

O efeito da alteração nas entradas pedológicas no modelo de SWAT: estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós

As mudanças no uso e ocupação do solo tem causado modificações de sistemas hidrológicos. Dessa forma, o conhecimento prévio do efeito das variações nos usos do solo sobre a dinâmica das águas em bacias hidrográficas é importante para prever, mitigar e/ou eliminar atividades e intervenções que geram impactos negativos. Neste contexto, os modelos hidrológicos são importantes ferramentas para essas previsões. O presente trabalho teve como objetivo demonstrar se a modelagem em SWAT é capaz de simular, de forma satisfatória, as vazões na bacia do Rio Tapajós, comparando os dados das vazões simuladas com as vazões observadas para o período de 1999 a 2002; avaliou-se, ainda, como diferentes entradas de parâmetros pedológicos afetam as vazões em simulações. Nas entradas da modelagem, foram usados três pontos fluviométricos: Acará do Tapajós, Fazenda Tratex e Jardim do Ouro; duas entradas pedológicas: uma da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e outra da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). Quanto ao uso e ocupação do solo os resultados foram alcançados por meio da classificação supervisionada de 17 imagens Landsat (Janeiro/2001 a dezembro/2001); já no Modelo Digital de Elevação (MDT) foram utilizadas imagens do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e quanto aos parâmetros climáticos, foram usadas as do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Na simulação usando dados climáticos INMET-EMBRAPA, obteve-se os valores de COE (0.81, 0.86 e 0.79), isso nos três pontos fluviométricos observados: Acará dos Tapajós, Fazenda Tratex e Jardim do Ouro, considerados muito bons e superiores, quando comparados com os resultados das simulações usando entradas pedológica da FAO, demonstrando assim, que o modelo possui boa correlação com os dados reais, representando, desse modo, o comportamento hidrológico da Bacia do Rio Tapajós.

Palavras-chave: Vazão; Uso do solo; Modelagem hidrológica.

Analysis of the relationship between population growth and deforestation in the state of Amapá, Brazil

Changes in land use and occupation have caused modifications of hydrological systems. Thus, prior knowledge of the effect of variations in land use on water dynamics in watersheds is important to predict, mitigate and / or eliminate activities and interventions that generate negative impacts. In this context, hydrological models are important tools for these predictions. The present work aimed to demonstrate if the SWAT modeling is able to simulate, satisfactorily, the flows in the Tapajós River basin, comparing the simulated flow data with the observed flows for the period from 1999 to 2002; It was also evaluated how different inputs of pedological parameters affect the flows in simulations. In the modeling entrances, three fluviometric points were used: Acará do Tapajós, Fazenda Tratex and Jardim do Ouro; two pedological entries: one from the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA) and one from the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). Regarding land use and occupation, the results were achieved through the supervised classification of 17 Landsat images (January 2001 to December 2001); In the Digital Elevation Model (MDT) images of the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) were used and for the climatic parameters, the National Institute of Meteorology (INMET) was used. In the simulation using INMET-EMBRAPA climate data, we obtained the values of COE (0.81, 0.86 and 0.79), that in the three observed river points: Acará dos Tapajós, Fazenda Tratex and Jardim do Ouro, considered very good and superior, when compared. The results of the simulations using FAO pedological inputs show that the model has a good correlation with the actual data, thus representing the hydrological behavior of the Tapajós River basin.

Keywords: Flow rate; Use of the soil; Hydrological modeling.

Topic: **Tecnologia, Modelagem e Geoprocessamento**

Received: **24/08/2018**

Approved: **29/08/2018**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Edinelson Saldanha Correa 

Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/0344768485868201>

<http://orcid.org/0000-0002-4162-4296>

edinelson_saldanha@hotmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.006.0033

Referencing this:

CORREA, E. S.. O efeito da alteração nas entradas pedológicas no modelo de SWAT: estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.9, n.6, p.357-368, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.006.0033>

INTRODUÇÃO

A problemática da degradação ambiental tornou-se um assunto frequente. A relação predatória com a qual o homem se relacionou com a natureza resultou em impactos negativos sobre os sistemas naturais. Neste contexto, os recursos hídricos foram os que sofreram maior pressão, tornando-se a questão hídrica tema de grandes debates mundiais do século XXI, no que diz respeito à falta do recurso água. Este problema já assola a grande maioria dos países africanos e começa a afetar os países europeus.

O Brasil, no entanto, habituou-se a ilusão de que tal problema não o afetaria, por ser considerado uma das grandes potências hídricas do planeta. Todavia, em 2014, o estado de São Paulo começou a sofrer com a escassez de água, tendo que fazer racionamento do recurso. Para amenizar tais problemáticas e assim garantir o acesso à água em quantidade e qualidade a todos, surge a política nacional de recursos hídricos (Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997), tendo como foco a gestão dos recursos hídricos, que criou instrumentos como o Plano de Recursos Hídricos, enquadramento de corpos de água em classes, outorgas de uso, entre outros.

Na atualidade, já se sabe que o uso dado ao solo, em conjunto com as características geomorfológicas da área de abrangência da bacia hidrográfica, é que definirá seu comportamento frente a eventos hidrológicos, como a precipitação, escoamento superficial e subterrâneo, evapotranspiração e infiltração, podendo indicar, por exemplo, uma maior ou menor tendência a enchentes. Diversos pesquisadores têm trabalhado acerca deste tema.

