



PKS
PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

REVISTA DE
GEOGRAFIA
Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE

OJS
OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>

Impacto na produção de sedimentos devido ao uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão, Triângulo Mineiro

Carlos Eugenio Pereira¹ - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8250-715X>
Vinicius de Matos Brandão Raposo² - Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7958-048X>

¹Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia/MG, Brasil *

²Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, Brasil **

Artigo recebido em 15/05/2024 e aceito em 26/05/2025

RESUMO

A erosão é um processo natural com magnitude aumentada a partir das intervenções humanas no meio ambiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar três cenários de produção de sedimentos (sólidos totais) considerando alteração no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão, Triângulo Mineiro. A partir dos dados de uma estação de monitoramento nas proximidades da foz da bacia, utilizou-se o período de janeiro de 2017 a dezembro de 2018 para a calibração e de janeiro a dezembro de 2019 para a validação de um modelo hidrológico e sedimentológico. Optou-se pela ferramenta computacional *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) para as simulações hidrológicas e sedimentológicas e o *SWAT-Calibration and Uncertainty Programs* (SWAT-CUP) no processo de calibração, validação e análise de sensibilidade. Uma análise prévia de sensibilidade identificou os parâmetros curva número, condutividade hidráulica saturada e coeficiente de retardo do escoamento superficial como de maior sensibilidade na simulação hidrológica, além dos parâmetros fator de erodibilidade mensal do canal principal, fator de erodibilidade do canal e fator de ajuste da taxa de pico para transporte de sedimentos no canal principal como os mais sensíveis na simulação sedimentológica. A calibração e validação hidrológica trouxeram resultados aceitáveis com coeficiente Nash-Sutcliffe igual a 0,52 na calibração e 0,44 na validação. O comportamento temporal de sedimentos totais trouxe resultado satisfatório, com o PBIAS igual a 12,9 na calibração e -49,0 na validação. Os cenários mostraram que as áreas ocupadas por agricultura são mais susceptíveis à erosão do que o eucalipto, com produção mensal 2,1 vezes maior de sedimentos totais na foz da bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão.

Palavras-chave: ferramenta SWAT; ribeirão Piçarrão; uso e ocupação do solo; produção de sedimentos totais.

* Professor da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFU). E-mail: cepereira@ufu.br

** Doutorando pelo Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SMARH) do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária (DESA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). E-mail: vinicius-raposo@live.com

Impact on the sediment production due to the use and occupation of the soil in the river basin of the Piçarrão river, Triângulo Mineiro

ABSTRACT

The erosion is a natural process with increased magnitude from human interventions in the environment. The objective of this work was to evaluate three sediment production scenarios (total solids) considering changes in land use and occupation in the Piçarrão stream watershed, Triângulo Mineiro. Based on data from a monitoring station near the mouth of the basin, the period from January 2017 to December 2018 was used for calibration and from January to December 2019 for the validation of a hydrological and sedimentological model. The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) was used for the hydrological and sedimentological simulations and the SWAT- Calibration and Uncertainty Programs (SWAT-CUP) in the process of calibration, validation and sensitivity analysis. A previous sensitivity analysis identified the parameters number curve, saturated hydraulic conductivity and superficial runoff delay coefficient as the most sensitive in the hydrological simulation, in addition to the parameters of monthly erodibility factor of the main channel, erodibility factor of the channel and adjustment factor of the peak rate for sediment transport in the main channel as the most sensitive in sedimentological simulation. Calibration and hydrological validation brought acceptable results with a Nash-Sutcliffe coefficient of 0.52 for calibration and 0.44 for validation. The temporal behavior of total sediments brought a satisfactory result, with PBIAS equal to 12.9 in calibration and -49.0 in validation. The scenarios showed that the areas occupied by agriculture are more susceptible to erosion than eucalyptus, with a monthly production 2.1 times greater of total sediments at the mouth of the Piçarrão stream hydrographic basin. The scenarios showed that the areas occupied by agriculture are more susceptible to erosion than eucalyptus, with a monthly production 2.1 times greater than the total sediment at the mouth of the Piçarrão stream watershed.

Keywords: SWAT tool; Piçarrão Stream; land use and occupation; total sediment production.

Impacto en la producción de sedimentos por uso y ocupación del suelo en la cuenca del río Piçarrão, Triângulo Mineiro

RESUMEN

La erosión es un proceso natural cuya magnitud aumenta debido a la intervención humana en el medio ambiente. El objetivo de este estudio fue evaluar tres escenarios de producción de sedimentos (sólidos totales) considerando cambios en el uso y ocupación del suelo en la cuenca del río Piçarrão, Triângulo Mineiro. Utilizando datos de una estación de monitoreo cerca de la desembocadura de la cuenca, se empleó el período de enero de 2017 a diciembre de 2018 para la calibración y de enero a diciembre de 2019 para la validación de un modelo hidrológico y sedimentológico. La Herramienta de Evaluación de Suelos y Aguas (SWAT) se utilizó para las simulaciones hidrológicas y sedimentológicas, y los Programas de Calibración e Incertidumbre SWAT (SWAT-CUP) para la calibración, validación y análisis de sensibilidad. Un análisis de sensibilidad previo identificó los parámetros número de curva, conductividad hidráulica saturada y coeficiente de retardo de escorrentía como los más sensibles en la simulación hidrológica, además de los parámetros factor de erodibilidad mensual del cauce principal, factor de erodibilidad del canal y factor de ajuste de la tasa pico para el transporte de sedimentos en el cauce principal como los más sensibles en la simulación sedimentológica. La calibración y la validación hidrológica arrojaron resultados aceptables, con un coeficiente de Nash-Sutcliffe de 0,52 en la calibración y 0,44 en la validación. El comportamiento temporal de los sedimentos totales arrojó resultados satisfactorios, con un PBIAS de 12,9 en la calibración y -49,0 en la validación. Los escenarios mostraron que las áreas ocupadas por la agricultura son más susceptibles a la erosión que el eucalipto, con una producción mensual 2,1 veces mayor de sedimentos totales en la desembocadura de la cuenca del arroyo Piçarrão.

Palabras clave: herramienta SWAT; arroyo Piçarrão; uso y ocupación del suelo; producción total de sedimentos.

INTRODUÇÃO

A erosão é um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são degradados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos, tais como as geleiras, os rios, os mares, o vento ou a chuva (Bastos, Milititsk e Gehling, 2000; Taveira, 2016; Tucci, 2013). Este processo ocorre dentro de rios e canais (Wu, Vieira e Wang, 2004) e também fora deles, devido ao fluxo terrestre (Hairsine e Rose, 1992). A erosão é um problema de duas faces: a primeira relaciona-se à perda das camadas férteis de solo, prejudicando terrenos utilizados para agricultura; e a segunda atribui-se à geração, ao transporte e à deposição dos materiais erodidos em leitos de cursos de águas e reservatórios, interferindo em suas funções e usos (Carvalho, 2014; Prabhanjan, Rao e Eldho, 2015; Neitsch *et al.*, 2011; Shen e Julien, 1992).

Muitas bacias hidrográficas sofrem pela falta de planejamento e o uso inadequado dos recursos naturais levam à contaminação da água e à intensificação dos processos erosivos (Carvalho, Brumatti e Dias, 2012), resultando na erosão do solo e no aumento da carga de sedimentos no rio, como já descrito anteriormente. Após a ocorrência da erosão, esses sedimentos atingem o corpo d'água, onde são transportados em suspensão ou ao longo do leito do rio até serem depositados. A erosão, o transporte e a deposição de sedimentos são fenômenos ambientais naturais; no entanto, têm sido significativamente intensificados e acelerados pela atividade humana (Brito, Asp e Beasley, 2009).

A bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão, foco deste estudo, está localizada na região do Triângulo Mineiro, cujo ribeirão é o principal afluente do rio Jordão que, por sua vez, deságua no médio curso do rio Paranaíba em sua margem esquerda. Essa bacia nas últimas décadas vem sofrendo degradação devido ao desenvolvimento agrícola da região, a substituição da mata de cerrado por pastagens ou para uso agrícola é cada vez mais crescente, o que afeta o uso e ocupação do solo.

Por isso, a escolha por esta bacia devido sua importância ambiental, econômica e social para o município de Araguari, Minas Gerais. Diversos são os problemas observados nesta bacia como, por exemplo, a retirada da mata ciliar ao longo dos cursos de água, a existência de vários processos erosivos e de assoreamento do curso de água (Sousa, 2014). Outro fator que justifica este estudo é a possibilidade de acúmulo de sedimentos no reservatório da Central Geradora Hidrelétrica Piçarrão (CGH Piçarrão), administrada pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), localizada nas proximidades da foz da bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão (Cachapuz, 2006).

De acordo com Blainski, Acosta e Nogueira (2017), os modelos hidrológicos se consolidaram como ferramentas de representação dos processos com alto potencial para a simulação de cenários

de mudanças climáticas, de alterações do uso do solo e de intervenções antrópicas em diferentes escalas espaciais e temporais. Neste contexto, a ferramenta *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) conjuga uma série de parâmetros físicos, como tipo e uso do solo, cobertura vegetal e relevo da região em estudo, o que permite a simulação hidrológica e sedimentológica de processos naturais ou desencadeados pela intervenção humana (Neitsch *et al.*, 2011; Prabhanjan, Rao e Eldho, 2015; Viana *et al.*, 2019).

De acordo com Zazoni (2023), o modelo SWAT tem se mostrado adequado para simulações envolvendo uso e ocupação do solo, mudanças climáticas, estudos sobre disponibilidade hídrica e magnitude de eventos extremos, além disso o SWAT tem se mostrado um software bastante difundido nas simulações envolvendo segurança hídrica e muitos manuais, artigos e trabalhos vem sendo publicados a respeito da sua utilização. No Brasil, é possível observar publicações que simularam utilizando o modelo SWAT bacias que variam de pequenas a grandes extensões (Junior, 2014; Oliveira, 2014; Ribeiro, Bressiani e Rotunno, 2015; Antunes, Pereira e Barral, 2023; Zazoni, 2023).

Dentro desse contexto, o objetivo geral do estudo foi avaliar cenários de produção de sedimentos devido ao uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão, Triângulo Mineiro, com foco na agricultura e plantio de eucalipto.

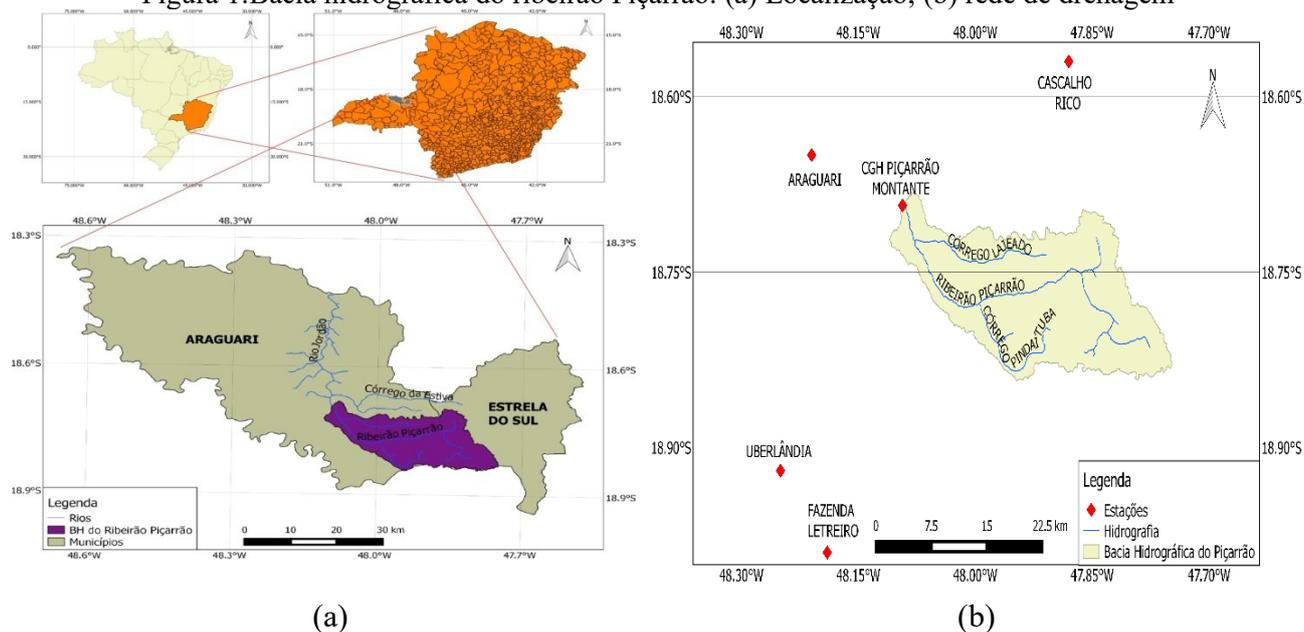
METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão está localizada entre os paralelos 18°40'54,95" e 18°50'33,23" de latitude sul, e os meridianos 48°7'28,18" e 47°46'34,53" de longitude oeste. Está inserida nos municípios mineiros de Araguari e Estrela do Sul, sendo a maior parte localizada em Araguari. O clima, conforme a classificação de Kopper, é tropical de savana com estação seca no inverno (Aw). A temperatura média anual é de 24,5 °C e a pluviosidade média anual é de 1550 mm (Reboita *et al.*, 2015).

Este ribeirão possui um comprimento de aproximadamente 44,33 km, desde a nascente à sua foz no rio Jordão. A bacia em estudo possui uma área de 361,57 km², com um perímetro de 154,4 km. As Figuras 1a e 1b apresentam, respectivamente, a localização e a rede de drenagem da bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão.

Figura 1: Bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão: (a) Localização; (b) rede de drenagem



Com relação ao uso e ocupação do solo na bacia em 2019, aproximadamente 6,6% é ocupado por cerrado, 4,2% por campo, 5,7% por mata de galeria, 15,5% por pastagem, 29,8% por eucalipto e 38,2% por agricultura.

A ferramenta SWAT

Permite a divisão da bacia hidrográfica em múltiplas sub-bacias, que são então subdivididas em Unidades de Resposta Hidrológica - URH (Neitsch *et al.*, 2011; Romagnoli *et al.*, 2017). As simulações ocorrem em duas sequenciais: a primeira em escala de URH no terreno, onde o escoamento de água superficial e cargas de sedimentos totais produzidas no processo erosivo são simuladas e, conseqüentemente, estimadas as cargas resultantes na foz de cada sub-bacia; a segunda fase corresponde à interação entre as sub-bacias com relação ao balanço hídrico e transporte de sedimentos, o que permite estimar a vazão e carga de sedimentos na foz da bacia hidrográfica. Conforme Neitsch *et al.* (2011), a carga de sedimentos causada pela chuva e pelo escoamento superficial é computada pela Equação Modificada de Perdas de Solo (MUSLE), desenvolvida por Williams (1975).

Dados de entrada

A ferramenta SWAT exige um Modelo Digital do Terreno (MDT), uma base cartográfica de uso e ocupação do solo, um mapa de tipos de solos e dados climatológicos (precipitação, temperatura,

umidade do ar, velocidade do vento e insolação diária) para a bacia hidrográfica em estudo (Bressiani *et al.*, 2015; Neitsch *et al.*, 2011; Licciadello *et al.*, 2016; Romagnoli *et al.*, 2017).

