



## A INFLUÊNCIA DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO NA MODELAGEM HIDROLÓGICA SEMI-DISTRIBUÍDA: UMA APLICAÇÃO DO MODELO SWAT

Franciane Mendonça dos SANTOS<sup>1</sup>, Rodrigo Proença de OLIVEIRA<sup>2</sup>, José Augusto de LOLLO<sup>3</sup>

1. Federal University of São Carlos, Graduate Program in Urban Engineering, Brazil, Brazil, Rod. Washington Luiz, s/n, São Carlos, SP, Brasil. CEP: 13565-905 (corresponding author). Email: fran.mendonca@hotmail.com
2. CERIS, Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, IST – Universidade de Lisboa, Portugal. Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa – Portugal. E-mail: rodrigopoliveira@tecnico.ulisboa.pt
3. UNESP. Department of Civil Engineering. Av. Brasil Sul, 56 - Centro, Ilha Solteira - SP, 15385-000. E-mail: jose.lollo@unesp.br

### RESUMO

Este estudo pretende avaliar a influência do modelo digital de elevação no desempenho de um modelo hidrológico distribuído, concretamente o Soil & Water Assessment Tool (SWAT). O caso de estudo é a bacia hidrográfica do rio Atibaia, localizada no Estado de São Paulo, Brasil, caracterizada por dois modelos digitais de elevação (MDE) de diferentes resoluções: o modelo ALOS com 12,5 m de resolução e o modelo SRTM com 30 m de resolução. O modelo foi calibrado e validado para os dois MDE e os resultados de vazão diária e mensal, produção de sedimentos e concentração de nitrogênio e fósforo foram comparados com os valores observados. O desempenho do modelo foi avaliado com base em medidas estatísticas como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) e a percentagem de desvio (Pbias). Constatou-se que o desempenho do modelo na simulação da vazão diária e mensal e de produção de sedimentos é condicionada pela resolução do MDE, mas que aos resultados da concentração de nitrogênio e de fósforo não são significativamente alterados pela adoção de MDE com resoluções distintas.

**Palavras-Chave:** Modelo hidrológico; SWAT; Modelo Digital de Elevação.

### 1. INTRODUÇÃO

Os modelos de bacia hidrográfica são ferramentas amplamente utilizadas por pesquisadores e planejadores para simular os fluxos de água, sedimentos e contaminantes provenientes de diferentes áreas de uma bacia hidrográfica e que atingem os cursos de água da rede de drenagem (Schneiderman et al., 2007). A qualidade da previsão dos modelos depende da estrutura do modelo, da disponibilidade e qualidade dos dados e da calibração e validação do modelo para estimar os seus parâmetros (Lenhart, 2002; Li et al., 2010; Muleta, 2012; Franscesconi et al., 2016).

No caso dos modelos distribuídos com mecanismos automáticos de construção da estrutura espacial do modelo, a resolução do modelo digital de elevação condiciona o grau de pormenor da definição dessa estrutura e a resolução espacial do cálculo efetuado pelo modelo. O modelo SWAT (Soil & Water Assessment Tool), amplamente aplicado em várias partes do mundo, é um desses modelos.

Um dos modelos digitais de elevação mais utilizados no planejamento territorial e ambiental e na modelagem hidrológica é o SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (Rabus et al, 2003; Miranda, 2005), por ser disponibilizado gratuitamente. Pela mesma razão, o SRTM é também bastante utilizado em aplicações do SWAT, embora alguns autores tenham demonstrado que para pequenas bacias a resolução de 30m do SRTM constitui uma representação insatisfatória dos limites da área de drenagem (De Vente et al., 2009; Yang et al., 2011; Small and Sohn, 2015).

Este artigo tem como objetivo avaliar o desempenho do modelo SWAT para diferentes resoluções do MDE, fornecido como dado de entrada. Verificamos se a utilização do MDE, gerado pelo Satélite Japonês Advanced Land Observing Satellite (ALOS) e que possui uma resolução espacial de 12,5 m, melhora a qualidade das estimativas da vazão, produção de sedimentos e concentração de contaminantes, quando comparadas com a utilização do STRM que possui uma resolução de 30 m.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A seção 2 apresenta o modelo, informações sobre a calibração e validação do modelo e indicadores utilizados para avaliar o desempenho do modelo. Uma descrição da bacia hidrográfica do rio Atibaia, dos dados disponíveis e dos diferentes MDEs é fornecida na seção 3. Os resultados da pesquisa são discutidos na seção 4 e as conclusões são apresentadas na seção 5.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Modelo SWAT

O SWAT é um modelo de domínio público, desenvolvido pelo Serviço de Pesquisa Agrícola (Agricultural Research Service – ARS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture – USDA) (Arnold et Al., 1998, Arnold e Fohrer, 2005). É considerado como um dos modelos mais adequados atualmente para prever os impactos em longo prazo de medidas de gestão da terra e da água, produção de sedimentos e aporte de químicos agrícolas (perda de nutrientes) em bacias hidrográficas complexas com diferentes tipos de solos, uso do solo e condições de gestão.

