

Dinâmica hidrossedimentológica na bacia hidrográfica do Rio Sirinhaém relacionando precipitação e processos hídricos

O conhecimento dos elementos componentes do ciclo hidrológico é de fundamental importância para o desenvolvimento de medidas que visem uma gestão responsável e sustentável dos recursos hídricos. Portanto, avaliar como a dinâmica hidrossedimentológica se comporta ao longo do tempo e espaço, se configura como uma relevante contribuição que as metodologias de modelagens hidrológicas fornecem aos tomadores de decisão. Avaliar essa dinâmica é especialmente crucial em bacias hidrográficas que apresentam forte presença de atividades agrícolas, e estão sob regimes tropicais de precipitação, uma vez que os altos índices pluviométricos contribuem com os processos erosivos em solos não protegidos, o que impulsiona a produção de sedimentos. Para analisar essa dinâmica, foi utilizado o modelo SWAT (Soil & Water Assessment Tools) na bacia hidrográfica do rio Sirinhaém, no estado de Pernambuco, uma bacia que conta com forte presença da cultura da cana-de-açúcar. Foi observado o grande controle que os índices pluviométricos exercem sobre o escoamento superficial e produção de sedimentos, e que o modelo apresenta grande capacidade de determinar as áreas que mais contribuem com a dinâmica sedimentar na bacia. Desta forma, esta metodologia se mostra adequada para o fornecimento de dados distribuídos espaço-temporalmente, como forma de subsidiar a gestão dos recursos hídricos de forma racional, visando sua conservação.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica; SWAT; Escoamento superficial; Produção de sedimentos.

Hydrosedimentological dynamics in the Sirinhaém River basin relating precipitation and water processes

Knowledge of the components of the hydrological cycle is of fundamental importance for the development of measures aimed at responsible and sustainable management of water resources. Therefore, evaluating how the hydrosedimentological dynamics behaves over time and space is a relevant contribution that hydrological modeling methodologies provide to decision makers. Assessing these dynamics is especially crucial in watersheds that have a strong presence of agricultural activities, and are under tropical rainfall regimes, since high rainfall contributes to erosive processes in unprotected soils, which drives sediment production. To analyze these dynamics, the SWAT (Soil & Water Assessment Tools) model was used in the Sirinhaém river basin, in the state of Pernambuco, a basin that has a strong presence of sugarcane culture. It was observed the great control that the pluviometric indices exert on the surface runoff and sediment production, and that the model has great capacity to determine the areas that most contribute to the sedimentary dynamics in the basin. In this way, this methodology proves to be adequate for the provision of spatially and temporally distributed data, as a way of subsidizing the management of water resources in a rational way, aiming at their conservation.

Keywords: Hydrological modeling; SWAT; Surface runoff; Sediment production.

Topic: **Tecnologia, Modelagem e Geoprocessamento**

Received: **14/11/2022**

Approved: **26/11/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

João Antonio dos Santos Pereira 

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/9918697054291398>

<http://orcid.org/0000-0003-4426-4924>

antoniopereira.278@gmail.com

Rodrigo de Queiroga Miranda 

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/1019569734583661>

<http://orcid.org/0000-0002-5464-2397>

rodrigo.qmiranda@gmail.com

Werônica Meira de Souza 

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/9039652038717693>

<http://orcid.org/0000-0002-6270-2345>

weroniceira@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.011.0023

Referencing this:

PEREIRA, J. A. S.; MIRANDA, R. Q.; SOUZA, W. M.. Dinâmica hidrossedimentológica na bacia hidrográfica do Rio Sirinhaém relacionando precipitação e processos hídricos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.11, p.308-322, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.011.0023>

INTRODUÇÃO

As mudanças no uso e cobertura do solo refletem o modelo de desenvolvimento adotado por cada sociedade. A maneira de gerenciar os recursos ambientais condiciona os impactos que a ocupação humana causa em uma região.

Em territórios tradicionalmente agrícolas, essa dinâmica é um importante fator na qualidade ambiental. A agricultura, sobretudo a extensiva, tem o potencial de interferir em grande medida na sanidade ambiental (LOVE et al., 2011), por meio da alteração das condições da qualidade da água, da contaminação do solo e do ar (LUO et al., 2009), da conversão de áreas de florestas em áreas de cultivo (MAS et al., 2014), entre outros.

Neste contexto, destaca-se a água, um insumo insubstituível e condicionante para a fixação da ocupação dos territórios desde os primórdios da humanidade. O crescimento e desenvolvimento das populações demandam cada vez mais o uso deste recurso natural, e o entendimento do seu estado atual, assim como sua disponibilidade futura é fundamental à gestão destes recursos (HAMUDUDU et al., 2020). Este aumento de demanda gera enorme pressão nos recursos hídricos (WANG et al., 2020), que apesar de renováveis, sua degradação implica em diversos problemas de ordem socioambiental, como diminuição da oferta de água potável, eutrofização de corpos hídricos (HUA et al., 2019), e desequilíbrio de ecossistemas aquáticos (TROLLE et al., 2019), e encarecimento da purificação da água nas centrais de tratamento (VIDAL et al., 2014).

Em bacias onde a agricultura é predominante, a qualidade e disponibilidade da água tende à ser comprometida (MEHDI et al., 2015). Na região da Zona da Mata Pernambucana, especialmente na sua porção sul, na área da bacia hidrográfica do rio Sirinhaém, a agricultura se faz especialmente presente desde o período colonial brasileiro. Próximo à centros de expansão da ocupação humana e caracterizada por forte presença do monocultivo da cana-de-açúcar, essa se torna uma região de grande interesse público, uma vez que os impactos ambientais gerados por essa atividade econômica podem susceptibilizar desde comunidades rurais inteiras, como também centros urbanos que são abastecidos pelos reservatórios e mananciais próximos.

Analisar os impactos dessas práticas se faz necessário então à uma gestão ambiental responsável (BRITTO et al., 2017), fornecendo subsídios à entidades privadas e governamentais para adoção das chamadas BMP's (*Best Management Practices*) (GALI et al., 2016; LIGARAY et al., 2017).

Entre as possibilidades metodológicas para se analisar os impactos gerados pela vasta aplicação de agrotóxicos em grandes áreas agrícolas, está a modelagem hidrológica por meio do modelo SWAT (*Soil & Water Assessment Tools*). O SWAT é um modelo semidistribuído e contínuo no tempo, que foi desenvolvido para simular o impacto da mudança do uso do solo em bacias hidrográficas de médio e grande porte (ARNOLD et al., 2012). Este modelo permite simular valores de escoamento superficial (FICKLIN et al., 2013; ZHOU et al., 2014), produção de sedimentos (ABBASI et al., 2019; VIGIAK et al., 2015), fluxo de nutrientes (HOLLAWAY et al., 2018; PEZET et al., 2014; ROMAGNOLI et al., 2017), transporte de pesticidas (BOULANGE et al., 2014;

VERNIER et al., 2017).

Desta forma, o objetivo deste estudo é observar a dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica do rio Sirinhaém, quanto ao escoamento superficial das suas águas, assim como a produção de sedimentos ao longo das últimas décadas a partir de modelagem hidrológica propiciada pelo modelo SWAT.

REVISÃO TEÓRICA

Modelagem hidrológica para estudos ambientais

Um modelo hidrológico permite equacionar os processos, representar, entender e simular o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 1998) e segundo Rennó & Soares (2000), um modelo pode ser considerado como uma representação simplificada da realidade, auxiliando no entendimento dos processos que envolvem esta realidade, de maneira geral, um modelo é um sistema de equações e procedimentos compostos por variáveis e parâmetros.