O MDT foi obtido por meio do TOPODATA, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com escala de 1:250.000. O mapa de uso e ocupação do solo foi obtido por meio de uma classificação supervisionada realizada em uma imagem do satélite LANDSAT-8, instrumento OLI, disponibilizada pela Divisão de Geração de Imagem (DGI) do INPE. Foram classificados seis tipos diferente de classes, sendo eucalipto, mata de galeria, cerrado, formações campestres, pastagens e agricultura.

A ferramenta utiliza, durante seu processamento, banco de dados que considera a realidade dos Estados Unidos. Assim, alguns valores importantes para a simulação hidrológica podem ser adaptados para a realidade brasileira, mais especificamente, para o cerrado brasileiro. Foram criadas as classes “mata de galeria” e “cerrado”, conforme Castro (2013). Para a criação dessas novas classes, utilizou-se de algumas classes já estabelecidas na ferramenta e adaptou-as alterando o valor do Número de Curva (CN). Os novos valores adotados para o CN foram extraídos do trabalho de Sartori (2004) e estão demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1: Novos valores de CN adotados na ferramenta SWAT

Classe	Grupo Hidrológico			
	A	B	C	D
Eucalipto	36	60	73	79
Formação Campestre	30	48	65	73
Agricultura	65	75	82	86
Pastagem	49	69	79	84
Mata de galeria	25	40	49	52

Fonte: adaptado de Sartori (2004)

O mapa de solos foi obtido por meio da EMBRAPA (1999), no qual foi possível identificar que a classe de solo presente na bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão é o latossolo vermelho (LV). Este solo, conforme classificado por Sartori (2004), pertence ao grupo de solo hidrológico A. Fez-se necessário a inserção dos parâmetros físicos relativos ao LV, extraídos do trabalho de Lima *et al.* (2013), que desenvolveram uma base de dados para a aplicação da ferramenta SWAT em bacias hidrográficas no bioma cerrado.

Os dados de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação e precipitação foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e à Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) a partir de uma estação climatológica identificada na Tabela 2. Para melhor espacialização dos dados de precipitação, utilizou-se dados de três estações pluviométricas e

seus dados foram interpolados pelo método de interpolação do Inverso Ponderado da Distância (IPD), conforme Chen e Liu (2012) e Kurtzman, Navon e Morin (2009), que é um modelo determinístico bastante utilizado como método de interpolação espacial.

Tabela 2: Estações utilizadas com dados climatológicos

Nome	Código	Responsável	Tipo	Latitude (°)	Longitude (°)
Uberlândia	86776	INMET	Climatológica	-18,92	-48,25
Araguari	1848010	ANA	Pluviométrica	-18,65	-48,21
Fazenda Letreiro	1848052	CEMIG	Pluviométrica	-18,99	-48,19
Cascalho Rico	1847046	COPASA	Pluviométrica	-18,57	-47,88

Monitoramento de vazão e sedimentos

O monitoramento de vazão e sedimentos no exutório da bacia é fundamental para o processo de calibração e validação da modelagem hidrológica e sedimentológica. A obtenção dos valores diários de vazão deu-se por meio da elaboração de uma curva-chave potencial. A CEMIG monitora o nível líquido no ribeirão Piçarrão, a montante da CGH Piçarrão, desde janeiro de 2017, entretanto os dados de vazão começaram a ser medidos somente a partir de 2019, o que permitiu gerar uma curva-chave com equação de ajuste potencial. Com relação aos sedimentos (sólidos totais), foi utilizada a curva-chave obtida por Peixoto (2019) no exutório da bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão.

Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada automaticamente pelo uso da ferramenta computacional SWAT-CUP Sensitivity Analysis Tool (SUFI-2) (Abbaspour, 2011), considerando os seguintes parâmetros hidrológicos: CN2 (Número da Curva na condição de umidade II), Alpha_BF (Constante de recessão para o fluxo de base), GW_Delay (Intervalo de tempo para a recarga do aquífero), Gwqmn (Profundidade limite do nível de água acima do qual o fluxo de base é libertado para o canal), Sol_K (Condutividade hidráulica saturada do solo), Esco (Fator de compensação da evaporação do solo), Surlag (Coeficiente de atraso do escoamento superficial), Sol_Awc (Capacidade de água disponível na camada de solo), Shallst (Quantidade de água inicial no aquífero raso), CH_N2 (Coeficiente de rugosidade de Manning), Gwht (Altura inicial do aquífero), Rchrg_DP (Fração de percolação da zona de raízes que recarrega o aquífero profundo), GW_Revap (Coeficiente de re- evaporação da água subterrânea), Canmx (Armazenamento máximo do dossel), Epc0 (Fator de

compensação da retirada de plantas) e Revapmn (Profundidade da água no aquífero raso para ocorrer percolação).

Os parâmetros sedimentológicos considerados na análise de sensibilidade foram: Adj_Pkr (Fator de ajuste da taxa de pico para transporte de sedimentos nos canais tributários), Ch_Cov1 (Fator de erodibilidade do canal), Ch_Erodmo (Fator de erodibilidade mensal do canal principal), Prf_Bsn (Fator de ajuste da taxa de pico para transporte de sedimentos no canal principal), Spcon (Parâmetro linear para reentrada de sedimento durante o transporte no canal), Spexp (Parâmetro exponencial para reentrada de sedimento durante o transporte no canal), Sol_Bd (Densidade da massa úmida), Ch_K2 (Condutividade hidráulica eficaz no canal principal de aluvião), Lat_Sed (Concentração de sedimentos no escoamento subperifical) e Slsbbsn (Comprimento médio da encosta).

Calibração e validação

Foram calibrados os dados de vazão e, posteriormente, os dados da produção de sedimentos, conforme recomendação de Abbaspour (2012). Para avaliar o desempenho do SWAT, foram utilizadas algumas funções objetivo, sendo elas: o índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (COE), utilizado para mensurar a magnitude da variância residual; e o PBIAS, que mede a tendência percentual média dos dados simulados serem maiores ou menores que os correspondentes mensurados, conforme Oliveira *et al.* (2019) e Bonumá *et al.* (2010). Para efeitos da verificação de performance dos resultados, tomou-se como parâmetros os valores limítrofes apresentados por Moriasi *et al.* (2007) em escala mensal e indicados na Tabela 3. Também foi levado em consideração as recomendações de Green e Van Griensven (2008) para simulações hidrológicas em escala diária, que considera satisfatório valores de COE superiores a 0,4 e R² superiores a 0,5.