### 2.2. Definição estrutura espacial do modelo

O SWAT é um modelo semi-distribuído que divide a bacia hidrográfica em unidades de resposta hidrológica (HRU) com características semelhantes, no que respeita aos solos, usos de solo e gama de declives do terreno (Gassman et al., 2007). Estas HRU são, por sua vez, agrupadas em sub-bacias que descarregam para os vários trechos da rede de drenagem.

Utilizando a interface ArcView GIS, a bacia hidrográfica é delimitada a partir do modelo digital de elevação (MDE) disponibilizado, seguindo-se a definição da rede de drenagem e a delimitação das sub-bacias com o pormenor indicado pelo utilizador.

O SWAT apresenta três critérios de geração de HRUs: Classe dominante; HRU dominante e HRUs Múltiplas. No primeiro e segundo critérios, cada sub-bacia é representada por apenas uma HRU, enquanto no terceiro critério, são geradas múltiplas HRUs para uma mesma sub-bacia.

Recorrendo à opção de HRUs múltiplas para a criação das HRUs, o MDE, o mapa de solos e o mapa de uso e ocupação do solo são cruzados para obter as várias combinações de classe de declives, solos e tipos de uso e ocupação do solo. Neste estudo cada bacia hidrográfica foi dividida em 130 sub-bacias e 1296 HRUs.

Em acréscimo aos dados espaciais, o SWAT existe a indicação das características de cada solo, uso e ocupação de solo e práticas agrícolas que são indicadas em forma tabular.

No que respeita ao processo de interpolação das variáveis meteorológicas, incluindo a precipitação, o SWAT identifica a estação meteorológica mais próxima do centroide de cada sub-bacia e atribui essa estação a todas HRUs dessa sub-bacia, assumindo que a precipitação e demais pressões meteorológicas que ocorrem na HRU coincidem com os registados na estação meteorológica.

### 2.3. Calibração e validação do modelo

A vazão diária dos casos de estudo foi calculada pelo modelo SWAT a partir dos dados de precipitação observados e dos dados de precipitação interpolados, sendo os dois resultados comparados com os registos diários das estações hidrométricas localizadas nas bacias hidrográficas dos casos de estudo.

O modelo foi calibrado e validado, usando dois períodos distintos. Usando o período de calibração, várias simulações de cada modelo determinaram o conjunto de valores de parâmetro que leva a um desempenho adequado do modelo, conforme medido pela semelhança dos resultados do modelo com os dados observados. O conjunto de parâmetros obtidos e o desempenho do modelo foram então validados com uma única simulação do período de validação.

O desempenho do modelo na reprodução das séries históricas, com os dois MDE, foi medido por um conjunto de indicadores que incluem a eficiência de Nash e Sutcliffe (Nash e Sutcliffe, 1970; Moriasi, 2007) (eq. 1), a percentagem de desvio (Pbias) (eq. 2) e o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) (Moriasi, 2007) (eq. 3).



# 14.º SILUSBA

$$NSE = 1 - \left( \frac{\sum (T_t^{obs} - T_t^{sim})^2}{\sum (T_t^{obs} - \overline{T_t^{obs}})^2} \right) \quad (1)$$

$$P_{BIAS} = \left( \frac{\sum T_t^{obs} - \sum T_t^{sim}}{\sum T_t^{obs}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

$$r^2 = \frac{(\sum [T_t^{obs} - \overline{T_t^{obs}}] [T_t^{sim} - \overline{T_t^{sim}}])^2}{\sum (T_t^{obs} - \overline{T_t^{obs}})^2 \sum (T_t^{sim} - \overline{T_t^{sim}})^2} \quad (3)$$

onde  $T_t^{obs}$  é o valor observado,  $\overline{T_t^{obs}}$  é a média dos valores observados,  $T_t^{sim}$  é o valor simulado,  $\overline{T_t^{sim}}$  é a média dos valores simulados.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Atibaia tem uma área de drenagem de 2817,88 km<sup>2</sup> e localiza-se no centro leste do Estado de São Paulo, aproximadamente entre os paralelos 22°41' e 23°18' sul e os meridianos 46°00' e 47°16' oeste. Está inserida na Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos n° 5 (UGRHI-5), denominada PCJ – Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Os principais afluentes do rio Atibaia são os rios Atibainha e Cachoeira. A figura 1 apresenta a localização da bacia do rio Atibaia.