A modelagem hidrológica pode ser utilizada para diversos tipos de aplicações, sendo as mais comuns previsões de vazões de curto e médio prazo (KALANTARI et al., 2015; WALLACE et al., 2009), disponibilidade hídrica para as populações (MELLO et al., 2016; LOVE et al., 2011; PERRIN et al., 2012; ROMAGNOLI et al., 2017) e mudanças no uso e ocupação do solo decorrentes de ações causadas pelo homem (BAKER et al., 2013; CHAPLOT et al., 2004). Com isso, os modelos hidrológicos vêm sendo desenvolvidos para avaliar os impactos da agricultura, das ações antrópicas e alterações no uso e ocupação do solo, na qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos.

O modelo de simulação, de um modo geral, pode ser definido como a representação de um sistema através de equações matemáticas, ou seja, consiste em representar matematicamente o que acontece na natureza a partir de um modelo conceitual, idealizado com base nos dados de observação do sistema real. O objetivo desta modelagem é, então, compreender melhor o sistema e prever situações futuras, algumas vezes também reproduzir o passado, para direcionar as ações de decisão (MACHADO, 2002).

Para utilização destes modelos, são necessários dados de variáveis meteorológicas e hídricas, e quanto mais sólida for a base de dados, melhor desempenho os modelos apresentarão. Entre os dados tabulares básicos de entrada, se encontram a precipitação, temperatura, radiação solar, umidade relativa, e velocidade do vento (MUTTIAH et al., 2002; RENAUD et al., 2008), além de dados espaciais referentes ao uso do solo, tipo de solo e topografia (DEVI et al., 2015; TUO et al., 2016).

Modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) e aplicações

O *Soil and Water Assessment Tools* (SWAT) é um modelo em escala de bacia hidrográfica desenvolvido no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), Serviço de Pesquisas Agrícolas (ARS), criado para analisar os impactos de práticas de manejo de terra e água, produção de sedimentos e agroquímicos em bacias hidrográficas complexas com variados solos e condições de uso da terra (NEITSCH et al., 2011a).

Desde sua criação no começo da década de 90, o SWAT passa por contínuas revisões e expansões de suas capacidades, sendo considerado um modelo de base física, computacionalmente eficiente e capaz de realizar simulações contínuas por longos períodos de tempo (NEITSCH et al., 2011a; GASSMAN et al., 2007). Como é um modelo semidistribuído permite que os resultados simulados sejam ajustados em relação aos observados, propiciando a análise da variabilidade do processo de forma segmentada. Assim, é um modelo contínuo, de longo termo, desenvolvido para estudos de impactos do clima e da cobertura do solo nos processos hidrológicos (ARNOLD et al., 1998; BAKER et al., 2013).

Esse modelo foi desenvolvido com a capacidade de simular diversas variáveis ambientais, entre as quais se destacam o escoamento superficial, fluxo lateral e percolação, evapotranspiração, rede de drenagem, análise de reservatórios, nutrientes, sedimentos, pesticidas, qualidade da água, dentre outros (LIGARAY et al., 2017; NEITSCH et al., 2011a; TONG et al., 2007). Com isso, o objetivo principal de um modelo hidrológico é determinar precisamente os componentes do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica, e estimar e o comportamento da água juntamente com os elementos que ela transporta. Dinâmica do transporte de sedimentos e nutrientes e impactos na qualidade da água.

A movimentação de sedimentos, nutrientes e até pesticidas dentro de uma bacia hidrográfica está diretamente relacionado ao intemperismo, em associação ao padrão do relevo (FICKLIN et al., 2010; MELLO et al., 2016). Os processos erosivos são afetados em grande medida pelos efeitos combinados das mudanças climáticas devido ao aumento de chuvas intensas e temperaturas, associados com a atividade humana (CHUENCHUM et al., 2020; LLOVERAS et al., 2016).

A erosão do solo gera impactos como perda de matéria orgânica, redução de profundidade dos solos, diminuição de produtividade agrícola, eutrofização de corpos hídricos, acúmulo de sedimentos em reservatórios e consequente perda de capacidade (NERANTZAKI et al., 2016; POEPPL et al., 2019).

Com o intuito de estimar a magnitude dos processos erosivos, foi desenvolvida a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) por Wischmeier e Smith em 1965 e atualizada em 1978. Esta equação prevê a média anual bruta de erosão em função do efeito da força da chuva na camada superficial do solo e sem seus sulcos, porém não prevê a deposição. Williams em 1975 propôs Equação Universal Modificada de Perdas de Solo (MUSLE), que substitui o fator de força da chuva pelo fator de escoamento, e é esta equação que o SWAT aplica em sua modelagem, o que resulta numa melhor projeção de produção de sedimento (GWAPEDZA et al., 2021; VIGIAK et al., 2015). Esta equação modificada leva em consideração o estado de umidade do solo antecedente à um evento chuvoso, o que na prática gera um cenário mais fiel à dinâmica sedimentar, uma vez que o fator de escoamento representa a energia usada para o transporte das partículas.

Mudanças climáticas e impactos na produção de sedimentos

As mudanças climáticas observadas nas últimas décadas são objeto de abrangentes estudos ao redor do mundo. Relatórios produzidos pelo IPCC (*The Intergovernmental Panel on Climate Change*) apontam para uma gama de alterações nos padrões climáticos atuais nas décadas à frente. Certamente, essas alterações climáticas desempenharão fundamental papel na distribuição, qualidade e disponibilidade de recursos

hídricos, assim como, seu conhecimento se configura como indispensável ao planejamento estratégico da gestão destes recursos (ZHANG et al., 2020), visando garantir às gerações futuras o abastecimento adequado ao desenvolvimento das sociedades.

Apesar da expectativa de que os impactos das mudanças climáticas variem de região para região, alguns eventos gerais são esperados na maior parte dos continentes, tais como aumento da frequência e intensidade de eventos extremos de precipitação (CHIU et al., 2017; HOOMEHR et al., 2016), ondas de calor mais intensas (LI et al., 2016), secas mais prolongadas (SHRESTHA et al., 2017).

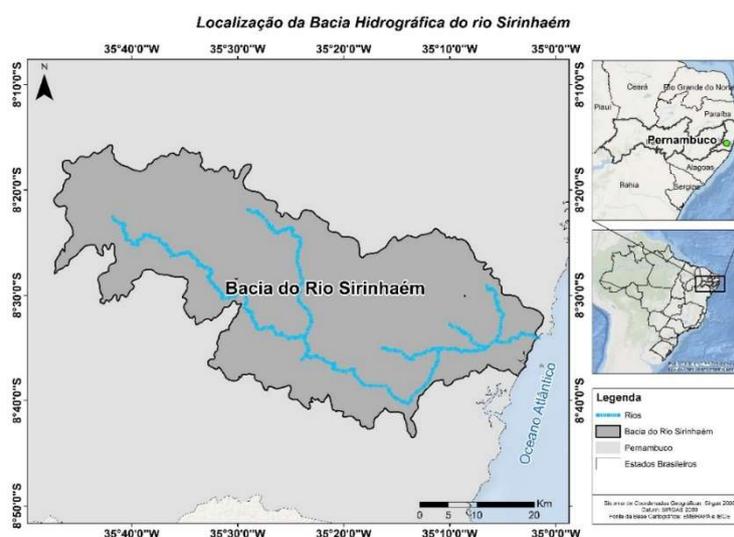
Especificamente quanto aos recursos hídricos, mudanças no regime de precipitação (quantidade, intensidade e distribuição), e aumento de temperaturas impactam no padrão da cobertura vegetal, umidade do solo o que altera a erodibilidade do solo (CHOUKRI et al., 2020; CHUENCHUM et al., 2020), mudanças estas que afetam em grande medida os processos sedimentares (AZARI et al., 2021; BUSSI et al., 2016).