Tabela 3: Classificações gerais de desempenho para estatísticas recomendadas por um período de tempo mensal

Performance	COE	PBIAS (%)	
		Vazão	Sedimento
Muito bom	$0,75 < COE \leq 1,00$	$PBIAS < \pm 10$	$PBIAS < \pm 15$
Bom	$0,65 < COE \leq 0,75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 30$
Satisfatório	$0,50 < COE \leq 0,65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$	$\pm 30 \leq PBIAS < \pm 55$
Insatisfatório	$COE \leq 0,50$	$PBIAS \geq \pm 25$	$PBIAS \geq \pm 55$

Fonte: Moriasi *et al.* (2007)

O período de aquecimento para a simulação foi de três anos (janeiro de 2014 a dezembro de 2016). Para a calibração foram utilizados os dados de janeiro de 2017 a dezembro de 2018; enquanto que para a validação, os dados de janeiro a dezembro de 2019. A faixa de variação e o método de

alteração de cada parâmetro foram recomendados por Abbaspour (2012), Carvalho (2014) e Oliveira *et al.* (2019) e estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros, métodos de alteração e valores limites considerados nas simulações hidrológicas e sedimentológicas

Hidrológica			Sedimentológica		
Parâmetro	Método alteração	Limites	Parâmetro	Método alteração	Limites
CN2	Multiplicação	-0,5 a 0,5	Adj_Pkr	Substituição	0,5 a 2
Alpha_Bf	Substituição	0 a 1	Ch_Cov1	Substituição	0 a 1
GW_Delay	Substituição	30 a 450	Ch_Erodm0	Substituição	0 a 1
Gwqmn	Substituição	0 a 2	Prf_Bsn	Substituição	0,1 a 2
Sol_K	Multiplicação	-1 a 1	Spcon	Substituição	0,0001 a 0,1
Esco	Substituição	0,8 a 1	Spexp	Substituição	1 a 1,5
Surlag	Substituição	0,005 a 5	Sol_Bd	Substituição	0,9 a 2,5
Sol_Awc	Multiplicação	-0,05 a 0,05	Ch_K2	Substituição	0,01 a 500
Shallst	Substituição	2000 a 5000	Lat_Sed	Substituição	0 a 5000
CH_N2	Substituição	0,015 a 0,040	Slsbsn	Substituição	10 a 150
Gwht	Multiplicação	4 a 10	Métodos de alteração dos parâmetros: substituição, na qual o programa altera diretamente os valores em cada iteração; multiplicação, na qual as alterações se dão variando o valor inicial por porcentagem, para mais ou para menos; e soma, na qual algum valor (positivo ou negativo) é somado ao valor inicial do parâmetro.		
Rchrg_Dp	Multiplicação	-0,3 a 0,3			
Gw_Revap	Substituição	0 a 0,2			
Canmx	Substituição	0 a 30			
Epc0	Substituição	0,01 a 1			
Revapmn	Soma	-1000 a 1000			

Simulação de cenários

Sousa (2014) avaliou a influência da ocupação do alto curso da bacia do rio Jordão, bacia da qual faz parte o ribeirão Piçarrão. A autora comparou o uso e ocupação do solo para os anos de 1984, 1994 e 2013 e constatou que, enquanto o cerrado foi a classe que mais reduziu, a agricultura e plantio de eucalipto foram as classes que obtiveram os maiores crescimentos. Com isso, decidiu-se avaliar a influência dessas duas classes, em comparação à situação atual de 2019, na produção de sedimentos totais. Os cenários analisados foram: situação de 2019; cenário I, que considera a substituição total da área de eucalipto por agricultura; e cenário II, que considera a substituição total de agricultura por eucalipto.

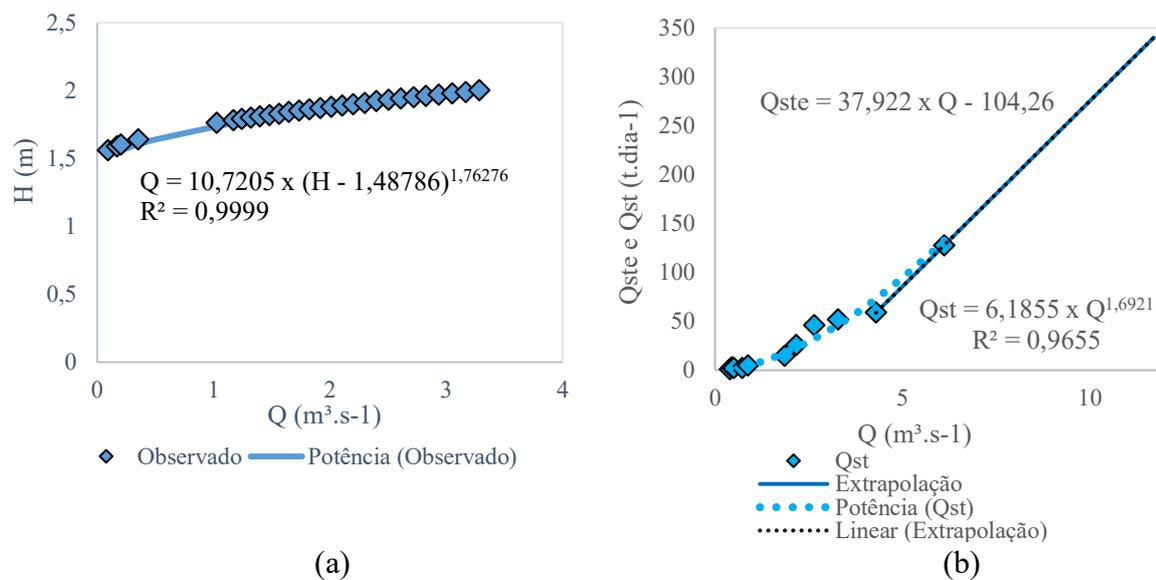
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Curvas-chave de Vazão e de Sedimentos

A curva-chave de vazão foi elaborada com os valores de cota x vazão fornecidos pela CEMIG numa equação de formato potencial e obteve-se um Coeficiente de Determinação (R^2) igual a 0,9999 (ver Figura 2a). Peixoto (2019) realizou várias campanhas sedimentométricas na seção do ribeirão Piçarrão, no mesmo local em que a CEMIG tem uma estação fluviométrica em funcionamento. A curva-chave de vazão obtida por esse autor, é bem representativa, visto que R^2 foi igual a 0,9655 (ver Figura 2b). Os valores medidos pelo autor variam entre 0,39 a 6,12 $m^3.s^{-1}$, determinando assim para qual faixa de valores essa curva é válida. Entretanto, a estação fluviométrica da CEMIG registra valores diários de vazão, e certos picos não foram percebidos durante as campanhas realizadas, assim, as vazões mensuradas pelo equipamento superaram o limite superior encontrado pelo autor. Por isso, tornou-se necessário utilizar a técnica de extrapolação para a curva-chave de sedimentos, optando-se pelo modelo linear conforme pode ser observado na Figura 2b.

Assim, a curva-chave de sedimentos da estação estudada teve dois comportamentos: para vazão entre 0,34 a 6,12 $m^3.s^{-1}$, a descarga sólida total é calculada por Q_{st} ; para vazão maior que 6,12 $m^3.s^{-1}$ e inferiores a 11,72 $m^3.s^{-1}$, a descarga sólida total é calculada por Q_{ste} (ver Figura 2b). Esse último valor de vazão foi obtido dos dados da CEMIG.

Figura 2: No exutório da bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão: (a) Curva-chave de vazão; (b) curva de sedimentos totais extrapolada



Análise de sensibilidade hidrológica

A fim de analisar quais parâmetros apresentariam maior sensibilidade, fez-se uma simulação com 100 iterações. Os parâmetros hidrológicos com maior sensibilidade foram, em ordem decrescente, o CN2, Sol_K, Surlag, Epc0, Gw_Delay, Shallst e Revapmn. Por outro lado, Gwqmn, Sol_Awc, Alpha_Bf, Gw_Revap, Canmx, Rchrg_Dp apresentaram pouca sensibilidade. Os parâmetros sedimentológicos com maior sensibilidade foram, em ordem decrescente, Ch_Erodmo, Ch_Cov1 e Prf_Bsn.

Na bacia hidrográfica do Rio Lino, no Sul do Brasil, Bonumá *et al.* (2010) encontraram os parâmetros CN2, Esco e Alpha_Bf como de maior sensibilidade. Já Lima *et al.* (2014), em uma bacia no cerrado brasileiro, encontraram os parâmetros Sol_K, CN2 e Sol_Awc como os mais sensíveis. O parâmetro CN2, que é diretamente ligado ao escoamento superficial, é frequentemente encontrado na literatura (Bonumá *et al.*, 2010; Ferreira e Uagoda, 2017; Lima *et al.*, 2014) como um dos que mais influenciam nas simulações hidrológicas. Neitsch *et al.* (2011) mostraram que, para um determinado tempo de concentração, à medida que o Surlag diminui, mais água é mantida em armazenamento, sendo que o atraso na liberação do escoamento superficial suaviza o hidrograma de vazões. Logo, caso o Surlag tenha seu valor diminuído na etapa de calibração, o hidrograma gerado é suavizado.

