

SIMULAÇÃO SUB-DIÁRIA E DIÁRIA DE ESCOAMENTO COM O MODELO SWAT EM PEQUENA BACIA EXPERIMENTAL

Isabela Raquel Ramos Iensen^{1} & Irani dos Santos²*

Resumo – Os processos hidrológicos que ocorrem em pequenas bacias hidrográficas geralmente apresentam rápidas respostas no hidrograma, com picos de curta duração. O entendimento dos processos nestas bacias está diretamente relacionado com monitoramento e a modelagem hidrológica. Sobretudo ao trabalhar com bacias de pequena extensão é fundamental que os modelos hidrológicos tenham capacidade de simulação sub-diária de eventos. Deste modo, o modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) dispõe de dois métodos diferentes para estimar o escoamento superficial: o método Curva-Número, utilizado em simulações em base diária, e o método por excesso de chuva Green & Ampt, utilizado em simulações em base sub-diária. Este trabalho visou a partir do uso do modelo SWAT simular o escoamento da bacia hidrográfica do rio Saci (0,1 km²) em base sub-diária e diária, comparando as saídas simuladas pelo uso dos dois métodos de geração de escoamento. Os resultados demonstram que a simulação sub-diária obteve tão boa performance quanto a simulação diária. Ainda, foi possível observar que o método Green & Ampt reproduziu melhor as vazões pequenas e médias na simulação sub-diária, enquanto que houve uma tendência de superestimar as pequenas oscilações no escoamento com a simulação diária, utilizando o método Curva-Número.

Palavras-Chave – Escoamento; Sub-diário; SWAT.

SIMULATION OF SUB-DAILY AND DAILY STREAMFLOW USING SWAT MODEL IN A SMALL WATERSHED

Abstract – Hydrological processes that occur in small watershed usually present quick responses in the hydrograph, with short peaks. Understanding the processes in these basins is directly related to monitoring and hydrological modeling. Especially, when working with small watershed, it is essential that the hydrological models have sub-daily event simulation capability. Thus, the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) has two different methods to estimate surface runoff: the Curve-Number method, which is used in simulations on a daily time-step, and the Green & Ampt method, which is used in simulation on a sub-daily time-step. This paper aims to simulate runoff, using SWAT, in Saci river watershed (0.1 km²) on sub-daily and daily time-step and compare the simulated outputs using the two runoff generation methods. The results showed that sub-daily simulation performed as well as daily simulation. Furthermore, it was possible to observe that the Green & Ampt method better reproduced the small and medium peaks in the sub-daily simulation, whereas there was a tendency to overestimate the small oscillations in the runoff with the daily simulation using the Curve-Number method.

Keywords – Streamflow; Sub-daily; SWAT.

INTRODUÇÃO

Os processos hidrológicos que ocorrem em pequenas bacias hidrográficas geralmente apresentam rápidas respostas. As oscilações nas vazões, em função da ocorrência de eventos de chuva, tendem a apresentar respostas mais céleres no hidrograma, com picos de curta duração (Chang, 2007). O entendimento dos processos que ocorrem em grandes escalas, ou seja, pequenas extensões, está diretamente relacionado com monitoramento intensivo e sistemático de pequenas bacias e a utilização de modelagem hidrológica (Santos, 2009).

¹ Mestranda em Geografia pela Universidade Federal do Paraná, isaiensen@hotmail.com

² Professor Adjunto do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Paraná, irani@ufpr.br

A modelagem é imprescindível na pesquisa hidrológica (Beven, 2001). Sendo assim, Jeong *et al.*, (2010) citam que sobretudo ao trabalhar com bacias hidrográficas de pequena extensão ou bacias urbanizadas, em que a resposta hidrológica é mais rápida, é fundamental que os modelos hidrológicos tenham a capacidade de simulação sub-diária de eventos para reproduzir adequadamente os processos hidrológicos em curtos intervalos de tempo.