Associado às mudanças climáticas, as mudanças no uso da terra também representam importante fator nessa dinâmica, e o aumento de áreas destinadas à agricultura, redução de área florestal, expansão urbana entre outras alterações, impactam na dinâmica sedimentar de uma bacia hidrográfica (LLOVERAS et al., 2016).

Desta maneira, investigar os efeitos que as mudanças climáticas podem gerar nos componentes do ciclo hidrológico é de fundamental relevância na busca de prevenção de impactos, como também se qualifica como suporte que a comunidade científica pode fornecer à gestão dos recursos hídricos.

METODOLOGIA

O estudo desenvolve-se na hidrográfica Bacia do Rio Sirinhaém (Figura 1). Localizada na região da Zona da Mata Sul do estado de Pernambuco, porção territorial com forte presença da agricultura de extensão, além de núcleos urbanizados e comunidades rurais.



A bacia hidrográfica do rio Sirinhaém localiza-se na porção sul da Zona da Mata de Pernambuco, limita-se ao norte com a bacia do rio Ipojuca (UP3) e o grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 3 - GL3

(UP16), ao sul com a bacia do rio Una (UP 5) e o grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 4 - GL4 (UP17), a Leste com o Oceano Atlântico e os grupos de bacias GL3 e GL4, e a oeste com a bacia do rio Una.

A bacia do rio Sirinhaém abrange 19 municípios em sua área de 2.090,64 km² (2,13% da área do estado). Desses municípios, 2 estão totalmente inseridos na bacia (Cortês e Ribeirão), 7 possuem sua sede na bacia (Amaragi, Barra de Guabiraba, Camocim de São Félix, Gameleira, Joaquim Nabuco, Sairé e Sirinhaém) e os 10 restantes se encontram parcialmente inseridos (Água Preta, Bezerros, Bonito, Escada, Gravatá, Primavera, São Joaquim do Monte, Tamandaré, Ipojuca e Rio Formoso).

A Figura 2 demonstra os dados espaciais utilizados no modelo SWAT. Nela, têm-se as classes de solo, o tipo de uso e ocupação, a declividade e a localização dos postos de monitoramento de dados meteorológicos que forneceram dados à modelagem.

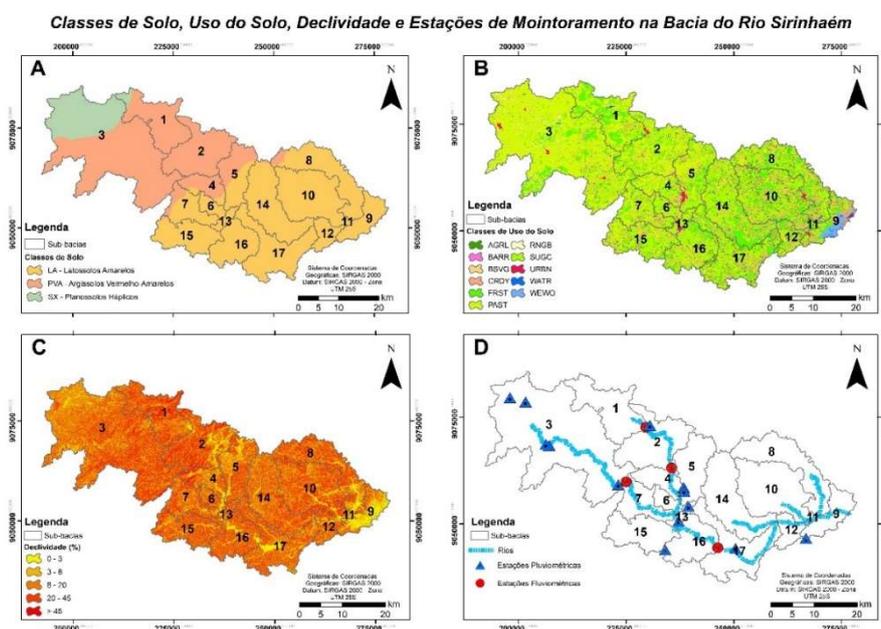


Figura 2: Dados de entrada no modelo SWAT.

A tabela 1 apresenta a distribuição das classes de uso do solo para a bacia hidrográfica do rio Sirinhaém.

Tabela 1: Classes de uso do solo e sua representatividade na bacia hidrográfica do rio Sirinhaém.

Classes de Uso do Solo	Área (ha)	% de Área da Bacia Hidrográfica do rio Sirinhaém
Agricultural Land- Generic - AGRL	11378.71	5.46
Forest-Mixed - FRST	30406.17	14.59
Residential - URBN	917.35	0.44
Pasture - PAST	86611.64	41.56
Range-Brush - RNGB	1940.62	0.93
Water - WATR	682.27	0.33
Sugarcane - SUGC	46731.24	22.42
Barren - BARR	143.18	0.07
Dryland Cropland and Pasture - CRDY	28174.99	13.52
Wooded Wetland - WEWO	1361.30	0.65
Baren or Sparsly Vegetated - BSVG	70.44	0.03

Fonte: Mapbiomas (2019).

A área e percentual que cada tipo de solo ocupa na bacia hidrográfica do rio Sirinhaém está apresentada na tabela 2.

Tabela 2: Classes de solo e sua representatividade na bacia hidrográfica do rio Sirinhaém.

Tipos de Solo	Área (ha)	% de Área da Bacia Hidrográfica do rio Sirinhaém
LA	111586.61	53.54
PVA	78501.30	37.67
SX	18330.03	8.79

Fonte: IBGE (2006).

A porcentagem que cada classe de declividade representa quanto ao total da bacia do rio Sirinhaém é descrito na tabela 3.

Tabela 3: Classes de declividade e sua representatividade na bacia hidrográfica do rio Sirinhaém.

Classe de declividade	Área (ha)	% de Área da Bacia Hidrográfica do rio Sirinhaém
0 - 3	13225.71	6.35
3 - 8	32913.24	15.79
8 - 20	85063.49	40.81
20 - 45	73879.54	35.45
> 45	3335.95	1.60

A base física do SWAT congrega equações que descrevem a relação entre as variáveis do sistema ambiental. Requer informações específicas sobre vegetação, clima, relevo, propriedades do solo e seu uso e manejo. Os processos físicos associados ao movimento da água e dos sedimentos, crescimento de plantas, ciclagem de nutrientes e outros, são modelados diretamente por meio dos dados de entrada (NEITSCH et al., 2011a). O SWAT considera a bacia dividida em sub-bacias com base em suas propriedades físicas, preservando os parâmetros espacialmente distribuídos e as características homogêneas da bacia inteira. A sub-bacia é uma unidade espacial que compreende um curso de rio, e sua área contribuinte. Aumentando o nível de detalhamento, o SWAT delimita as chamadas HRU's (*Hydrological Response Units*), que é uma área não explicitamente definida no espaço, porém que contém as mesmas propriedades de tipo de solo, uso e cobertura, e topografia (VIGIAK et al., 2015). É a partir dessas delimitações que a modelagem dos componentes do ciclo hidrológico é desempenhada.