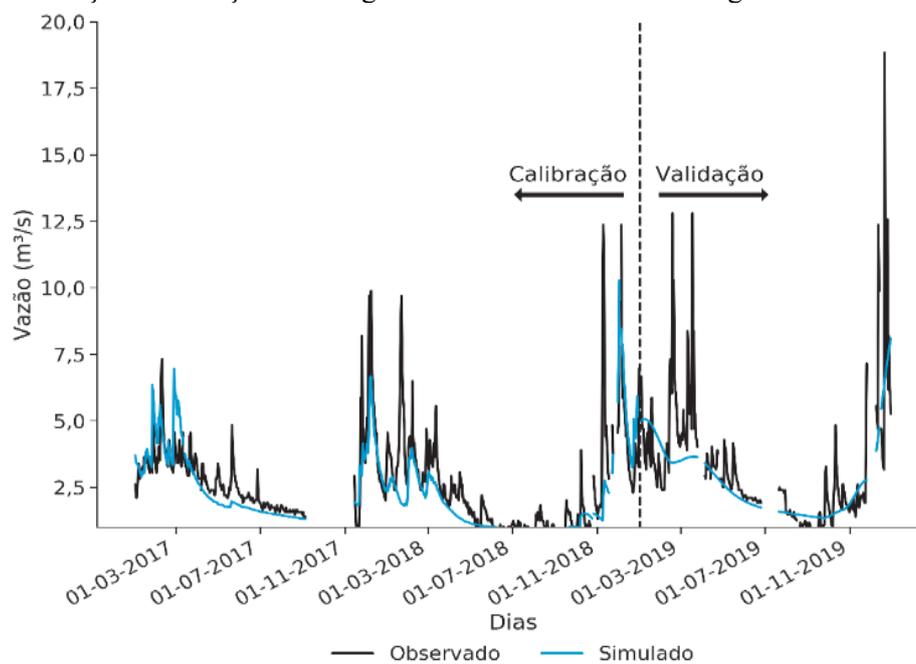
Calibração e validação hidrológica

No SWAT-CUP, após o processamento que gerou 600 iterações, pôde-se obter valores para o Coeficiente de Nash-Sutcliffe (COE) aceitáveis. No intuito de confirmar o resultado, novas iterações constataram que não haviam alterações no COE e, assim, foi considerada concluída a etapa de calibração hidrológica. Os parâmetros hidrológicos calibrados apresentaram os seguintes valores: CN2 igual a 0,22; Alpha_Bf igual a 0,23; GW_Delay igual a 440,42; Gwqmn igual a 0,36; Sol_K igual a -0,90; Esco igual a 0,97; Surlag igual a 0,12; Sol_Awc igual a 0,07; Shallst igual a 2017,32; CH_N2 igual a 0,015; Gwht igual a 6,92; Rchrg_Dp igual a 0,18; Gw_Revap igual a 0,04; Canmx igual a 29,59; Epc0 igual a 0,80; Revapmn igual a -505,63.

A Figura 3 apresenta o perfil hidrológico simulado após a fase de calibração e validação e o perfil monitorado de vazão. Após a calibração, os picos de vazão simuladas foram suavizados e, por fim, obteve um COE na calibração de 0,52, enquanto que na validação de 0,44, ambos considerados satisfatórios por Moriasi *et al.* (2007) e Green e Van Griensven (2008). O coeficiente PBIAS foi de 6,7 na calibração e -15,5 na validação, sendo que valores negativos de PBIAS indicam que os dados simulados apresentaram uma superestimação em relação aos dados medidos e valores positivos

representam que houve uma subestimação. De acordo com Moriasi *et al.* (2007), considerando o índice PBIAS, a calibração teve um desempenho “muito bom” e a validação apresentou “boa” performance.

Figura 3: Calibração e validação hidrológica no exutório da bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão



Oliveira *et al.* (2019), ao utilizarem SWAT e SWAT-CUP em bacia hidrográfica no cerrado brasileiro, com série histórica de 18 anos, obtiveram uma performance no COE de 0,89 e 0,93, respectivamente, para calibração e validação do modelo. Ferreira e Uagoda (2017) obtiveram, respectivamente, um COE de 0,53 e 0,57 na calibração e validação em outra bacia hidrográfica também no cerrado brasileiro.

Neste estudo, a calibração e validação dos dados foram feitos em escala diária, enquanto que muitos autores utilizam escala mensal. De acordo com Bonumá *et al.* (2010) e Oliveira *et al.* (2019), as simulações em escala mensal geram os melhores ajustes entre as vazões simuladas e monitoradas.

Calibração e validação de sedimentos

Abbaspour (2011) recomenda que a calibração e validação da produção de sedimentos seja feita após a calibração da vazão, uma vez que os processos de sedimentação estão altamente ligados ao escoamento superficial. Os parâmetros sedimentológicos calibrados apresentaram os seguintes valores: Adj_Pkr igual a 1,60; Ch_Cov1 igual a 0,25; Ch_Erodmo igual a 0,13; Prf_Bsn igual a 0,22; Spcon igual a 0,00016; Spexp igual a 1,43; Sol_Bd igual a 0,93; Ch_K2 igual a 11,08; Lat_Sed igual a 267,72; Ssubbsn igual a 136,30.

A Figura 4 apresenta o perfil sedimentológico simulado após a fase de calibração e validação e o perfil de sedimentos monitorado. Obteve-se como resultados para calibração um valor de COE, R² e PBIAS de, respectivamente, 0,42, 0,45 e 12,9, enquanto na validação obteve-se 0,33, 0,47 e -49. A Tabela 5 apresenta um comparativo das funções objetivos encontrados nesse trabalho e em outros estudos.

Tabela 5: Análise comparativa das funções objetivo encontradas em diversos estudos

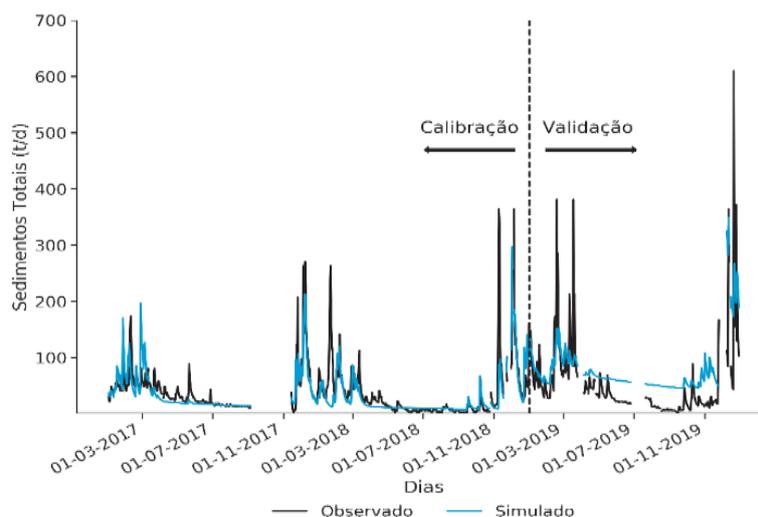
Função Objetivo	Autores									
	Este Trabalho		Taveira e Dos Santos (2019)		Rocha (2013)		Quamar, Kumar e Singh (2025)		Santos et al (2023)	
	Cal.	Val	Cal.	Val.	Cal.	Val	Cal.	Val.	Cal	Val.
COE	0,42	0,33	0,70	0,57	0,77 - 0,86		0,53	0,52	0,38 - 0,56	
R ²	0,45	0,47	0,71	0,71	0,74 - 0,85		0,70	0,59	0,51 - 0,68	
PBIAS	12,9	-49	-6,59	-3,93	---		---	---	-3,71-31,35	

Legenda: Cal. é a Etapa de Calibração e Val. é a Etapa de Validação dos resultados

Alguns autores não apresentaram valores separados para as etapas de calibração e validação, por isso, considerou-se os resultados para as duas etapas.

