

# EFEITO DA RESOLUÇÃO DOS MAPAS DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA RESPOSTA HIDROLÓGICA NA BACIA DO RIO UNA/PE UTILIZANDO MODELO SWAT

## EFFECT OF LAND USE/COVER MAPS RESOLUTION ON THE UNA/PE RIVER BASIN HYDROLOGICAL RESPONSE USING SWAT MODEL

**Gabriel Vasco**

E-mail: [gv@discente.ifpe.edu.br](mailto:gv@discente.ifpe.edu.br)

**Ioná Ma. Beltrão Rameh Barbosa**

E-mail: [ionarameh@recife.ifpe.edu.br](mailto:ionarameh@recife.ifpe.edu.br)

---

### RESUMO

Vários estudos têm discutido amplamente os efeitos das mudanças de uso e ocupação da terra no regime hidrológico. A aplicação de modelos hidrológicos para descrever esse tipo de processo, com maior flexibilidade, rigor e menor custo, tem se tornado promissor para a tomada de decisões. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das incertezas dos mapas de uso e ocupação da terra sobre o regime hidrológico da bacia do rio Una. Neste trabalho foi adotado o modelo SWAT para simulação hidrológica, comparando os mapas das mudanças de uso e ocupação da terra do IBGE e do MapBiomas. Primeiramente, foi feito um trabalho cuidadoso na construção do banco de dados, contendo arquivos geoespaciais e dados tabulares sobre as condições climáticas da região de estudo por um período de 55 anos (1961-2016). Os resultados obtidos evidenciaram a viabilidade de estudos hidrológicos com recurso a modelagem computacional. A generalidade das classes de uso e ocupação da terra apresentadas no dado do IBGE, faz com que este seja menos sensível (quando comparado ao dado do MapBiomas) às influências das mudanças de uso e ocupação da terra no regime hidrológico.

Palavras-chave: hidrologia; uso e ocupação da terra; incertezas; balanço hídrico; modelo SWAT.

### ABSTRACT

Several studies have extensively discussed the effects of land use/cover changes on the hydrological regime. The application of hydrological models to describe this type of process, with greater flexibility, rigor, and lower cost, has become promising for decision making. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of land use/cover maps uncertainties on the Una River basin hydrological regime. In this work, the SWAT model was adopted for hydrological simulation, comparing IBGE and MapBiomas land use/cover changes maps. Firstly, careful work was done on database building, containing geospatial files and tabular data on the climatic conditions of the study region for 55 years period (1961-2016). The results obtained showed the feasibility of hydrological studies using computational modeling. The generalities presented in the IBGE data makes it less sensitive (when compared to the MapBiomas data) to the influences of land use/cover changes in the hydrological regime.

Keywords: hydrology; land use/cover; uncertainties. water balance; SWAT model.

## 1 INTRODUÇÃO

A hidrologia de uma bacia hidrográfica é suscetível às mudanças naturais, bem como às atividades antrópicas, como práticas agrícolas, geração de energia, abastecimento de água para indústria e consumo, manejo da flora e fauna.

A modificação na taxa de escoamento superficial é apontada como uma das principais consequências da ação antrópica sobre o uso e ocupação da terra, que segundo Tucci (2002), pode impactar ao nível de bacia hidrográfica, os processos hidrológicos, tais como, redução ou aumento dos níveis de vazão média, máxima e mínima, e conseqüentemente, na erosão do solo que altera a quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

Dado ao fato das mudanças de uso e ocupação da terra não ocorrerem em toda extensão da bacia hidrográfica de forma linear, esses estudos tornam-se possíveis por meio do uso de modelos hidrológicos distribuídos de base física ou empíricos (BAYER; COLLISCHONN, 2013), os quais buscam representar matematicamente, avaliar e compreender o comportamento dos processos hidrológicos superficiais e subsuperficiais (TUCCI, 1998), fornecendo suporte aos pesquisadores e órgãos gestores de recursos hídricos à implementação de práticas conservacionistas e sustentáveis na bacia hidrográfica (FAN *et al.*, 2021).

Para auxiliar o planejamento e gestão de recursos hídricos, diversos modelos hidrológicos de base física vêm sendo desenvolvidos, com destaque para o SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) (ARNOLD *et al.*, 1998), que tem sido considerado uma ferramenta computacionalmente eficiente para simulação de grandes bacias hidrográficas (LI *et al.*, 2014; BRESSIANI *et al.*, 2015; QIN *et al.* 2018; ANDRADE *et al.*, 2018). Este modelo também é considerado vantajoso por Fan *et al.* (2021), pela sua capacidade em ser executado em várias plataformas de sistema de informações geográficas (SIG), com facilidade de aquisição das suas entradas que incluem arquivos geoespaciais e dados tabulares referentes às condições climáticas da região de estudo.

Requeridos pelos modelos hidrológicos, os dados de entrada, como Modelo Digital de Elevação (DEM), uso e cobertura da terra e solos, estão frequentemente disponíveis em diferentes resoluções e podem ser obtidos de diferentes fontes, sendo que estas últimas fornecem algumas informações distintas (detalhamento das classes

de uso e ocupação da terra, por exemplo), embora possuam a mesma resolução (SHARMA; TIWARI, 2014).

Um conjunto de dados de entrada confiável de alta qualidade é um dos pré-requisitos para produzir uma resposta confiável (WANG *et al.*, 2015; BEVEN, 2016), reduzindo as fontes de incertezas que podem se propagar por meio de modelos matemáticos e diminuir a precisão e a confiabilidade de suas previsões (CASTILLA; HAY, 2007). Portanto, uma avaliação sólida dessas incertezas, se incorporada na tomada de decisão, aumentaria a legitimidade das decisões políticas com base nessas previsões e, então, promoveria uma maior aceitação por parte dos interessados.

Embora estudos extensos tenham sido dedicados aos impactos das mudanças de uso e ocupação da terra nos recursos hídricos em diferentes regiões ao redor do mundo (KUNDU; KHARE; MONDAL, 2017; GASHAW *et al.*, 2018; ZHUANG *et al.*, 2018), alguns trabalhos relatam escassez de estudos que avaliam os efeitos das incertezas sobre os vários dados de entrada (BAYER, 2014; FARIAS, 2021), dentre eles os mapas de uso e ocupação da terra para avaliar o regime hidrológico de uma bacia hidrográfica (COTTER *et al.*, 2003). O uso e ocupação da terra é considerado uma variável importante que influencia os processos hidrológicos, ao afetar os volumes de escoamento superficial e a velocidade de fluxo que, por sua vez, impactam a infiltração e a erosão do solo (CASTILLA; HAY, 2007).

Diante do exposto, surge a seguinte pergunta condutora desta pesquisa: *Qual é o efeito da resolução dos mapas de uso e ocupação da terra no regime hidrológico da bacia do rio Una/PE?*

O presente estudo objetivou compreender os efeitos da resolução dos mapas de uso e ocupação da terra obtidos pelo MapBiomas e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), avaliados em termos de regime hidrológico da bacia do rio Una utilizando o modelo SWAT.

## **2 ASPECTOS IMPORTANTES A SEREM CONSIDERADOS**

### **2.1 BALANÇO HÍDRICO**

Em hidrologia, balanço hídrico é um sistema contábil de monitoramento quantitativo de água que entra e sai de uma certa porção de solo em um determinado

espaço de tempo (TUCCI, 1997), considerado por Pereira *et al.* (1997) como resultado da aplicação do princípio da conservação de massa para a água em um determinado volume de solo, permitindo observar a dinâmica da água a partir do armazenamento, deficiência e excedentes hídricos (CAMARGO; CAMARGO, 2000).

Trata-se de um método eficiente para quantificar o potencial hídrico de uma região, pois considera a interação entre os fatores edáficos (que interferem no armazenamento de água no solo) e climáticos (representada pela precipitação pluvial e evapotranspiração) (MOSTER *et al.*, 2003).

É também considerado como ferramenta utilizada em diversas áreas de conhecimento, tais como florestal (MOSTER *et al.*, 2003), hidrológica (TUCCI, 1997), e agrícola (CINTRA *et al.*, 2000; PEREIRA *et al.*, 1997).

Na atividade de exploração florestal, a contabilidade hídrica ou o balanço hídrico é aplicado para fins de práticas de manejo do solo e para zoneamento de espécies. É considerado teoricamente preciso para estimativa da evapotranspiração de lagos ou represas, relacionando as dimensões do reservatório, vazão e precipitação pluvial em uma equação de continuidade.