Segundo Neitsch et al. (2011) a fase terrestre do ciclo hidrológico simulada pelo SWAT é baseada na equação do balanço hídrico, que é a força responsável pelos processos de movimento da água que ocorrem na bacia hidrográfica, dado pela equação 1:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (P - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

Onde SW_t é a quantidade de água no solo da camada da zona radicular simulada no tempo t (mm), SW_0 é a quantidade inicial de água no solo no dia i (mm), t é a duração do ciclo hidrológico simulado (dias), P é a quantidade de água precipitada no dia i (mm), Q_{surf} é o escoamento superficial no dia i (mm), E_a é quantidade de água evapotranspirada no dia i (mm), W_{seep} é a quantidade de água que percola da camada simulada para a camada inferior no dia i (mm), Q_{gw} é a quantidade de água que retorna ao curso d'água no dia i devido ao escoamento sub-superficial (mm).

Para simulação da carga de sedimentos nas bacias, é utilizada a Equação da Perda de Solo Modificada (*Modified Universal Soil Loss Equation* - MUSLE). Na MUSLE o fator de força da chuva é substituído pelo fator de escoamento.

O modelo foi estruturado com base em uma combinação linear dos parâmetros mais correlacionados com o processo de erosão da água no solo, equação 2, por (WISCHMEIER et al., 1978). As equações à seguir podem ser encontradas no documento teórico do modelo SWAT desenvolvido por Neitsch et al. (2011b).

$$sed = 11,8 (Q_{surf} * q_{peak} * area_{hru})^{0,56} * K_{USLE} * C_{USLE} * P_{USLE} * LS_{USLE} * CFRG \quad (2)$$

Sendo sed a produção de sedimentos (t/dia), Q_{surf} é o escoamento superficial (mm/dia), q_{peak} é o pico de descarga do escoamento (m^3/s), $area_{hru}$ é a área da HRU (ha), K_{USLE} é o fator de erodibilidade ($t h MJ^{-1} mm^{-1}$), C_{USLE} são fatores de manejo do solo (adimensional), P_{USLE} é referente a práticas de conservação e controle de erosão do solo (adimensional), LS_{USLE} , é referente ao comprimento da rampa e declividade das vertentes, $CFRG$ é um fator adimensional para explicar a pedregosidade.

Dentre estes parâmetros, o fator de erodibilidade (K_{USLE}), que os autores formularam após observar a grande influência que o conteúdo de silte desempenha na propensão do solo à erosão, é obtido pela equação 3.

$$K_{USLE} = \frac{0.00021 * M^{1.14} * (12 - OM) + 3.25 * (c_{solistr} - 2) + 2.5 * (c_{perm} - 3)}{100} \quad (3)$$

Sendo K_{USLE} o fator de erodibilidade do solo, M é o parâmetro do tamanho da partícula, OM é a porcentagem de matéria orgânica, $c_{solistr}$ é o código de estrutura do solo usado na classificação do solo e c_{perm} é a classe de permeabilidade do perfil.

O fator de manejo do solo (C_{USLE}), definido como índice de perda de solo em terras cultivadas, atua como uma medida da influência da cobertura vegetal na atenuação da força de remoção de partículas do solo pelas gotas de chuva através da interceptação destas pelas copas das árvores, além da influência que o resíduo presente na superfície do solo impõe na redução da força de arrasto do escoamento superficial. Este fator é obtido através da equação 4.

$$C_{USLE} = exp([\ln(0.8) - \ln(C_{USLE,mn})] * exp[-0.00115 * rsd_{surf}] + \ln[C_{USLE}]) \quad (4)$$

Onde $C_{USLE,mn}$ é o valor mínimo para o fator de cobertura e gestão para a cobertura vegetal do terreno e rsd_{surf} é quantidade de resíduo no solo (kg/ha).

O fator referente às práticas de conservação do solo (P_{USLE}), é definido como a razão da perda de solo onde uma prática de apoio específica foi utilizada, comparada à perda de solo correspondente para uma área não que não recebe suporte por nenhuma prática conservacionista, sejam essas práticas tanto contorno da lavoura, terraceamento, ou plantio por faixas de contorno. Cada uma destas práticas apresenta valores para P_{USLE} de acordo com a declividade e comprimento das encostas onde o cultivo é realizado, e estes valores podem ser observados no documento teórico de referência organizado por Neitsch et al. (2011b).

O fator LS_{USLE} , referente à topografia, representa a taxa esperada da perda de solo por unidade de área de campo com declive e 22.1 metros de comprimento com declive de 9%, levando em consideração que as outras condições são similares, pode ser obtido através da equação 5.

$$LS_{USLE} = \left(\frac{L_{hill}}{22.1}\right)^m * (65.41 * \sin^2(\alpha_{hill}) + 4.56 * \sin \alpha_{hill} + 0.065) \quad (5)$$

Sendo L_{hill} a extensão do declive (m), m é o termo exponencial, e α_{hill} é o ângulo da inclinação. E o fator de pedregosidade ($CFRG$), referente aos fragmentos brutos no solo é calculado pela equação 6.

$$CFRG = exp(-0.053 * rock) \quad (6)$$

No qual $rock$ é a porcentagem de rocha existente na primeira camada do solo. Após desempenhar essa modelagem, os resultados extraídos são descritos a seguir.

RESULTADOS

A figura 3 apresenta um gráfico com os totais de precipitação anuais ocorridos para o período da

simulação do modelo na bacia do Rio Sirinhaém. Esses dados levam em consideração todos postos pluviométricos localizados dentro da área da bacia, como medida de gerar uma visualização média dos totais pluviométricos. É observar sua tendência de queda nos totais anuais, além da presença de valores de pico, sendo os anos de 2000 e 1974, os valores máximos observados na série estudada.

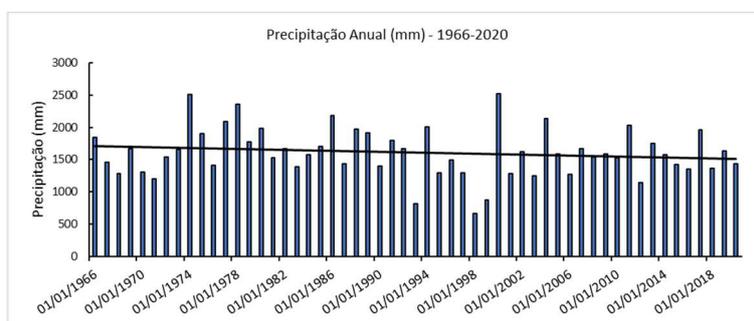


Figura 3: Gráfico de Precipitação Anual para a Bacia do Rio Sirinhaém (mm) 1966-2020.

A Figura 4 apresenta a distribuição dos valores de escoamento superficial anual em cada um dos anos selecionados, onde se pode destacar as áreas que apresentam maiores concentrações de fluxo ao longo da bacia. É possível observar que os maiores valores são encontrados já próximos à jusante da bacia, uma vez que esta porção territorial recebe contribuição de toda área de captação. Tal qual a variação observada nos dados de precipitação, é possível observar a variação dos valores de escoamento superficial ao longo do tempo.