Neste sentido, o modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), implementou a utilização do método de infiltração de Green & Ampt permitindo que fosse simulado o escoamento em base sub-diária (Neitsch *et al.*, 2005). Deste modo, o modelo SWAT passou a dispor de dois métodos diferentes para estimar o escoamento superficial: o método Curva-Número (USDA *Soil Conservation Service*, 1972), utilizado em simulações em base diária, e o método por excesso de chuva Green & Ampt (Green e Ampt, 1911), utilizado em simulação em base sub-diária.

O método Curva-Número é um modelo empírico baseado em vários anos de estudos envolvendo relações chuva-vazão em pequenas bacias agrícolas nos Estados Unidos. O método Green & Ampt é um modelo fisicamente baseado desenvolvido para prever a infiltração assumindo o excesso de água na superfície (King *et al.*, 1999). A equação de Green & Ampt assume que o perfil do solo é homogêneo e a umidade antecedente é uniformemente distribuída no perfil.

Embora o método Curva-Número (CN) seja amplamente utilizado, seu uso em simulações contínuas é controverso pois este método estima o escoamento usando relações empíricas entre o total da chuva e as propriedades da bacia, sem considerar a intensidade e duração dos eventos de precipitação (King *et al.*, 1999). Em pesquisa, King *et al.*, (1999) sugerem que o método Green & Ampt proporciona vantagens em relação ao método CN por utilizar valores fisicamente medidos e por considerar a intensidade e duração dos eventos de chuva, possibilitando assim proporcionar melhor estimativa em bacias de resposta rápida.

Ainda são poucas as aplicações utilizando a simulação sub-diária com o modelo SWAT (Gassman *et al.*, 2014). Embora sejam poucos os resultados em base sub-diária o modelo SWAT tem apresentado bons resultados (King *et al.*, 1999; Kannan *et al.*, 2007).

Neste sentido, este trabalho visa a partir do uso do modelo SWAT simular o escoamento da bacia hidrográfica do rio Saci (0,1 km²) em base sub-diária, utilizando o método Green & Ampt, e em base diária, utilizando o método Curva-Número, comparando as saídas simuladas pelo uso dos dois métodos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A bacia hidrográfica em estudo localiza-se na porção nordeste do Estado de Santa Catarina, no município de Rio Negrinho, divisa com o Estado do Paraná. A área de estudo está inserida na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Negro, afluente da margem esquerda do Rio Iguaçu. A bacia do rio Saci tem 0,1 km² e compõe uma das bacias experimentais monitoradas desde 2005 pelo Laboratório de Hidrogeomorfologia (LHG/UFPR).

O clima da região é classificado como Cfb, conforme a classificação de Köppen-Geiger (1954), sendo definido como um clima temperado, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, sem estações secas. A temperatura média anual varia de 15,5°C a 17,0°C, a precipitação média anual varia de 1.360 a 1.670 mm. O relevo da bacia está inserido no Primeiro Planalto Paranaense e Planalto de Canoinhas, no Estado de Santa Catarina. A amplitude altimétrica da área de estudo varia entre 978 a 917 metros. Os solos predominantes na região de estudo são os cambissolos. Além da definição do tipo de solo, foi feito em Santos (2009) uma caracterização pedológica mais detalhada com o levantamento das profundidades de solo que permitiram a identificação do solo hidrológico (Santos, 2009). A camada de regolito alcança uma profundidade de aproximadamente sete metros. Quanto ao uso e ocupação da terra, a bacia estudada é ocupada em 79% por reflorestamento de *Pinus taeda*, 19% por cobertura florestal nativa (mata de araucárias) e 2% por estradas rurais não-pavimentadas. A Figura 1 abaixo localiza a bacia analisada.