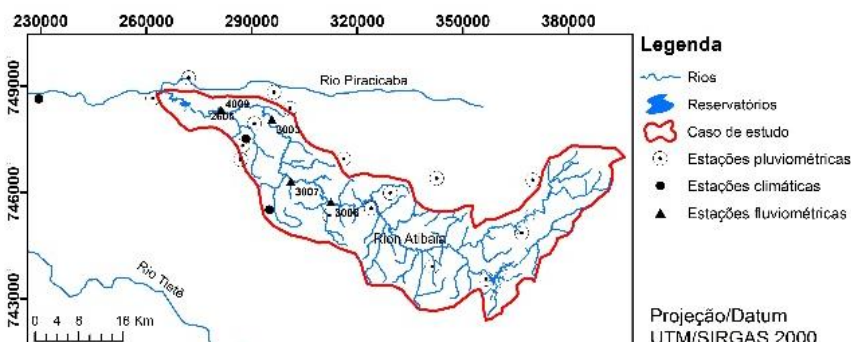


Figura 1 – Localização da área de estudo e postos pluviométricos, hidrométricos e de qualidade de água.

A bacia hidrográfica do rio Atibaia apresenta altitudes entre 500 e 2036m, com as maiores altitudes na parte oeste e sul e as menores no exutório da bacia. Os dados derivados do modelo digital de elevação (MDE) da Shuttle Radar Topography Mission – SRTM e do sensor PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) a bordo do Satélite Japonês Advanced Land Observing Satellite – ALOS apresentam estas informações espacializadas (Figura 2).

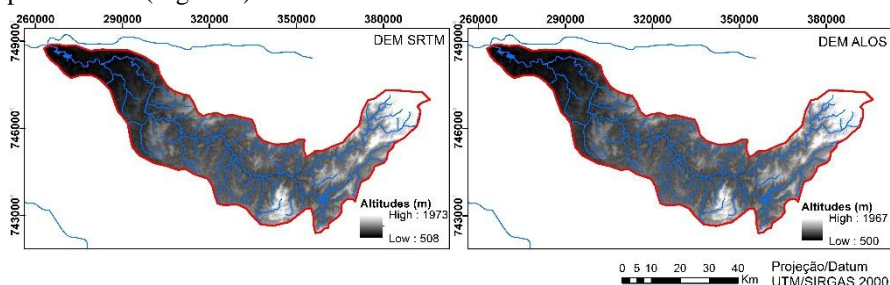


Figura 2 – DEM ALOS e DEM SRTM para área de estudo.

A bacia apresenta uma situação crítica em relação aos usos de seus recursos hídricos. Em termos quantitativos, o maior uso da água dessa região é urbano (abastecimento público, privado e outros usos), seguido pelo uso

industrial e o uso rural. A população total da bacia é de aproximadamente 372.456,00 habitantes que é majoritariamente servida por sistemas de abastecimento de água com captações superficiais (SIGRH, 2017).

A carta de uso e ocupação do solo da área de estudo foi obtida pelo mapa de uso e ocupação do solo da UGRHI 5 (2013), com base principalmente na interpretação visual das imagens SPOT (Satélites observadores da Terra), de acordo com o limite dos mapas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 1: 25.000, com resolução espacial de 2.5m com bandas fundidas, bem como cenas em modo multiespectral com resolução espacial de 10m.

Foram identificados oito tipos de uso da terra na bacia: floresta (cobrindo 43,53% da área da bacia hidrográfica), pasto (29,25%), área urbana (17,03%), agricultura (3,77%), solo exposto (3,04%), água (1,91%), cana-de-açúcar (1,43%) e transporte mineral (0,04%).

A carta de solos foi obtida através da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e os solos da bacia compreendem o latossolo vermelho-amarelo - LV (cobrindo 61,01% da área da bacia hidrográfica), latossolo roxo - LR (37,75%), latossolo vermelho-escuro - PV (1,24%).

