



14.º SILUSBA

O DESEMPENHO DE UM MODELO SEMI-DISTRIBUÍDO COM DIFERENTES RESOLUÇÕES ESPACIAIS DOS CAMPOS DE PRECIPITAÇÃO. UMA APLICAÇÃO DO MODELO SWAT.

Franciane Mendonça dos SANTOS¹, Rodrigo Proença de OLIVEIRA², José Augusto de LOLLO³, Frederico Fábio MAUAD⁴

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, Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa, Portugal. Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa – Portugal. E-mail: rodrigopoliveira@tecnico.ulisboa.pt
3. State University of São Carlos. Department of Civil Engineering. Av. Brasil Sul, 56 - Centro, Ilha Solteira - SP, 15385-000. E-mail: jose.lollo@unesp.br
4. São Carlos School of Engineering, Center of Water Resources and Environmental Studies, University of São Paulo, Brazil, Caixa Postal 292, São Carlos, SP, Brasil. CEP: 13560-970. E-mail: mauadffm@sc.usp.br

RESUMO

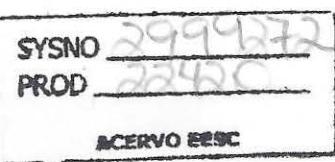
Uma boa caracterização da distribuição espacial e temporal da precipitação é determinante na qualidade dos resultados de qualquer exercício de modelagem hidrológica. Infelizmente, as densidades de distribuição dos postos pluviométricos são frequentemente insuficientes para caracterizar adequadamente o campo de precipitação e a utilização direta dos registos destes postos em modelos hidrológicos conduz a resultados insatisfatórios. A utilização de metodologias mais sofisticadas de interpolação espacial é uma possibilidade, mas tal acarreta um esforço adicional de modelação. Este estudo teve por objetivo estudar em que condições esse esforço adicional é compensador em aplicações do modelo SWAT. Foram modeladas duas bacias hidrográficas do interior do estado São Paulo com dois conjuntos de dados de precipitação, o primeiro constituído pelos registos observados nos postos de monitorização existentes e o segundo constituído por uma grelha interpolada de alta resolução ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$). Nos casos em estudo, a utilização da grelha de interpolação não contribuiu significantemente para melhorar a calibração do modelo SWAT. A utilização dos dados em grelha pode, no entanto, ser interessante em bacias hidrográficas com menor densidade de monitorização pluviométrica, onde os métodos de interpolação do SWAT para estimar a precipitação em cada sub-bacia falham.

Palavras-Chave: Modelo semi-distribuído; SWAT; dados de precipitação interpolados.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é o dado de entrada determinante dos modelos hidrológicos chuva-vazão que são utilizados nos estudos de quantificação de recursos hídricos, de avaliação dos riscos de contaminação ou de avaliação dos riscos de cheia ou de seca. A precipitação exibe, no entanto, uma distribuição espacial e temporal muito variável, pelo que a sua caracterização pode exigir redes de monitoramento muito densas, com custos de operação elevados. Quando as redes de monitoramento não são adequadas, os métodos mais simples para estimar a precipitação sobre uma bacia hidrográfica a partir dos registos dos postos pluviométricos não produzem bons resultados, sendo necessário recorrer a métodos mais sofisticados (Battisti et al., 2018, Ruane et al. 2015).

A literatura apresenta diversos métodos de interpolação de dados de precipitação observados que foram utilizados para gerar dados de precipitação de várias locais no mundo (Ly et al., 2013, Chen et al., 2017, Kumar et al., 2017). No caso do Brasil, Xavier et al., (2016) avaliaram seis diferentes métodos de interpolação, utilizando uma abordagem de validação cruzada que compara dados observados para determinar as melhores interpolações para cada variável climática. Os métodos de ponderação de distância inversa e de ponderação de distância angular produziram os melhores resultados, nas o desempenho da interpolação variou em diferentes estações para quase todas as variáveis. A partir dos registos de 3625 pluviômetros e 735 estações meteorológicas, calcularam séries de precipitação para uma grelha regular de alta resolução ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$) que abrange todo o território do Brasil e o período de 1980-2013.





14.º SILUSBA

Este estudo propõe-se avaliar o desempenho do modelo semi-distribuído SWAT quando utiliza este conjunto de precipitação interpolados, em comparação com a utilização direta dos dados de precipitação observados nas estações de monitoramento.

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 atualmente considerado como um dos modelos mais capazes para estimar a vazão, a produção de sedimentos e o aporte de químicos agrícolas (perda de nutrientes) em bacias hidrográficas complexas com diferentes tipos de solos, uso do solo e condições de gestão.

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.

2.2. Calibração e validação do modelo

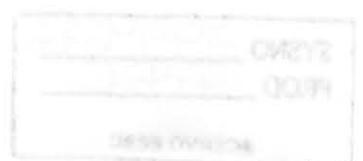
A vazão diária dos casos de estudo foi calculada pelo modelo SWAT a partir dos dados de precipitação observados e dos dados de precipitação interpolados, sendo os dois resultados comparados com os registos diários das estações hidrométricas localizadas nas bacias hidrográficas dos casos de estudo.