Costa (2007) e Coe et al. (2009) relatam que análises do comportamento de bacias hidrográficas em micro (<1km²), meso (centenas de km²) e grande escala (milhares de km²) revelam que o desmatamento reduz a evapotranspiração (ET), aumenta a descarga do canal, bem como o coeficiente de Runoff; Costa (2003) explica que a menor rugosidade da superfície, a menor área de folhagem (relação entre superfície com folha e superfície total) e a menor profundidade das raízes das pastagens, quando comparadas à floresta contribuem para reduzir a ET e aumentar a vazão (Q).

Por meio da modelagem hidrológica foi possível estimar cenários futuros de uso e ocupação do solo e consequentemente a demanda por recursos naturais, avaliando o grau de comprometimento dos recursos da bacia em foco. Ressalta-se, ainda, que o uso da modelagem a partir da inserção de diferentes cenários de uso e manejo do solo pode contribuir para o planejamento do uso racional dos recursos hídricos e, posteriormente, fornecer suporte à implementação de práticas conservacionistas para um desenvolvimento sustentável (DURÃES, 2010).

Neste aspecto, um dos modelos que se destaca é o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), que foi desenvolvido pelo *USDA Agricultural Research Service* (USDA-ARS) e pelo *Texas A&M AgriLifeResearch* (ARNOLD et al., 2000). É utilizado para modelar diferentes processos físicos em bacias hidrográficas com o objetivo de estudar alterações no uso do solo e suas consequências nos escoamentos superficial e subterrâneo, na produção de sedimentos e na qualidade da água. Além disso, esse modelo também utiliza imagem digital para delimitar bacias hidrográficas (SRINIVASAN et al., 1994).

Conforme Santos (2005), a característica principal do SWAT é que o modelo possui base física, com equações que descrevem a relação entre as variáveis do sistema. Requer como *inputs* informações sobre clima, solos, relevo, vegetação, uso e manejo do solo. Através destas informações, o SWAT modela os processos físicos associados ao movimento da água, movimento de sedimentos, crescimento da vegetação, ciclagem de nutrientes e qualidade da água. É distribuído, de modo que a bacia hidrográfica pode ser dividida em sub-bacias, refletindo as diferenças de tipo de solo, cobertura vegetal, topografia e uso do solo; para as funções mais básicas, o modelo utiliza informações nem sempre de fácil acesso, mas que podem estar disponíveis em agências governamentais; aceita simular longos períodos de forma contínua, o que permite perceber impactos ambientais que só são visíveis quando avaliados por um longo período de tempo.

Para a simulação, o modelo requer informações espaciais, como o modelo digital do terreno, hidrografia, pedologia, uso do solo e de séries temporais de precipitação, vazão líquida, descarga sólida, temperatura mínima e máxima, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento. Com relação a pedologia, o modelo de SWAT requer um banco de dados com diversas informações, como o número de camadas do solo, grupo hidrológico e informações por camada de solo, como capacidade de água disponível, condutividade hidráulica e porosidade, entre outros.

Segundo Saldanha (2017), as variações nos dados de entrada geram modificações na qualidade dos resultados da modelagem em SWAT, mostra ainda que variações nos dados climáticos da entrada inseridos no modelo geram diferentes resultados, dos quais, os melhores resultados foram encontrados com uso dos dados do INMET quando comparados com dados do *Global Precipitation Climatology Project (CPCG)*.

Baseado no exposto até aqui, este trabalho tem como objetivo avaliar os resultados da vazão gerados na modelagem em SWAT para a bacia hidrográfica do Rio Tapajós, verificando quais das diferentes entradas pedológicas (EMBRAPA e FAO) trazem resultados mais próximos dos observados, para o período de 1999 a 2002, utilizando índices de COE e PBIAS como mensuradores quantitativos de qualidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo hidrológico foi aplicado na Sub-Bacia do Rio Tapajós apresentado na figura 1, e segundo o Ministério do Meio Ambiente, a bacia hidrográfica do rio Tapajós abrange três Estados: Pará, Mato Grosso e Amazonas. Situa-se entre os paralelos 02° e 15° de latitude sul e os meridianos 54° e 60° de longitude oeste. Sua extensão territorial ocupa uma área de aproximadamente 493.000km². Foram simuladas as vazões entre os anos de 1999 a 2002, na Bacia do rio Tapajós, período adotado, por possuir a mesma série temporal nas três estações fluviométricas adotadas neste trabalho.

Os dados meteorológicos (umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento, temperatura) foram obtidos a partir de 4 estações meteorológicas de referência. A localização das estações é apresentada na figura 1, selecionadas segundo os critérios propostos por Pontes et al. (2002), que recomendam que, para a obtenção de resultados dos processos de simulação satisfatórios, a escolha das estações deve ter séries de dados pluviométricos superior a 10 anos, exigência também do modelo. Através dessas estações, foi possível

calcular a estatística necessária para o modelo, nas quais foram usados dados INMET, que segundo Saldanha (2017), resulta em bons resultados nos processos de modelagem com SWAT.