Os dados meteorológicos e hidrológicos foram obtidos das bases de dados de duas agências governamentais: Agência Nacional de Águas (ANA) e Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo (DAEE) e estão espacializados na Figura 1.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As principais características da bacia foram consideradas para avaliar o impacto das diferentes resoluções dos MDE na vazão, produção de sedimentos e qualidade da água. Apesar de se adotar o mesmo número de HRUs e de subbacias para ambos os MDE, a delimitação automática das sub-bacias e HRUs conduz a resultados diferentes. Os limites e características das sub-bacias e HRUs, obtidas de cada MDE são, por isso, distintos, nomeadamente a área, a forma, o declive médio, e o solo e uso do solo predominantes.

Estas propriedades físicas das bacias hidrográficas afetam as características do escoamento superficial. A área da bacia reflete o volume de água que pode ser gerado a partir de uma chuva; o comprimento da bacia hidrográfica é normalmente utilizado no cálculo do tempo de concentração, que é uma medida do tempo de percurso da água através de uma bacia hidrográfica; a declividade da bacia hidrográfica afeta a velocidade do escoamento; e o solo e uso do solo a infiltração.

A Figura 2 apresenta a delimitação da bacia hidrográfica usando o SRTM e o ALOS. As áreas delineadas pelos modelos são ligeiramente diferentes, com a área calculada pelo SRTM 0,14% superior a obtida pelo ALOS. O comprimento da bacia obtido pelo ALOS é 5.45% ao delimitado pelo SRTM. A gama de altitudes abrangidas pelas bacias é também distinta, como se pode ver na Figura 2.

A Figura 3 analisa a distribuição das áreas de cada conjunto de sub-bacias delimitadas a partir dos dois MDE, mostrando que a seleção do MDE condiciona a delimitação das sub-bacias.

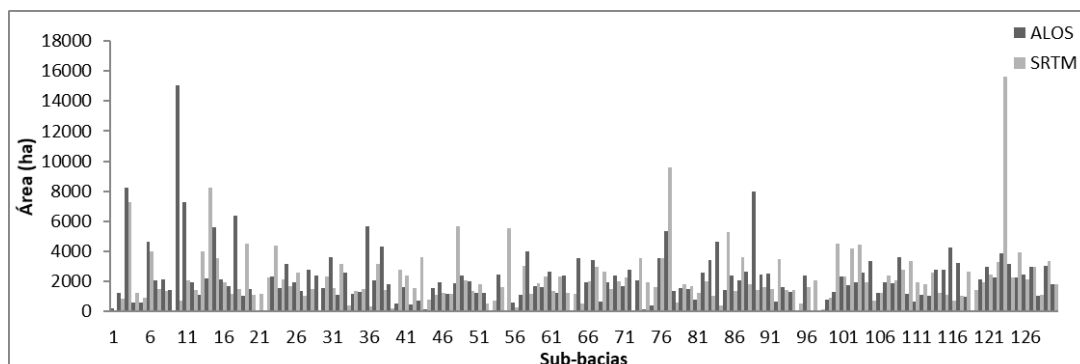


Figura 3: Distribuição das áreas para cada sub-bacias delimitada.

A Tabela 1 apresenta a distribuição da área abrangida classes de declive para cada MDE, mostrando que a resolução mais grosseira do STRM conduz a menores declividades. Este facto também pode ser verificado na Figura 4 que apresenta o número de sub-bacias por gama de declividades.



# 14.ª SILUSBA

Tabela 1: Distribuição de áreas abrangidas por diferentes gamas de declividade.

Declividade (%)	Área (%) SRTM	Área (%) ALOS	Diferença (%)
<b>0-5</b>	10.35	7.49	2.86
<b>5-15</b>	39.26	33.62	5.64
<b>15-20</b>	15.79	14.81	0.98
<b>20-9999</b>	34.60	44.07	-9.47

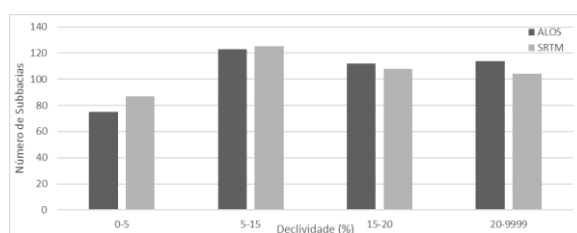


Figura 4 – Distribuição do número de sub-bacias por gama de declividades

A Tabela 2 apresenta a variação entre as áreas das classes de uso e ocupação do solo determinadas pelos dois MDE e a Tabela 3 apresenta a variação para os tipos de solo. A diferença entre as áreas calculadas pelos diferentes MDE é pequena, na ordem de 0.05 para o uso e ocupação do solo e 0.04 para os tipos de solo.