Na atividade agrícola, algumas práticas estão diretamente relacionadas com o balanço hídrico. Entre elas pode-se mencionar o manejo e mobilização do solo, irrigação, práticas fitossanitárias, colheita, entre outros (PEREIRA *et al.*, 1997; TUCCI 1997).

Além da atividade agrícola, a exploração florestal também utiliza a contabilidade hídrica, especialmente nas práticas de manejo do solo e para zoneamento de espécies. Em estudos de hidrologia, o balanço hídrico é um indicador da influência do uso do solo sobre o funcionamento hidrológico de uma bacia hidrográfica (CÂMARA, 1999), visando estimar a evaporação com base em dados de precipitação, evaporação e escoamento superficial (TUCCI, 1997).

### **2.1.1 Componentes do balanço hídrico**

O balanço hídrico contabiliza entradas e saídas de água num dado volume de solo vegetado. A entrada da água no sistema pode ser subdividida em irrigação ( $I$ ), precipitação pluvial ou chuva ( $P$ ), orvalho ( $O$ ), ascensão capilar ( $AC$ ), escoamento superficial ( $ES_E$ ) e drenagem lateral ( $DL_E$ ). A saída, por sua vez, ocorre por evapotranspiração ( $ET$ ), drenagem lateral ( $DL_S$ ) e profunda ( $DP$ ),

e escoamento superficial ( $ES_S$ ) (PEREIRA *et al*, 1997). O balanço hídrico segue o princípio de conservação de massa, assim, o somatório de todas as suas componentes deverá ser nulo.

$$I + P + O + AC + ES_E + DL_E - ET - DL_S - DP - ES_S = \pm ARM$$

Em sistemas agrícolas, uma componente do balanço hídrico deve ser considerada na contabilidade quando interferir no armazenamento ( $ARM$ ) da água no solo, ou ainda, quando puder ser aproveitada pelas plantas (OMETTO, 1981). Assim, pode-se encontrar na literatura a relação das seguintes afirmações a respeito de alguns componentes do balanço hídrico:

- (a) O orvalho, por exemplo, representa uma contribuição pequena, com um máximo de 0,5 mm/dia em locais úmidos;
- (b) O escoamento superficial de entrada ( $ES_E$ ) e de saída ( $ES_S$ ), bem como a drenagem lateral de entrada ( $DL_E$ ) e de saída ( $DL_S$ ), geralmente tendem a se anular (PEREIRA *et al.*, 1997);
- (c) Como a variação de armazenamento de água ocorre na camada onde se encontra aproximadamente 80% do sistema radicular da planta (profundidade efetiva) em questão, a drenagem profunda é contabilizada como excesso (OMETTO, 1981);
- (d) A ascensão capilar pode ser desprezível em solos profundos (PEREIRA *et al.*, 1997);

A chuva e a evapotranspiração são as componentes de entrada e saída mais importantes de água do solo. A irrigação representa uma prática de manejo que pode ser adotada ou suprimida do sistema conforme a necessidade e não é considerada uma componente de natureza climática.

## 2.2 MUDANÇAS DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

As mudanças no uso e ocupação da terra para o desenvolvimento de atividades industriais, intensificação das práticas agrícolas, pastagem e mineração, sem qualquer planejamento, podem ser vistas como causas primárias para impulsionar as transformações dos sistemas rurais e trazer efeitos socioeconômicos e ambientais diretos sobre a sustentabilidade rural (LONG; QU, 2018).

No entanto, o conhecimento das mudanças de uso e ocupação da terra tem uma importância estratégica para qualquer país por fornecer as informações espaciais para melhor compreensão da dinâmica espaço-temporal da paisagem, mudanças e interações entre atividades antrópicas e fenômenos naturais (KARAKUS; CERIT; e KAVAK, 2015). Estas informações auxiliam na definição das políticas de gerenciamento de recursos naturais (MARENCO *et al.*, 2018; ARMENTERAS *et al.*, 2019), gerenciamento das práticas agrícolas e processos de urbanização, monitoramento de habitats e serviços ecossistêmicos (MACEDO *et al.*, 2018), e auxílio no manejo da salinidade das águas (SINGH, 2018). Adicionalmente, estas informações permitem melhor entendimento do balanço hídrico do solo (VIOLA *et al.*, 2014), que é diretamente afetado pelas mudanças no uso e ocupação da terra, através de processos como escoamento superficial, descarga e ocorrência de vazões baixas (GUZHA *et al.*, 2018).

### **2.2.1 Efeito das mudanças de uso e ocupação da terra no regime hidrológico**

Muitos processos hidrológicos que compõem o balanço hídrico, que é fortemente alterado pelas mudanças de uso e ocupação da terra, estão fortemente relacionados com a vegetação. Extensos trabalhos envolvendo simulação numérica têm indicado que desmatamentos de grande escala para o desenvolvimento agrícola, urbanização, causariam reduções na precipitação (SPRACKLEN *et al.*, 2012).

As mudanças de uso e ocupação da terra têm efeitos diretos nas características hidrológicas e ecológicas da bacia hidrográfica (VIOLA *et al.*, 2014). Estas alteram o balanço hídrico do solo, com reflexos tanto em camadas superficiais quanto sub-superficiais (KUNDU *et al.*, 2017), podendo reduzir a disponibilidade dos volumes de água nos mananciais pelo assoreamento (APARECIDO *et al.*, 2018), além de contribuírem para as mudanças climáticas (aumento da temperatura por atividades antrópicas, má distribuição espaço-temporal da precipitação, ocorrência de eventos climáticos extremos como inundações e secas) (SOARES *et al.*, 2012), os quais não são apenas os principais moduladores da segurança hídrica, mas também, afetam a média e a variabilidade dos sistemas hidroclimáticos, causando uma série de impactos socioeconômicos e ambientais (GESUALDO *et al.*, 2019).

Os processos como interceptação, evaporação e transpiração são fortemente influenciados pelo tipo de cobertura da terra. Na interceptação ocorre significativa

influência da vegetação, pois parte da água da chuva fica retida nas folhas, nos caules e nos troncos das árvores. Esses passam a funcionar como superfícies evaporativas, permitindo à água retornar a atmosfera por evaporação. No processo de evaporação, a água líquida é convertida em vapor e transferida para a atmosfera. Este processo depende de características climáticas, como radiação solar, temperatura e umidade do ar e velocidade do vento.

A evaporação ocorre em locais chamados de superfícies evaporativas, como lagos, rios, pavimentos, solos e vegetação úmida. Além dos fatores climáticos, quando a superfície de evaporação está na altura do solo, o grau de sombreamento das copas da vegetação e a quantidade de água disponível afetam a taxa de evaporação.

Segundo Allen *et al.* (1998), quando o solo está bem suprido de água, o processo de evaporação é determinado por condições meteorológicas, no entanto se o fornecimento for escasso e a habilidade do solo de conduzir umidade para a superfície é reduzida, a água contida na superfície do solo seca. Sendo assim, nessas condições, a disponibilidade limitada de água passa a controlar o processo de evaporação.

O processo de transpiração, dentre as parcelas do balanço hídrico, é o que está mais diretamente associado à vegetação. A transpiração consiste na vaporização da água líquida contida no tecido das plantas e sua remoção para a atmosfera. A água, juntamente com nutrientes, é conduzida pelas raízes e transportada pela planta.

A sua vaporização ocorre nas folhas e é controlada pela abertura dos estômatos (ALLEN *et al.*, 1998). De acordo com Allen *et al.* (1998) quase toda a água conduzida pelas raízes é perdida por transpiração e somente uma fração mínima é usada pela planta.

A taxa de transpiração é influenciada por características como o conteúdo de água no solo e sua capacidade de conduzir água para as raízes das plantas, as características das plantas, os aspectos ambientais e as práticas de cultivo (Allen *et al.*, 1998), quando houver. Além disso, a transpiração também depende de fatores climáticos, que por sua vez são influenciados pela vegetação. As florestas absorvem uma maior radiação de onda curta e refletem menos que vegetações de baixo porte ou solo, logo a retirada destas provoca um aumento do albedo, além de produzir maiores flutuações de temperatura e déficit de tensão de vapor das superfícies em áreas desmatadas (TUCCI, 1997).

Normalmente os processos de evaporação e de transpiração são considerados simultâneos e de difícil separação, por isso ambos são unidos em um processo chamado de evapotranspiração. O fracionamento da evapotranspiração, segundo Allen *et al.* (1998), em evaporação e transpiração depende da quantidade de radiação solar que atinge o solo.

Essa quantidade diminui com o crescimento da vegetação. Quando a vegetação é pequena, a água é predominantemente perdida por evaporação, mas quando a planta está grande e bem desenvolvida, cobrindo a superfície do solo, a perda passa a ser principalmente devido a transpiração.