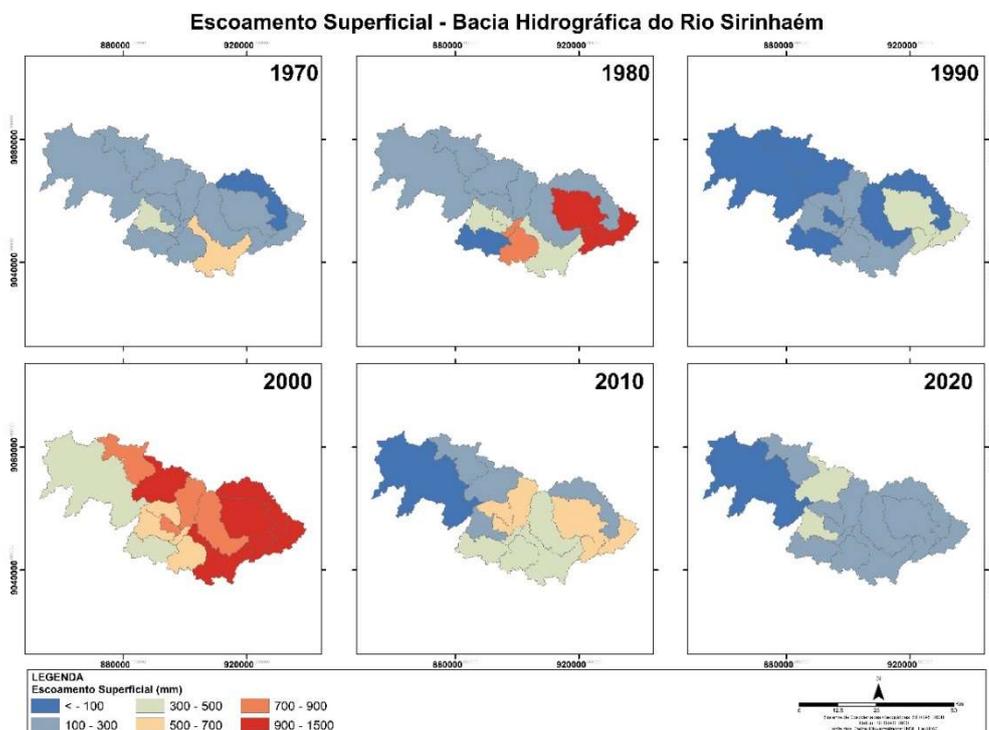


Figura 4: Distribuição do Escoamento Superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Sirinhaém.

De modo semelhante ao observado com os dados do escoamento superficial, a Figura 5 traz o padrão da produção de sedimentos ao longo dos anos na bacia hidrográfica. Como se pode observar, entre os anos selecionados, os maiores valores são recorrentemente obtidos nas sub-bacias à jusante, áreas de

predominância de latossolos amarelos, e uso do solo predominantemente ligados à cultura canieira e às pastagens, e de maior contração de drenagens. Nestas sub-bacias, foram observados valores de produção de sedimentos que chegaram próximos à 250 toneladas por hectare no ano de 2000, ano que apresentou o maior valor acumulado de precipitação.

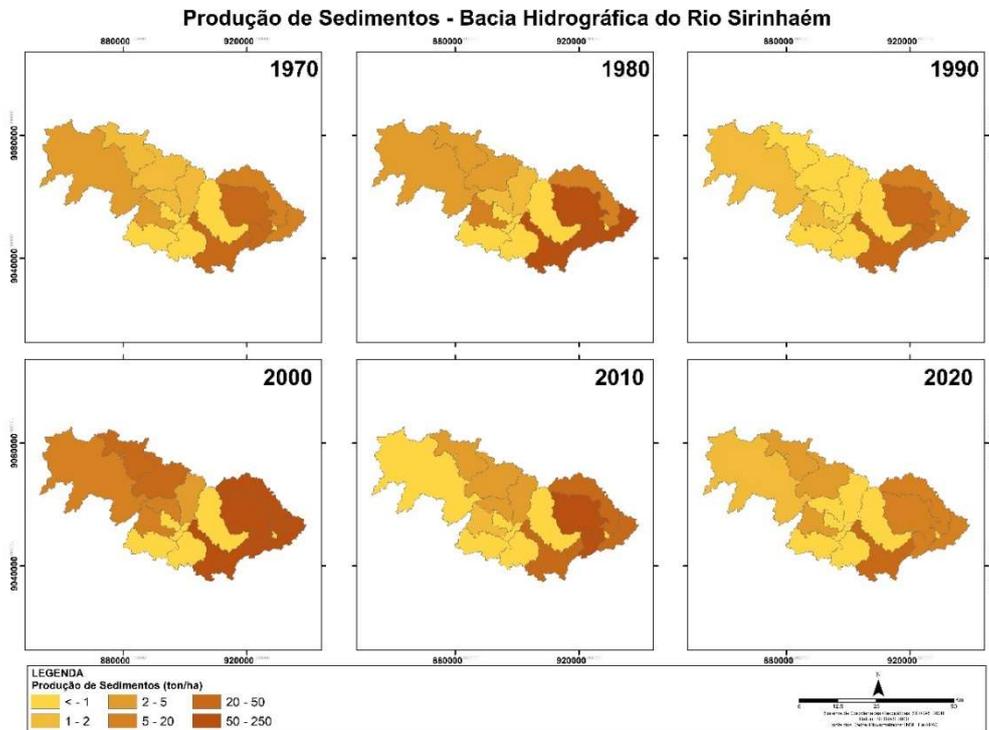


Figura 5: Distribuição da Produção de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Sirinhaém.

Ao se observar a sobreposição dos gráficos dos dois elementos analisados, é possível notar a forte dependência que um apresenta em relação ao outro, Figura 6. Como é de se esperar, com maiores volumes de escoamento superficial, produzidos por uma soma de fatores, quais sejam, chuvas intensas, desnudação do solo, redução de área de florestas e substituição destas por pastagens e agricultura, o volume de escoamento superficial tende a aumentar, e conseqüentemente, ganha força de desagregação e arrasto do solo, aumentando a produção de sedimento.

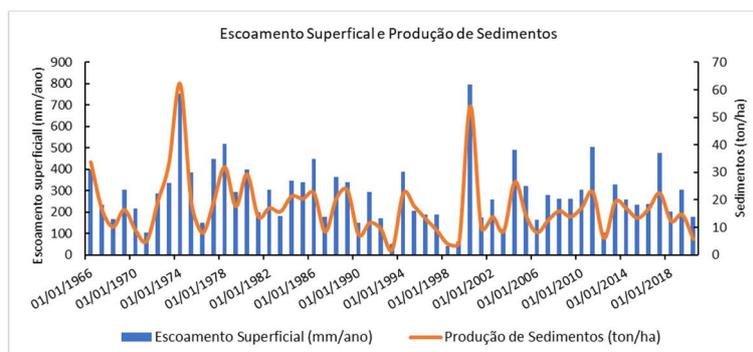


Figura 6: Relação entre Escoamento Superficial e Produção de Sedimentos.

A figura 7 reforça a forte relação entre essas duas variáveis, uma vez que a correlação linear simples apresenta uma relação positiva entre ambas, com um coeficiente de determinação r^2 de 0.84.

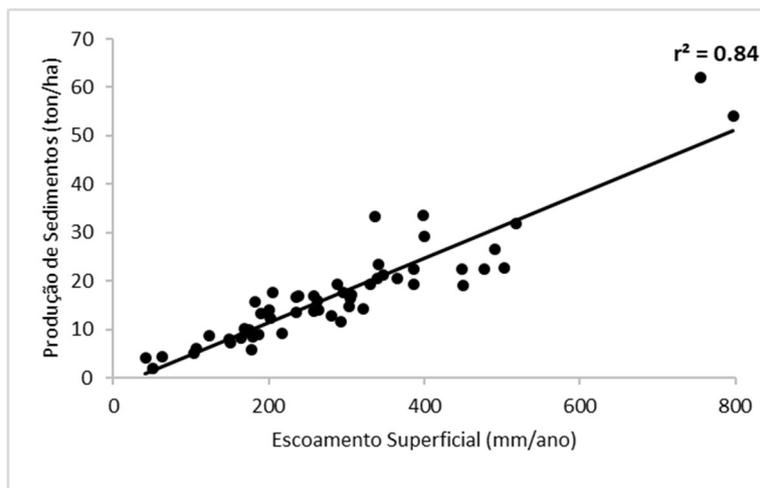


Figura 7: Correlação linear entre Escoamento Superficial e Produção de Sedimentos.