De acordo com a Tabela 3, pode-se classificar a calibração como “muito bom” e a validação como “satisfatório”, considerado o índice PBIAS. No entanto, é válido ressaltar que esta classificação é para período mensal e a calibração do modelo foi feita para período diário. Deve-se considerar que os dados observados de produção de sedimentos foram obtidos por meio de uma curva-chave extrapolada, o que gera incertezas perante à confiabilidade dos dados.

Figura 4: Calibração e validação sedimentológica no exutório da bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão

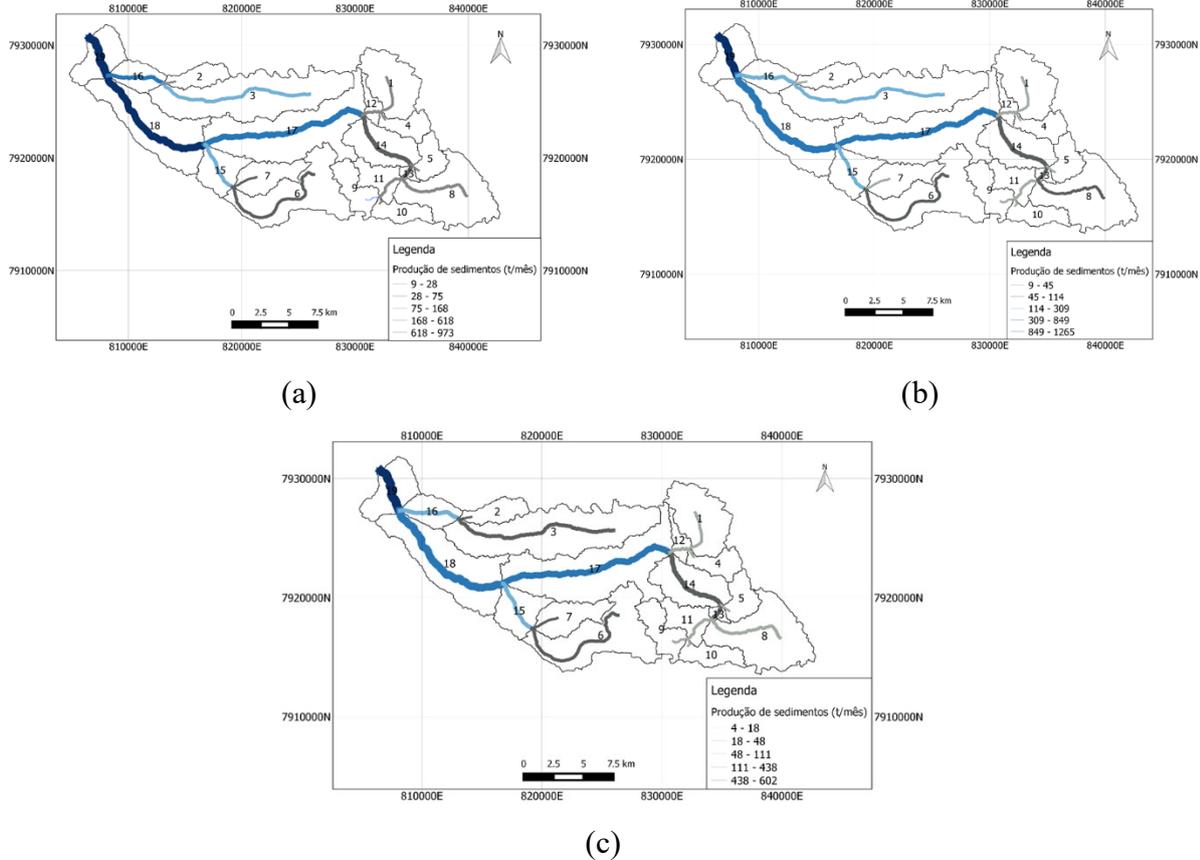


As maiores incertezas são dadas no limite superior da curva-chave de sedimentos (ver Figura 4), uma vez que o valor máximo observado de vazão foi 91,5% maior do que o valor máximo mensurado por Peixoto (2019). Tomkins (2012) relatou que, se houver vazões maiores do que às mensuradas durante a construção da curva, geram incertezas que podem prejudicar a predição de bons resultados na produção de sedimentos.

Análise de cenários

A Figura 5 traz os resultados de produção de sedimentos em t/mês ao longo de toda a hidrografia da bacia do ribeirão Piçarrão, respectivamente, para o cenário atual de 2019 (Figura 5a), cenário I (substituição de eucalipto por agricultura) (Figura 5b) e cenário II (substituição de agricultura por eucalipto) (Figura 5c).

Figura 5: Produção de sedimentos ao longo da hidrografia da bacia do ribeirão Piçarrão



Em todos os cenários nota-se que a sub-bacia 19, localizada no exutório da bacia do ribeirão Piçarrão, é a que recebe maior carga de sedimentos, com valor máximo para os cenários atual, I e II, respectivamente, de 973 t/mês, 1265 t/mês e 602 t/mês. Nesta sub-bacia está situado o reservatório da CGH Piçarrão que, ao passar dos anos, poderá sentir os efeitos do processo erosivo em virtude do acúmulo de sedimentos em seu reservatório.

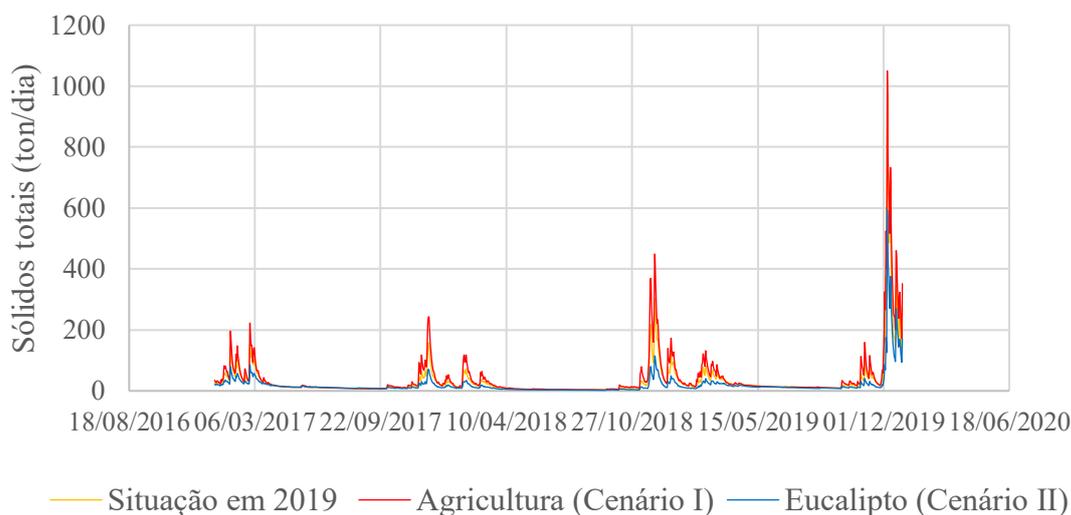
Taveira e Dos Santos (2019) estimaram para uma bacia hidrográfica no litoral do Estado do Paraná com área de 215 km² a produção de sedimentos média no período de 1994 a 2013 da ordem de 174 t/dia. As autoras observaram valores subestimados durante os grandes picos que ocorrem geralmente no verão e uma superestimativa em valores mais baixos e que representam a maior ocorrência na bacia.