No Modelo digital de elevação, a área da Bacia do rio Tapajós foi discretizada em células de área igual a 1.800 m² (90m x 90m – 1,8 hectares) utilizando imagens do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), formando assim uma matriz de células sobre a bacia. A escolha da área da célula foi definida de forma a captar a resolução espacial máxima correlata com a qualidade das informações planialtimétricas do modelo numérico do terreno (LIBOS, 2002).

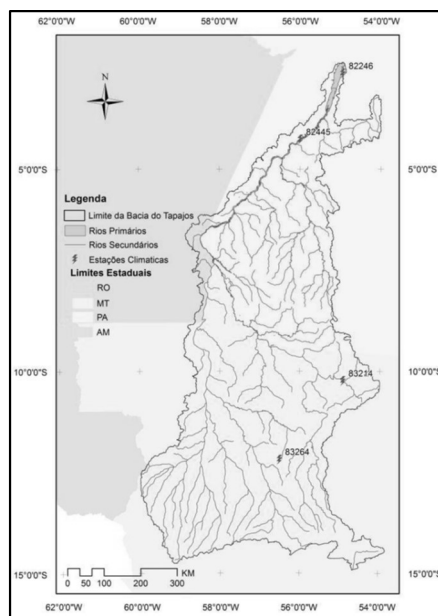


Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Tapajós e das estações climáticas

No levantamento pedológico da Bacia do Rio Tapajós, foram usadas duas entradas diferentes, uma da EMBRAPA (2013), exposta na figura 2, na qual inventariou-se os seguintes tipos: Solos Aluviais (AE) representado apenas 0,70%; Areias Quartzosas (AQ) 18,16%; Afloramento de Rochas (AR) 0,31%; Cambissolo (C) 0,60%; Gleissolo (G) 0,94%; Latossolo Amarelo (LA) 5,86%; Latossolo Vermelho-Escuro (LE) 6,64%; Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) 27,45%; Plintossolo (PT) 0,06%; Argissolo (AG) 33,15%; Solos Litólicos (R) 5,14%; Solos Petroplinticos (SP) 0,83% e Terra Roxa Estruturada (TR) 0,17%. Na outra entrada pedológica, da FAO, foram encontrados os seguintes tipos de solo: Acrisols 12,68%; Arenosols 0,02%; Cambisols 0,66%; Ferralsols, 68,48%; Gleysols 1,45%; Leptosols 8,11% e Regosols 8,60%; a distribuição espacial encontra-se exposta na figura 3. As características físico-hídricas do solo foram obtidas de funções de pedotransferência (SAXTON et al., 2006; RIBEIRO et al., 2014) e nos resultados de trabalhos apresentados por Baldissera (2005), Silva (2015) e Lima (2013).

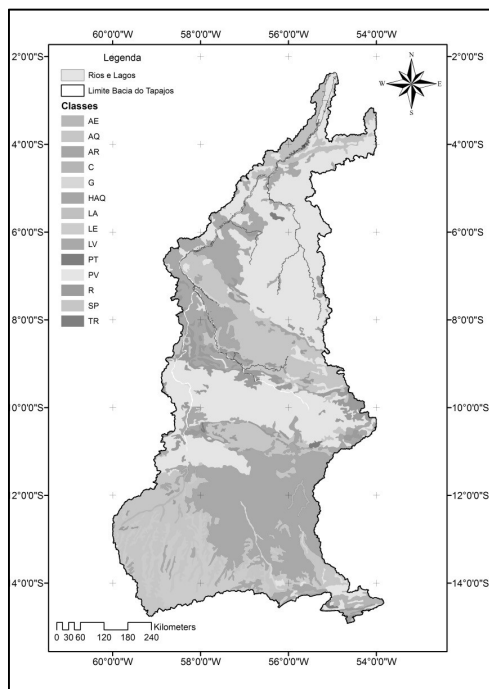


Figura 2: Mapa das Unidades pedológicas para Bacia do Rio Tapajós, segundo a EMBRAPA.

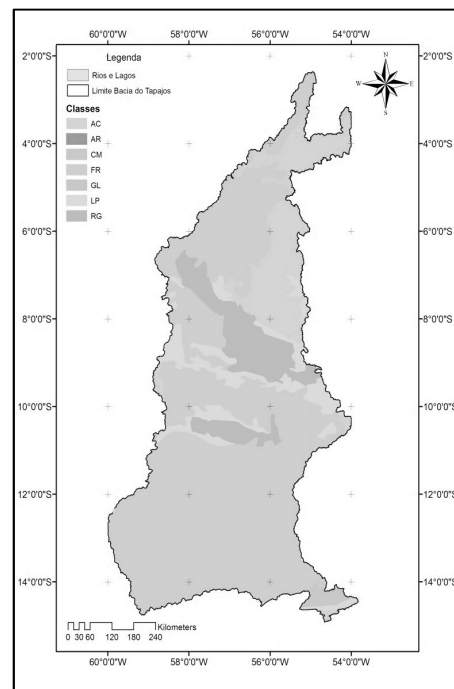


Figura 3: Mapa das unidades pedológicas para Bacia do Rio Tapajós, segundo a FAO.