DISCUSSÃO

Investigar a dinâmica de transporte de sedimentos e nutrientes é uma tarefa complexa e de fundamental importância para que se consiga otimizar o uso dos recursos ambientais e ao mesmo tempo, se reduzam custos e impactos das atividades desempenhadas pela humanidade nos próprios sistemas ambientais. Santos et al. (2020), ao analisar a dinâmica hidrológica, sedimentar e de nutrientes em 2 bacias hidrográficas no estado de São Paulo, destacaram a dificuldade em atingir resultados de grande acurácia na modelagem da produção de sedimentos, porém afirma que o modelo SWAT apresenta uma boa eficiência em estimar a tendência da dinâmica de sedimentos em bacias hidrográficas.

Enquanto isso, Brighenti et al. (2019) destacam a importância de estimativas apropriadas de vazão e dinâmica sedimentar para a gestão dos recursos hídricos, e indica que o modelo SWAT se configura como uma alternativa metodológica efetiva na materialização destas estimativas. Ao mesmo tempo que Medeiros et al. (2019) destacam a efetividade deste modelo para realizar o estudo sobre o balanço hidro-sedimentológico em uma bacia hidrográfica localizada no semiárido paraibano.

Já Hernandez et al. (2018), ao analisarem como a expansão da cultura da cana-de-açúcar interfere na dinâmica do escoamento superficial em duas bacias hidrográficas, sendo uma delas localizada no estado de Goiás, e outra no estado de São Paulo, constatou que o aumento das áreas destinadas à esse cultivo sobre áreas de culturas anuais, tende à aumentar os volumes de escoamento superficial mesmo em períodos secos. Esse resultado se assemelha ao observado por este estudo, pois nota-se que mesmo em anos que ficam na média quanto aos volumes de precipitação (como é o caso do ano de 2010), importantes volumes de escoamento superficial e produção de sedimentos foram observados. Além disso, destacou que a expansão de áreas urbanas também gera aumento de escoamento em épocas úmidas, devido à impermeabilização do solo.

Em seu trabalho Santos et al. (2021) investigou a dinâmica de escoamento superficial e de sedimentos a partir de cenários de uso da terra e de mudanças climáticas para uma bacia hidrográfica localizada na Zona da Mata de Pernambuco. Como resultado, obteve bom desempenho na modelagem da vazão e da produção de sedimentos, e destacou a grande potencialidade que o cenário mais acentuado de

mudanças climáticas apresenta em acentuar os processos erosivos, os quais podem implicar em redução da capacidade de retenção hídrica do reservatório presente na bacia, devido ao acúmulo de sedimento. Esta mesma vulnerabilidade pode ser considerada para a bacia do rio Sirinhaém, uma vez que ambas se localizam na mesma região do estado de Pernambuco, e estão sob regime climático idêntico, inclusive, com grandes semelhanças quanto às suas características de tipos de solo e uso do solo, uma vez que ambas apresentam a cultura da cana-de-açúcar e pastagem, como principais classes em termos de área.

A pesquisa desempenhada por Mauri et al. (2020) apontou para o bom desempenho do modelo SWAT realizar a simulação da dinâmica hidrossedimentológica em uma bacia hidrográfica do estado de Minas Gerais, e destacou a forte aumento na produção de sedimentos apresenta durante os períodos chuvosos, em regiões dominadas por pastagens e uso agrícola, tal como observado nesta pesquisa, e destacou que a classe de Argissolos apresenta especial relevância nessa dinâmica.

Em sua pesquisa, Pinto et al. (2013) destacou a eficiência do modelo SWAT em desempenhar o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica predominantemente ocupada por áreas de pastagens, e com presença de remanescentes de floresta atlântica, também no estado de Minas Gerais. Destacou a importância que a escala temporal de análise implica na compreensão da dinâmica do transporte de sedimentos, sugerindo que bacias hidrográficas que contenham um período curto de concentração, apresentam mais dificuldades em captar com eficiência os picos de descarga e conseqüentemente de produção de sedimentos. Concluiu ainda que, mesmo em bacias que apresentem poucos dados monitorados, a modelagem hidrológica se configura como uma relevante fonte de dados contínuos, que servem de apoio definição de práticas conservacionistas dos solos e recursos hídricos em geral, uma vez que especializa os componentes do ciclo hidrológico, assim como ajuda na determinação da definição de áreas críticas quanto aos processos erosivos. De modo semelhante, foi-se observado o potencial que o modelo apresentou na definição destas áreas na bacia do rio Sirinhaém, onde foram indicadas as sub-bacias que mais contribuem com a dinâmica sedimentar, e que por esta razão, merecem especial atenção quanto à implementação de práticas mitigadores de erosão.

CONCLUSÕES

A partir deste estudo é possível atestar a importância metodológica que a modelagem hidrossedimentológica representa para a gestão dos recursos hídricos. Dentre estas metodologias, o SWAT se destaca como uma alternativa efetiva na modelagem dos elementos do ciclo hidrológico, e vem sendo aplicado com sucesso em diversas regiões do globo.

Se faz importante destacar a grande possibilidade analítica que esta metodologia apresenta, provendo dados especializados e distribuídos temporalmente de variáveis que por vezes, são de difícil obtenção por conta da escassez de informações provenientes de estações de monitoramento, ou mesmo, a capacidade de simulação de cenários futuros destas variáveis, ajudando a traçar estratégias que contribuam para a conservação dos recursos naturais, visando prover à sociedades futuras um ambiente tão equilibrado quanto possível.

Entender as dinâmicas sedimentológicas frente aos cenários e variabilidades climáticas é imperativo na busca do desenvolvimento sustentável, visando a efetivação de práticas de recuperação de áreas potencialmente degradadas, ou que apresentem susceptibilidade à deterioração da sua condição de sanidade ambiental, sobretudo em bacias hidrográficas controladas pelo uso agrícola e pastoril.

É possível concluir ainda, a forte ligação que as variáveis do ciclo hidrológico têm umas com as outras. Fica claro o controle que a precipitação exerce no escoamento superficial e na dinâmica de produção de sedimentos.

