

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ESTIMATIVA DE VAZÃO DO MODELO SWAT EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO SUL DE SANTA CATARINA

Tamilis Comin Colombo¹, Cláudia Weber Corseuil², Álvaro José Back³, Felipe Maciel Paulo Mamedio⁴, Mateus Sehnem⁵, Arieli Bellettini⁶

¹ Universidade Federal de Santa Catarina/Campus Araranguá/Engenharia de Energia/ tamiliscomin@hotmail.com

² Universidade Federal de Santa Catarina/Campus Araranguá/Engenharia de Energia/ cwcorseuil@hotmail.com

³ Universidade do Extremo Sul Catarinense/ Criciúma/ ajb@unesoc.net

⁴ Universidade Federal de Santa Catarina/Campus Araranguá/Engenharia de Energia/ mateussehnem@hotmail.com

⁵ Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas/PPGRH/(fmp_mamedio@hotmail.com)

⁶ Universidade Federal de Santa Catarina/Campus Araranguá/Engenharia de Energia/ arielibellettini@hotmail.com

Resumo: Estudos hidrológicos em bacias hidrográficas possibilitam a análise dos processos e fenômenos que controlam o movimento da água, assim como os prováveis impactos das alterações do uso do solo sobre a quantidade e a qualidade da água em seu ciclo (BONUMÁ et al. 2013). O SWAT (Soil and Water Assessment Tool) é um modelo hidrológico que permite simular diferentes processos físicos em bacias como, a evapotranspiração, infiltração, escoamento de água, vazão, entre outros. O modelo tem por objetivo analisar os impactos das alterações no uso do solo sobre o escoamento (superficial e subterrâneo), produção de sedimentos e qualidade de água em bacias hidrográficas não instrumentadas (NEITSCH et al., 2009). O objetivo do estudo foi avaliar a estimativa de vazão da Bacia Hidrográfica do Rio Capivari (BHRC), no sul de Santa Catarina, com o modelo SWAT. Para avaliar a resposta do modelo foram comparados dados mensais de vazão simulados, com os medidos no exutório da bacia, para um período de um ano (1987-1988). As médias mensais de vazão simuladas foram comparadas com as médias mensais de vazão medidas, utilizando o índice de Nash e Sutcliffe (NSE) e o coeficiente de determinação (R^2). Os valores de NSE e R^2 para a simulação, no período de aquecimento do modelo (um ano), foram de 0,49 e 0,89, respectivamente. A simulação realizada mostrou que o modelo SWAT apresentou resultados aceitáveis para o ano analisado, mesmo sem a realização da análise de sensibilidade e a calibração dos parâmetros de entrada do modelo, cuja variação tem maior influência na simulação da vazão. Os resultados evidenciam que o modelo SWAT pode ser utilizado na avaliação da vazão da bacia de estudo. Entretanto, a fim de que seja obtido o melhor desempenho, faz-se necessário efetuar a calibração do modelo utilizando uma série histórica de dados de vazão mais longa.

Palavras-Chave: bacia hidrográfica, modelo hidrológico, análise de desempenho.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que possui uma grande quantidade de recursos hídricos, o que favorece o desenvolvimento de atividades que requerem uso abundante de água, como agricultura, pecuária e geração de energia. No entanto, apesar da boa disponibilidade hídrica, a sua distribuição é irregular, tanto no tempo, como no espaço. Kobiyama et al. (2008) comentam que, esses fatores desaceleram o desenvolvimento social e econômico dos países. Isso acontece, principalmente, pelo aumento da população mundial, que consequentemente causa uma excessiva extração dos recursos hídricos, sem permitir que as devidas reposições naturais ocorram. Dessa maneira, estimar a disponibilidade do recurso hídrico é de fundamental importância, de modo que seja realizada a adequada gestão do recurso perante as atividades recorrentes.

Para avaliar a disponibilidade hídrica de um recurso, assim como os possíveis impactos sobre a quantidade e qualidade dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, é necessário realizar estudos hidrológicos, que possibilitam a compreensão e interpretação

dos processos que envolvem o movimento da água no ciclo hidrológico (BONUMÁ et al., 2013).