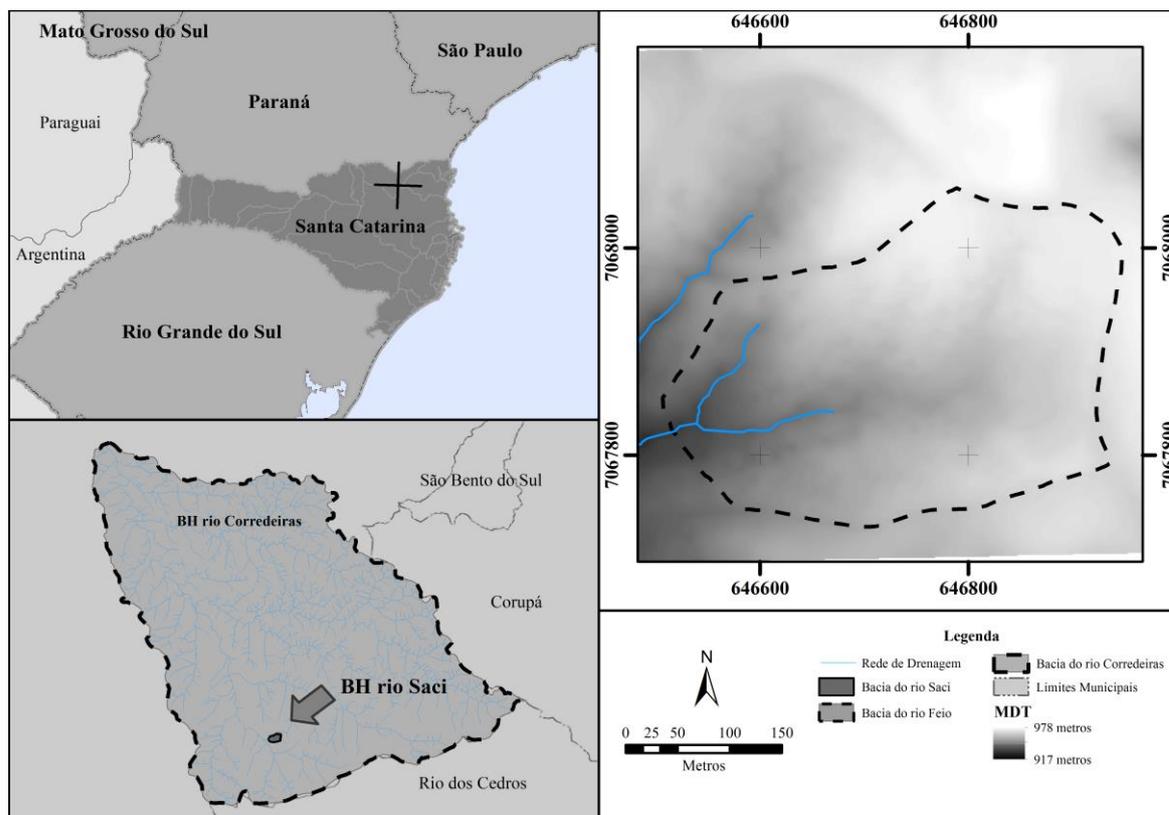


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Saci

Modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

O modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) se destaca por ser um modelo matemático de parâmetros semi-distribuídos e contínuos que simula diversos processos do ciclo hidrossedimentológico permitindo quantificar o escoamento superficial, sub-superficial, subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade da água em bacias hidrográficas de diferentes tamanhos e com diversas especificidades ambientais e condições de manejo (Neitsch *et al.*, 2005).

O modelo SWAT é um modelo híbrido que associa equações empíricas com base física. A base física do modelo requer informações sobre clima, tipos e propriedades do solo, topografia, vegetação e uso e ocupação da terra. O SWAT considera a variação espacial das características físicas das bacias a partir da compartimentação da bacia hidrográfica em sub-bacias menores e estas são subdivididas em unidades de resposta hidrológica (HRU) que são combinações únicas das variáveis tipo de solo, uso da terra e declividade. O modelo é também computacionalmente eficiente, sendo possível simular longas séries de dados.

O modelo SWAT tem apresentado bons resultados em inúmeros trabalhos em diferentes localidades e para diversas aplicações (Arnold *et al.*, 1998; Jensen *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2010; Taveira, 2016).