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 (r2) (Moriasi, 2007) (eq. 3).

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

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





14.º SILUSBA

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

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

3. CASOS DE ESTUDO

3.1. Bacias hidrográficas

Os dois casos de estudo utilizados neste estudo estão localizados no Estado de São Paulo, Brasil (Figura 1).

O primeiro caso de estudo é o da bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu, a montante da confluência com o rio das Cruzes (1934 km^2). O rio Jacaré-Guaçu está localizado na região centro-norte do estado, sendo um importante afluente do rio Tietê, um dos maiores afluentes da bacia do alto Paraná. O rio principal tem suas fontes na Serra de Itaqueri (São Carlos, Estado de São Paulo, Brasil) e desagua no reservatório de Ibitinga, na bacia superior do rio Tietê. A bacia do rio Jacaré-Guaçu está inserida na Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 13 (UGRHI-13), denominada Tietê-Jacaré, que possui uma área de drenagem de 11.779 km^2 .

Nesta primeira a área de estudo, verificam-se altitudes que variam entre 481 m no exutório e 1027 m na parte leste da bacia (Figura 2). O relevo da bacia influencia a distribuição espacial das chuvas, com as maiores quantidades de chuvas a cair nas partes nordeste da bacia.

O segundo caso de estudo é o da bacia hidrográfica do rio Atibaia que possui uma área de drenagem de 2818 km^2 . Localiza-se no centro leste do Estado de São Paulo e Minas Gerais, estando inserida na UGRHI-5, denominada PCJ – Piracicaba, Capivari e Jundiaí. A bacia hidrográfica do rio Atibaia apresenta altitudes entre 508 m e 1973 m, com as maiores altitudes na parte oeste e sul e as menores no exutório da bacia. O relevo da bacia influencia a distribuição espacial das chuvas, com as maiores quantidades de chuvas a cair nas partes sudeste e sul da bacia.

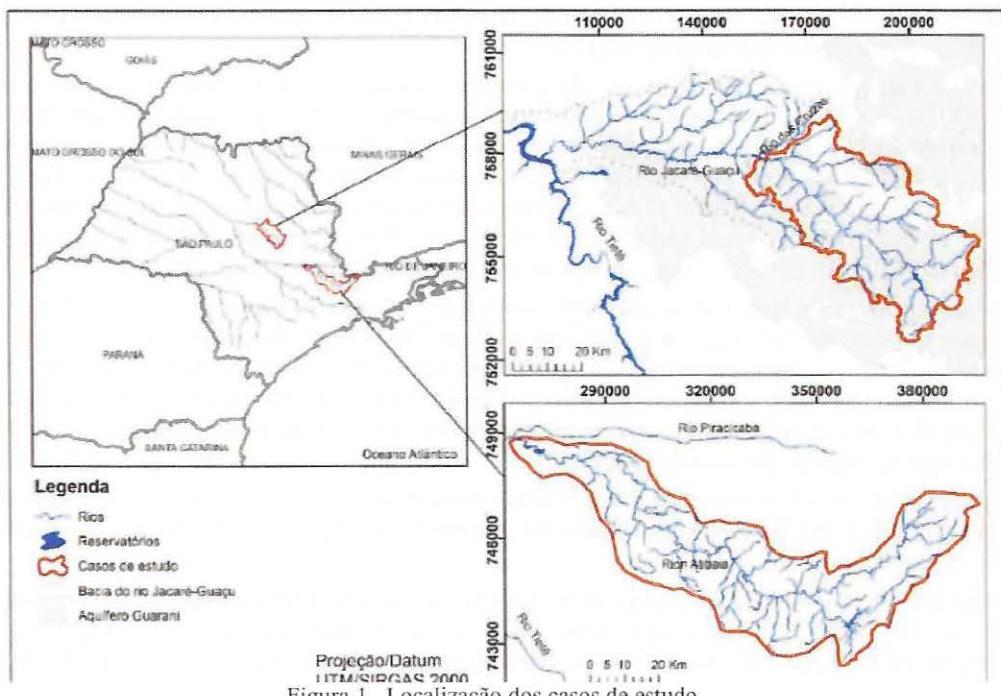


Figura 1. Localização dos casos de estudo.