A investigação visual detalhada e a classificação supervisionada das trinta e duas imagens *Landsat 7* (Janeiro/2001 a dezembro/2001), foram agrupadas em sete classes de uso e ocupação do solo, as quais são: rios e lago, floresta, pastagens, savanas, áreas agrícolas, áreas urbanas e solo exposto, a distribuição espacial é ilustrada na figura 4. Esta classificação foi baseada na categorização de uso e ocupação do solo da proposta utilizada pela *United States Geological Survey* (USGS), pois é uma das opções de banco de dados dispostas no SWAT.

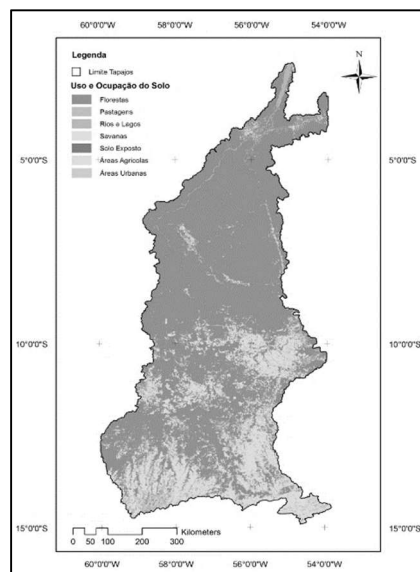


Figura 4: Mapa da distribuição do uso e ocupação do Solo na Bacia do Rio Tapajós para o ano de 2001.

Os resultados das iniciais da simulação (simulações não calibradas) foram importados para SWAT-CUP, onde foi realizada a análise estatística, bem como o confronto dos dados simulados com os observados. Foi possível, também, verificar os parâmetros mais sensíveis, que são os parâmetros que mais influenciaram nos resultados do modelo, possibilitando assim calibrar e validar o modelo, de maneira a prever, de forma mais acurada, a vazão.

O modelo foi utilizado para simular a vazão, iniciando com o período de aquecimento, que tem a finalidade de estabilizar o modelo durante seus processos iterativos iniciais para a obtenção dos resultados. As incertezas do resultado do modelo, nas condições iniciais, são minimizadas através da utilização desse período que permite reduzir os eventuais erros nessas condições (WAGENER et al., 2004). Neste trabalho, foi adotado um período de aquecimento para o modelo de 20 anos, de 01/01/1979 a 01/01/1999.

A calibração de um modelo hidrológico é um meio de se encontrar os valores dos parâmetros do modelo que melhor representem o comportamento hidrológico do sistema (COLLISCHONN et al., 2008). Para isso, as calibrações foram realizadas tomando como base três estações fluviométricas: Acará dos Tapajós, Fazenda Tratex e Jardim do Ouro, ilustradas na figura 5, no período de janeiro de 1999 a dezembro de 2000, e as validações de janeiro de 2001 a dezembro de 2002. A partir dos dados observados nas estações fluviométricas de monitoramento e dos dados simulados pelo modelo, foi realizada a calibração, ainda em estágio preliminar, visando adequar o modelo ao comportamento hidrológico do local.

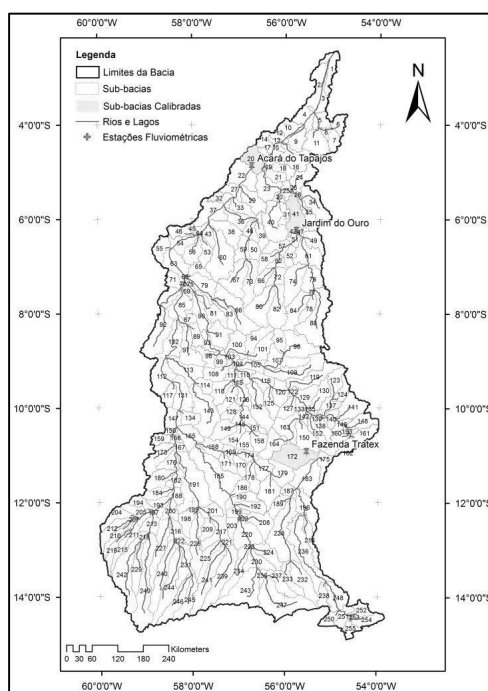


Figura 5: Localização das estações fluviométricas (Vazões).

As simulações de vazão foram avaliadas utilizando diferentes índices de análises estatísticas para comparar dados observados com dados simulados. Estas análises são de extrema importância, pois são uma forma de avaliar a eficiência da simulação. Neste trabalho foram utilizados os índices de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) (NASH et al., 1970) e da porcentagem BIAS (PBIAS).

O índice de eficiência de *Nash-Sutcliffe* foi utilizado com a finalidade de avaliar a eficiência do modelo em simular determinada variável. O COE pode variar a partir de $-\infty$ a 1, sendo 1 indicativo de um perfeito ajuste dos dados simulados em relação aos dados medidos: $COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_m^{obs})^2}$, onde Y^{obs} : é o evento observado; Y^{sim} : é o evento simulado; Y_m^{obs} : é a média do evento observado no período de simulação; e n: é o número de eventos.

