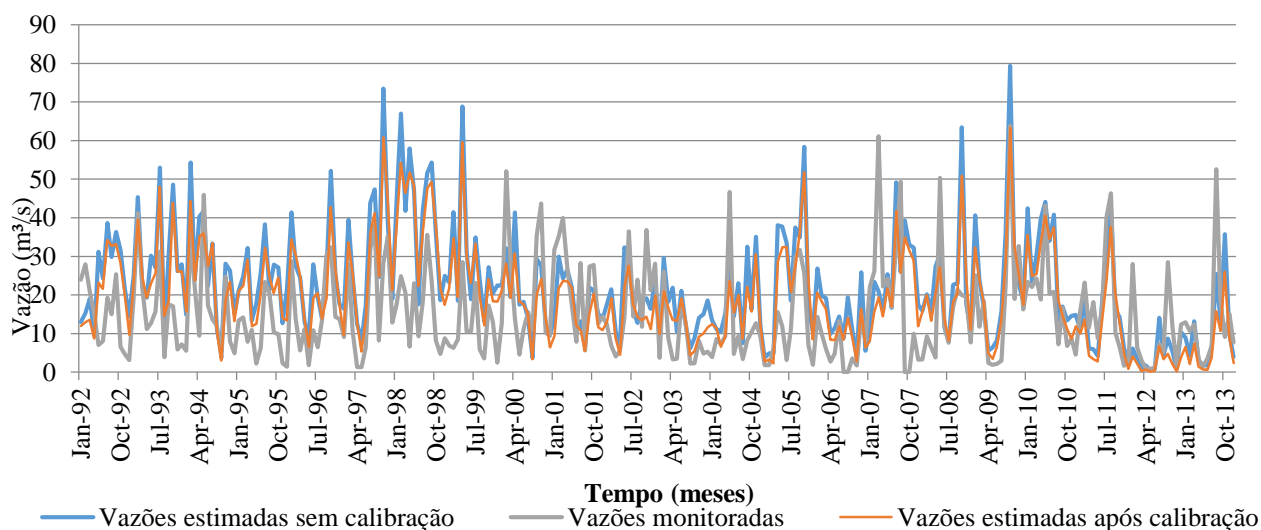


Figura 3 – Vazões estimadas pré e pós calibração, monitoradas na bacia do rio Maquiné.

Tabela 2 – Vazões médias mensais de longo período (1992 a 2013) estimadas e monitoradas na bacia do rio Maquiné.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Vazão média estimada (m³/s)	17,11	22,58	17,65	18,68	19,17	17,99	23,44	19,62	21,38	26,64	18,77	12,36
Vazão média monitorada (m³/s)	15,28	20,08	16,16	10,95	15,36	11,47	17,95	20,00	19,11	17,69	11,87	8,43
Diferença (%)	10,71	11,08	8,43	41,37	19,85	36,23	23,43	-1,94	10,62	33,57	36,78	31,84

Nos testes realizados no SWAT para avaliação da sensibilidade foram identificados os seguintes parâmetros de calibração mais sensíveis: CANMAX (quantidade máxima de água interceptada pela vegetação); CN2 (número da curva para condição de umidade II); GW_REVAP (coeficiente de ascensão de água à zona de saturação). Para calibração do modelo o parâmetro CN2

teve redução de 40% do valor inicial, o valor do parâmetro CANMAX teve acréscimo de 0 para 40 mm de água e o valor do coeficiente GW_REVAP aumentou de 0,02 para 0,10.

A simulação sem calibração apresentou superestimação da vazão. A calibração do modelo foi realizada no sentido de atenuar superestimação levando em conta os atributos principais da bacia que é caracterizada por grande parte de sua área ser ocupada por floresta nativa. Assim, o uso do solo, a interceptação vegetal e a demanda de água pela floresta são fatores destaques a serem considerados para um ajuste mais fiel à realidade da bacia em questão.

A redução do parâmetro CN2 simulou o efeito da cobertura vegetal nativa no aumento da taxa de infiltração da precipitação no solo; o aumento do parâmetro CANMAX promoveu maior interceptação pelo dossel da floresta; já o aumento do parâmetro GW_REVAP que é afetado principalmente pelo tipo de cobertura vegetal existente, simulou o efeito de maior absorção da água de aquíferos rasos pelas raízes das árvores. Comportamento semelhante foi verificado por Pereira *et al.* (2014), que retornou valores menores de escoamento superficial para a bacia do córrego do Galo no Espírito Santo (943 km²), em cenário de cobertura florestal nativa – Bioma Mata Atlântica.

Os valores de vazão obtidos pré e pós a calibração (Tabela 2) foram avaliados pelos índices estatísticos NSE e RSR conforme os intervalos de classificação de Moriasi *et al.*, (2007). O NSE indica o quão bem o conjunto de dados observados versus dados simulados se ajusta à linha 1:1. O NSE têm variação do $-\infty$ à 1.0, sendo NSE igual à 1 o valor ideal. O RSR varia do valor ideal de 0 para um valor positivo grande, o valor zero para RMSE ou variação residual indica uma perfeita simulação de modelo, quanto menor RSR, menor o RMSE, e melhor o desempenho da simulação do modelo (MORIASI *et al.*, 2007).