Desde a criação do SWAT o modelo passou por diversas revisões e vem implementando várias melhorias e adaptações (Jeong *et al.*, 2010). Dentre as adaptações no modelo foi implementado o método de infiltração de Green & Ampt para estimar escoamento superficial em base sub-diária. Com isto o modelo passou a dispor de dois métodos diferentes para estimar o escoamento superficial: o método Curva-Número (USDA *Soil Conservation Service*, 1972) e o método por excesso de chuva Green & Ampt (Green e Ampt, 1911). O método Curva-Número é um modelo empírico baseado em estudos envolvendo relações chuva-vazão em pequenas bacias agrícolas com várias composições de uso da terra e tipos de solo nos Estados Unidos. O escoamento superficial calculado utilizando o método Curva-Número é dado por:

$$Q_{superficial} = \frac{(R_{dia} - I_a)^2}{(R_{dia} - I_a + S)} \quad (1)$$

Em que: $Q_{superficial}$ é o escoamento superficial acumulado, ou excesso de chuva (mm de H²O), R_{dia} é a precipitação total no dia (mm de H²O), I_a é a abstração inicial (armazenamento no terreno, interceptação e infiltração de água no solo antes de iniciar o escoamento superficial) (mm de H²O), e S é o parâmetro de retenção (mm de H²O). Mais detalhes sobre os cálculos realizados pelo método Curva-Número podem ser obtidos em Neitsch *et al.*, (2005).

O método Green & Ampt é um modelo fisicamente baseado desenvolvido para prever a infiltração assumindo o excesso de água na superfície em todos os momentos (Green e Ampt, 1911). A equação de Green & Ampt assume que o perfil do solo é homogêneo e a umidade antecedente é uniformemente distribuída no perfil. Conforme a água infiltra no solo, o modelo assume que o solo acima da frente de molhamento está completamente saturado.

A taxa de infiltração pelo método Green & Ampt é expressa por:

$$f_{inf,t} = K_e \cdot \left(1 + \frac{\Psi_{wf} \cdot \Delta\theta_v}{F_{inf,t}} \right) \quad (2)$$

Em que: $f(t)$ é a taxa de infiltração no tempo t (mm/h), K_e é a condutividade hidráulica efetiva, em que o impacto da cobertura da terra é incorporado, Ψ_{wf} é a frente de molhamento matricial potencial (mm), $\Delta\theta$ é a mudança no conteúdo de umidade e $F_{inf,t}$ é a infiltração cumulativa (mm).

A taxa de infiltração, definida na Equação 2, é uma função do volume infiltrado, que por sua vez é função da taxa de infiltração no intervalo de tempo anterior, sendo $F_{inf,t}$ resolvida iterativamente. A condutividade hidráulica efetiva é equivalente a aproximadamente metade da condutividade hidráulica saturada do solo. O manual do SWAT apresenta a equação para calcular a condutividade hidráulica efetiva em uma função da condutividade hidráulica saturada e curva número. O potencial mátrico da frente de molhamento é calculado em função da porosidade e percentual de areia e de argila no solo.

Para cada intervalo de tempo o SWAT calcula a quantidade de água entrando no solo. Se a taxa de infiltração for maior do que a intensidade do evento de precipitação, não é calculado o excesso de precipitação e toda chuva que ocorre neste intervalo de tempo é infiltrada. Se a intensidade do evento exceder a taxa de infiltração, pressupõe-se que a precipitação em excesso da taxa de infiltração seja escoada (King *et al.*, 1999).

Para simulação sub-diária foram implementadas também modificações no método de definição do hidrograma unitário (UH), podendo este ser escolhido entre distribuição triangular ou gama. No que se refere a propagação do escoamento foi incorporado o método de propagação de Muskingum, permitindo ao usuário escolher entre este método de propagação citado ou o método de propagação por armazenamento variável.

Nas simulações os resultados produzidos pelo modelo são agregados seguindo a seguinte compartimentação espacial: HRUs → Sub-bacia → Bacia. O escoamento superficial, a propagação no canal e armazenamento em lagos e reservatórios são reportados em intervalo de tempo sub-diário, no entanto, o escoamento sub-superficial, subterrâneo e evapotranspiração os resultados são calculados em base diária e distribuídos uniformemente para cada intervalo de tempo.

Aplicação do Modelo SWAT

Para a simulação do modelo SWAT é necessária a consolidação de uma base de dados hidroambientais, envolvendo a criação de um banco de dados espaciais e séries temporais de algumas variáveis. Todos os dados espaciais e tabulares foram obtidos junto ao Laboratório de Hidrogeomorfologia (LHG/UFPR) que desde 2005 mantém monitoramento hidrossedimentológico na área de estudo. Além do

monitoramento, diversas pesquisas incorporaram melhorias no levantamento de dados espaciais da área, permitindo um banco de dados de detalhe da bacia.