Essa diferença ocorre, não apenas em relação à idade da planta, mas também em relação a espécies com tamanhos diferentes, uma vez que em regiões florestadas a perda de água do solo por evaporação é menor, pois a vegetação isola a superfície do solo da ação da radiação e do vento (HEWLETT, 1982).

Outro ponto importante a ser considerado no balanço hídrico é que a transpiração em florestas, em geral, é maior do que em vegetações menores, pois seu sistema de raízes é mais profundo e, conseqüentemente tem um maior acesso à água que está no solo (SPRACKLEN *et al.*, 2012).

## 2.3 MODELAGEM MATEMÁTICA

Os diferentes processos hidrológicos ao nível de uma bacia hidrográfica são complexos. Dado o elevado interesse para a compreensão da sua dinâmica acoplado às dificuldades analíticas em função da sua complexidade, vários pesquisadores e agentes de governo têm recorrido às ferramentas de modelagem (McINTYRE *et al.*, 2014), com os quais é possível simplificar a realidade para isolar as variáveis mais relevantes e tentar prever o fenômeno de interesse em escala local, regional, continental ou até em escala global (SIQUEIRA *et al.*, 2018).

Especificamente, os modelos hidrológicos permitem obter informações que normalmente não estão disponíveis, dada dificuldade técnica e elevados custos de medição *in situ* de dados, especialmente no caso de um monitoramento contínuo em larga escala. Estes modelos estão em constante desenvolvimento devido ao aumento da capacidade computacional, à nova disponibilidade de dados de sensoriamento remoto (para alimentar essas ferramentas) e a sua integração aos sistemas de informação geográfica (ROUHOLAHNEJAD *et al.*, 2012; LOPES *et al.*, 2018), para



quantificar a disponibilidade hídrica sob condições climáticas atuais e futuras, visando subsidiar políticas de gestão integrada dos recursos naturais.

### 2.3.1 O modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

O SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) é um modelo computacional de base física, semi-conceitual, distribuído, contínuo no tempo ao simular longos períodos (>50 anos) e de domínio público desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (ARS – USDA) e pelo Serviço de Extensão da *Texas A&M AgriLife* dos Estados Unidos (ARNOLD *et al.*, 1998).

Ele integra módulos de qualidade e quantidade da água para estudar os impactos ambientais em um alto nível de discretização da bacia hidrográfica, se baseando na equação do balanço hídrico (Equação 1) (ARNOLD *et al.*, 1998), compreendendo estudos de evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial e subsuperficial (BRIGHENTI *et al.*, 2016) e transporte de poluentes.

Os poluentes modelados incluem formas inorgânicas e orgânicas de nitrogênio (N) e fósforo (P) (ARNOLD *et al.*, 2012), quantificação dos impactos das mudanças climáticas e repercussão no uso e ocupação do solo na recarga do aquífero (RAPOSO; DAFONTE; MOLINERO, 2013), e sua interação com o escoamento superficial (ZENG; CAI, 2014), avaliação de parâmetros do modelo com alteração de uso e ocupação da terra (ZHOU *et al.*, 2013), simulação da dinâmica espaço-temporal dos processos hidrológicos e sedimentológicos (ANDRADE; MELLO; BESKOW, 2013; BRESSIANI *et al.*, 2015).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (P - Q_s - ET - W_s - Q_{gw}) \quad (1)$$

onde:  $SW_0$  e  $SW_t$  correspondem ao conteúdo inicial e final de água no solo no tempo  $t$  (mm);  $t$  é o tempo (dias);  $P$  é precipitação no tempo  $t$  (mm);  $Q_s$  representa o escoamento superficial no tempo  $t$  (mm);  $ET$  é a evapotranspiração real no tempo  $t$  (mm);  $W_s$  é a percolação no tempo  $t$  (mm);  $Q_{gw}$  representa o fluxo de base no tempo  $t$  (mm) (ARNOLD *et al.*, 1998; NEITSCH *et al.*, 2011).

No referido modelo, os processos hidrológicos como escoamento superficial, percolação, fluxo lateral sub-superficial, fluxo de aquífero raso e evapotranspiração, são algumas das sub-rotinas.

Para calcular o escoamento superficial, o modelo aplica dois métodos, nomeadamente: a fórmula modificada da SCS de curva número (USDA, Serviço de Conservação do Solo, 1972), e o método de infiltração de Green & Ampt (GREEN; AMPT, 1911), o qual necessita de dados de precipitação na base sub-diárias, e a infiltração é calculada como uma função do potencial matricial da frente de umidade do solo e da condutividade hidráulica efetiva, e assume a homogeneidade do perfil do solo onde se distribui de uma forma uniforme a umidade antecedente da área de estudo (ARNOLD *et al.*, 1995).

O método da Curva Número (CN) (Equação 2), modificada por Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005) para adequar às condições de solos brasileiros, com base na avaliação, revisão e reclassificação hidrológica dos solos proposta por Lombardi Neto *et al.* (1989), fornece uma base consistente para quantificar o escoamento superficial sob vários tipos e usos do solo, que segundo Magalhaes *et al.* (2018), considera a condutividade hidráulica, características físicas do solo (profundidade, textura, razão textural entre o horizonte subsuperficial e superficial) e a permeabilidade do solo.

Esta variável, por sua vez, é influenciada pela sua porosidade e a atividade da argila, bem como pelas práticas de manejo do solo na região, seja na agricultura, pecuária ou outras atividades (RALLISON; MILLER, 1982), onde o número de curvas não varia de forma linear com o teor de umidade do solo.

$$Q_{\text{sup}} = \frac{(R_d - I_a)^2}{(R_d - I_a + S)} \quad (2)$$

onde:  $Q_{\text{sup}}$  representa o escoamento superficial acumulado ou o excesso de precipitação (mm H<sub>2</sub>O),  $R_d$  corresponde à lamina precipitada para o dia (mm H<sub>2</sub>O),  $I_a$  é a abstração inicial a qual inclui o armazenamento superficial, a interceptação e a infiltração inicial para o escoamento (mm H<sub>2</sub>O), que corresponde a 20% do parâmetro de retenção de água no solo (S), podendo variar espacialmente devido a mudança no solo, uso do solo, manejo, declividade e temporalmente devido as mudanças do conteúdo de água do solo, podendo ser determinando a partir da equação 3.

$$S = 25.4 * \left( \frac{1000}{\text{CN}} - 10 \right) \quad (3)$$

onde: S é o parâmetro de retenção de água no solo; CN é uma função da permeabilidade do solo, uso do solo e condições antecedentes da água no solo, que

assumi a condição de umidade II, considerando valores tabelados pela Divisão de Engenharia de Serviço de Conservação do Solo (CRONSHEY, 1986).

Segundo Neitsch *et al.* (2011), o modelo SWAT tem a capacidade de determinar diariamente, o fator Curva Número, com uma variação numérica de 1 (representativo de um solo totalmente permeável) até 100 (totalmente impermeável, ou seja, um solo que converterá toda a precipitação em escoamento superficial e subsuperficial).

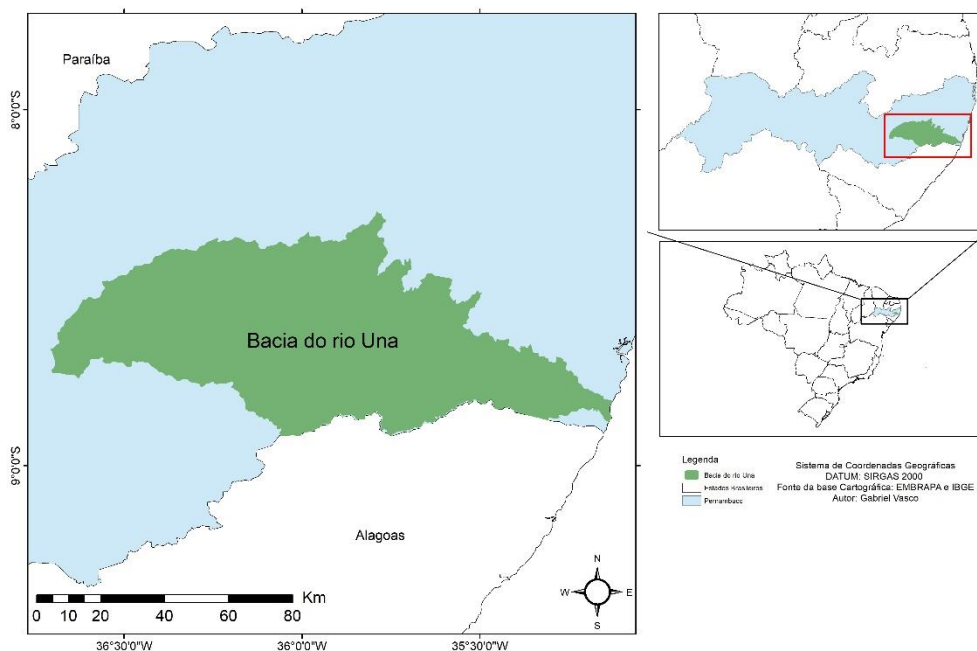
Segundo Britto *et al.* (2014), os resultados de simulação com SWAT, o qual combina fatores climáticos, topográficos, edáficos e de uso e ocupação do solo, são imprescindíveis para avaliar a variação das condições hidrológicas e podem ser aplicados eficientemente no desenvolvimento dos planos de gestão das bacias hidrográficas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Una, localizada no extremo oeste do Estado de Pernambuco, entre 8° 17' 14" e 8° 55' 28" 'de latitude sul e 35° 07' 48" e 36° 42' 10" de longitude oeste, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Mapa de Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Una/PE