Tabela 2: Diferença entre as áreas dos diferentes usos do solo da bacia extraídas do MDE SRTM e MDE ALOS.

Classes de uso	Área (%) SRTM	Área (%) ALOS	Diferença (%)
<b>Urbano</b>	16.63	16.56	0.07
<b>Florestas</b>	45.35	45.76	-0.41
<b>Pasto</b>	30.44	30.26	0.18
<b>Cana de açúcar</b>	1.33	1.28	0.05
<b>Agricultura</b>	2.98	2.91	0.07
<b>Solo exposto</b>	1.87	1.91	-0.04
<b>Água</b>	1.4	1.32	0.08

Tabela 3: Diferença entre as áreas dos solos da bacia extraídas do MDE SRTM e MDE ALOS.

Tipos de solos	Área (%) MDE - SRTM	Área (%) MDE - ALOS	Diferença (%)
<b>LRd</b>	1.26	1.21	0.05
<b>PV-4</b>	31.08	31.12	-0.04
<b>LV-5</b>	6.69	6.8	-0.11
<b>PV-3</b>	5.95	5.91	0.04
<b>LV-6</b>	54.47	54.43	0.04
<b>PV-5</b>	0.54	0.54	0

O MDE também condiciona a configuração das HRUs, definidas em casa sub-bacia. A Figura 5 apresenta a distribuição do número de HRUs por classes de área, declividade, tipo de solo e número de escoamento. Existem algumas diferenças nas distribuições obtidas pelos dois MDE, no que diz respeito à declividade, tipo de solo e número de escoamento.



# 14.º SILUSBA

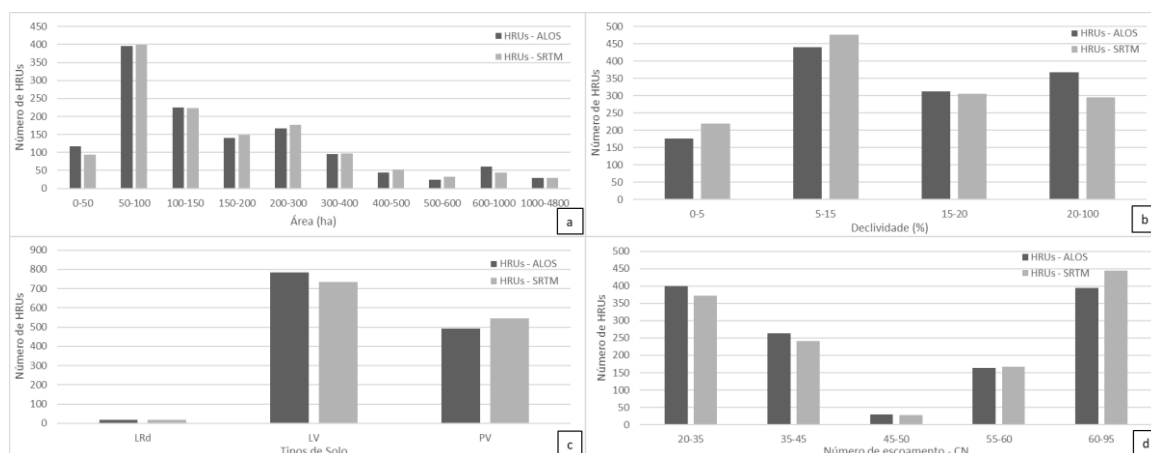


Figura 5: Distribuição do número de HRUs por área (a), declividade (b), tipo de solo (c) e número de escoamento (d).

Os resultados destes testes mostraram que a resolução dos MDEs afeta a delimitação e caracterização das sub-bacias e HRUs que compõem uma bacia hidrográfica. Para inferir se estas modificações afetam a modelagem da vazão, produção de sedimentos e qualidade da água, o modelo SWAT foi corrido para o mesmo conjunto de valores dos parâmetros do modelo. Estes valores resultaram de um exercício de validação e de calibração que identificou os 17 parâmetros aos quais os resultados do SWAT são mais sensíveis. Esse processo de calibração e validação é descrito em Santos et al. (2018).

A Figura 6 apresenta os resultados da calibração e validação da vazão diária e mensal, quando se considera cada um dos MDE. Observa-se que os dados simulados com o ALOS se ajustam ligeiramente melhor aos dados observados. Este fato é comprovado na Tabela 4, que apresenta os indicadores de desempenho do modelo no cálculo da vazão diária e mensal. Os valores são ligeiramente melhores para a simulação com ALOS, quer no que diz respeito à vazão diária como à vazão mensal.