O modelo digital do terreno (MDT) da área de estudo foi obtido com aerolevantamento de detalhe com VANT (veículo aéreo não tripulado). O MDT gerado está na escala 1:5.000 e foi utilizado com resolução de pixel de 1 metro. O uso e cobertura da terra foi vetorizado utilizando as imagens do aerolevantamento com VANT. No que se refere aos solos, em termos de solo agrônomo um único tipo de solo foi identificado, visando detalhar os dados pedológicos de entrada foi feito o mapeamento de profundidades do solo, identificando o solo hidrológico. Para as profundidades hidrológicamente ativas foram feitas análises granulométricas e ensaios de condutividade hidráulica saturada (Santos, 2009). As demais características pedológicas requeridas foram calculadas utilizando o aplicativo SPAW.

Para determinar as HRUs foi selecionada a opção de múltiplas HRUs, sem que fossem feitas generalizações por porcentagem ou área, com isto foram geradas 39 HRUs para a bacia do rio Saci. Na definição das HRUs foi considerada uma única classe de declividade, visto que não existem expressivas oscilações altimétricas na bacia.

A série de precipitação foi inserida com intervalo de 60 minutos para simulação sub-diária e acumulada no dia para simulação diária. A evapotranspiração foi calculada utilizando o *software* ETO Calculator (Allen *et al.*, 1998). Este *software* utiliza os dados climatológicos: temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação incidente, para calcular através da equação de Penman-Monteith modificada a evapotranspiração potencial (PET). Os dados de PET, ou dados climatológicos, requeridos pelo modelo SWAT são em base diária, mesmo para simulações sub-diárias.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A simulação hidrológica diária, utilizando o método Curva-Número, e sub-diária, utilizando o método Green & Ampt, foi realizada entre o período de 01/01/2015 a 22/12/2015. A Tabela 1 apresenta os parâmetros alterados e o valor utilizado para calibração do modelo SWAT. Os parâmetros foram ajustados baseando-se em referências na literatura e no entendimento que se tem dos processos hidrológicos da área.

Tabela 1 – Parâmetros e valores utilizados na simulação sub-diária e diária

Parâmetro	Valor ajustado	
	Simulação Sub-diária	Simulação Diária
Alpha_Bf	= 0.9	= 0.9
UAlpha	= 0.1	- -
Esco	= 0.2	= 0.2
Gw_revap	= 0.2	= 0.2
CN2	* 1.2	* 0.8
Ssubbsn	* 0.8	* 0.8
SISoil	= 15	= 15
Ch_N2	= 0.1	- -
Sol_Z	* 1.1	* 1.05
Lat_Ttime	= 4	= 4
Rchrg_Dp	= 0	= 0
Sol_Awc	- -	* 1.21
Canmx_FRSE	- -	= 7
Canmx_PINE	- -	= 4

Para “=” o valor do parâmetro foi igualado ao valor apresentado; Para “*” o valor do parâmetro foi multiplicado pelo valor apresentado (p.ex. *1.2 significa que o valor do parâmetro foi aumentado em 20%); Para “-” o parâmetro não foi ajustado.

A fim de avaliar a eficiência da simulação foi feita a análise do hidrograma e foram utilizados testes estatísticos. Diversas são as funções objetivo que permitem avaliar a qualidade das simulações em reproduzir as condições observadas em campo, dentre os principais testes serão utilizados: Nash-Sutcliffe, PBIAS e RSR. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nas funções objetivo testadas. Os resultados obtidos, tanto em simulação sub-diária como diária, se enquadram nos valores definidos em Moriasi *et al.*, (2007) caracterizando um bom ajuste do modelo, em que o coeficiente de Nash-Sutcliffe ficou acima de 0,65, o valor de PBIAS ficou entre $<\pm 10$ e o valor de RSR ficaram entre o intervalo de 0 e 0,5.