Sugere-se a ampliação dos estudos, inclusive com o refinamento da análise em escalas temporais menores (mensais e diárias), como forma de averiguar com mais precisão a dinâmica hidrossedimentológica da bacia do rio Sirinhaém.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, Y.; MANNAERTS, C. M.; MAKAU, W.. Modeling pesticide and sediment transport in the Malewa River Basin (Kenya) using SWAT. **Water**, v.11, n.1, 2019.
- ARNOLD, J. G.; MORIASI, D. N.; GASSMAN, P, W.; ABBASPOUR, K. C.; WHITE, M. J.; SRINIVASAN, R.; SANTHI, C.; HARMEL, R. D.; GRIENSVEN, A.; VAN LIEW, M. W.; KANNAN, N.; JHA, M. K.. SWAT: model use, calibration, and validation. **ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)**, v.55, n.4, p.1491-1508, 2012.
- AZARI, M.; OLIAYE, A.; NEARING, M. A.. Expected climate change impacts on rainfall erosivity over Iran based on CMIP5 climate models. **Journal of Hydrology**, v.593, p.125826, 2021.
- BAKER, T. J.; MILLER, S. N.. Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. **Journal of Hydrology**, v.486, p.100-111, 2013.
- BOULANGE, J.; WATANABE, H.; INAO, K.; IWAFFUNE, T.; ZHANG, M.; LOU, Y.; ARNOLD, J.. Development and validation of a basin scale model PCPF-1@SWAT for simulating fate and transport of rice pesticides. **Journal of Hydrology**, v.517, p.146-156, 2014.
- BRIGHENTI, T. M.; BONUMÁ, N. B.; GRISON, F.; MOTA, A.A.; KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P. L. B.. Two calibration methods for modeling streamflow and suspended sediment with the swat model. **Ecological Engineering**, v.127, p.103-113, 2019.
- BRITTO, F. B.; AGUIAR NETTO, A. O.; VASCO, A. N.; SILVA, M. G.. Swat model for in potential contamination a tributary of the rio São Francisco, Brazil. **Scientia Plena**, v.13, n.10, 2017.
- BUSSI, G.; DADSON, S. J.; PRUDHOMME, C.; WHITEHEAD, P. G.. Modelling the future impacts of climate and land-use change on suspended sediment transport in the River Thames (UK). **Journal of Hydrology**, v.542, p.357-372, 2016.
- CHAPLOT, V.; SALEH, A.; JAYNES, D. B.; ARNOLD, J.. Predicting water, sediment and no 3-n loads under scenarios of land-use and management practices in a flat watershed. **Water, Air, and Soil Pollution**, 2004.
- CHIU, M. C.; HUNT, L.; RESH, V. H.. Climate-change influences on the response of macroinvertebrate communities to pesticide contamination in the Sacramento River, California watershed. **Science of the Total Environment**, v.581-582, p.741-749, 2017.
- CHOUKRI, F.; RACLOT, D.; NAIMI, M.; CHIKHAOUI, M.; NUNES, J.; HUARD, F.; HÉRIVAUX, C.; SABIR, M.; PÉPIN, Y.. Distinct and combined impacts of climate and land use scenarios on water availability and sediment loads for a water supply reservoir in northern Morocco. **International Soil and Water Conservation Research**, v.8, n.2, p.141-153, 2020.
- CHUENCHUM, P.; XU, M.; TANG, W.. Predicted trends of soil erosion and sediment yield from future land use and climate change scenarios in the Lancang-Mekong River by using the modified RUSLE model. **International Soil and Water Conservation Research**, v.8, n.3, p.213-227, 2020.
- DEVI, G. K.; GANASRI, B. P.; DWARAKISH, G. S.. A Review on Hydrological Models. **Aquatic Procedia**, v.4, p.1001-1007, 2015.
- FICKLIN, D. L.; LUO, Y.; LUEDELING, E.; GATZKE, S. E.; ZHANG, M.. Sensitivity of agricultural runoff loads to rising levels of CO2 and climate change in the San Joaquin Valley watershed of California. **Environmental Pollution**, v.158, n.1, p.223-234, 2010.
- FICKLIN, D. L.; LUO, Y.; ZHANG, M.. Watershed modelling of hydrology and water quality in the Sacramento River watershed, California. **Hydrological Processes**, v.27, n.2, p.236-250, 2013.
- GALI, R. K.; CRRYER, S. A.; POLETIKA, N. N.; DANDE, P. K.. Modeling pesticide runoff from small watersheds through field-scale management practices: Minnesota watershed case study with chlorpyrifos. **Air, Soil and Water Research**, v.9, p.113-122, 2016.
- GASSMAN, P. W.; REYES, M. R.; GREEN, C. H.; ARNOLD, J. G.. The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. **Transactions of the ASABE**, v.50, n.4, p.1211-1250, 2007.

- GWAPEDZA, D.; NYAMELA, N. HUGHES, D. A.; SLAUGHTER, A. R.; MANTEL, S. K.; WAAL, B.. Prediction of sediment yield of the Inxu River catchment (South Africa) using the MUSLE. **International Soil and Water Conservation Research**, v.9, n.1, p.37-48, 2021.
- HAMUDUDU, B. H.; NGOMA, H.. Impacts of climate change on water resources availability in Zambia: implications for irrigation development. **Environment, Development and Sustainability**, v.22, n.4, p.2817-2838, 2020.
- HERNANDES, T. A. D.; SCARPARE, F. V.; SEABRA, J. E. A.. Assessment of the recent land use change dynamics related to sugarcane expansion and the associated effects on water resources availability. **Journal of Cleaner Production Journal**, v.197, p.1328-1341, 2018.
- HOLLAWAY, M. J.; BEVEN, K. J.; BENSKIN, A. McW. H.; COLLINS, A. L.; EVANS, R.; FALLOON, P. D.; FORBER, K. J.; HISCOCK, K. M.; KAHANA, R.; MACLEOD, C. J. A.; OCKENDEN, M. C.; VILLAMIZAR, M. L.; WEARING, C.; WITHERS, P. J. A.; ZHOU, J. G.; BARBER, N. J.; HAYGARTH, P. M.. The challenges of modelling phosphorus in a headwater catchment: Applying a 'limits of acceptability' uncertainty framework to a water quality model. **Journal of Hydrology**, v.558, p.607-624, 2018.
- HOOMEHR, S.; SCHWARTZ, J. S.; YODER, D. C.. Potential changes in rainfall erosivity under GCM climate change scenarios for the southern Appalachian region, USA. **Catena**, v.136, p.141-151, 2016.
- HUA, L.; LI, W.; ZHAI, L.; YEN, H.; LEI, Q.; LIU, H.; REN, T.; XIA, Y.; ZHANG, F.; FAN, X.. An innovative approach to identifying agricultural pollution sources and loads by using nutrient export coefficients in watershed modeling. **Journal of Hydrology**, v.571, p.322-331, 2019.
- KALANTARI, Z.; LYON, S. W.; JANSSON, P.; STOLTE, J.; FRENCH, H. K.; FOLKESON, L.; SASSNER, M.. Modeller subjectivity and calibration impacts on hydrological model applications : An event-based comparison for a road-adjacent catchment in south-east Norway. **Science of the Total Environment**, v.502, p.315-329, 2015.
- LI, Z.; FANG, H.. Impacts of climate change on water erosion: A review. **Earth-Science Reviews**, v.163, p.94-117, 2016.
- LIGARAY, M.; KIM, M.; BAEK, S.; RA, J.; CHUN, J. A.; PARK, Y.; BOITHIAS, L.; RIBOLZI, O.; CHON, K.; CHO, K. H.. Modeling the fate and transport of malathion in the Pagsanjan-Lumban basin, Philippines. **Water**, v.9, n.7, 2017.
- LLOVERAS, X. R.; BUYTAERT, W.; BENITO, G.. Land use can offset climate change induced increases in erosion in Mediterranean watersheds. **Catena**, v.143, p.244-255, 2016.
- LOVE, B. J.; EINHEUSER, M. D.; NEJADHASHEMI, A. P.. Effects on aquatic and human health due to large scale bioenergy crop expansion. **Science of the Total Environment**, v.409, n.17, p.3215-3229, 2011.
- LUCAS, E. W. M.; SOUSA, F. A. S.; SILVA, F. D. S.; LUCIO, P. S.. MODELAGEM HIDROLÓGICA DETERMINÍSTICA E ESTOCÁSTICA APLICADA À REGIÃO HIDROGRÁFICA DO XINGU - PARÁ Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Brasília - DF Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas , Centro de Tecnologia e Recursos Naturais , Universid. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.3, p.308-322, 2009.
- LUO, Y.; ZHANG, M.. Multimedia transport and risk assessment of organophosphate pesticides and a case study in the northern San Joaquin Valley of California. **Chemosphere**, v.75, n.7, p.969-978, 2009.
- MACHADO, R. E.. Simulação de Escoamento em uma Microbacia Hidrográfica Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.1, p.147-155, 2002.
- MAS, J. F.; KOL, M.; PAEGELOW, M.; OLMEDO, M. T. C.; HOUET, T.. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. **Environmental Modelling and Software**, v.51, p.94-111, 2014.
- MAURI, E. N. E.; VIOLA, M. R.; NORTON, L. D.; OWENS, P. R.; MELLO, C. R.; PINTO, L. C.; CURI, N.. Hydrosedimentological modeling in a headwater basin in Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.44, p.1-20, 2020.
- MEDEIROS, I. C.; COSTA SILVA, J. F. C. B.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.. Run - off - erosion modelling and water balance in the Epitácio Pessoa Dam river basin, Paraíba State in Brazil. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v.16, n.7, p.3035-3048, 2019.
- MEHDI, B.; LEHNER, B.; GOMBAULT, C.; MICHAUD, A.; BEAUDIN, I.; SOTTILE, M. F.; BLONDLOT, A.. Simulated impacts of climate change and agricultural land use change on surface water quality with and without adaptation management strategies. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.213, p.47-60, 2015.
- MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; PINTO, L. C.; BESKOW, S.; CURI, N.. **Agricultural watershed modeling**: A review for hydrology and soil erosion processes *Ciencia e Agrotecnologia*. Federal University of Lavras, 2016.
- MUTTIAH, R. S.; WURBS, R. A.. Scale-dependent soil and climate variability effects on watershed water balance of the SWAT model. **Journal of Hydrology**, v.256, n.3-4, p.264-285, 2002.
- NEITSCH, P. S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R. ; WILLIAMS, J. R.. **Soil and Water Assessment Tool "SWAT"**: Ferramentas de Avaliação de Solo & Água. Documentação Teórica Versão 2009. College Station: Instituto de Recurso Hídricos do Texas, 2011a.
- NEITSCH, P. S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R.. **Soil & Water Assessment Tool Theoretical**. Documentation Version 2009. Texas Water Resources Institute, 2011b.
- NERANTZAKI, S. D.; GIANNAKIS, G. V.; NIKOLAIDIS, N. P.; ZACHARIAS, I.; KARATZAS, G. P.; SIBETHEROS, I. A.. Assessing the Impact of Climate Change on Sediment Loads in a Large Mediterranean Watershed. **Soil Science**, v.181, n.7, p.306-314, 2016.
- PERRIN, J.; FERRAMT, S.; MASSUEL, S.; DEWANDEL, B.; MARÉCHAL, J. C.; AULONG, S.; AHMED, S.. Assessing water