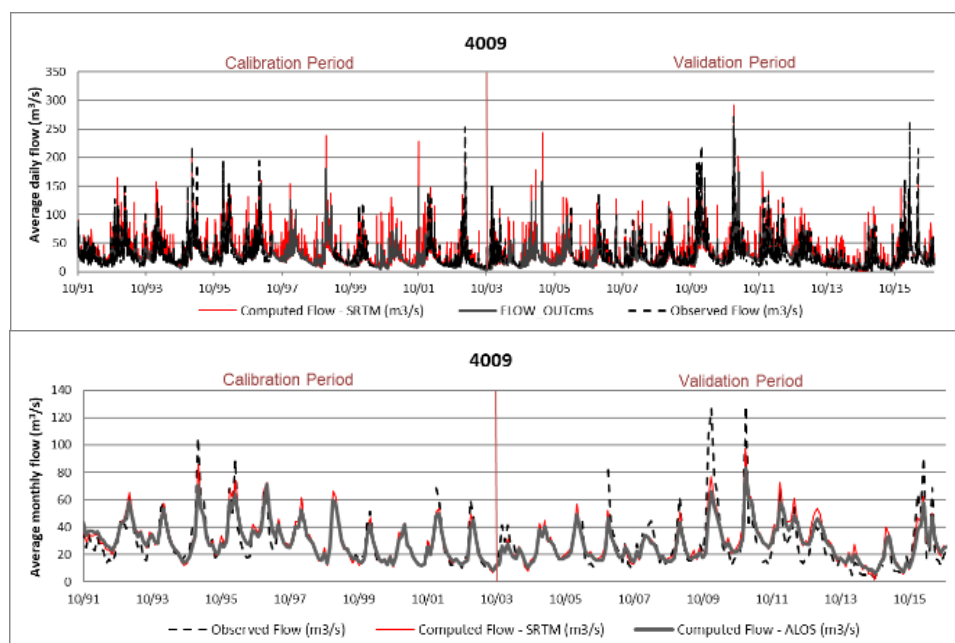


Figure 6 – Calibração e validação dos dados de vazão utilizando os dados SRTM e ALOS.



Tabela 4 - Avaliação estatística dos dados de vazão diários e mensais simulados versus diários observados utilizando os dados SRTM e ALOS.

MDE	Postos	Diários						Mensais					
		Calibração			Validação			Calibração			Validação		
		NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2
SRTM	3006	0.53	1.43	0.36	0.28	-10.46	0.37	0.85	1.44	0.68	0.64	-10.37	0.66
	3007	0.11	6.67	0.37	0.29	-1.59	0.42	0.83	7.46	0.86	0.74	-5.49	0.74
	3003	0.67	-9.68	0.46	0.48	-7.25	0.48	0.87	-8.30	0.75	0.73	-6.74	0.75
	4009	0.73	-23.43	0.57	0.59	-4.93	0.51	0.95	-5.27	0.87	0.79	-4.14	0.76
ALOS	3006	0.71	-2.74	0.56	0.43	-2.11	0.46	0.87	-2.69	0.74	0.55	-2.03	0.57
	3007	0.56	10.87	0.61	0.51	4.80	0.53	0.67	12.60	0.76	0.66	1.02	0.67
	3003	0.73	-14.80	0.60	0.53	-0.93	0.57	0.85	-13.01	0.74	0.66	-0.56	0.70
	4009	0.78	-8.24	0.64	0.63	1.40	0.59	0.92	-1.94	0.80	0.74	2.05	0.71

A Figura 7 apresenta os resultados para as simulações da produção de sedimentos e concentração de contaminantes e a Tabela 5 apresenta os coeficientes de eficiência do modelo na simulação da qualidade da água. A comparação dos resultados modelados com os observados é condicionada pela periodicidade bimestral da amostragem.

Na produção de sedimentos, a adoção do ALOS conduz a menores valores extremos da produção de sedimentos e a uma melhoria da correlação dos valores observados. A Tabela 5 mostra uma franca melhoria dos valores de NSE e de r2. No que respeita à concentração de contaminantes, os resultados não parecem ser afetados pelo MDE, mas é importante ter em conta que o desempenho do modelo no cálculo destas variáveis é deficiente.