14.º SILUSBA

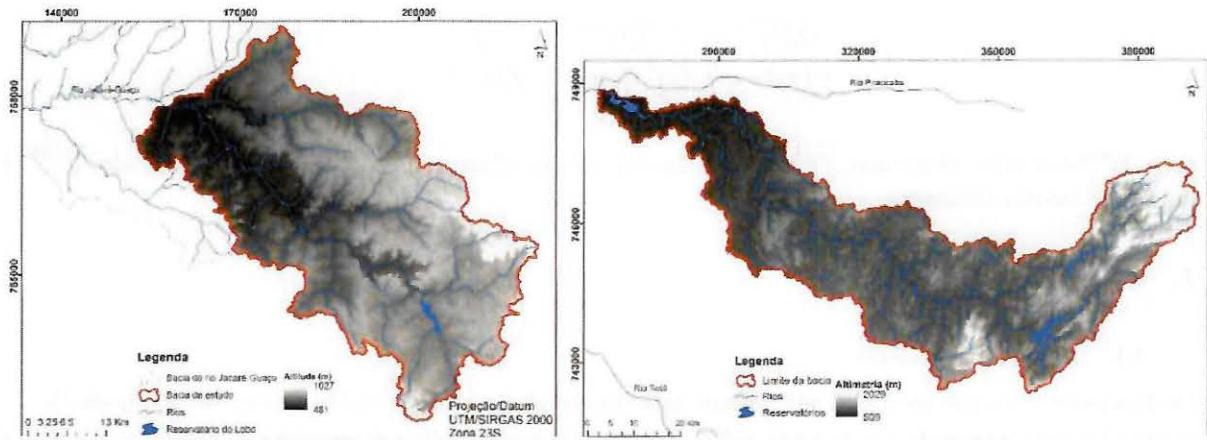


Figura 2. Mapa altimétrico das bacias hidrográficas do rio Jacaré-Guaçu e do rio Atibaia.

3.2. Dados de entrada do modelo

O MDE utilizado em ambos os casos de estudo possui uma resolução de 12.5 m, tendo sido derivado do sensor PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) transportado a bordo do Satélite Japonês Advanced Land Observing Satellite – ALOS.

As características do solo foram obtidas através da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), tendo-se identificado oito tipos de solo na bacia do rio Jacaré-Guaçu e três tipos de solo na bacia do rio Atibaia. Na primeira, os latossolo vermelho-amarelo abrangem 55,4% da área da bacia hidrográfica, sendo seguidos pelos quartzosas (13,2%), latossolo vermelho-escuro (10,6%), latossolo roxo (6,5%), podzólico vermelho-amarelo (5,1%), solos litólicos (4,6%), solos hidromórficos (4,2%) e terra roxa estruturada (0,4%). Na bacia hidrográfica do rio Atibaia, o latossolo vermelho-amarelo cobre 61,01% da área da bacia hidrográfica, seguindo-se o latossolo roxo (37,75%) e o latossolo vermelho-escuro (1,24%).

A identificação dos tipos de uso e de ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu foi realizada a partir de uma imagem de satélite Landsat Thematic Mapper do segundo semestre de 2001, com uma resolução espacial de 30x30 metros. Foram identificados 7 tipos de uso e ocupação do solo, sendo o mais expressivo a agricultura com 38,7% da área, seguindo pela cana de açúcar (27,6%), pasto (19,8%), mata nativa (6,2%), área urbana (3,7%), solo exposto (3,4%) e água (0,6%).

A carta de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica de Atibaia 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%).

Os dados meteorológicos e hidrológicos para ambas as bacias hidrográficas foram obtidos nas bases de dados de duas agências governamentais: a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo (DAEE). Na bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu, os dados relativos à temperatura, umidade, velocidade do vento e radiação solar foram obtidos a partir de um medidor operado pela CRHEA. Na bacia hidrográfica do rio Atibaia estes dados foram obtidos com um medidor de tempo usado pela ESALQ (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz).

As duas áreas de estudo apresentam uma alta densidade de monitoramento pluviométrico, com aproximadamente 1.06 postos/100 km² na bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu e 0.29 postos/100 km² na bacia hidrográfica do rio Atibaia, respectivamente.

Os dados de precipitação obtidos por Xavier et al., (2015) com uma resolução de (0,25°×0,25°) apresentam uma densidade de 0.17 postos/100 km² a bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu e 0.14 postos/100 km² na bacia hidrográfica do rio Atibaia. Estes indicadores variam dentro de cada sub-bacia, como verá adiante. A Figura 3



14.º SILUSBA

apresenta a localização das estações pluviométricas e espacialização dos dados interpolados de Xavier et al. (2016).