A PBIAS avalia a tendência geral que os dados simulados mostram em subestimar (valores PBIAS positivos) ou superestimar (valores PBIAS negativos) os dados medidos (GUPTA et al., 1999): $PBIAS = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) * 100}{\sum_{i=1}^n Y_i^{obs}}$, em que: PBIAS é o desvio dos valores simulados (Y^{sim}) em relação aos valores medidos Y^{obs} expresso em porcentagem, e na equação, tem-se que N: número de eventos; Y_{obs} : Evento Monitorado; e Y_{sim} : Evento Simulado. Foram utilizadas as recomendações de Moriasi et al. (2007), que classifica o desempenho por índice de eficiência estatística para modelagem de SWAT, conforme a tabela 1. Estes índices foram calculados tanto para os resultados das simulações calibradas, como os resultados das simulações não calibradas.

Tabela 1: Desempenho dos valores de COE e PBIAS.

Índice de eficiência Estatística	Resultados estatísticos de COE	Resultados estatísticos de PBIAS
Muito Bom	$0.75 < COE \leq 1.00$	$PBIAS < \pm 10$
Bom	$0.60 < COE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$
Satisfatório	$0.50 < COE \leq 0.60$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$
Insatisfatório	$COE \leq 0.50$	$PBIAS < \pm 25$

Fonte: Moriasi et al. (2007).

RESULTADOS

No âmbito da hidrologia, diversas variáveis referentes à qualidade de água são dependentes da vazão, tais como, sedimentação, concentração de nutrientes e pesticidas. Por esta razão, em processos de simulação ambiental hidrológicas, esta é a primeira coisa a ser avaliada (GRIENSVEN, 2006; MORIASI, 2007). Após as primeiras simulações com SWAT, os dados gerados pelo modelo foram confrontados com os observados neste conjunto de simulações. Os valores dos índices de COE e PBIAS estão expostos nas figuras 6A e 6B simulações não calibradas, após isso o modelo de SWAT foi calibrado gerando novos índices de COE e PBIAS apresentados nas figuras 6C e 6D, em ambos os casos para as estações fluviométricas de Acará do Tapajós, Jardim Ouro e Fazenda Tratex, foram usados os seguintes dados de entradas INMET-EMBRAPA e INMET-FAO. Os valores de referência para COE e PBIAS, foram descritos anteriormente na tabela 1.

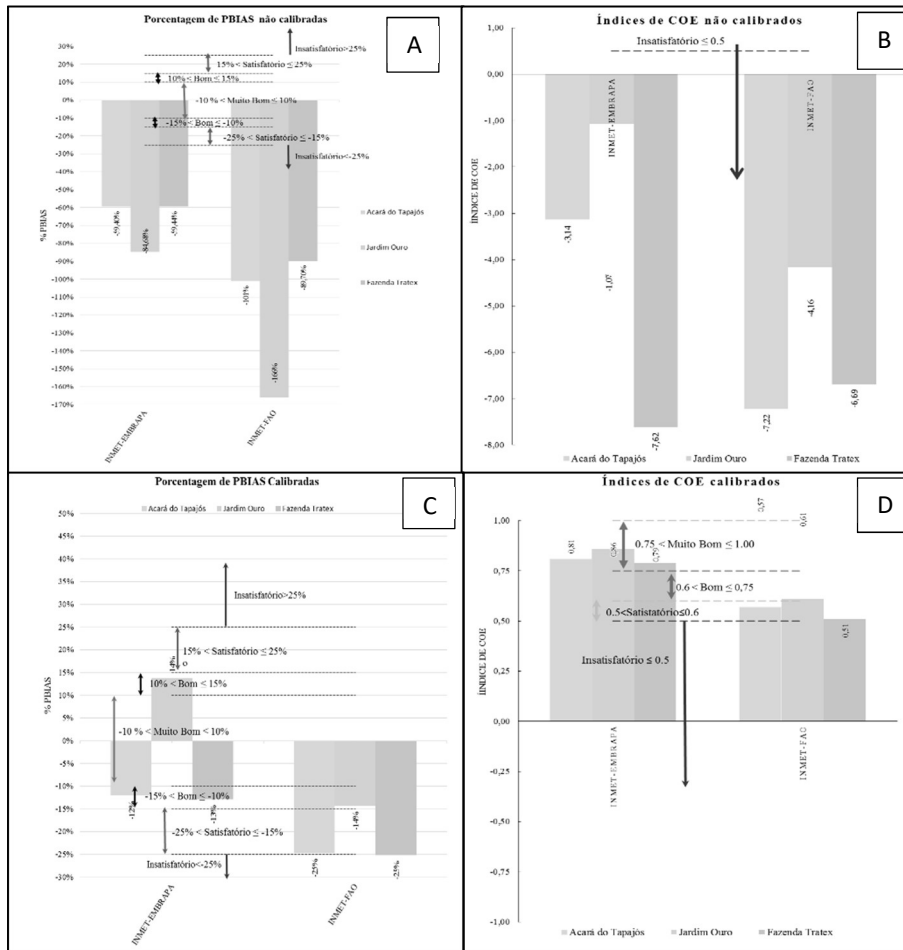


Figura 6: Índices de COE e PBIAS para modelagem da vazão da Bacia do Tapajós para modelo de SWAT não calibradas e com calibração

Nas figuras 7A, 7B e 7C são apresentadas as vazões simuladas e vazões observadas no período de 1999 a 2002, utilizando o modelo não calibrado, e nas figuras 7D, 7E e 7F após processos de calibração, em ambos os casos para as sub-bacias Acará do Tapajós, Jardim Ouro e Fazenda Tratex. A figura 7, propriamente dita, foi denominada 'Dados plotados de vazão observada e vazão simulada para as estações fluviométrica Acará do Tapajós, Jardim Ouro e Fazenda Tratex'.