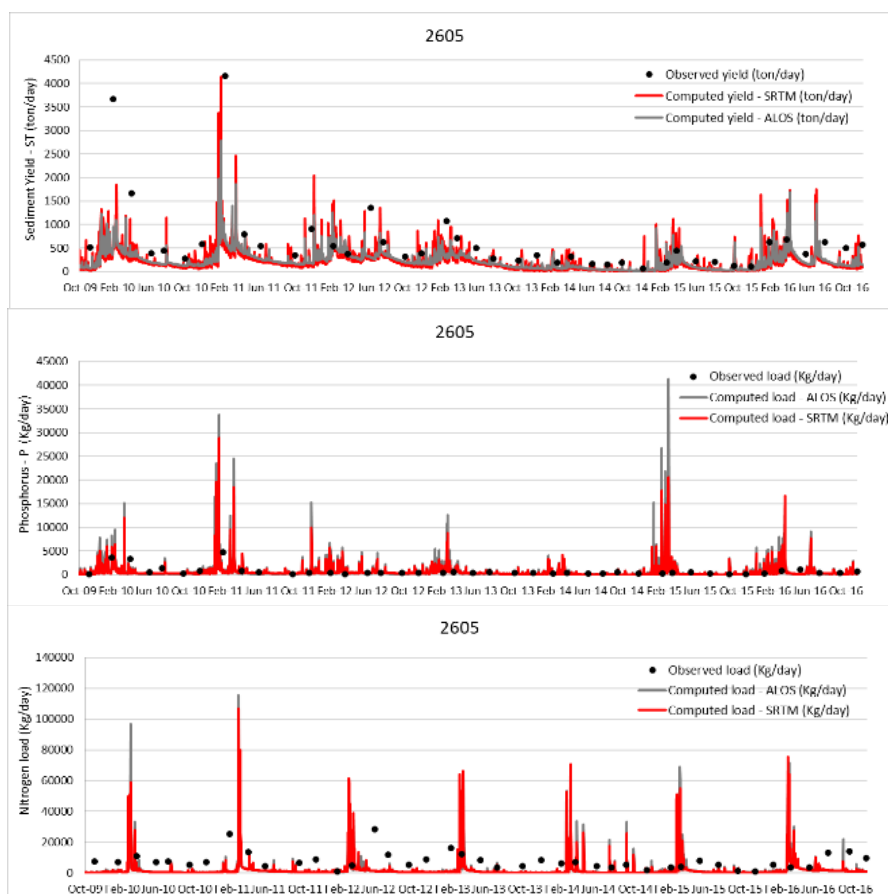


Figure 7 – Performance do modelo SWAT para a simulação da produção de sedimentos, e concentração de contaminantes utilizando os dados SRTM e ALOS.

Tabela 5 - Avaliação estatística dos dados de produção de sedimentos e concentração de contaminantes utilizando os dados SRTM e ALOS.

Posto	Produção de sedimentos			Concentração de Nitrogênio			Concentração de Fósforo		
	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2
2605 SRTM	-0.02	60.96	0.23	-1.11	78.87	0	-0.40	8.87	0.20
2605 ALOS	0.08	61.16	0.51	-1.10	78.79	0	-1.16	-3.57	0.20

Os resultados obtidos mostram que o MDE ALOS com uma resolução mais pormenorizada conduz a resultados melhores, mas que a diferença não é muito significativa. Assim, é possível usar dados de resolução mais grosseira como MDE SRTM já que os resultados obtidos para a vazão, tanto diária quanto mensal, foram satisfatórios. Estes resultados foram consistentes com os resultados de numerosos estudos como Chaubey (2005), Chaplot (2005), Lin et al., (2010) Buakhao e Kangrang (2016).

## 5. CONCLUSÕES

A descrição da bacia hidrográfica do rio Atibaia realizada pelo SWAT é sensível ao modelo digital de elevação selecionado. A divisão da bacia hidrográfica por HRUs e sub-bacias obtida de cada modelo é distinta, assim como é a sua caracterização por classe de declive, solo e uso do solo. A resolução do MDE tem um efeito mais relevante no cálculo da declividade, com o modelo de resolução mais grosseira (SRTM) conduz a menores declividades

Na simulação da vazão diária e mensal, o modelo ALOS apresentou um melhor ajuste aos dados observados, fato comprovado pelos resultados dos coeficientes de eficiência. Este mesmo comportamento é observado para a simulação da produção de sedimentos. No entanto, a simulação da concentração dos contaminantes não parece ter sido condicionada pelo MDE, embora a calibração do SWAT para esses parâmetros seja deficiente para ambos os modelos.