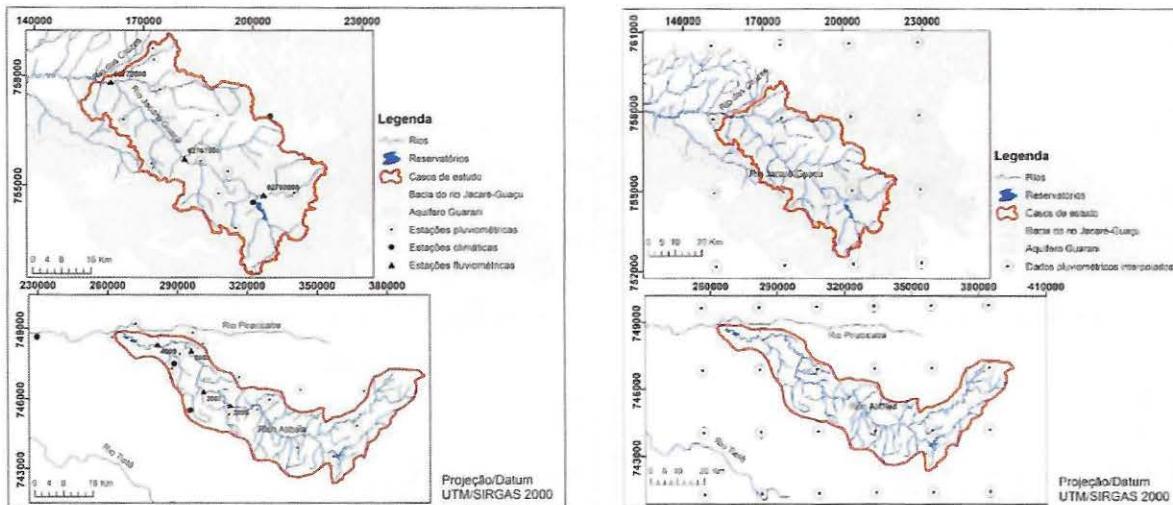
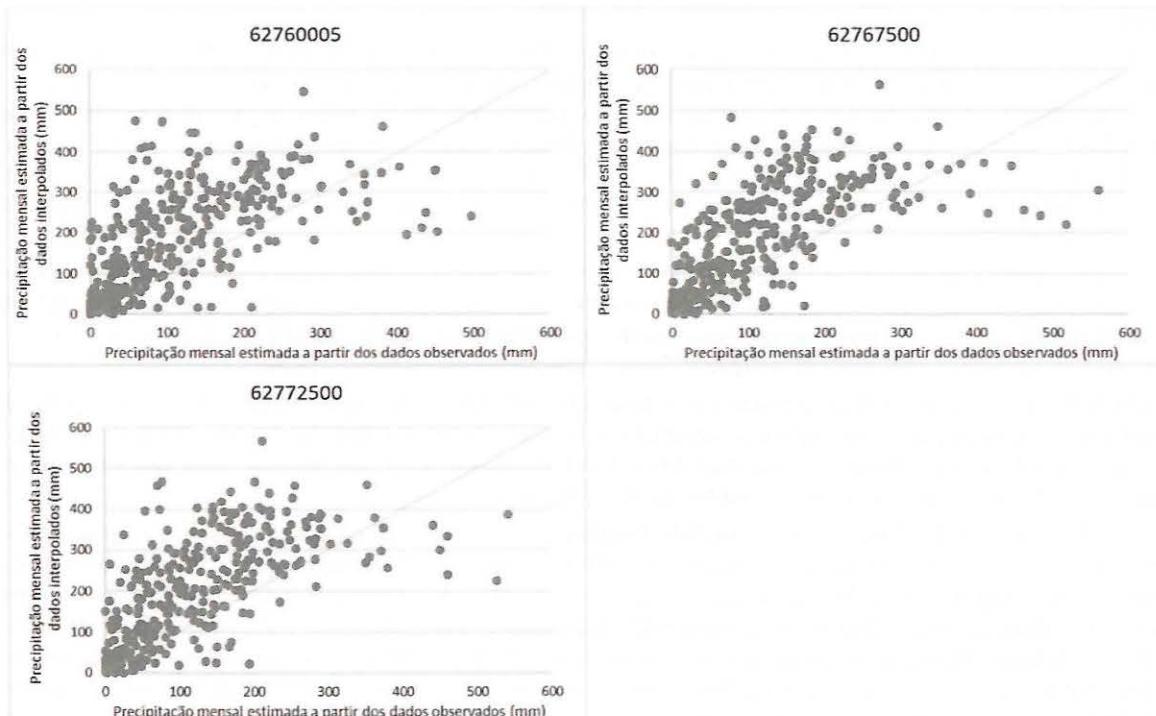


Figura 3. Localização das estações pluviométricas, climatológicas e fluvimétricas monitoradas (a) e localização dos dados de precipitação interpolados (DPIs) para as bacias do Rio jacaré-Guaçu (superior) e Atibaia (inferior) (b).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos de dispersão apresentados nas figuras 4 e 5 comparam a precipitação mensal estimada pelo modelo SWAT para a totalidade das bacias hidrográficas dos dois casos de estudo, a partir dos dados de precipitação observada e dos dados de precipitação interpolados. Os valores nos gráficos correspondem à média ponderada dos valores de precipitação que o SWAT assume que ocorrem em cada sub-bacia hidrográfica. Verifica-se que as estimativas calculadas a partir dos valores de precipitação interpolados são superiores às estimativas calculadas a partir dos dados observados.





14.º SILUSBA

Figura 4. Gráficos de dispersão dos dados de precipitação observados e interpolados para a bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu.