Tabela 2 – Resultados de testes estatísticos para avaliação da qualidade da simulação

Função Objetivo	Sub-diário	Diário
RSR	0,03	0,01
PBIAS	-2,79	0,80
Nash-Sutcliffe	0,70	0,72

Maharjan *et al.*, (2013) citam que a análise estatística da eficiência das simulações utilizando dados com resolução temporal mais curta tendem a diminuir os valores encontrados pelas funções objetivo. Jeong *et al.*, (2010) reiteram ainda que para as simulações diárias geralmente a obtenção de coeficiente Nash-Sutcliffe acima de 0,65 é considerada boa, no entanto, para as simulações sub-diárias o valor obtido por este coeficiente pode ser menor e ainda assim ser considerada uma boa simulação. Isto porque o desempenho destas funções objetivo tendem a melhoram à medida que o intervalo de tempo aumenta, por isso, em geral, análises mensais apresentam valores de coeficiente de Nash-Sutcliffe altos. Embora seja esperado apresentar valores que não necessariamente se enquadram nos limites indicados por Moriasi *et al.*, (2007), a simulação sub-diária demonstrou eficiência tão boa quanto a simulação diária, ao serem analisados os testes estatísticos com as funções objetivo.

Foi feita também a análise da eficiência das simulações analisando os hidrogramas. Neste sentido, as Figura 2 e Figura 3 apresentam os hidrogramas das simulações em base sub-diária e diária, respectivamente. Destaca-se que na simulação sub-diária foi possível reproduzir melhor pequenos e médios picos de vazão identificados ao longo da série, enquanto que na simulação diária houve uma tendência de superestimar essas pequenas oscilações no escoamento. Destaca-se ainda que, apesar das limitações da simulação sub-diária em não calcular o escoamento de base para cada intervalo de tempo analisado, os resultados obtidos nas simulações sub-diárias das recessões foram adequados.