Fonte: elaborado pelo autor (2021)

Com nascente no município de Capoeiras, o rio Una é considerado o principal curso de água numa extensão de 271 km, drenando uma área de aproximadamente 6.740,31 km<sup>2</sup> (sendo 477,53 km<sup>2</sup> localizados na porção Sul do Estado de Alagoas), num comprimento do curso d'água principal de aproximadamente 178,62 km.

Esta possui uma foz do lado esquerdo do Rio São Francisco na cidade de Lagoa Grande, apresentando regime intermitente até próximo à cidade de Altinho, onde se torna perene (TAVARES *et al.*, 2018). Ao longo do percurso da bacia do rio Una, encontram-se seis (6) reservatórios, com destaque para Brejo do Buraco, Caianinha, Gurjão, Pau Ferro, Poço da Areia e Prata (SOUZA *et al.*, 2004; MELO e GOLFARB, 2012).

À semelhança dos demais rios da Mata Sul, a bacia do rio Una é de grande importância para os 11 municípios totalmente inseridos nesta bacia, sendo passível de aproveitamento das suas águas para múltiplos usos, com destaque para abastecimento público, irrigação, uso industrial, irrigação com ênfase no cultivo da cana-de-açúcar, bem como atividades de lazer e pesca (MELO *et al.*, 2018), além de receber efluentes domésticos, industrial e agroindustrial.

Segundo dados do IBGE (2021), a bacia hidrográfica do rio Una é importante no Estado de Pernambuco pelo fato de cobrir cerca de 15% da população numa área de aproximadamente 7% (6 262,78 km<sup>2</sup>) do Estado, e cerca de 23% dos municípios do Estado de Pernambuco estão parcialmente inseridos nesta bacia (42 dos 185 existentes).

### 3.2 DADOS DE ENTRADA NO MODELO HIDROLÓGICO SWAT

Conforme sumarizado na Tabela 1, para a configuração do modelo, o SWAT necessita de três (3) arquivos diferentes, dentre eles: arquivos geoespaciais compostos pelo modelo digital de elevação (MDE), mapa de tipos de solo e mapa de uso e ocupação da terra da área de estudo, além dos dados tabulares referentes às condições climáticas da região de estudo, sendo eles caracterizados por informações de precipitação (mm), temperatura máxima e mínima (°C), radiação solar (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), velocidade do vento (m.s<sup>-1</sup>) e umidade relativa (%), vegetação e práticas de manejo que ocorrem na bacia hidrográfica, os quais são tratados e convertidos em informações por meio da interface *ArcSWAT*, para o processo de funcionamento do modelo SWAT.

O período de coleta dos dados dos postos pluviométricos, fluviométricos e das estações meteorológicas da bacia em estudo foi de 55 anos (1961 a 2016), a fim de representar maior variabilidade espaço-temporal dos processos hidrológicos (KENNARD *et al.*, 2010).

Tabela 1 – Dados de entrada no SWAT para modelagem da bacia do rio Una/PE

Tipo de dado	Descrição	Escala/ Resolução	Fonte
Relevo	Modelo Digital de Elevação (MDE)	Pixel com 30 m de resolução	INPE
Uso e ocupação da terra	Imagem de satélite Landsat 8, com pixel de 30m, com classes de uso e ocupação da terra	1: 100 000	MapBiomias
	Mapa vetorial com classes de uso e ocupação da terra		IBGE
Tipos de Solos	Mapa de solo do Brasil	1: 5.000.000	IBGE
Parâmetros do solo	Características físico-químicas de cada tipo de solo	-----	EMBRAPA
Dados climáticos (meteorológicos) - 55 anos	Temperaturas mínimas e máximas (°C), velocidade de vento (m.s <sup>-1</sup> ), umidade relativa (%), radiação solar (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	-----	APAC e INMET

Fonte: O autor (2021)

Os dados espaciais do relevo (Modelo Digital de Elevação), em formato de imagem com resolução espacial de 30 m, foram obtidos no banco de dados do projeto TOPODATA do INPE, que fornece produtos corrigidos da missão SRTM (em inglês: *Shuttle Radar Topography Mission*) da NASA, que visa mapear a topografia da superfície terrestre.

Seguidamente, foram confeccionados os mapas de uso e ocupação da terra para a bacia. Conforme citado na Tabela 1, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, com resolução espacial de 30m, obtidas do Projeto MapBiomias e também o mapa de uso e ocupação da terra, na escala 1:100 000, obtido junto ao IBGE, ambos do ano de 2014.

Os mapas de uso e ocupação da terra foram divididos em classes em função das informações contidas na base de dados do SWAT, que possui múltiplos tipos de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal (Tabela 2), e associadas às classes listadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE), os quais são disponibilizados na escala de 1: 100 000.

Tabela 2 – Associação/redefinição das classes de usos na bacia do rio Una/PE com as classes de usos do banco de dados do SWAT

Usos do solo no SWAT	Uso da terra redefinido
AGRL (Agriculture)	Agricultura
BARR (Barren)	Solo exposto/improdutivo
BSVG (Baren or Sparsly Vegetated)	Vegetação Esparsa ou Rala
CRDY (Dryland Cropland and Pasture)	Agricultura de sequeiro e pastagem
CRWO (Cropland/Woodland Mosaic)	Mosaico de Agricultura e Pastagem
FRST (Forest-Mixed)	Floresta
PAST (Pasture)	Pastagem
RNGB (Range Brush)	Vegetação Arbustiva
SPAS (Summer Pasture)	Pasto de verão
SUGC (Sugarcane)	Cana-de-açúcar
URBN (Residential)	Infraestrutura Urbana
WATR (Water)	Água

Fonte: O autor (2021)

Além disso, dados georreferenciados referentes às características físico-químicas (ou seja, parâmetros iniciais) de cada tipo de solo foram obtidos junto à EMBRAPA Solos, a saber: profundidade máxima do solo (SOL\_ZMX; mm), granulometria que inclui, argila (<0,002 mm; SOL\_CLAY; %), silte (>0,002 e <0,05 mm; SOL\_SILT; %), areia (> 0,05 e <2 mm; SOL\_SAND;%), pedra (>2 mm; SOL\_ROCK;% e carbono orgânico (SOL\_CBN;%).

As Tabela 3, 4, 5 e 6 apresentam a área e a porcentagem das classes de declividade, tipos de solo, tipos de uso e ocupação da terra e associação/redefinição das classes de usos do IBGE e do MapBiomias, respectivamente. Enquanto na Figura 2, estão apresentados os mapas de distribuição das classes de declividade, tipos de solos e tipos de uso e ocupação da terra na bacia.