A seção de rio, que define o local de entrada e saída da água em uma bacia hidrográfica, e o fluxo de materiais que circulam por essa seção, como o solo, água, nutrientes e poluentes, são fatores que fazem da bacia uma área ideal para a análise e o gerenciamento integrado dos recursos hídricos (BONUMÁ et al., 2013; KOBAYAMA et al., 2008). Para avaliar os processos hidrológicos é necessário monitorá-los no tempo e no espaço, por meio de estações pluviométricas, fluviométricas, meteorológicas e sedimentológicas instaladas em diferentes locais na bacia hidrográfica. Contudo, esse monitoramento, muitas vezes custa caro, e nem sempre é possível abranger todas as partes da bacia. Por essa razão, muitos modelos hidrológicos foram desenvolvidos para simular os processos hidrológicos de forma distribuída em bacias hidrográficas, permitindo estimar, com certa confiabilidade, parâmetros como a produção de água e sedimentos, e como exemplo dessa ferramenta, o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Esse é um modelo que possibilita a representação de diferentes processos físicos em uma bacia hidrográfica como, a evapotranspiração, infiltração, escoamento de água, entre outros, com o objetivo de analisar os impactos gerados por alterações no uso do solo sobre o escoamento (superficial e subterrâneo), produção de sedimentos e também qualidade de água, de forma especializada em bacias hidrográficas grandes e complexas, não instrumentadas (NEITSCH et al., 2009).

Ainda, segundo Neitsch et al. (2009), os resultados obtidos pelo modelo possibilitam a construção de hidrogramas e sedimentogramas para análise da vazão e fluxo de sedimentos. Vários estudos têm sido realizados em bacias hidrográficas utilizando o modelo SWAT, para analisar, por exemplo, o escoamento superficial (LINO et al., 2009); a vazão mínima dos rios (SOUZA e SANTOS, 2013); o balanço hídrico e a vazão (BONUMÁ et al., 2013); produção de sedimentos (ZANIN, 2015).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho do modelo SWAT na simulação da vazão da bacia hidrográfica do rio Capivari, no sul de Santa Catarina.

2 METODOLOGIA

Para o estudo das vazões da BHRC foi utilizado o modelo hidrológico *ArcSWAT*, versão 2012, integrado ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) *ArcGis 10.3*. O SWAT é um modelo semi-distribuído, que foi desenvolvido para aplicação em bacias hidrográficas. A sua utilização requer dados de entrada na forma de mapas e tabelas. O

ciclo hidrológico utilizado nas simulações do modelo, é baseado na equação do balanço hídrico (NEITSCH et al., 2009).

O escoamento superficial pode ser estimado pelo método de infiltração de *Green & Ampt* ou do *Soil Conservation Service* (SCS) (NEITSCH et al., 2009). Desta forma, para o estudo, foram utilizados dados diários de precipitação para estimar o escoamento superficial pelo método da Curva Número (CN) do SCS (Apud USDA, 1986). Os valores de CN são definidos em função do grupo hidrológico do solo e dependem das características do solo (granulometria, profundidade, capacidade de água disponível, entre outros), condições de uso e cobertura do solo, umidade antecedente do solo e declividade do terreno. Os volumes de água são calculados com base nos parâmetros do ciclo hidrológico e são conduzidos para a rede de drenagem, até o encontro do ponto mais a jusante da bacia hidrográfica (seção do rio de medição - exutório), no qual o valor total de produção de água é então determinado (BONUMÁ et al. 2013). A evapotranspiração potencial foi calculada pelo *Penman-Monteith* (MONTEITH, 1965, Apud NEITSCH et al., 2009).

2.1 Área de estudo

No presente trabalho, o SWAT foi aplicado à BHRC (620,845 km²), localizada na região sul de Santa Catarina, nas longitudes de 48° 59' 17"W a 28°.30' 16"W e latitudes 48° 55' 08"S a 28° 22' 53"S (Figura 01). A BHRC abrange os municípios de São Bonifácio, São Martinho, Armazém e Gravatal.