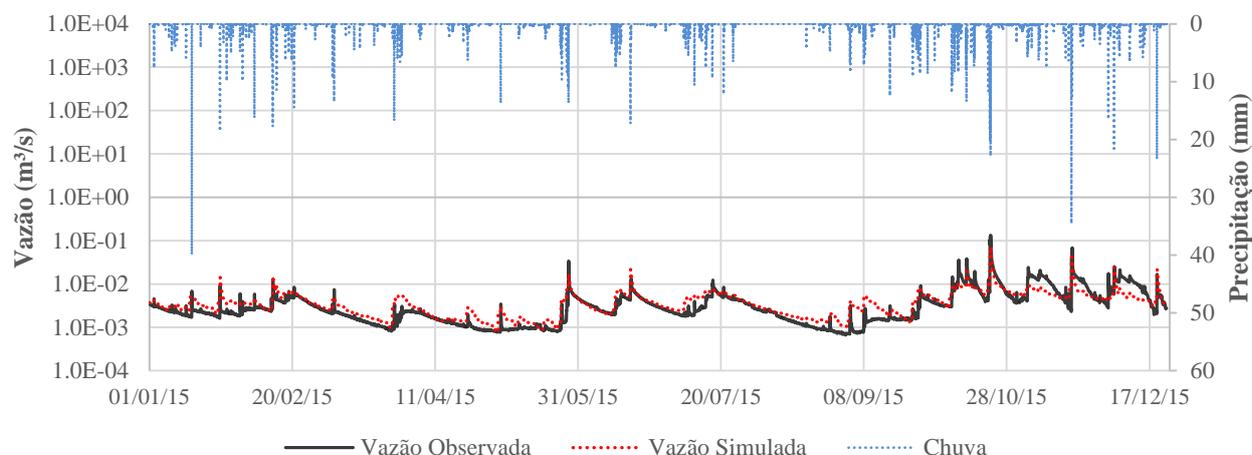


Figura 2 – Hidrograma (em escala logarítmica) da simulação sub-diária

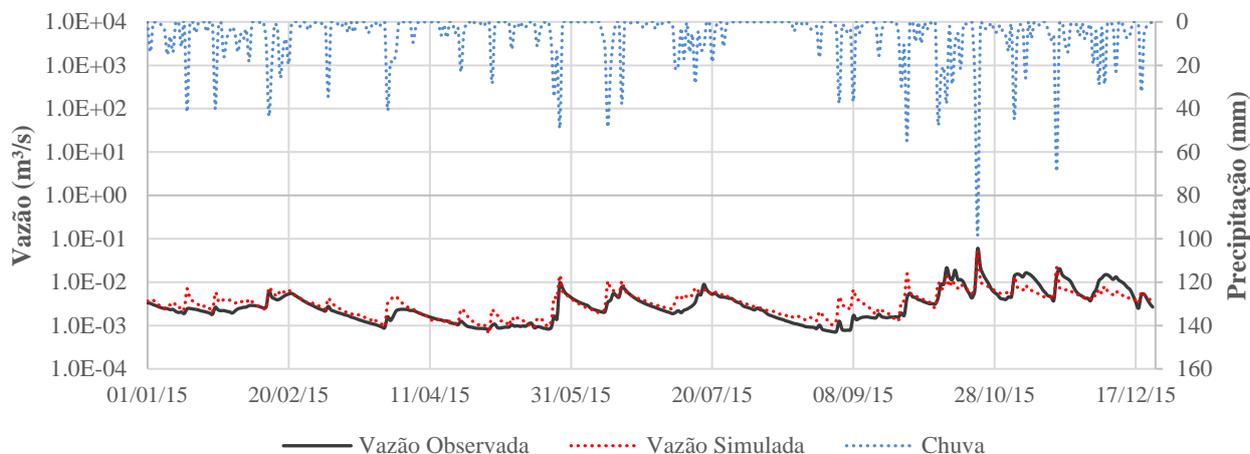


Figura 3 – Hidrograma (em escala logarítmica) da simulação diária

Resultados similares foram encontrados em Jeong *et al.*, (2010) que citam que as simulações diárias geralmente superestimaram vazões pequenas e médias e subestimaram picos mais altos de vazão. Jeong *et al.*, (2010) concluem que o método de escoamento por Green & Ampt teve melhor performance que o método Curva-Número. Isto pôde ser atribuído pela melhor resolução temporal do dado de precipitação utilizado no método Green & Ampt e subsequentemente por este método utilizar cálculos fisicamente baseados para infiltração e escoamento superficial nos intervalos de tempo sub-diários.

Yang *et al.*, (2016) apresentam também que a inserção de dados de precipitação com melhor resolução temporal permitem melhor performance que as entradas diárias, para simulação de escoamento. Isto porque o modelo adquire maior capacidade de simular inclusive pequenos eventos de precipitação que influenciam a vazão do rio. Neste sentido, Gassman *et al.*, (2007) analisaram os resultados de simulações diárias de 115 estudos hidrológicos utilizando o SWAT e concluíram que geralmente as simulações diárias geravam resultados imprecisos em função da inadequada representação da precipitação.