Tabela 3 – Classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Una/PE

Classes de declividade	Área [hectare]	Área [%]
0 - 3	79418,4378	11,85
3 - 8	199778,4998	29,82
8 - 20	213893,8352	31,93
20 - 45	164720,2305	24,59
> 45	12118,7162	1,81

Fonte: O autor (2021)

Tabela 4 – Tipos de solos da bacia hidrográfica do rio Una/PE

Tipo de solo	Área [hectare]	Área [%]
Latossolo Amarelo	116988,8736	17,46
Argissolo Vermelho-Amarelo	250110,0248	37,33
Neossolo Litólico	22578,0565	3,37
Neossolo Regolítico	258113,7573	38,53
Planossolo Háplico	22139,0073	3,30

Fonte: O autor (2021)

Tabela 5 – Tipos de uso e ocupação da terra do IBGE para bacia hidrográfica do rio Una/PE

Tipo de uso da terra	Área [hectare]	Área [%]
Residencial → URBN	3336,1028	0,50
Agricultural Land-Generic → AGRL	40202,9096	6,00
Pasture → PAST	15940,5531	2,38
CROPLAND/WOODLAND MOSAIC → CRWO	554535,3230	82,78
Summer Pasture → SPAS	53779,2115	8,03
Water → WATR	2135,6196	0,32

Fonte: O autor (2021)

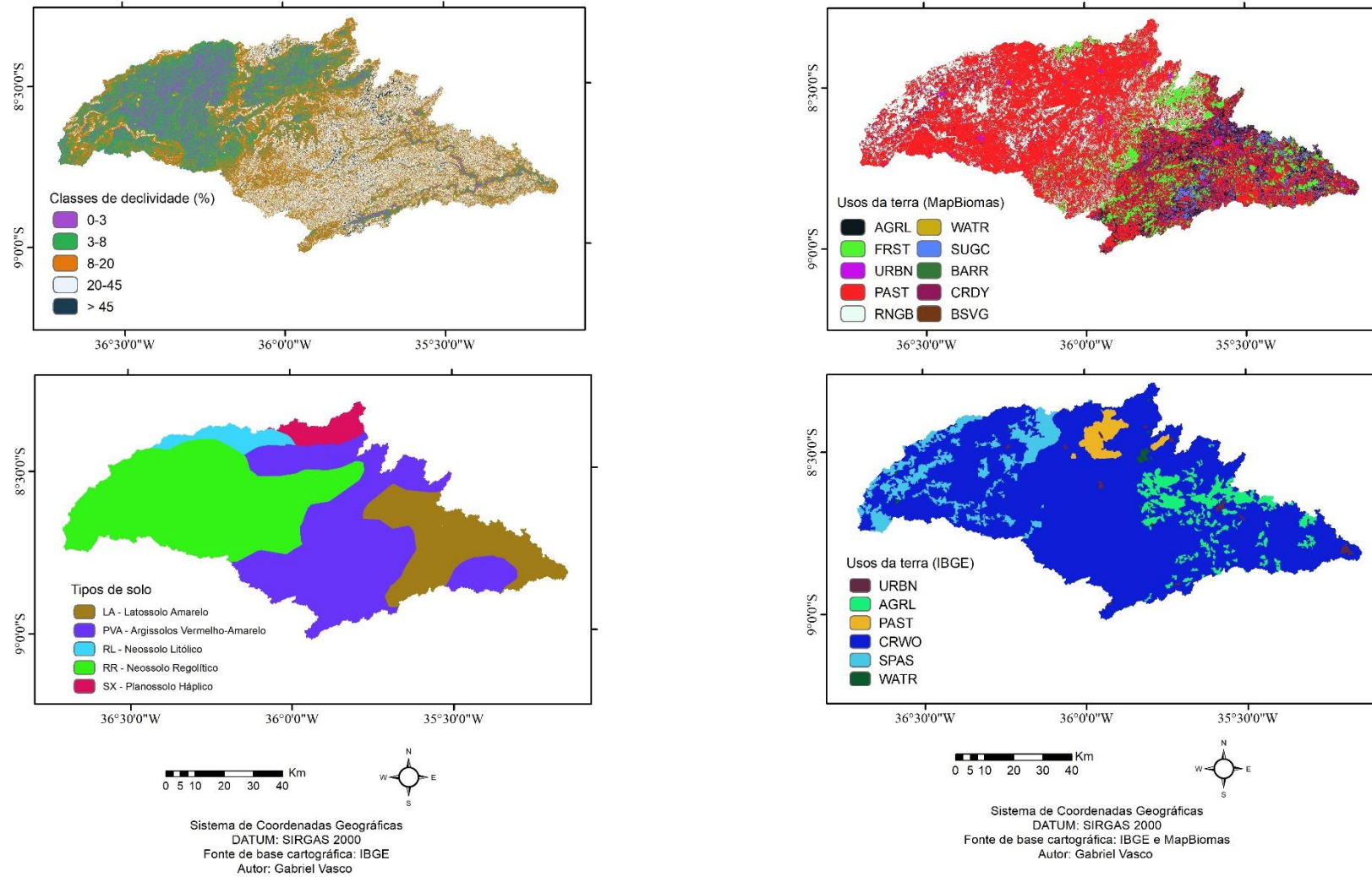
Tabela 6 – Tipos de uso e ocupação da terra do MapBiomas para bacia hidrográfica do rio Una/PE

Tipo de uso da terra	Área [hectare]	Área [%]
Agricultural Land-Generic → AGRL	19178,1067	2,86
Forest-Mixed → FRST	63327,2760	9,45
Residencial → URBN	3274,7505	0,49
Pasture → PAST	360689,4956	53,84
Range-Brush → RNGB	98659,8980	14,73
Water → WATR	1284,0749	0,19
Sugarcane → SUGC	15131,4733	2,26
Barren → BARR	65,9532	0,01
DRYLAND CROPLAND AND PASTURE → CRDY	108076,3514	16,13
BAREN OR SPARSLY VEGETATED → BSVG	242,3398	0,04

Fonte: O autor (2021)



Figura 2 – Mapa de distribuição das classes de declividade, tipos de solo e tipos de uso e ocupação da terra na bacia do rio Una/PE



Fonte: O autor (2021)

Os dados diários das variáveis meteorológicas utilizados para a modelagem hidrológica correspondentes à temperatura, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa do ar foram obtidos por meio de dois bancos de dados: (i) dados diários de precipitação foram obtidos da Agência Pernambucana e Águas e Clima (APAC), e (ii) dados meteorológicos tais como precipitação, radiação global, umidade relativa do ar ou temperatura do ponto de orvalho, temperatura média do ar, temperatura máxima e mínima do ar e velocidade do vento, através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

#### 4 RESULTADOS E ANÁLISE

Após a inserção dos dados de entrada para a configuração do modelo, o SWAT discretizou a bacia do Una em 48 sub-bacias, que foram divididas em 203 Unidades de Respostas Hidrológicas (HRUs) as quais computam homogeneamente os usos e tipos de solos, as características topográficas e condições climáticas da área de estudo, para gerar o balanço hídrico da bacia.

Na geração do balanço hídrico geral da bacia, o modelo calcula fluxos para cada HRU, e seguidamente, estes resultados são acumulados para gerar o balanço por cada sub-bacia, que por fim, estes são direcionados para a rede de drenagem até atingir a secção de controle (NEITSCH *et al.*, 2011).

A produtividade hídrica foi obtida pela determinação das componentes do ciclo hidrológico, que representam as entradas e perdas do sistema. A Tabela 7 apresenta os valores médios para cada componente do ciclo hidrológico para os dois mapas de uso e ocupação da terra considerados no presente estudo (MapBiomias e IBGE), obtidos a partir da simulação com SWAT.

Tabela 2 – Balanço hídrico na bacia hidrográfica do rio Una/PE

Variável hidrológica	Balanço hídrico da bacia do rio Una	
	Mapa do MapBiomias	Mapa do IBGE
Média da Curva Número (adimensional)	61,18	67,01
Potencial de evapotranspiração (mm)	1 752,4	1 7524,4
Evaporação e transpiração (mm)	416,9	444,3
Percolação para o aquífero raso (mm)	165,28	117,12
Escoamento superficial (mm)	71,65	102,79
Fluxo Lateral (mm)	223,64	213,22
Fluxo de Retorno (mm)	131,38	88,57

Fonte: O autor (2021)

Conforme a média do total precipitado na bacia, usando o mapa de uso e ocupação da terra do MapBiomias, observou-se que a evapotranspiração real apresentou menores valores (416.9 mm), conforme mostra a Tabela 7 e Figura 3. Este fato que contribuiu para o aumento da percolação e do fluxo de base, devido ao excesso de água que permaneceu no sistema. Estas observações podem ser explicadas pela influência do conteúdo de água no solo e sua capacidade de conduzir água para as raízes das plantas, pelas características, pelos aspectos ambientais, as práticas de cultivo e pelos fatores climáticos, que por sua vez são influenciados pela vegetação na área de estudo (ALLEN *et al.*, 1998).

Estes resultados corroboram com Martins e Rosa (2019), os quais constataram que áreas de silvicultura apresentam maiores taxas de evapotranspiração do que qualquer outro tipo de uso do solo, incluindo florestas naturais.

Já o escoamento superficial, considerando o mapa de uso e ocupação da terra do MapBiomias (71,65 mm), está relacionado com o valor médio da Curva Número (CN), que é característico de florestas e plantações, o que facilita a infiltração da água pelo solo e reduz o escoamento superficial, diferentemente do mapa de uso e ocupação do IBGE que apresentou percentual insignificante de florestas, vegetação arbustivas.