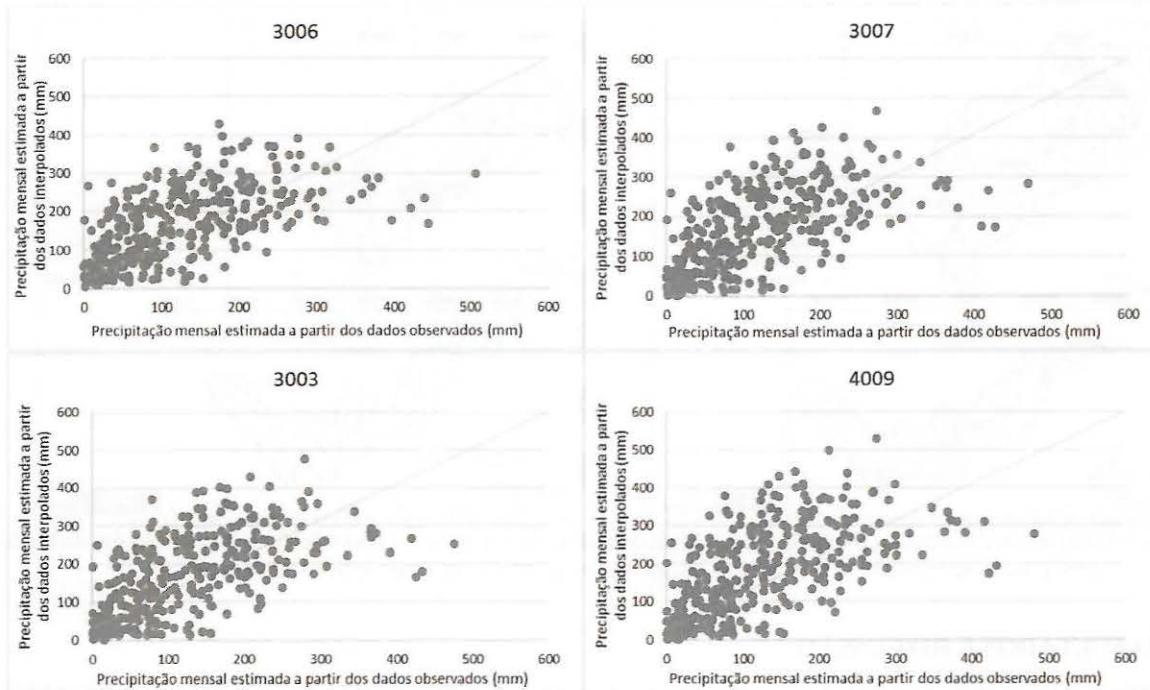


Figura 5. Gráficos de dispersão dos dados de precipitação observados e interpolados para a bacia hidrográfica do rio Atibaia.

A calibração do modelo SWAT para cálculo da vazão focou-se em 17 parâmetros aos quais os resultados são mais sensíveis. Neste estudo, melhorou-se a calibração de Santos et al., (2018a), realizando um ajuste fino que melhorou o desempenho do modelo para os dois conjuntos de dados de precipitação. A Tabela 1 identifica os parâmetros com mais influência na calibração e os valores finais obtidos nesse processo e que foram objeto de validação.

As figuras 6 e 7 apresentam os resultados das simulações diárias e mensais da vazão para a estação mais a jusante de ambos os casos de estudo. Para facilitar a análise destes resultados, as tabelas 2 e 3 mostram o desempenho do SWAT na reprodução das vazões diárias e mensais a partir dos dados de precipitação observados e interpolados para a bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu e para a bacia hidrográfica do rio Atibaia, respectivamente. As figuras mostram que para ambas as bacias hidrográficas há uma pequena alteração entre a vazão simulada a partir dos dados de precipitação observados e a vazão simulada a partir dos dados de precipitação interpolados.

Na bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu, observa-se que o melhor ajustamento dos dados de vazão é obtido nas estações hidrométricas 62767500 e 62772500, como é confirmado pelos valores de r^2 próximos de 0,5 no caso da vazão mensal. Nesta bacia hidrográfica o melhor desempenho é obtido quando os dados de precipitação observados são utilizados, incluindo na estação 62760005 que apresenta resultados piores.

Na bacia hidrográfica do rio Atibaia também verificamos que a utilização dos dados de precipitação interpolados também não contribuiu para uma melhoria significativa dos resultados obtidos. Apesar do conjunto de dados interpolados conduzir a resultados satisfatórios dos indicadores de eficiência do modelo, estes são ainda assim inferiores aos obtidos quando utilizados os dados de precipitação observados.

Esta forte dependência do desempenho do modelo hidrológico da estimativa da precipitação é coerente com o que já vem sendo estudado. Diversos autores analisaram o impacto da densidade espacial da precipitação na modelagem hidrológica e descobriram que geralmente a qualidade das simulações dos modelos se deteriora quando a densidade da rede pluviométrica é reduzida. Bárdossy e Das (2008), por exemplo, mostraram que o número e a distribuição espacial dos postos pluviométricos afetam a simulação dos resultados de um modelo semi-distribuído, verificando que o desempenho geral do modelo piora radicalmente com a redução dos postos pluviométricos. Os autores também concluíram que a influência da densidade pluviométrica pode ser muito



14.º SILUSBA

diferente de região para região, dependendo do tipo de chuva, sazonalidade da precipitação, topografia e uso do solo. Quanto mais complexo é o regime de precipitação, mais dados são necessários. Fu et al. (2011) também analisaram o impacto de seis diferentes resoluções espaciais de dados de precipitação e consideraram os efeitos da baixa densidade pluviométrica potencialmente impactantes nas estimativas dos parâmetros do modelo hidrológico utilizado. Lobriggio et al. (2014) complementa esse fato em seu estudo ao avaliar a variabilidade da resolução espacial da precipitação na simulação da vazão e inferir que a alta densidade pluviométrica melhora consideravelmente os resultados da simulação da vazão em grandes bacias hidrográficas.