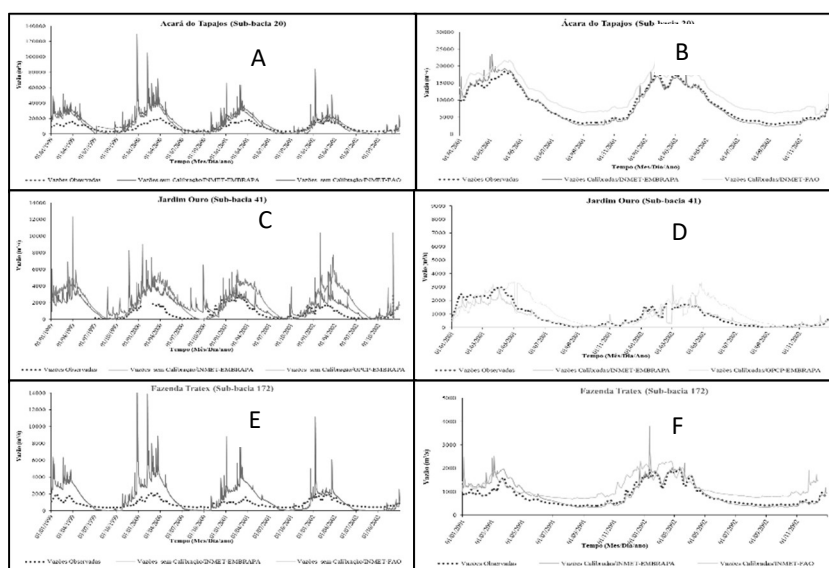


Figura 7: Dados plotados de vazão observada e vazão simulada para as estações fluviométrica Acará do Tapajós, Jardim Ouro e Fazenda Tratex.

As tabelas 2 e 3 apresentam a média, valor máximo e mínimo da vazão para cada uma das sub-bacias, geradas pelas duas combinações das entradas (INMET-EMBRAPA e INMET-FAO) para simulações calibradas e não calibradas. É verossímil ressaltar que os valores são expressos de forma didática pela unidade de medida m^3/s .

Tabela 2: Média, limite máximo e mínimos das vazões, expressas em m^3/s não calibrados.

Sub-bacia	Estatística	Vazões Observadas	Vazões sem Calibração INMET-EMBRAPA	Vazões sem Calibração INMET-FAO
Acará do Tapajós	Medias	7043.20	8515.00	5148.50
	Max	18557.20	84600.00	80499.00
	Mim	2898.00	27.99	18.00
Jardim Ouro	Medias	477.05	983.20	1070.20
	MAX	3053.20	10400.00	10528.00
	Mim	17.03	31.44	121.44
Fazenda Tratex	Medias	630.96	656.30	766.05
	MAX	1948.77	11120.00	11183.00
	Mim	374.90	0.00	25.00

Tabela 3: Média, limite máximo e mínimos das vazões, expressas em m^3/s após calibração.

Sub-bacia	Estatística	Vazões Observadas	Vazões Calibradas INMET-EMBRAPA	Vazões Calibradas INMET-FAO
Acará do Tapajós	Media	7043.20	6687.14	10020.35
	Max	18557.20	23478.66	21856.20
	Mim	2898.00	2275.35	5669.42
Jardim Ouro	Media	477.05	498.33	661.05
	Max	3053.20	3131.20	4623.20
	Mim	17.03	21.17	233.03
Fazenda Tratex	Media	630.96	687.78	968.54
	Max	1948.77	3790.14	2310.77
	Mim	374.90	322.43	684.90

DISCUSSÃO

As análises estatísticas realizadas para as sub-bacias Acará do Tapajós, Jardim Ouro e Fazenda Tratex, cujos resultados foram apresentados na figura 6A, 6B e 6C, e as simulações não calibradas demonstram que tanto os índices COE quanto PBIAS evidenciam que as vazões simuladas são classificadas como insatisfatórias, tomando como base os valores de referência, ou seja, estas simulações não se ajustam de forma adequada às vazões observadas e às duas combinações dos dados de entrada. Entretanto, se avaliarmos mais especificamente os resultados das combinações, tomando como base os índices de COE e PBIAS, a combinação INMET-EMBRAPA apresenta melhores resultados, quando comparados com da simulação usando dados do INMET-FAO.

Avaliando de forma mais detalhada os valores informados pelo SWAT, têm-se que a origem do problema é a superestimava do escoamento superficial. Nestas simulações, o volume do escoamento representou valores superiores a 9,10% do total precipitado em todas as combinações das simulações, quando na verdade, esse valor não deveria ultrapassar os 3% (SILVA et al., 1999; LIMA, 2000; LIMA, 2010). O fator que mais contribuiu para a ocorrência desse fenômeno foi o valor da Curva-Número (CN2), que difere muito dos solos americanos (para os quais o SWAT é inicialmente parametrizado) e dos brasileiros (CARVALHO, 2014). Os solos brasileiros são muito antigos e intemperizados, sendo, por isso, profundos e

muito permeáveis. Nesse cenário, a fim de refletir a realidade local, o valor inicial do parâmetro CN2 deve ser ajustado no processo de calibração (CARVALHO, 2014).