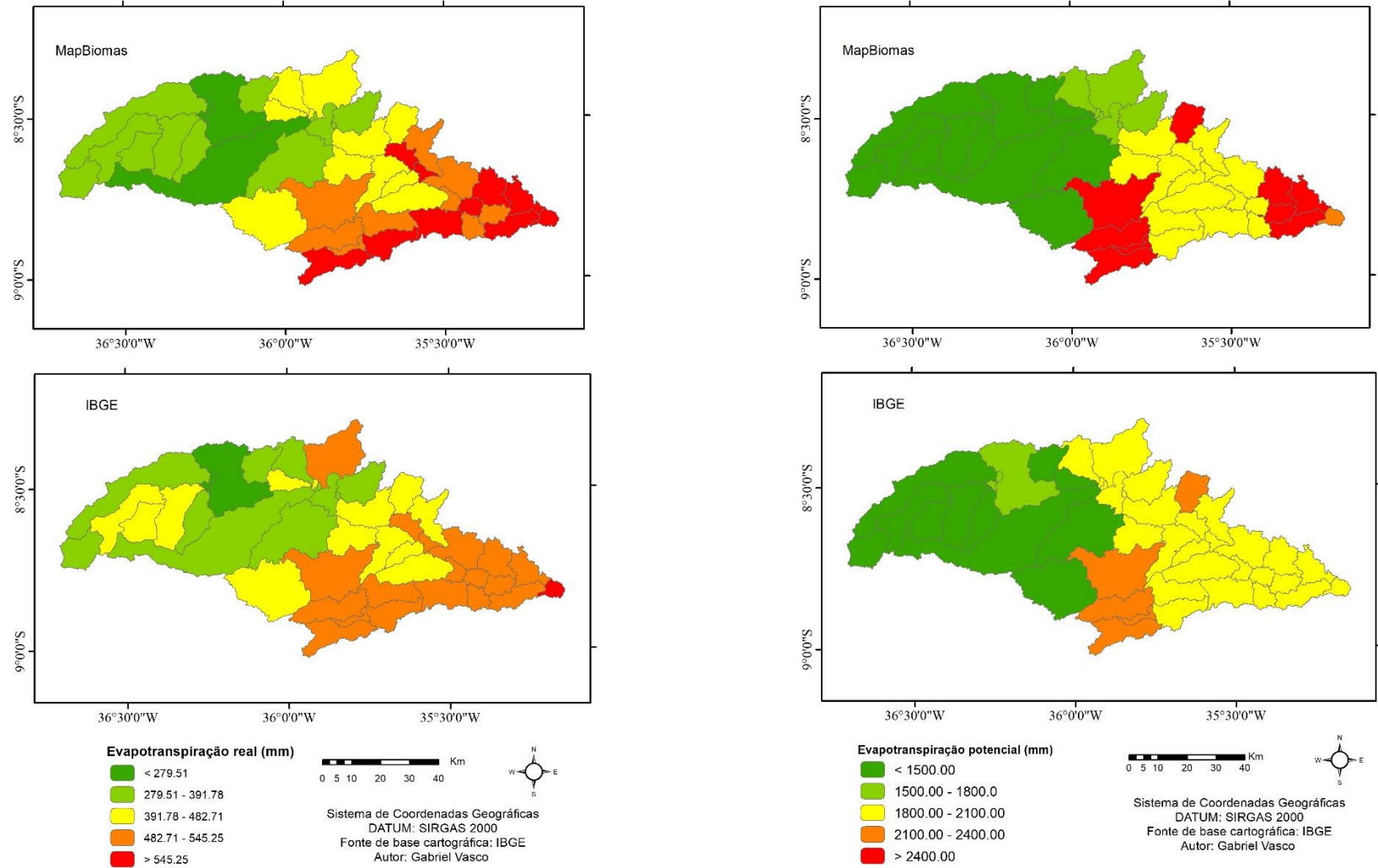
Estes resultados corroboram com os apresentados por Mishra *et al.* (2010) que aplicou o modelo *Variable Infiltration Capacity Model* (VIC) para avaliar o impacto das mudanças de uso da terra em Wisconsin, Estados Unidos. Os resultados mostraram incrementos do escoamento superficial e da vazão de base e reduções na evapotranspiração devido a conversão de florestas para uso agrícola.

Estudos similares desenvolvidos por Caram (2010) e Rodriguez (2011) detectaram que as mudanças de uso da terra têm influência sobre os processos de geração de escoamento, no sentido de incrementos na produção de água pela substituição de florestas por outros usos.

As contribuições estimadas do fluxo lateral e de retorno apresentaram menores valores para o mapa do uso e ocupação da terra do IBGE, com valores correspondentes a 213,22 mm e 88,57 mm, respectivamente, conforme a Tabela 7.

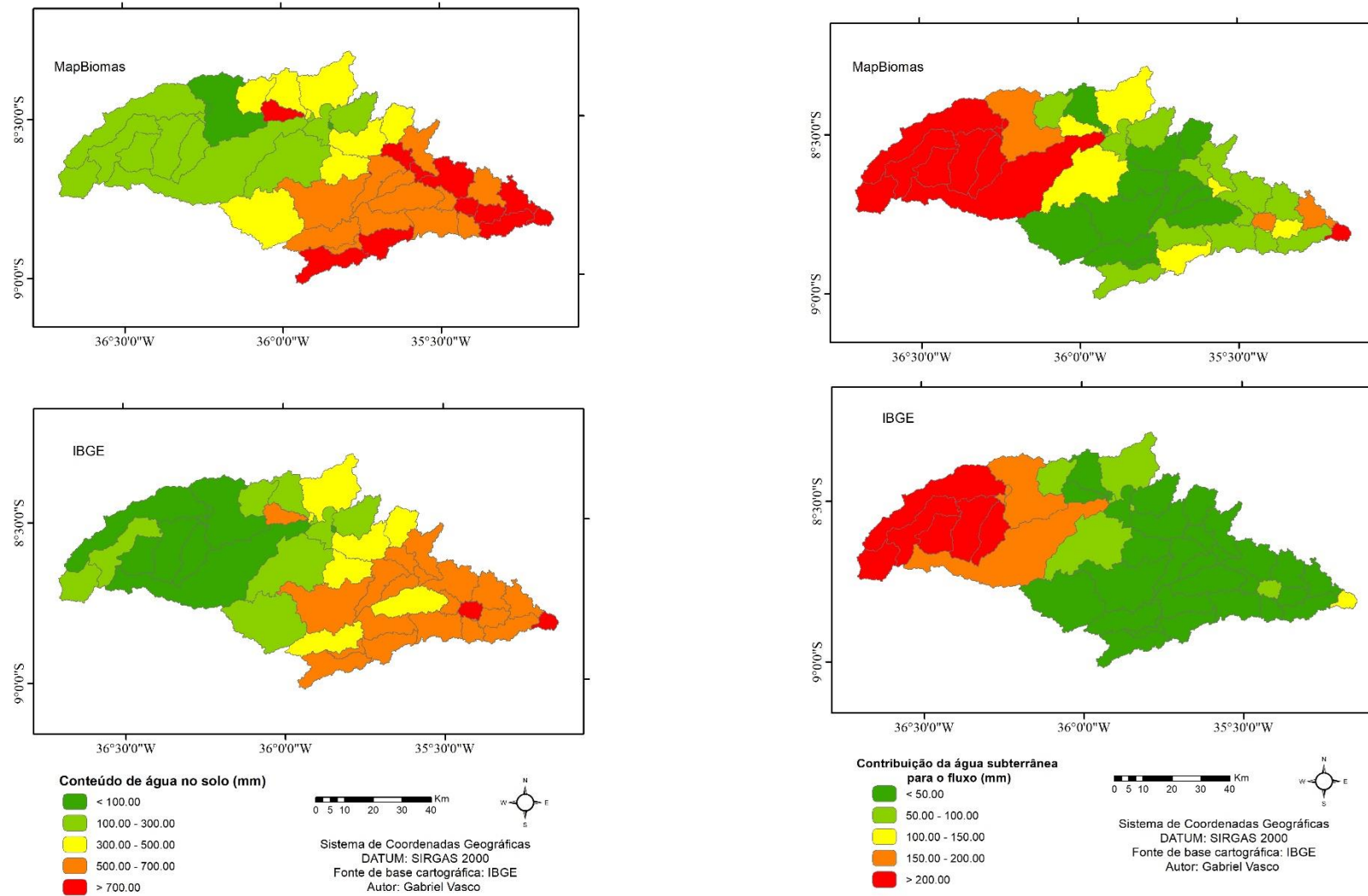
Estes volumes contribuem para o aumento do escoamento superficial, e conseqüentemente para produção de água para os canais de drenagem da bacia.