Nos estudos de caso deste trabalho as redes monitorização da precipitação apresentam uma densidade muito próxima da grade de precipitação interpolada (Tabela 4). Mas apesar da maior densidade da grade de dados interpolados, a simulação com estes dados não conduziu a resultados melhores da vazão (Tabelas 2 e 3), o que pode estar relacionado com a qualidade dos dados interpolados para esta região do Brasil. Estes dados são fruto de um processo de interpolação de dados registados na rede de monitorização, sendo os resultados dependentes da densidade de monitorização, da qualidade dos registos e da complexidade do campo de precipitação. Esta qualidade pode, por isso, variar entre regiões.

Note-se que Santos et al. (2018b) recorreu à mesma grade de dados de precipitação interpolados na simulação da vazão com o modelo SWAT em bacias localizadas no nordeste do Brasil e obteve bons resultados. Nesse caso, as áreas de estudo apresentam uma baixa densidade de monitorização pluviométrica e os resultados obtidos com os dados interpolados são melhores que os obtidos com a utilização direta dos dados da rede de monitorização.

Tabela 1. Parâmetros do modelo SWAT calibrados com os dados de precipitação observados e interpolados.

	Parâmetros	Definição	Unit	Range	Valores originais	Valores Calibrados – Dados observados	Valores Calibrados – Dados interpolados
Fluxo das águas subterrâneas	GW_REVAP.gw	Coeficiente de revap	NA	0.02 - 0.2	0.02	0.12	0.2
	REVAPMN.gw	Profundidade limiar da água no aquífero raso exigido para revap.	mm	0 - 1000	750	300	400
	GWQMN.gw	Profundidade limiar da água no aquífero raso necessária para o fluxo de retorno ocorrer	mm	0 - 5000	1000	300	300
	ALPHA_BF.gw	Coeficiente do fluxo de base	days	0 - 1	0.048	0.001	0.001
	RCHRG_DP.gw	Fração de percolação do aquífero profundo	mm	0 - 1	0.05	0.04	0.05
Superfície	CANMX.hru	Armazenamento máximo do dossel das plantas	mm	0 - 100	0	60	60
	ESCO.hru	Fator de compensação de evaporação do solo	NA	0.01 - 1	0.95	0.4	0.5
Hidráulica fluvial	CH_K1.sub	Condutividade hidráulica efetiva no aluvião do canal tributário	mm/hr	0 - 300	0	5	5
	CH_N1.sub	O valor n de Manning para os canais tributários	mm/hr	0.01 - 30	0.014	0.04	0.04
Características do Solo	SLSOIL.hru	Inclinação para o fluxo lateral subsuperficial	m	0 - 150	0	40	40
	CNCOEF.bsn	Coeficiente do CN para evapotranspiração das plantas.	NA	0.5 - 2	2	1.5	1.5
	FFCB.bsn	Armazenamento inicial de água no solo expresso como uma fração do conteúdo de água da capacidade de campo	NA	0 - 1	0	1	1
	CN2.mgt	Número inicial de CN para umidade II	NA	0 - 100	-	0.7 ^b	0.8 ^b
	SOLAWC.sol	Capacidade de água disponível no solo	mm/mm	0 - 1	-	0.8 ^b	0.8 ^b

^a Varies with land use and soil type; ^b Fator de multiplicação a ser aplicado ao valor original do parâmetro.