Ainda avaliando as simulações não calibradas, percebe-se que os picos simulados são superiores aos observados para as sub-bacias Acará do Tapajós, Jardim Ouro e Fazenda Tratex, em ambos os casos. Quando analisamos a simulação das vazões mínimas, o modelo apresentou uma tendência visível em subestimar tais vazões, cujos valores mínimos observados para as sub-bacias foram: Acará do Tapajós (2898m³/s), Jardim Ouro (17.03m³/s) e Fazenda Tratex (374m³/s).

Tornando-se clara pela avaliação das figuras 7A, 7B e 7C nas quais é possível observar visualmente que o modelo não conseguiu simular as vazões corretamente, os picos simulados foram muito maiores quando confrontados com as vazões observadas, resultados estes refletidos nos índices de COE, PBIAS, na média das vazões, mínimos das vazões e máximo das vazões. Entretanto, é possível observar que a modelagem em SWAT seguiu a mesma tendência das vazões observadas em todas as três sub-bacias estudadas, todavia, os picos das vazões foram superestimados, fato corroborado pelos valores negativos das PBIAS. Esse fenômeno já foi relatado em vários outros trabalhos com o SWAT, como Ferrigo et al. (2011), Salles (2012) e Castro (2013).

Também deve ser acrescentado que os valores superestimados na modelagem aqui apresentados, possuem maior discrepância no período chuvoso. Tal fato pode ser atribuído ao baixo nível piezométrico em que os rios se encontram no início deste período. Desta forma, as chuvas intensas iniciais são armazenadas nos rios, a fim de que os mesmos encham. Só após atingir o equilíbrio que estes liberam vazões maiores, de acordo com a chuva. Desta forma torna-se recomendado a calibração do modelo de SWAT, para melhores resultados.

Os valores do índice COE e porcentagem BIAS, apresentados nas figuras 6C e 6D respectivamente, para as estações fluviométricas de Acará do Tapajós, Jardim Ouro e Fazenda Tratex, em que foram usados os seguintes dados de entradas INMET-EMBRAPA e INMET-FAO. Constata-se uma expressiva melhora na representação do modelo de SWAT na simulação da vazão quando comparado aos valores obtidos sem calibração.

A entrada INMET-EMBRAPA gerou melhores resultados, quando comparados com as simulações usando a entrada INMET-FAO, originando maiores índices de COE para todas as sub-bacias, conforme se observa: Acará do Tapajós (0.81), Jardim Ouro (0.86) e Fazenda Tratex (0.79). Foi observado que todos apresentaram resultados nas faixas do “muito bom”. Quanto a porcentagem de BIAS, as sub-bacias Acará do Tapajós apresentou (-12%), Jardim Ouro (14%) e Fazenda Tratex (-13%), todos na faixa do BOM. Com isso a entrada INMET-EMBRAPA, mostrou correlação adequada quando confrontadas com os dados observados.

Estes valores de COE encontrados neste trabalho são semelhantes aos de Marchioro (2008) que aplicou o modelo SWAT em uma bacia hidrográfica no noroeste fluminense, no estado do Rio de Janeiro, e encontrou valores do COE da ordem de 0,72 para vazões, enquanto Confessor; Whittaker (2007) calibraram o modelo SWAT para vazão diária e obtiveram um COE de 0,86 na Bacia do Rio Capoeira no Oregon. Machado

(2002) aplicou o SWAT na bacia hidrográfica do Ribeirão Marins, no período de 1999-2000, utilizando dados de vazão média diária e obteve um COE de 0,92.

Moine et al. (2007), comparando diferentes valores do coeficiente COE em SWAT, para diversos tamanhos de bacias hidrográficas, demonstraram que há menos falhas de modelagem na representação de bacias maiores do que de pequenas e médias, concluíram, desse modo, que quanto maiores as bacias hidrográficas melhores os desempenhos dos modelos.

Para a melhor compreensão do comportamento da bacia ao longo do período calibrado, nas Figuras 7D, 7E e 7F foram apresentadas as vazões simuladas juntamente com as observadas, para as sub-bacias do Acará do Tapajós, Jardim Ouro e Fazenda Tratex, com as combinações INMET-EMBRAPA e INMET-FAO. Já a tabela 3 trouxe a média, limite máximo e limite mínimo das vazões. Nestas se observam uma similaridade no comportamento destes processos e uma tendência leve de superestimação do modelo nos picos, mas que de forma geral revela claramente o esforço do modelo em adaptarem-se às condições de calibração.

CONCLUSÕES

O desempenho do modelo SWAT na simulação da vazão foi estatisticamente eficiente, indicando que o modelo conseguiu representar os processos hidrológicos referentes à estimativa da vazão da bacia em estudo, desta forma pode ser utilizado na análise de cenários. Assim, sua aplicação poderá, de certo modo, contribuir na determinação de políticas de uso e ocupação do solo no entorno da bacia e no gerenciamento dos recursos hídricos da região, o que impactará diretamente na disponibilidade de água para usos consultivos e não-consultivos.