Figura 3 – Mapa da evapotranspiração real (mm) e potencial (mm), respectivamente por sub-bacia na bacia do rio Una/PE



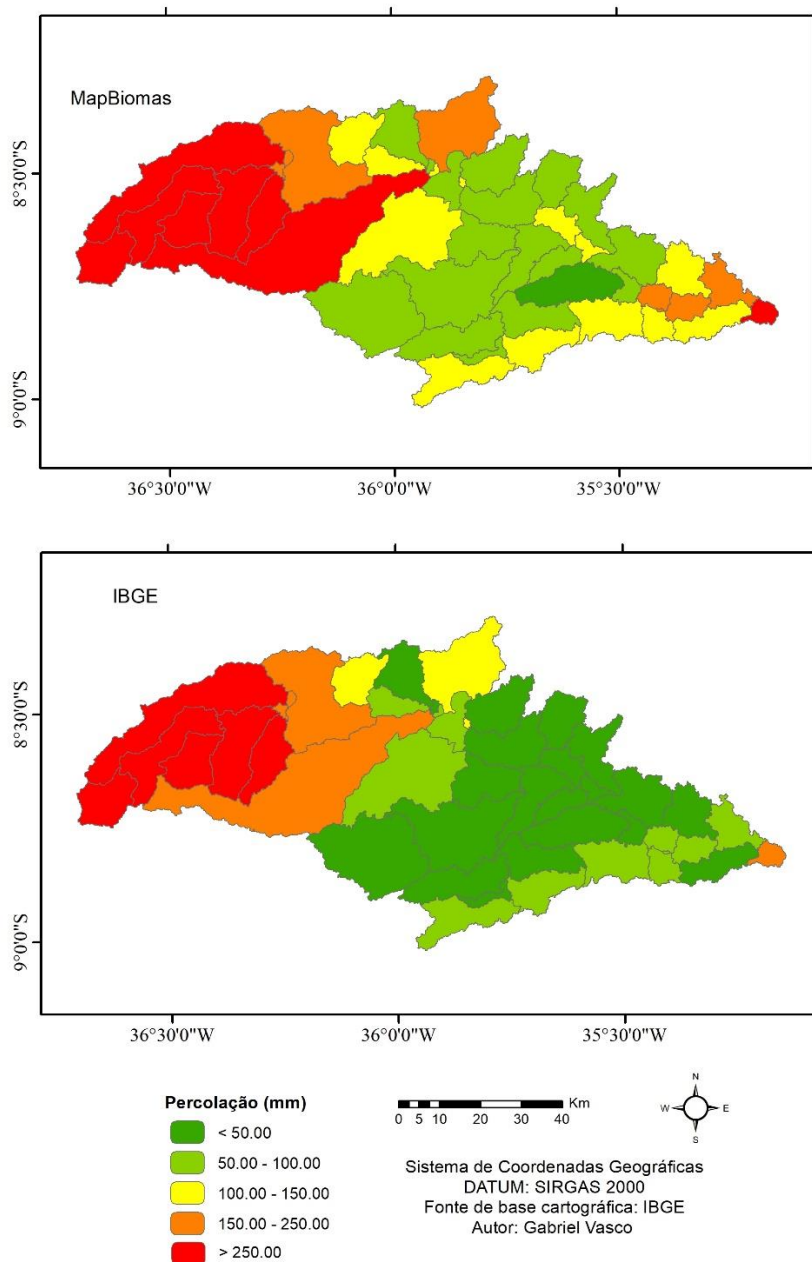
Fonte: O autor (2021)

Figura 4 – Mapa do conteúdo de água no solo (mm) e da contribuição da água subterrânea para o fluxo (mm), respectivamente por sub-bacia na bacia do rio Una/PE



Fonte: O autor (2021)

Figura 5 – Mapa da percolação (mm) por sub-bacia na bacia do rio Una/PE



Fonte: O autor (2021)

Conforme apresentado na Tabela 7, o valor médio de percolação para o aquífero raso foi maior para o mapa do MapBiomias (165,28 mm) quando comparado com o mapa do IBGE (117,12 mm), conforme mostra a Figura 5. Esta diferença justifica-se pelo fato de apresentar alta taxa de crescimento das plantas, as espécies de árvores utilizadas na agropecuária possuem um alto consumo de água, o que pode justificar a redução identificada na quantidade de água percolada e consequente redução do escoamento subsuperficial (RIBEIRO, 2021).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo avaliou, através do uso do modelo hidrológico SWAT aplicado na bacia hidrográfica do rio Una/PE, a resposta hidrológica obtida com adoção de dois mapas de uso e ocupação da terra de fontes diferentes. Ainda que haja insuficiência de trabalhos relacionados com os efeitos do nível de detalhamento dos mapas de uso e ocupação da terra na hidrologia de uma bacia, os resultados do presente estudo mostram que as diferenças no detalhamento das classes de uso e ocupação da terra causam efeitos nas variáveis hidrológicas modeladas pelo SWAT.

O mapa de uso e ocupação da terra do IBGE é mais generalista (agrega classes que estão mais estratificadas nos dados do MapBiomias), e, portanto, menos sensível às influências que cada tipo de uso e ocupação da terra gera no balanço hídrico. Estas generalidades implicam na supressão de classes de uso e ocupação da terra que são decisivas nos processos hidrológicos, como é o caso da estimativa do escoamento, e infiltração, embora de forma moderada.

A título de exemplo, o mapa de uso e ocupação da terra do IBGE classifica o uso e ocupação da terra na bacia do Una em áreas de agricultura, pastagem, mosaico de agricultura e pastagem (que ocupa 82,78% da bacia) e pasto de verão, enquanto o dado de MapBiomias estratifica em agricultura, agricultura de sequeiro e pastagem, cana-de-açúcar, vegetação arbustiva, vegetação escassa ou rala, floresta e pastagem. Esse conjunto de classes são os usos mais recorrentes ao longo da área de estudo, ocupando 53,84% do total da área.

Recomenda-se para trabalhos futuros, estudos que englobem simultaneamente, a discretização dos diferentes mapas de uso e ocupação da terra, e diferentes resoluções de modelos digitais de elevação (incluindo os impactos na sensibilidade dos parâmetros), podendo também, se quantificar as incertezas desses dados de entrada em simular os processos hidrológicos em períodos de eventos extremos como inundações ou secas do semiárido, especificamente.



## REFERÊNCIAS

- ALLEN, Richard G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.
- ANDRADE, Márcio A.; MELLO, Carlos R. de; BESKOW, Samuel. Simulação hidrológica em 1018 uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, 1019 MG. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 17, n. 1, p. 69-76, 2013.
- APARECIDO, C. F. F.; VANZELA, L. S.; VAZQUEZ, G. H.; LIMA, R. C. Manejo de bacias hidrográficas e sua influência sobre os recursos hídricos. **Irriga**, v. 21, n. 2, p. 239, 2018.
- ARMENTERAS, D., MURCIA, U., GONZÁLEZ, T. M., BARÓN, O. J., ARIAS, J. E. Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. **Global Ecology and Conservation**, v. 17, p. e00567, 2019.
- ARNOLD, J. G., SRINIVASAN, R., MUTTIAH, R. S., WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 1, p. 73-89, 1998.
- ARNOLD, J. G.; WILLIAMS, J. R.; SRINIVASAN, R.; KING, K. W. The soil and water assessment tool (SWAT) user's manual. **Temple, TX**, 1996.
- ARNOLD, J.G.; MORIASI, D.N.; GASSMAN, P.W.; ABBASPOUR, K.C.; WHITE, M.J.; 1045 SRINIVASAN, R.; SANTHI, C.; HARMEL, R.D.; VAN GRIENSVEN, A.; VAN LIEW, 1046 M.W.; KANNAN, N.; JHA, M.K. SWAT: Model use, calibration, and 1047 validation. **Transactions of the ASABE**, v. 55, n. 4, p. 1491-1508, 2012.
- BAYER, Débora Missio. Efeitos das mudanças de uso da terra no regime hidrológico de bacias de grande escala. 2014.
- BAYER, Débora Missio; COLLISCHONN, Walter. Análise de sensibilidade do Modelo MGB-IPH a mudanças de uso da terra. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 165-179, 2013.
- BEVEN, Keith. Facets of uncertainty: epistemic uncertainty, non-stationarity, likelihood, hypothesis testing, and communication. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, n. 9, p. 1652-1665, 2016.
- BRESSIANI, D., GASSMAN, P. W., FERNANDES, J. G., GARBOSSA, L. H. P., SRINIVASAN, R., BONUMÁ, N. B., MENDIONDO, E. M. Review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 3, p. 9-35, 2015.
- BRIGHENTI, Tássia Mattos; BONUMÁ, Nadia Bernardi; CHAFFE, Pedro Luiz Borges. 1112 Calibração hierárquica do modelo SWAT em uma bacia hidrográfica Catarinense. **Revista 1113 Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 53-64, 2016.
- BRITTO, F. B., MENEZES NETO, E. L., NETTO, A., REGO, N. Sustentabilidade hídrica da Sub-1115 bacia do Rio Sangradouro, Sergipe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 1, p. 1116 155-164, 2014.
- CAMARGO, ÂNGELO PAES DE; CAMARGO, MARCELO BENTO PAES DE. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v. 59, p. 125-137, 2000.
- CAMARGOS, Carla et al. Effects of input data content on the uncertainty of simulating water resources. **Water**, v. 10, n. 5, p. 621, 2018.