Deste modo, Jeong *et al.*, (2010) afirmam que sobretudo ao trabalhar com bacias de pequena extensão ou bacias urbanizadas, em que o aumento do escoamento superficial tende a deixar o hidrograma mais rápido com picos mais altos e de curta duração, é fundamental que os modelos hidrológicos tenham a capacidade de simulação sub-diária para que sejam melhor reproduzidos os processos hidrológicos decorrentes de eventos de chuva rápidos e intensos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstrou a simulação do escoamento em base sub-diária, utilizando o método de Green & Ampt, e diária, utilizando o método Curva-Número, em uma pequena bacia hidrográfica utilizando o modelo SWAT. Os resultados demonstram que a simulação sub-diária obteve tão boa performance nos testes estatísticos quanto a simulação diária. Ainda, foi possível observar que o método Green & Ampt reproduziu melhor as vazões pequenas e médias na simulação sub-diária, enquanto que houve uma tendência de superestimar essas pequenas oscilações no escoamento com a simulação diária, utilizando o método Curva-Número. Ainda, destaca-se que sobretudo ao simular pequenas bacias hidrográficas é de grande valia a utilização de modelagem sub-diária para simulação dos processos hidrológicos. A utilização de dados de chuva com menor intervalo de tempo possibilita que eventos rápidos, e por vezes intensos, sejam melhor reproduzidos nas simulações sub-diárias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FINEP pelos recursos do projeto RHIMA e a CAPES pela bolsa de Mestrado da primeira autora.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. (1998) Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56, Rome.
- ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R S. & WILLIAMS, J.R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *J. Am. Water Res. Assoc.*, 34:73-89, 1998.
- BEVEN, K. Rainfall-Runoff Modelling - The primer. West Sussex, John Wiley & Sons, 2001. 360p.
- CHANG, H.J. (2007) Comparative streamflow characteristics in urbanizing basins in the Portland Metropolitan Area, Oregon, USA. *Hydrol Process* 21(2):211–222
- GASSMAN, P.W., SADEGHI, A.M., SRINIVASAN, R., 2014. Applications of the SWAT model special section: overview and insights. *J. Environ. Qual.* 43, 1–8.
- GASSMAN, P.W., REYES, M.R., GREEN, C.H., AND ARNOLD, J.G. (2007). The soil and water assessment tool: Historical development, applications, and future research directions. *ASABE*. 50, 1211–1250.
- GREEN, W.H., G.A. AMPT, 1911. Studies on Soil Physics. 1. The Flow of Air and Water Through Soils. *Journal of Agricultural Sciences* 411-24.
- IENSEN, I.R.R., SCHULTZ, G.B., SANTOS, I. Simulation of hydrosedimentological impacts caused by climate change in the Apucarantina River watershed, southern Brazil. *Sediment Dynamics from the Summit to the Sea (Proceedings of a symposium held in New Orleans, Louisiana, USA, 11–14 December 2014)* pp. 367-373. 2014
- JEONG, J., KANNAN, N., ARNOLD, J., GLICK, R., GOSSELINK, L., SRINIVASAN, R. (2010). Development and integration of sub-hourly rainfall–runoff modeling capability within a watershed model. *Water Resources Management*, 24(15), 4505-4527
- KANNAN, N.; WHITE, S.M.; WORRALL, F. WHELAN, M.J. (2007). Sensitivity analysis and identification of the best evapotranspiration and runoff options for hydrological modelling in SWAT-2000. *Journal of Hydrology*, 332: 456– 466.
- KING, K.W., ARNOLD, J.G., BINGNER, R.L., 1999. Comparison of Green- Ampt and curve number methods on Goodwin Creek watershed using SWAT. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers* 42 (4), 919–925.
- MAHARJAN, G.R., Y.S. PARK, N.W. KIM, D.S. SHIN, J.W. CHOI, G.W. HYUN, J.-H. JEON, Y.S. OK, AND K.J. LIM. 2013. Evaluation of SWAT sub-daily runoff estimation at small agricultural watershed in Korea. *Front. Environ. Sci. Eng.* 7(1): 109–119.
- MORIASI, D.N.; ARNOLD, J.G.; van LIEW, M.W.; BINGNER, R.L.; HARMEL, R.D. & VEITH, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE*, 50:885-900, 2007.
- NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G. ; KINIRY, J.R. ; WILLIAMS, J.R. Soil and water assessment tool. Theoretical documentation version 2005. Temple, Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station,
- SANTOS, I. Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: Mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica. (Tese de doutorado): Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, SC), 2009.
- SANTOS, I., ANDRIOLO, M. V., GIBERTONI, R. C., KOBIYAMA, M. 2010. Use of the SWAT model to evaluate the impact of different land use scenarios on discharge and sediment transport in the Apucarantina River watershed, southern Brazil. In *Symposium of the International Commission on Continental Erosion – Sediment Dynamics for a Changing Future*. Warsaw. Poland.
- TAVEIRA, B.D.A. Processos hidrosedimentológicos em cenários climáticos na bacia hidrográfica do rio Nhundiaquara, Serra do Mar Paranaense (Dissertação de Mestrado): Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná, 2016.
- USDA-SCS. 1972. National Engineering Handbook. Natural Resources Conservation Service, U.S. Department of Agriculture.
- YANG, X., LIU, Q., HE, Y., LUO, X., ZHANG, X. Comparison of daily and sub-daily SWAT models for daily streamflow simulation in the Upper Huai River Basin of China. *Stoch Environ Res Risk Assess* (2016) 30: 959.