Figura 01 – Destaque da área da Bacia Hidrográfica do rio Capivari.



Fonte: Autores, 2016.

As nascentes dessa bacia estão localizadas na Serra Geral (SC), a qual forma com outras 4 bacias, o sistema de drenagem da bacia do rio Tubarão e Complexo Lagunar (5.959,97 km²) (EPAGRI, 2002). A precipitação média anual na bacia é de 1600 mm. As maiores precipitações médias anuais ocorrem nos meses de verão (dezembro a março),

sendo fevereiro, o mês mais chuvoso (CATARINA, 2002). Nas planícies fluviais da bacia situam-se as áreas urbanizadas, localizadas nos municípios de Armazém e Gravatal (SC).

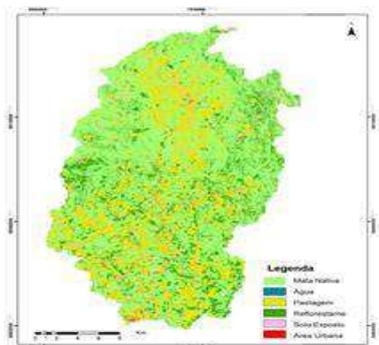
2.2 Levantamento de dados

O modelo requer como dados de entrada o mapa de topografia, tipos de solos, uso e cobertura do solo e classes de declividade. Além desses, é necessário valores diários de precipitação (mm), temperatura máxima e mínima do ar (°C), radiação solar ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), velocidade do vento (m.s^{-1}) e umidade relativa (%) (NEITSCH et al., 2009). Esses dados foram obtidos de uma estação meteorológica, localizada em Urussanga, 8 estações pluviométricas, localizadas em Anitápolis, Anitápolis-Divisa, Armazém, Paulo Lopes, Santa Rosa de Lima, São Bonifácio, São Martinho e Vargem do Cedro e, também uma estação fluviométricas localizada em São Martinho. Todas as estações citadas estão localizadas em Santa Catarina e são registradas no site hidroweb.ana.gov.br da Agência Nacional das Águas (ANA), operadas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), que disponibilizou os dados para a realização do estudo.

Para a correção de possíveis falhas nas séries de dados das estações, o programa utiliza um gerador climático. O gerador climático necessita de dados tabulares de entrada, para isso, foi utilizado uma ferramenta disponível no site do SWAT (NCEP, 2016), dos Centros Nacionais de Previsão Ambiental (CNPA) e Sistema de Reanálise de Previsões Climáticas (SRPC). A ferramenta foi desenvolvida e executada acoplando o sistema oceano-atmosfera-terra-superfície do mar para fornecer uma melhor estimativa de dados global. Para a delimitação da BHRC foi utilizado um modelo digital de elevação (MDE), o qual foi gerado a partir das curvas de nível e pontos cotados, ambos obtidos de mapas topográficos elaborados na escala 1:50.000, disponibilizados pela Mapoteca Topográfica Digital de Santa Catarina EPAGRI/IBGE (2004). Para correção das falhas (preenchimento de dados) do MDE, foi aplicado um filtro, disponível na ferramenta *Fill* do *ArcGis 10.3*. Para a elaboração do mapa de uso e cobertura vegetal do solo BHRC foram utilizadas 4 cenas de imagens *RapidEye* referentes ao mês de dezembro, de 2012, disponibilizadas pelo Geocatálogo do Ministério do Meio Ambiente, disponíveis gratuitamente no site <http://geocatalogo.mma.gov.br/index.jsp>. O uso e cobertura vegetal do solo foi realizado por meio do *software Arcgis 10.3*, utilizando o método de classificação supervisionada de máxima verossimilhança (*MAXVER*), o qual calcula a probabilidade estatística de um pixel pertencer a determinada classe de uso da terra. A Figura 02 apresenta o uso e cobertura vegetal da BHRC com as 6 classes definidas para o estudo: (1) Mata nativa: áreas com