Em Santos et al. (2023) foram simulados quatro períodos diferentes (1985, 2000, 2012 e 2018) para verificar a erosão na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu em sua porção pertencente ao Estado de São Paulo, o qual apresenta área em torno de 15000 km². Verificou-se que existem áreas nessa bacia suscetíveis a erosão, e que geram um aporte de sedimentos da ordem de 1,2 t/km²/ano. Já no

trabalho de Quamar, Kumar e Singh (2025) na bacia do rio Song na Índia segundo os autores em 2023 a produção de sedimentos atingiu seu pico no mês de julho, e o valor ultrapassou as 6.000 t/dia, e nos meses seguintes ocorreu um declínio seguido de picos menores. Em contrapartida a produção de sedimentos simulada segue, em geral, essa tendência, porém subestima significativamente o pico de julho, atingindo apenas cerca de 4.000 t/dia, e não segue as flutuações agudas observadas nos meses seguintes.

Por fim, a Figura 6 apresenta uma comparação entre os três cenários simulados em escala diária de produção de sedimentos para a seção do exutório da bacia. Pode-se afirmar que o reflorestamento por eucalipto (cenário II) apresenta menores valores diários de descarga de sedimentos totais ao ser comparado com os outros cenários.

Figura 6: Produção de sedimentos em ton/dia para cenário atual, cenário I e cenário II



A mudança do cenário correspondente à situação atual pelo cenário I, considerando as maiores médias mensais de descarga de sedimentos, provocará um aumento de 30% na produção de sedimentos. Considerando a mesma situação anterior, mas com a mudança do cenário correspondente à situação atual pelo cenário II, provocará uma redução de 38,13% na produção de sedimentos. Apesar disso, é importante ressaltar que a alta absorção de água do eucalipto pode acarretar problemas de disponibilidade hídrica no curso de água, sobretudo em períodos de estiagem.

Santos, Oliveira e Di Lollo (2020) realizaram um trabalho na bacia hidrográfica do rio Atibaia no Estado de São Paulo, cuja área é de 2838 km² e também simularam três cenários para essa área de estudo, sendo o Cenário I o uso e ocupação do solo atual, o cenário II com aumento da área urbana em 20% e a retirada de 50% da floresta nativa, sendo substituída principalmente por plantação de

cana-de-açúcar e o cenário III manteve o crescimento urbano, contudo, com a transformação das áreas de pastagens e gramíneas em floresta. Como resultado, encontraram quando comparado ao cenário atual um aumento de 24% na produção de sedimentos para o cenário II e de 2% para o cenário III, o que representa manutenção do cenário atual quando se substitui as áreas de pastagem por floresta, mantendo o crescimento das cidades.

CONCLUSÕES

É fundamental a análise detalhada dos dados pluviométricos para que se obtenha uma melhor cobertura espacial de chuva, retratando melhor a realidade. A falta de dados para a elaboração de uma curva-chave, que contemplam longos períodos de cheia e estiagem, e a consequente necessidade de extrapolação da curva, geram incertezas no processo de calibração e validação hidrológica e sedimentológica.

O manejo do uso e ocupação da bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão é importante para o desenvolvimento da região, essa pesquisa pode auxiliar na redução da produção de sedimentos, onde o cenário II apresentou melhora nas condições de erosão e por consequência na produção de sedimentos, mostrando que o reflorestamento da bacia pode ser uma alternativa positiva nesse sentido. E também com a redução da quantidade de sedimentos diminui significativamente o assoreamento do ribeirão, possibilitando o aumento na vida útil da UGH de Piçarrão, sendo uma forma importante de geração de energia para a região de estudo, em especial o município de Araguari-MG.

A baixa declividade e o solo Latossolo Vermelho da bacia hidrográfica do ribeirão Piçarrão não são fatores favoráveis à erodibilidade da bacia. Em relação ao uso e ocupação do solo, constatou-se que a presença de eucalipto diminui os picos de descarga no escoamento superficial e produz menor quantidade de sedimentos. Portanto, conclui-se que, mediante o fator escoamento superficial, as áreas ocupadas pela agricultura são as mais susceptíveis à erosão. Com relação ao desempenho do SWAT, os valores de COE e de PBIAS podem ser considerados satisfatórios, ressaltando-se ainda que os dados utilizados são diários.

AGRADECIMENTOS

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por meio do edital nº 3899/2016, pelo apoio a esta pesquisa, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, K.C. SWAT-CUP2: SWAT Calibration and Uncertainty Programs Manual Version 2, Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland. 106 p. 2011.

ABBASPOUR, K.C. SWAT-CUP2009: SWAT Calibration and Uncertainty Programs – a user manual. Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag, Swiss **Federal Institute of Aquatic Science and Technology**, Duebendorf, Switzerland, 95 p. 2012.

ANTUNES, S. S. H.; PEREIRA, A.R.; BARRAL, U.M. **A importância da Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga Taquara – DF: simulação hidrológica utilizando o modelo SWAT**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 25., 2023. Anais [...]. Porto Alegre: ABRHidro, 2023.

BASTOS, C. A. B.; MILITITSKY, J.; GEHLING, W. A avaliação da erodibilidade dos solos sob o enfoque geotécnico: pesquisas e tendências. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.17-25, nov. 2000. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br>>. Acesso em: 08 mar. 2019.

BLAINSKI, E.; ACOSTA, E.; NOGUEIRA, P.C.P. Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [s.l.], v. 12, n. 2, p.226-237, 22 fev. 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1951>

BONUMÁ, N. B., REICHERT, J. M., MINELLA, J. P., BARROS, C. A. P., RODRIGUES, M. F., BUARQUE, D. C. 2010. **Balço hídrico e sua relação com a modelagem da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural**. In: IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Brasília, Distrito Federal. Brasil.

BRESSIANI, D.A.; SRINIVASAN, R; JONES, C.A.; MENDIONDO, E.M. Effects of spatial and temporal wheater data resolutions on streamflow modeling of a semi-arid brasin, Northeast Brazil. **Int J Agric e Bil Eng**, [s.l.], v. 3, n. 8, p.125-139, 2015.

BRITO, R. N. R .; ASP, N.E .; BEASLEY, C.R .; SANTOS, H. S. S. Características Sedimentares Fluviais Associadas ao Grau de Preservação da Mata Ciliar - Rio Urumajó, Nordeste Paraense **Acta Amazônica**. v. 1, n.39, p.173-180, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000100017>

CACHAPUZ, P.B.B. (Comp.). **Usinas da Cemig: a história da eletricidade em Minas e no Brasil**. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 2006. 304 p. Disponível em: https://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/nossos_negocios/usinas/Documents/livro_usinas.pdf.

Acesso em: 23 nov. 2019.

CARVALHO, A.P.V.; BRUMATTI, D.V.; DIAS, H.C.T. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**. v. 2, n. 2, p.148-156, 2012. <https://doi.org/10.21206/rbas.v2i2>

CARVALHO, F. H. **Uso do modelo SWAT na estimativa da vazão e da produção de sedimentos em bacia agrícola do Cerrado brasileiro**. 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

CASTRO, K. B. **Avaliação do modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do Cerrado intensamente monitorada**. 2013. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CHEN, F.; LIU, C. Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. **Paddy And Water Environment**, [s.l.], v. 10, n. 3, p.209-222, 25 fev. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10333-012-0319-1>.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999. 412 pp. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php. Acesso em: 10 nov. 2018.