Podemos concluir que para bacias hidrográficas da dimensão do rio Atibaia (cerca de 3000 km<sup>2</sup>) o modelo digital de elevação ALOS melhora os resultados da simulação da vazão e da produção de sedimentos calculados com o modelo SWAT. O SRTM é uma alternativa satisfatória, mas a influência da sua resolução nos resultados do modelo deve ser analisada para que não prejudique a qualidade dos resultados. Para bacias hidrográficas de maior dimensão, a utilização do ALOS pode não ser possível sem recursos computacionais significativos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., Williams, J. R. (1998). Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. *J. American Water Resources Assoc.* 34(1): 73-89.
- Arnold, J. G.; Fohrer N. (2005). SWAT 2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. *Hydrol. Process.* v. 19, n. 3, p. 563-572.
- Buakhao, W., Kangrang, A. (2016). DEM resolution impact on the estimation of the physical characteristics of watersheds by using SWAT. *Advances in Civil Engineering.*
- Bueno, E. D. O., De Oliveira, V. A., Viola, M. R., Mello, C. R. (2017). Desempenho do modelo swat para diferentes critérios de geração de unidades de resposta hidrológica. *Scientia agraria*, v. 18, n. 2, p. 114-125.
- Chaplot, V. (2005). Impact of DEM mesh size and soil map scale on SWAT runoff, sediment, and NO<sub>3</sub>-N loads predictions. *Journal of hydrology*, v. 312, n. 1-4, p. 207-222.
- Chaubey, I., Cotter, A. S., Costello, T. A., Soerens, T. S. (2005). Effect of DEM data resolution on SWAT output uncertainty. *Hydrological Processes: An International Journal*, v. 19, n. 3, p. 621-628.
- De Vente, J., Poesen, J., Govers, G., Boix-Fayos, C. (2009). The implications of data selection for regional erosion and sediment yield modeling. *Earth Surface Processes and Landforms*, v 34, p 1994-2007.
- Francesconi, W., Srinivasan, R., Pérez-Miñana, E., Willcock, S. P., Quintero, M. (2016) Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to model ecosystem services: a systematic review. *Journal of hydrology*, v. 535, p. 625-636.



- Lenhart, K.; Eckhardt, N.; Fohrer, F. H. G. (2002). Comparison of two different approaches of sensitivity analysis. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 27, p. 645–654.
- Li, X.; Weller, D. E.; Jordan, T. E. (2010). Watershed model calibration using multi-objective optimization and multi-site averaging. *Journal of Hydrology*, v. 380, n. 3, p. 277-288.
- Lin, S., Jing, C., Chaplot, V., Yu, X., Zhang, Z., Moore, N., Wu, J. (2010). Effect of DEM resolution on SWAT outputs of runoff, sediment and nutrients. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 7: 4411-4435.
- Miranda, E. E. (Coord.). (2011) *Brasil em Relevo. Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005*. Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/> . Acesso em: 26 jun. 2011
- Moriassi, 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. *Trans. ASABE* 50 (3), 885–900.
- Muleta, M. K. (2012). Improving model performance using season-based evaluation. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 191, p. 191-200.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles. *Journal of hydrology*, v. 10, n. 3, p. 282-290.
- Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R. (2003). The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 57, n. 4, p. 241– 262.
- Santos, F. M., de Oliveira, R. P., Mauad, F. F. (2018). Lumped versus Distributed Hydrological Modeling of the Jacaré-Guaçu Basin, Brazil. *Journal of Environmental Engineering*, 144 (8), 0401-8056.
- Schneiderman, E. M., Steenhuis, T. S., Thongs, D. J., Easton, Z. M., Zion, M. S., Neal, A. L., Todd Walter, M. (2007). Incorporating variable source area hydrology into a curve-number-based watershed model. *Hydrological Processes*, v. 21, n. 25, p. 3420-3430.
- SIGRH – Sistema Integrado De Gerenciamento De Recursos Hídricos. Situação de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo: 2015. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, Coordenadoria de Recursos Hídricos. – 6. ed. – São Paulo, 2017.
- Small, C.; Sohn, R. (2015). Correlation scales of digital elevation models in developed coastal environments. *Remote Sensing of Environment*, v. 159, p. 80-85.
- Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5 - Piracicaba/Capivari/Jundiá (PCJ) (2013). Mapeamento de uso e cobertura da terra. Disponível em: <<http://www2.ambiente.sp.gov.br/cpla/mapa-de-uso-e-ocupacao-da-terra-ugrhi-5-pcj/>> Acesso em 22 mar. 2018.
- Yang, L., Meng, X., Zhang, X. (2011). SRTM DEM and its application advances. *International Journal of Remote Sensing*, v. 32, n.14, p. 3875-3896.