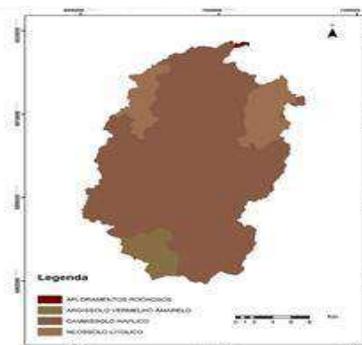
Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração; (2) Água: contempla rios, córregos, lagos naturais e artificiais; (3) Pastagem: áreas de pastagens naturais e cultivadas na região; (4) Reflorestamento: área composta predominantemente por eucaliptos; (5) Solo exposto: áreas agricultáveis em época de preparo para plantio com solo exposto, áreas assoreadas dos rios e estradas sem pavimentação; (6) Área urbana: áreas com presença de urbanização. O mapa de solos da BHRC foi elaborado com base no levantamento de solos (escala 1:250.000) de 2004, disponibilizado pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (EPAGRI/Ciram, 2004). A Figura 03 apresenta os 4 tipos de solos que a bacia em estudo contempla. Os parâmetros (físicos e químicos) de entrada dos solos no modelo hidrológico SWAT foram obtidos do levantamento de solos de Santa Catarina, do estudo realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), no ano de 2004. O modelo SWAT necessita de um mapa de declividade para simular os processos hidrológicos na bacia. Para isso é necessário utilizar o MDE gerado e definir um intervalo para as classes de declividades. Para a BHRC foram utilizados 5 intervalos em porcentagem: (1) 0 a 5 (%); (2) 5 a 15 (%); (3) 15 a 25 (%); (4) 25 a 45 (%); (5) de 45 a 999% (Adaptado de Zanin, 2015).

Figura 02 – Uso e cobertura vegetal do solo da BHRC



Fonte: Autores, 2016.

Figura 03- Tipos de solos da BHRC.



Fonte: Autores, 2016.

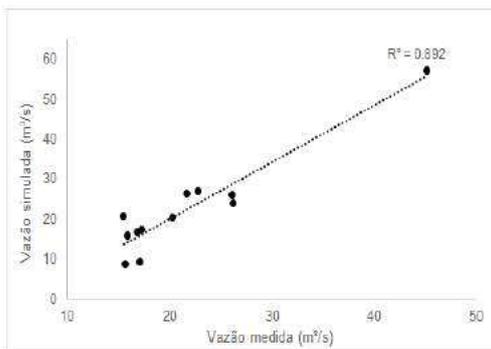
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de desempenho do modelo SWAT

O balanço hídrico do modelo SWAT possui como principais constituintes: a quantidade total de chuva precipitada sobre a área da bacia, no decorrer do período de simulação (PREC); a evapotranspiração real da bacia (ET), e o volume de água que é difundido pelos canais da rede de drenagem até o exutório da bacia (*Water Yield* - WY). A produção de água contabiliza a parcela de água do escoamento superficial (SURQ), do escoamento sub-superficial (LAQT), assim como do escoamento subterrâneo (GWQ), subtraído das perdas, que são a água acumulada no solo (SW) ou percolada (PERCO) no

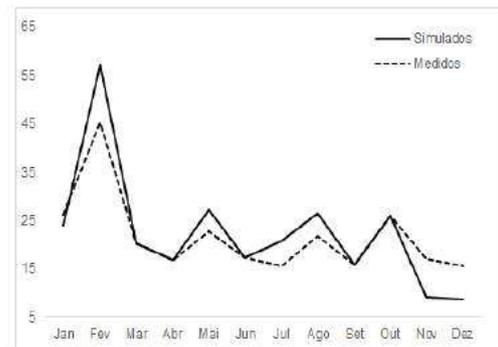
solo, e que retorna como recarga do aquífero (BONUMÁ et al, 2013). Para este estudo foi realizada uma simulação (sem calibração) para o período de 1987 a 1988. Segundo Brighenti et al. (2015), esse período (aquecimento do modelo), visa estabilizar as condições iniciais de umidade do solo para os primeiros anos de simulação. Com os resultados dessa simulação, é feita uma análise prévia dos resultados, a fim de verificar se a simulação está correspondendo aos dados medidos, que pode ser realizada pelos índices de *Nash e Sutcliffe* e coeficiente de determinação (R^2). Os dados de vazão simulada pelo SWAT da BHRC foram comparados com os dados de vazão medidos na estação fluviométrica de São Martinho (SC), localizada no exutório da bacia. A Figura 04 mostra o gráfico de dispersão das médias mensais de vazão ($\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$) simuladas e medidas, para o período especificado e observa-se coerência entre os mesmos, evidenciado por um R^2 de 0,89.