14.º SILUSBA

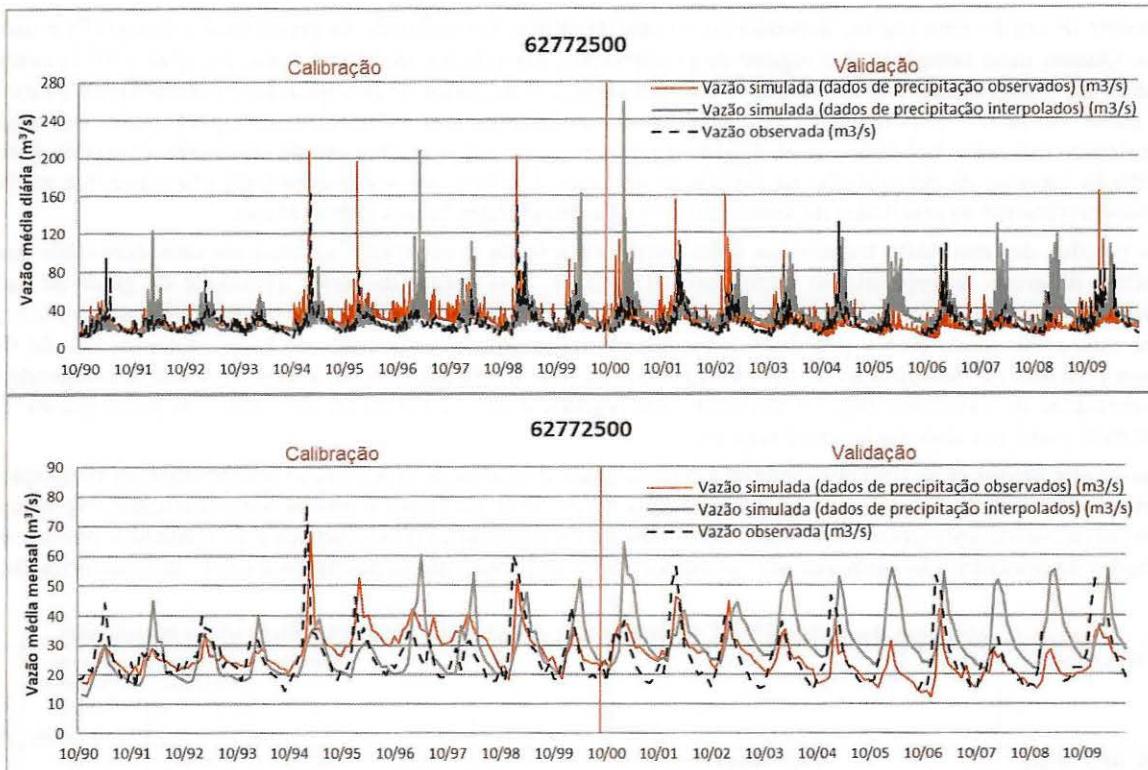


Figura 6 - Comparação da simulação da vazão diária e mensal para estação 62762500 da bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu.

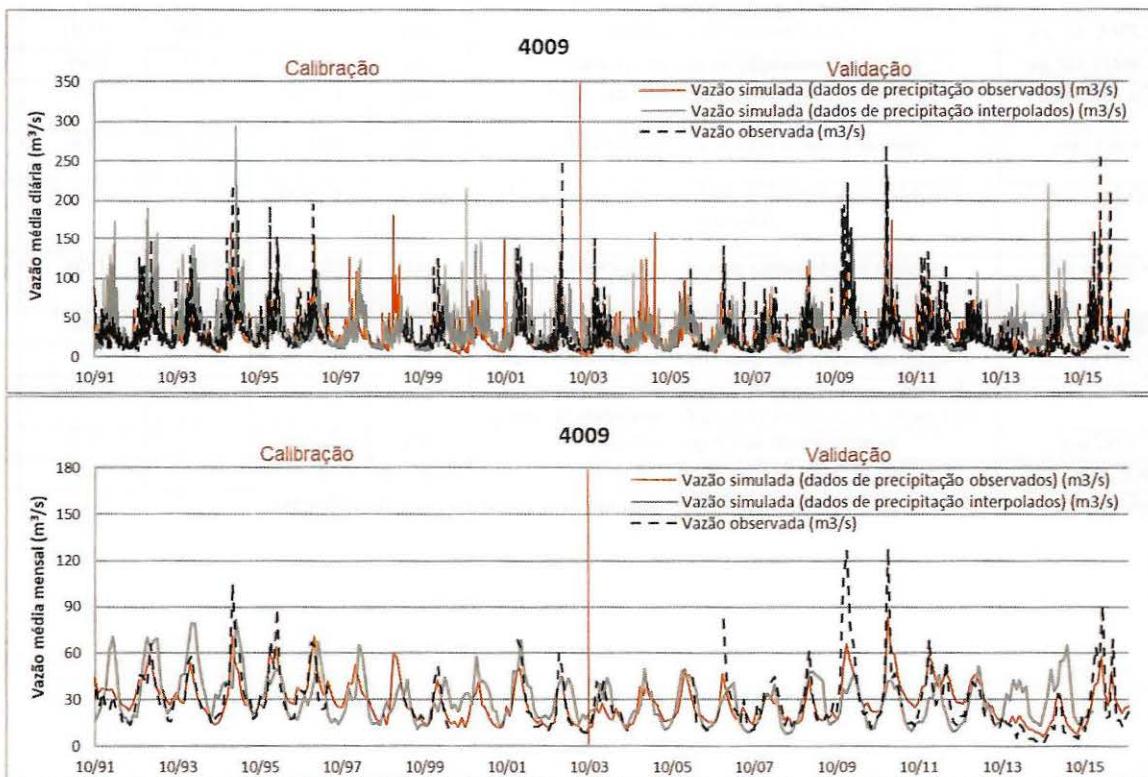


Figura 7 - Comparação da simulação da vazão diária e mensal para estação 4009 da bacia hidrográfica do rio Atibaia.



14.º SILUSBA

Tabela 2. Desempenho do SWAT na reprodução das vazões diárias e mensais a partir dos dados de precipitação observados e interpolados – Bacia hidrográfica do rio Jacaré-Guaçu

Estação hidrométrica	Resultados com os dados de precipitação observados									Mensais		
	Diários			Validação			Calibração			Validação		
	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2
62760005	0.17	-1.31	0.13	0.42	11.55	0.18	0.32	-2.91	0.19	0.53	11.61	0.22
62767500	0.21	-3.30	0.29	-0.74	-10.88	0.24	0.32	-4.84	0.32	0.68	-10.83	0.73
62772500	0.30	-6.77	0.38	0.50	3.15	0.35	0.55	-6.75	0.59	0.81	3.21	0.65

Estação hidrométrica	Resultados com os dados de precipitação interpolados									Calibração		
	Calibração			Validação			Calibração			Validação		
	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2
62760005	-0.16	11.98	0.02	0.78	20.51	0.02	0.06	11.58	0.09	0.31	20.52	0.08
62767500	-0.17	16.04	0.08	-0.82	-1.62	0.09	0.07	13.95	0.20	0.22	-1.72	0.36
62772500	-0.20	1.21	0.13	0.10	-0.30	0.15	0.13	1.33	0.30	0.33	-27.76	0.39