availability in a semi-arid watershed of southern India using a semi-distributed model. **Journal of Hydrology**, v.460-461, p.143-155, 2012.

PEZET, F.; DORIOZ, J.; QUENTIN, P.; LAFFORGUE, M.; TREVISAN, D.. Using SWAT-VSA to Predict Diffuse Phosphorus Pollution in an Agricultural Catchment with Several Aquifers. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.19, n.12, 2014.

PINTO, D. B. F.; SILVA, A. M.; BESKOW, S.; MELLO, C. R.; COELHO, G.. Application of the soil and water assessment tool (SWAT) for sediment transport simulation at a headwater watershed in minas gerais state, Brazil. **Transactions of the ASABE**, v.56, n.2, p.697-709, 2013.

POEPL, R. E.; DILLY, L. A.; HASELBERGER, S.; RENSCHLER, C. S.; BAARTMAN, J. E. M.. Combining Soil Erosion Modeling with Connectivity Analyses to Assess Lateral Fine Sediment Input into Agricultural Streams. **Water**, v.11, n.9, 2019.

RENAUD, F. G.; BELLAMY, P. H.; BROWN, C. D.. Simulating pesticides in ditches to assess ecological risk (SPIDER): I. Model description. **Science of the Total Environment**, v.394, n.1, p.112-123, 2008.

RENN, C. D.; SOARES, V.. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental**. 2000.

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**, v.596-597, p.437-450, 2017.

SANTOS, F. M.; OLIVEIRA, R. P.; MAUAD, F. F.. Evaluating a parsimonious watershed model versus SWAT to estimate streamflow, soil loss and river contamination in two case studies in Tietê river basin, São Paulo, Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.29, p.100685, 2020.

SANTOS, J. Y. G.; MONTENEGRO, S. N. G.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; QUINN, N. W.; DANTAS, A. P.; NETO, A. R.. Modeling the impacts of future LULC and climate change on runoff and sediment yield in a strategic basin in the Caatinga / Atlantic forest ecotone of Brazil. **Catena**, v.203, 2021.

SHRESTHA, M. K.; RECKNAGEL, F.; FRIZENSCHAF, J.; MEYER, W.. Future climate and land uses effects on flow and nutrient loads of a Mediterranean catchment in South Australia. **Science of the Total Environment**, v.590-591, p.186-193, 2017.

TONG, S. T. Y.; NARAMNGAM, S.. Modeling the impacts of farming practices on water quality in the Little Miami River basin. **Environmental Management**, v.39, n.6, p.853-866, 2007.

TROLLE, D.; NIELSON, A.; ANDERSEN, H. E.; THODSEN, H.; OLESEN, J. E.; BORGESEN, C. D.; REFSGAARD, J. C.; SONNEENBORG, T. O.; KARLSON, I. B.; CHRISTENSEN, J. P.; MARKAGER, S.; JEPPESEN, E.. Effects of changes in land use and climate on aquatic ecosystems : Coupling of models and decomposition of uncertainties. **Science of the Total Environment**, v.657, p.627-633, 2019.

TUO, Y.; DUAN, Z.; DISSE, M.; CHIOGNA, G.. Evaluation of precipitation input for SWAT modeling in Alpine catchment: A case study in the Adige river basin (Italy). **Science of the Total Environment**, v.573, p.66-82, 2016.

VERNIER, F.; LECCIA-PHELPI, O.; LESCOT, J.; MINETTE, S.; MIRALLES, A.; BARBERIS, D.; SCORDIA, C.; KUENTZ-SIMONET, V.; TONNEAU, A.. Integrated modeling of agricultural scenarios (IMAS) to support pesticide action plans: the case of the Coulange drinking water catchment area (SW France). **Environmental Science and Pollution Research**, v.24, n.8, p.6923-6950, 2017.

VIDAL, T. F.; CAPELO NETO, J.. Dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservatório na região semiárida utilizando balanço de massa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.4, p.402-407, 2014.

VIGIAK, O.; MALAGÓ, A.; BOURAOURI, F.; VANMAERCKE, M.; POESEN, J.. Adapting SWAT hillslope erosion model to predict sediment concentrations and yields in large Basins. **Science of the Total Environment**, v.538, p.855-875, 2015.

WANG, Y.; JIANG, R.; XIE, Z.; ZHAO, Y.; LI, F.. Water resources management under changing environment: A systematic review. **Journal of Coastal Research**, v.104, n.sp1, p.29-41, 2020.

WILLIAMS, J. R.. **Sediment: yield prediction with universal equation using runoff energy factor**. Oxford: Proceedings of the sediment Yield Workshop, USDA Sedimentation Laboratory, 1975.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D.. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978.

ZHANG, J.; GAO, G.; FU, B.; GUPTA, H. V.. Investigation of the relationship between precipitation extremes and sediment discharge production under extensive land cover change in the Chinese Loess Plateau. **Geomorphology**, v.361, p.107176, 2020.

ZHOU, J.; LIU, Y.; GOU, H.; HE, H.. Combining the SWAT model with sequential uncertainty fitting algorithm for stream flow prediction and uncertainty analysis for the Lake Dianchi Basin, China. **Hydrological Processes**, v.533, p.521-533, 2014.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). 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 ou digitais sob coordenação 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.