Figura 04 – Médias mensais de vazão simulada e observada na BHRC.



Fonte: Autores, 2016.

Figura 05 – Comparação de médias mensais de vazão simulada e observada na BHRC.



Fonte: Autores, 2016.

A Figura 05 apresenta a comparação das médias mensais dos dados de vazão simulados e medidos, onde observa-se que, na maior parte do período analisado, a vazão simulada foi superestimada com relação aos dados medidos, exceto nos meses de outubro a dezembro, em que a vazão foi subestimada e também entre março e abril, em que a vazão simulada correspondeu com os dados observados.

Portanto, verificou-se que o modelo apresentou um ajuste aceitável para dados mensais de vazão, evidenciado por um valor do índice de *Nash e Sutcliffe* (NSE) de 0,49 e um R^2 de 0,89. Observa-se também pela Figura 05, que os pontos de pico de vazão estão coerentes com os dados observados. Esses valores são aceitáveis para o desempenho do modelo, conforme estudos de Moriasi et al. (2007), que analisaram diversos métodos estatísticos para verificar o comportamento dos modelos de simulação para bacias hidrográficas, considerando assim, como satisfatório para valores de índice de $\text{NSE} > 0,50$ e $\text{R}^2 > 0,70$ (BONUMÁ et al., 2013).

4 CONCLUSÕES

A simulação no período de aquecimento do modelo (um ano), sem análise de sensibilidade ou calibração dos parâmetros do modelo, apresentou resultados aceitáveis, evidenciado por um índice de NSE de 0,49 e um R^2 de 0,89. Apesar de os valores obtidos para o NSE e R^2 terem sido considerados aceitáveis, espera-se que com a calibração do modelo, ocorra um melhor ajuste da vazão simulada com relação à medida em campo, e que os valores de pico, sejam coerentes.

Recomenda-se a aplicação do SWAT para o estudo das vazões na bacia do rio Capivari, contudo, a calibração do modelo e posterior validação dos dados se faz necessário, a fim de que os estudos futuros estejam coerentes e que possam servir para que ocorra a adequada gestão da água na bacia.

REFERÊNCIAS

BONUMÁ, N.B. et al. **Estimativa do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica com o modelo SWAT**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, nov. 2013.

BRIGHENTI, T.M.; BONUMÁ, N. B.; PERDO, L.B. **CHAFFE** . Calibração hierárquica do modelo SWAT em uma bacia hidrográfica Catarinense. **RBRH: revista brasileira de recursos hídricos**, v. 21, n. 1. p. 53-64, jan./mar. 2016.

CATARINA, Governo do Estado de Santa Catarina. **Plano Integrado de Recursos Hídricos**. Florianópolis, p. 281-284. 2002.

KOBIYAMA, M. et al. **Recursos hídricos e Curitiba: Ed. Organic Trading**, 2008. 160p.

LINO et al. **Análise da vazão da bacia hidrográfica do Rio Preto com o modelo SWAT**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recurso Hídrico, 2009.

MORIASI, D.N. et al. 2007. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations**. p. 885-900.

National Centers for Environmental Prediction (NCEP). **Global Weather Data for SWAT**. Disponível em < <http://globalweather.tamu.edu/>>. Acesso em 15 de maio de 2016.

NEITSCH, S.L. et al. Soil and Water Assessment Tool theoretical Documentation Version 2009. Agricultural Research Service Blackland Research Center – Texas Agrilife Research. Texas A&M University System, 2011.

USDA (1986). **National engineering handboo**. Washington: USDA. (Section 4).

ZANIN, P.R. **Modelagem hidrossedimentológica de bacia hidrográfica com reservatório**. 2015.209f. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2015.