Os valores de NSE = 0,55 e RSR = 0,67 (Tabela 3) indicam que a simulação atingiu desempenho classificado como satisfatório, convergindo com os resultados de NSE para dados mensais de simulações realizadas com uso SWAT em bacias brasileiras, conforme estudos levantados por Bressiani *et al.*, (2015).

Tabela 3 – Valores das funções objetivo resultantes da modelagem sem e com calibração.

Função objetivo	Sem calibração	Com calibração
NSE	0,42	0,55
EQM	0,76	0,67

Em relação a trabalhos desenvolvidos no Brasil empregando o modelo SWAT em estudos hidrológicos com dados mensais, Fukunaga *et al.* (2015) teve resultados de NSE igual a 0,67 e RSR de 0,57 para o período de janeiro de 1993 à novembro de 1995 na bacia do alto rio Itapemirim (2237 km²) do estado do Espírito Santo; Souza *et al.* (2009) obteve um NSE de 0,72 para o período

entre 1994 e 1998 na bacia do Altíssimo Rio Negro (787,8 km²) localizada ao norte de Santa Catarina e ao sul do Paraná e Castro *et al.* (2016) obteve um NSE de 0,69 na bacia do rio das Pedras (332,01 km²) localizada no município de Guarapuava, região Centro-Sul do estado do Paraná.

A grande heterogeneidade da vegetação, pedologia, relevo, clima e uso do solo no Brasil torna complexa a comparação de estudos relacionados a utilização do SWAT. A escala de bacia, o tamanho das séries e o passo de tempo dos dados utilizados também são diferenciais para análise conjunta dos trabalhos. Todavia, a intensificação do uso do modelo pode possibilitar o conhecimento da diversidade das bacias brasileiras (BRESSIANI *et al.*, 2015) mesmo para aquelas que possuam carência de dados, neste caso a modelagem deverá levar em conta a incerteza dos dados (BONUMÁ *et al.*, 2013). A adaptação da base de dados dos parâmetros de vegetação do SWAT às condições tropicais (STRAUCH *et al.*, 2013) seria um exemplo de aprimoramento importante para uma simulação mais precisa.

Modelos que calculam a vazão da bacia através da precipitação (modelos precipitação-vazão) são utilizados no gerenciamento de recursos hídricos nos mais diversos usos (TUCCI, 2005). A quantificação das vazões médias para a bacia do rio Maquiné e a respectiva calibração do modelo aplicado contribuirão na geração de informações e dados para diversos tipos de demandas de gestão, como outorga do uso da água, planejamento territorial, monitoramento ambiental, gestão de desastres naturais e acompanhamento da dinâmica hidrológica da bacia entre outras aplicações.

4 – CONCLUSÃO

A utilização do SWAT para modelagem hidrológica a partir dos dados de precipitação da bacia do rio Maquiné possibilitou obter valores de vazões médias coerentes, uma vez que a calibração do modelo alcançou valores estatísticos satisfatórios, com vazão média mensal na ordem de 20 m³/s no rio Maquiné. Dessa forma, essas vazões simuladas serão importantes para gestão de recursos hídricos na bacia que atualmente carece de dados de monitoramento hidrológico.

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem ao apoio financeiro fornecido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e ao Programa de apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Regulação e Gestão de Recursos Hídricos – Pró-Recursos Hídricos - Chamada N° 16/2017, coordenado pela CAPES e Agência Nacional de Recursos Hídricos (ANA).

REFERÊNCIAS

ARNOLD, J.G.; P. M. ALLEN. (1996) “*Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds*”. Journal of Hydrology, v.176, p.57- 77, 1996.

BONUMÁ, N. B.; ROSSI, C. G.; ARNOLD, J. G.; REICHERT, J. M.; PAIVA, E. M. C. D. (2013). “*Hydrology evaluation of the Soil and Water Assessment Tool considering measurement uncertainty for a small watershed in Southern Brazil*”. Applied Engineering in Agriculture 29 (2), pp. 189-200.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM (1975). *Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SL.22 Lagoa Mirim; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, Brasil. v.33, 794p.

BRESSIANI, D. A.; GASSMAN, P. W.; FERNANDES, J. G.; GARBOSSA, L.; SRINIVASAN, R.; BONUMA, N. B.; MENDIONDO, E. M. (2015). “*A review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: challenges and prospects*”. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 8 (3), pp. 1-27.

CASTRO, R. A.; GEFFER, E.; WOUK, T. (2016) “*Análise de sensibilidade e calibração do modelo Swat aplicado na bacia do Rio das Pedras – Guarapuava/PR*” in Anais do XI Simpósio Nacional de Geomorfologia, Maringá.