Considerando os índices estatísticos, o modelo hidrológico SWAT apresentou melhores resultados nas simulações de vazões do rio Tapajós quando foi utilizado como entrada de dados do INMET-EMBRAPA, pois apresentou índices de COE e PBIAS, confirmando assim que os resultados medidos em campo em uma menor escala de dados pedológicos, geram melhores resultados de simulação. Assim, o modelo realizou a previsão do comportamento da vazão adequadamente. Estes resultados mostram que o modelo foi corretamente alinhado, interpretando as variáveis e, conseqüentemente, representando o comportamento hidrológico da Bacia do Rio Tapajós.

REFERÊNCIAS

ARNOLD, J. G.. Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.227, n.4, p.21-40, 2000.

BALDISSERA, G. C.. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica swat (soil and water assessment tool), para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá/MT**. Cuiabá: UFMT, 2005.

CARVALHO, F. H.. **Uso do modelo swat na estimativa da vazão e da produção de sedimentos em bacia agrícola do cerrado brasileiro**. Brasília: 2014.

CASTRO, K. B.. **Avaliação do modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do cerrado intensamente monitorada**. Dissertação (Mestrado) –Universidade de

Brasília, Brasília, 2013.

COE, M. T.; COSTA, M. H.; SOARES FILHO, B. S.. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River: land surface processes and atmospheric feedbacks. **Journal of Hydrology**, v.369, p.165-174, 2009.

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. **Journal of Hydrology**, v.360, p.207-216, 2008.

COSTA, M. H.. Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion, as compared to caused by

pastureland expansion. **Geophysical Research Letters**, v.34, n.7, p.1-4, 2007.

COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A.. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v.283, p.206-217, 2003.

DURÃES, M. F.. **Caracterização e avaliação do estresse hidrológico da bacia do rio Paraopeba, por meio de simulação chuva-vazão de cenários atuais e prospectivos de ocupação e uso do solo utilizando um modelo hidrológico distribuído**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FERRIGO, S.; MINOTTI, R.; KOIDE, S.. Utilização do modelo SWAT na estimativa de produção de sedimentos decorrentes de diferentes cenários de uso do solo na bacia do córrego Capão Comprido no Distrito Federal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19. **Anais**. Maceió: 2011.

GRIENSVEN, A. V.. A global sensitivity analysis tool for the parameters of multi-variable catchment models. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.324, n.4, 2006.

GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P. O.. **Status of automatic calibration for hydrologic models**: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.4, n.2, p.135-143, 1999.

LIBOS, M. I. P. C.. **Modelagem da poluição não pontual na Bacia do Rio Cuiabá baseada em geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

LIMA, J. E. F. W.. Desenvolvimento de base de dados de solos para a aplicação do modelo SWAT em bacia do bioma Cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20. **Anais**. Porto Alegre: ABRH, 2013.

MARCHIORO, E.. **Modelagem hidrossedimentológica na bacia do córrego Santa Maria**: subsídios à aplicação de práticas de conservação de água e solo no noroeste Fluminense. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MOINE, N.; ANDREASSIAN, V.; PERRIN, C.; MICHEL, C.. 'Outlier' catchments: what can we learn from them in terms of prediction uncertainty in rainfall-runoff modelling?. **IAHS Publication**, v.313, p.195-203, 2007.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L.. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, v.50, n.3, p.885-900, 2007.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V.. River flow forecasting through conceptual models: a discussion of principles. **Journal of Hydrological**, v.10 n.3, p.282-290, 1970.

PONTES, S. H. N.; FERNANDES, I. V.. Atualização do método das isozonas para a região amazônica. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA, 8. **Anais**. São Paulo: ITA, 2002.

RIBEIRO, C. B. M.; MOHANTY, B. P.; BRESSIANI, D. A.; FERNANDES, J. G.; FILHO, O. C. R.. Parameterization of physical and climatic characteristics in the Amazon basin for hydrological simulation with SWAT model. In: INTERNATIONAL SWAT CONFERENCE, 11. **Anais**. Pernambuco: 2014.

SALDANHA, E. C.. Influência da variação dos parâmetros climáticos na modelagem de SWTA: estudo de caso bacia hidrográfica do rio Tapajós. **Agroecossistemas**, v.9, n.1, p.84-98, 2017.

SALLES, L. A.. **Calibração e validação do modelo SWAT para a predição de vazões na bacia do ribeirão Pipiripau**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SANTOS, I.. **Desenvolvimento de modelo de avaliação da qualidade de água e transporte de sedimentos para pequenas e médias centrais elétricas**: modelagem da erosão e transporte de sedimentos. Curitiba: LACTEC, 2005.

SAXTON, K. E., RAWLS, W. J.. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. **Soil Science Society of Agronomy Journal**, v.70, n.5, p.1569-1578, 2006.

SILVA, L. A.. **SWAT applications in eastern Amazonia**: a case study of the Acará Mirim and Bujaru river basin in State of Pará. São Paulo: USP, 2015.

SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. G.. Integration of the basin-scale water quality model with GIS. **Water Resources Bulletin**, v.30, 1994.

WAGENER, T.; WHEATER, H.; GUPTA, H. V.. **Rainfall-Runoff modeling in gauged and ungauged catchments**. Londres: Imperial College, 2004.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenera Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.