Tabela 3. Desempenho do SWAT na reprodução das vazões diárias e mensais a partir dos dados de precipitação observados e interpolados – Bacia hidrográfica do rio Atibaia

Estação hidrométrica	Resultados com os dados de precipitação observados									Mensais		
	Diários			Validação			Calibração			Validação		
	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2
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

Estação hidrométrica	Resultados com os dados de precipitação interpolados									Calibração		
	Calibração			Validação			Calibração			Validação		
	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2	NSE	Pbias	r2
3006	0.10	12.11	0.16	-0.10	-2.03	0.06	0.42	-13.81	0.17	0.09	-2.21	0.15
3007	0.38	6.99	0.17	-0.14	2.96	0.10	0.14	-13.16	0.27	0.03	2.62	0.15
3003	0.24	14.63	0.13	-0.01	-1.54	0.09	0.47	-14.89	0.11	0.12	-1.96	0.17
4009	0.43	7.08	0.10	0.20	-0.94	0.10	0.67	-13.66	0.27	0.34	-0.32	0.18

Tabela 4. Densidade dos dados pluviométricos observados e interpolados para cada estação hidrométrica.

Estação	Dados observados	Dados interpolados
	Postos/100km ²	Postos/100km ²
62760005	0.43	0.43
62767500	0.88	0.18
62772500	1.06	0.18
3006	0.23	0.16
3007	0.28	0.14
3003	0.24	0.16
4009	0.29	0.15

5. CONCLUSÕES

A utilização da grade regular de valores interpolados proposta por Xavier et al., (2016), com uma resolução de 30 m, não contribuiu para melhorar a calibração do modelo SWAT. Este facto pode ser justificado, porque nos dois casos em estudo as bacias hidrográficas são consideradas de área pequena a média (1934 km^2 e 2817 km^2) e possuem uma densidade de monitorização pluviométrica razoável.

A utilização de uma grade de valores interpolados é interessante para bacias hidrográficas de grande dimensão, com baixa densidade de postos pluviométricos, onde os métodos de interpolação do SWAT para estimar a precipitação em cada sub-bacia falham e apresentam estimativas pouco rigorosas. Mas sendo resultado de processo de interpolação de registos da rede de monitorização, com problemas de qualidade e completude das séries históricas, a qualidade das suas estimativas precipitação pode variar nas várias regiões do Brasil.



14.º SILUSBA

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.
- Bárdossy, A., and T. Das. (2008). Influence of rainfall observation network on model calibration and application. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 12:77-89.
- Battisti, R., Bender, F. D., Sentelha, P. C. (2018) Assessment of different gridded weather data for soybean yield simulations in Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-1.
- Chen, T., Ren, L., Yuan, F., Yang, X., Jiang, S., Tang, T., Zhang, L. (2017). Comparison of spatial interpolation schemes for rainfall data and application in hydrological modeling. *Water*, 9(5), 342.
- Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH-PCJ). (2006) Plano de Bacias Hidrográficas 2004-2007 dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Relatório Final. Disponível em: <www.comitepcj.sp.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- Fu, S., Sonnenborg, T. O., Jensen, K. H., He, X. (2011) Impact of precipitation spatial resolution on the hydrological response of an integrated distributed water resources model. *Vadose Zone Journal*, v. 10, n. 1, p. 25-36.
- Kumar, S.; Machiwal, D.; Dayal, D. (2017) Spatial modelling of rainfall trends using satellite datasets and geographic information system. *Hydrological Sciences Journal*, v. 62, n. 10, p. 1636-1653.
- Lobligoëis, F., Andréassian, V., Perrin, C., Tabary, P., Loumagne, C. (2014) When does higher spatial resolution rainfall information improve streamflow simulation? An evaluation using 3620 flood events. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 18, n. 2, p. p. 575-p. 594.
- Ly, S., Charles, C., Degré, A. (2013). Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale. A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 17(2), 392.
- 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. *Trans. ASABE* 50 (3), 885-900.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V. (1970) River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), 282-290.
- Ruane, A. C., Goldberg, R., Chryssanthacopoulos, J. (2015). Climate forcing datasets for agricultural modeling: Merged products for gap-filling and historical climate series estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200, 233-248.
- Santos, C., Almeida, C., Ramos, T., Rocha, F., Oliveira, R.P., Neves, R. (2018b). Using a hierarchical approach to calibrate SWAT and predict the semi-arid hydrologic regime of northeastern Brazil. *Water*, 10(9), 1137.
- Santos, F. M., Oliveira, R. P., Mauad, F. F. (2018a). Lumped versus Distributed Hydrological Modeling of the Jacaré-Guaçu Basin, Brazil. *Journal of Environmental Engineering*, 144 (8), 0401-8056.
- Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5 - Piracicaba/Capivari/Jundiaí (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.
- Xavier, A. C., King, C. W., Scanlon, B. R. (2016) Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *International Journal of Climatology*, 36(6), 2644-2659.