DENT, D.; YONG, A. (1981). *Soil survey and land evaluation*. London, G. Allen e Unwin. 278 p.

DIAS JUNIOR, M. S.; BERTONI, J. C.; BASTOS, A. R. R. (2000). *Curso de pós-graduação em solos e nutrição de plantas*. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências do Solo - Setor de Física do Solo, Lavras.

FUKUNAGA, D.C.; CECÍLIO, R.V.; ZANETTI, S.S.; OLIVEIRA, L.T.; CAIADO, M.A.C. (2015). “*Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil*”. Catena 125, pp. 206-213.

FRANCESCONI, W.; SRINIVASAN, R.; PÉREZ-MIÑANA, E.; WILLCOCK, S.; QUINTERO, M. (2016). “*Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to model ecosystem services: A systematic review*”. Journal of Hydrology 535, pp. 625-636.

GASSMAN, P. W.; REYES, M. R.; GREEN C. H.; ARNOLD, J.G. (2007) “*The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions*”. Transaction of the ASABE 50, pp. 1211-1250.

GODOY, J. V. Z., BAUMBACH, M. F., MELO, C. M., & KOBAYAMA, M. (2017). *Análise estatística da distribuição de chuva na região da Bacia Hidrográfica do Rio Maquiné, RS*. Anais do evento. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

GOLMOHAMMADI, G.; RUDRA, R.; DICKINSON, T.; GOEL, P.; VELIZ, M. (2017). “*Predicting the temporal variation of flow contributing areas using SWAT*”. Journal of Hydrology 547, pp. 375-386.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2016). *Mapa pedológico da Amazônia Legal 1:250.000*. Disponível em:<ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/amazonia_legal/.2016>. Acesso em fevereiro de 2018.

MOREIRA, L. L.; VASCONCELLOS, S. M.; KOBAYAMA, M. (2018). *Avaliação temporal e espacial da erosividade das chuvas na bacia hidrográfica do Rio Maquiné, RS*. Anais do evento. XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos.

- MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. (2007). “*Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*”. Transactions of the ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers 50 (3), pp. 885-900.
- NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. (2011) “*Soil and Water Assessment Tool- Theoretical Documentation*”. Temple: Agricultural Research Service, 647p.
- OLIVEIRA, G.; MORAES, E.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; RUDORFF, B.F.T.; ALVALÁ, R.C.S.; SANTOS, T.V. (2013). “*Avaliação do albedo em diferentes tipos de uso e cobertura da terra no sudoeste da Amazônia*” in Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, p. 8706-8713.
- PEREIRA, D. R.; ALMEIDA, A. Q; MARTINEZ, M. A.; ROSA D. R. Q. (2014). “*Impacts of deforestation on water balance components of a watershed on the Brazilian East Coast*”. Revista Brasileira de Ciência do Solo 38, pp.1350–1358.
- SOUZA, R M; SANTOS, I; KOBAYAMA, M. (2009). “*O modelo SWAT como ferramenta para a gestão de recursos hídricos: avaliação de vazões de outorga na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro*” in anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande.
- SPRUIELL, C. A.; WORKMAN, S. R.; TARABA, J. L. (2000) “*Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model*”. Transactions of the ASAE 43, pp.1431-1439.
- STRAUCH, M.; VOLK, M. (2013). “*SWAT plant growth modification for improved modeling of perennial vegetation in the tropics*”. Ecological Modelling, pp. 269: 98–112.
- TAVARES, T. G. A.; SILVA, D. F.; KOBAYAMA, M. (2017). *Geometria fractal da bacia hidrográfica do Rio Maquiné/RS*. Anais do evento. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER Jr., J. J. (1966) “*Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials*”. Journal Soil Sciences 102, pp. 18-22.
- TUCCI, C. E. M. (2005). *Modelos hidrológicos*. 2. ed. ABRH, UFRGS, Porto Alegre - RS, 680 p.
- TUCCI, C.E.M. (2003). “*Vazões Médias*”, in *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Org. por Paiva, J.B.D. de e Paiva, E.M.C.D. de. ABRH, UFRGS, Porto Alegre - RS, pp. 113-123.
- WU, K.; XU, Y.J. (2006) “*Evaluation of the applicability of the SWAT model for coastal watersheds in southeastern Louisiana*”. Journal of The American Water Resources Association, Malden 42 (5), pp.1247-1260.
- VEITH, T. L.; LIEW, M. W. VAN; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G. (2010); “*Parameter sensitivity and uncertainty in SWAT: A comparison across five USDA-ARS watersheds*”. Transactions of the ASABE 53, pp.1477-1486.
- ZHANG, D.; CHEN, X.; YAO, H.; JAMES, A. (2016) “*Moving SWAT model calibration and uncertainty analysis to an enterprise Hadoop-based cloud*”. Environmental Modelling & Software 84, pp. 140-148.