FERREIRA, R.S.; UAGODA, R.E.S. Análise da predição do balanço hídrico da bacia do ribeirão do Gama-DF através do modelo SWAT. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 10, n. 3, p.880-893, fev. 2017.

GREEN, C. H.; VAN GRIENSVEN, A. Autocalibration in hydrologic modeling: Using SWAT2005 in small-scale watersheds. **Environmental Modelling and Software**, v. 23, n. 4. p.422-434. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.06.002>.

HAIRSINE, P. B.; ROSE, C.W. Modeling water erosion due to overland flow using physical principles: 1. Sheet flow. **Water resources research**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 237-243, 1992. <https://doi.org/10.1029/91WR02380>.

JUNIOR, J. L. B. **Análise da disponibilidade Hídrica da Bacia do Rio Jundiá por meio de simulações Hidrológicas de Cenários Prováveis**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, 2014.
Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=465805>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2024.

KURTZMAN, D.; NAVON, S.; MORIN, E. Improving interpolation of daily precipitation for hydrologic modelling: spatial patterns of preferred interpolators. **Hydrological Processes**, [s.l.], v. 23, n. 23, p.3281-3291, 15 nov. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7442>.

LICCIADELLO, F.; TOSCANO, A.; CIRELLI, G.L.; CONSOLI, S.; BARBAGALLO, S. Evaluation of Sediment Deposition in a Mediterranean Reservoir: Comparison of Long Term

Bathymetric Measurements and SWAT Estimations. **Land Degradation e Development**, [s.l.], v. 28, n. 2, p.566-578, 11 jul. 2016.

LIMA, J. E. F. W., SILVA, E. M., STRAUCH, M., LORZ, C. (2013). **Desenvolvimento de Base de Dados de Solos para a Aplicação do Modelo SWAT em Bacia do Bioma Cerrado**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves – RS.

LIMA, J. E. F. W.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; KOIDE, S. Comparative hydrology: relationships among physical characteristics, hydrological behavior, and results of the SWAT model in different regions of Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 7, n. 6, p.1187-1195, nov. 2014.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. V. V.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, [s.l.], v. 50, n. 3, p.885-900, mar. 2007. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil e Water Assessment Tool (SWAT)**. Texas: Instituto de Recursos Hídricos do Texas, 2011. 634 p. Disponível em: <https://swat.tamu.edu/media/99193/swat2009-theory-portuguese.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2019.

OLIVEIRA, V.A.; MELLO, C.R.; BESKOW, S.; VIOLA, M.R.; SRINIVASAN, R. Modeling the effects of climate change on hydrology and sediment load in a headwater basin in the Brazilian Cerrado biome. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 133, p.20-31, ago. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.021>.

OLIVEIRA, L. T. **Aplicação do modelo SWAT para simular vazões em uma bacia hidrográfica em Aracruz, ES**. 2014. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/5030>. Acesso em: 25 de maio de 2024.

PEIXOTO, R.A.O. **Estudo do transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Jordão - UGRH-PN1**. 2019. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019

PRABHANJAN, A.; RAO, E. P.; ELDHO, T. I. Application of SWAT Model and Geospatial Techniques for Sediment-Yield Modeling in Ungauged Watersheds. **Journal of Hydrologic Engineering**, [s.l.], v. 20, n. 6, p.1-6, jun. 2015. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001123](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001123)

QUAMAR, S., KUMAR, P.; SINGH, H. P. Streamflow and Sediment Simulation in the Song River Basin Using the SWAT Model. **Frontiers in Water**, v.7, 2025. <https://doi.org/10.3389/frwa.2025.1500086>

REBOITA, M.S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L.F.; ALVES, M.A. Aspectos climáticos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 17, n. 11, p.206-226, jul./dez. 2015. Semestral. <https://doi.org/10.5380/abclima.v17i0.41493>

RIBEIRO, C. B. de M.; BRESSIANI, D.A.; ROTUNNO FILHO, O.C. **Modelagem hidrológica de**

vazões na Bacia Amazônica utilizando o modelo SWAT. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21., 2015, Brasília. Anais [...]. Porto Alegre: ABRHidro, 2015.

ROCHA, E.O. **Estudo Ambiental Integrado de Processos Hidrossedimentológicos e Nutrientes na Bacia Hidrográfica do rio Piranga Utilizando o SWAT.** 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

ROMAGNOLI, M.; PORTAPILA, M.; RIGALLI, A.; MAYDANA, G.; BURGUÉS, M.; GARCÍA, C. M. Assessment of the SWAT model to simulate a watershed with limited available data in the Pampas region, Argentina. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 596-597, p.437-450, out. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.041>

SARTORI, A. **Avaliação da classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos.** 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SHEN, H. W.; JULIEN, P. Y. Erosion and sediment transport. In: MAIDMENT, D. R. (Org.). **Handbook of Hydrology**. [s.l.]: Mcgraw-hill, 1992. Cap. 12, p. 12.45.

SANTOS, F. M. DOS; PELINSON, N. DE S.; OLIVEIRA, R. P. DE; DI LOLLO, J. A. Using the SWAT model to identify erosion prone areas and to estimate soil loss and sediment transport in Mogi Guaçu River basin in Sao Paulo State, Brazil. **Catena**, v. 222, mar. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106872>

SANTOS, F. M. DOS; OLIVEIRA, R. P. DE; DI LOLLO, J. A. Effects of Land Use Changes on Streamflow and Sediment Yield in Atibaia River basin - SP, Brazil. **Water**, v. 12, 1711; 2020; <https://doi.org/10.3390/w12061711>

SOUSA, C. M. **Evolução do uso das terras no alto curso do rio Jordão no município de Araguari (MG).** 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2014.

TAVEIRA, L. R. S. **Avaliação do modelo SWAT na simulação da hidrossedimentologia da bacia do Ribeirão Posses (Extrema – MG).** 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2016

TAVEIRA, B. D. A. e Dos SANTOS, I. Avaliação do efeito de Mudanças Climáticas na Vazão e Transporte de Sedimentos na bacia hidrográfica do rio Nhundiaquara, Serra do Mar Paranaense. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 37, n. 2, p. 29-42, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v37i2.35607>.

TOMKINS, K. M. Uncertainty in streamflow rating curves: methods, controls and consequences. **Hydrological Processes**, [s.l.], v. 28, n. 3, p.464-481, 16 nov. 2012.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2013. 943 p.

VIANA, J.; MONTENEGRO, S.; SILVA, B.; SILVA, R.; SRINIVASAN, R. SWAT parameterization for identification of critical erosion watersheds in the Pirapama River basin, Brazil. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, [s.l.], v. 13, n. 1, p.42-58, 30 jun. 2019. *Journal of Urban and Environmental Engineering*.
<http://dx.doi.org/10.4090/juee.2019.v13n1.042058>.

WILLIAMS, J.R. 1975. **Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor**. p. 244-252. *In Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources: proceedings of the sediment yield workshop, USDA Sedimentation Lab., Oxford.*

WU, W.; VIEIRA, D.A.; WANG, S.S.Y. One-Dimensional Numerical Model for Nonuniform Sediment Transport under Unsteady Flows in Channel Networks. **Journal of Hydraulic Engineering**, [s.l.], v. 9, n. 130, p.914-923, set. 2004.

ZAZONI, D.A. **Modelos hidrológicos para estimativa de vazões e impacto de mudanças na ocupação do solo sobre a disponibilidade hídrica**. 2023. 50 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, UFMS, 2023.

Disponível em: <https://posgraduacao.ufms.br/portal/trabalho-arquivos/download/12471>. Acesso em: 20 de abril de 2024.