- CARAM, Rochane de Oliveira. **Mudanças no uso e cobertura do solo e resposta hidrológica da bacia do rio Piracicaba**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- CASTILLA, G.; HAY, G. J. Uncertainties in land use data. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 6, p. 1857-1868, 2007.
- CINTRA, Fernando Luis Dutra; LIBARDI, Paulo Leonel; SAAD, Antonio Melhem. Balanço hídrico no solo para porta-enchertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 23-28, 2000.
- COTTER, Amy S. et al. Water quality model output uncertainty as affected by spatial resolution of input data 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 39, n. 4, p. 977-986, 2003.
- CRONSHEY, Roger. **Urban hydrology for small watersheds**. US Dept. of Agriculture, Soil 1152 Conservation Service, Engineering Division, 1986.
- DOUGLAS-MANKIN, K. R.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. G. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model: Current developments and applications. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 5, p. 1423-1431, 2010.
- FAN, Jihui et al. Assessment of land cover resolution impact on flood modeling uncertainty. **Hydrology Research**, v. 52, n. 1, p. 78-90, 2021.
- FARIAS, Vanine Elane Menezes de et al. Avaliação da influência das resoluções espaciais de MDE na estimativa do escoamento superficial de uma bacia hidrográfica usando o modelo SWAT+. 2021.
- GASHAW, T., TULU, T., ARGAW, M., WORQLUL, A. W. Modeling the hydrological impacts of land use/land cover changes in the Andassa watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. **Science of the Total Environment**, v. 619, p. 1394-1408, 2018.
- GESUALDO, Gabriela Chiquito et al. Assessing water security in the São Paulo metropolitan region under projected climate change. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, n. 12, p. 4955-4968, 2019.
- GREEN, W. Heber; AMPT, G. A. Studies on Soil Physics. **The Journal of Agricultural Science**, 1261 v. 4, n. 1, p. 1-24, 1911.
- GUZHA, A. C., RUFINO, M. C., OKOTH, S., JACOBS, S., NÓBREGA, R. L. B. Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge, and low flows: Evidence from East Africa. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 15, p. 49-67, 2018.
- HEWLETT, John D. **Principles of forest hydrology**. University of Georgia press, 1982.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso: 24 jul. 2021.
- KARAKUS, Can Bülent; CERIT, Orhan; KAVAK, Kaan Sevki. Determination of land use/cover changes and land use potentials of Sivas city and its surroundings using Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS). **Procedia Earth and Planetary Science**, v. 15, p. 454-461, 2015.
- KENNARD, M. J., MACKAY, S. J., PUSEY, B. J., OLDEN, J. D., MARSH, N. Quantifying uncertainty in estimation of hydrologic metrics for ecohydrological studies. **River Research and Applications**, v. 26, n. 2, p. 137-156, 2010.
- KUNDU, Sananda; KHARE, Deepak; MONDAL, Arun. Past, present and future land use changes and their impact on water balance. **Journal of environmental**

- LOMBARDI NETO, F., BELLINAZZI Jr, R., GALETI, P. A., LEPSCH, I., OLIVEIRA, J. D. Nova 1336 abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. **Simpósio Sobre Soloceamento 1337 Agrícola**, p. 99-124, 1989.
- LONG, Hualou; QU, Yi. Land use transitions and land management: A mutual feedback perspective. **Land Use Policy**, v. 74, p. 111-120, 2018.
- LOPES, V. A. R., FAN, F. M., PONTES, P. R. M., SIQUEIRA, V. A., COLLISCHONN, W., DA MOTTA MARQUES, D. A first integrated modelling of a river-lagoon large-scale hydrological system for forecasting purposes. **Journal of hydrology**, v. 565, p. 177-196, 2018.
- MACEDO, R. D. C., SCHMITT FILHO, A. L. S., FARLEY, J. C., FANTINI, A. C., CAZELLA, A. A., SINISGALLI, P. A. D. A. Land use and land cover mapping in detailed scale: a case study in Santa Rosa de Lima-SC. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 24, n. 2, p. 217-234, 2018.
- MAGALHÃES, A. G., MONTENEGRO, A. A. D. A., ANDRADE, C. W. L. D., MONTENEGRO, 1358 S. M. G. L., FONTES JÚNIOR, R. V. P. & PAIVA, R. V. Hydrological modeling of a 1359 experimental basin in the semiarid region of the Brazilian State of Pernambuco. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, n.6, p. 1-19, 2018.
- MARENGO, J. A., SOUZA, C. A., THONICKE, K., BURTON, C., HALLADAY, K., BETTS, R. A., SOARES, W. R. Changes in climate and land use over the Amazon Region: current and future variability and trends. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, p. 228, 2018.
- MARTINS, A. P. **Uso de dados do sensor MODIS/AQUA e do algoritmo SEBAL para estimativa da evapotranspiração real na bacia do Rio Paranaíba. 150f.** 2015. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Geografia) –Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.
- McINTYRE, N., BALLARD, C., BRUEN, M., BULYGINA, N., BUYTAERT, W., CLUCKIE, I., ...HESS, T. Modelling the hydrological impacts of rural land use change. **Hydrology Research**, v. 45, n. 6, p. 737-754, 2014.
- MELO, A. G. & GOLDFARB, M. C. Contribuição para modelagem de perfil longitudinal Bacia do Rio Una (PE). In: Congresso de Matemática aplicada e computacional. CMAC Nordeste, **Anais...** Natal – RN. 2012.
- MELO, Denis Freitas Barreto Campello, et al. Avaliação da Bacia do rio Una-Pernambuco: perspectiva da qualidade da água após a construção de 4 barragens para contenção de cheias (Evaluation of the Una-Pernambuco River Basin: Water Quality Perspective after Construction of 4 Flooding Containment Dams). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 11.2: 612-627, 2018.
- MISHRA, Vimal et al. A regional scale assessment of land use/land cover and climatic changes on water and energy cycle in the upper Midwest United States. **International Journal of Climatology**, v. 30, n. 13, p. 2025-2044, 2010.
- MOSTER, C. et al. Determinação do ano hidrológico visando a quantificação do balanço hídrico em microbacias experimentais. **Circular Técnica IPEF (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais)**, n. 197, 2003.
- NAZEMI, Ali; MADANI, Kaveh. Urban water security: Emerging discussion and remaining challenges. **Sustainable Cities and Society**, v. 41, p. 925-928, 2018.

- NEITSCH, S. L., ARNOLD, J. G., KINIRY, J. R., WILLIAMS, J. R. **Soil, and water assessment tool theoretical documentation version 2009**. Texas Water Resources Institute, 2011.
- OMETTO, José C. Bioclimatologia vegetal. 1981.
- PEREIRA, A.R.; VILA NOVA, N. A.; SEDYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba:ESALQ, 1997. 183p.
- QIN, G., LIU, J., WANG, T., XU, S., SU, G. An Integrated Methodology to Analyze the Total Nitrogen Accumulation in a Drinking Water Reservoir Based on the SWAT Model Driven by CMADS: A Case Study of the Biliuhe Reservoir in Northeast China. **Water**, v. 10, n. 11, p. 1535, 2018.
- RALLISON, Robert E.; MILLER, Norman. Past, present, and future SCS runoff procedure. 1468 In: **Rainfall-runoff relationship/proceedings, International Symposium on Rainfall-1469 Runoff Modeling held May 18-21, 1981, at Mississippi State University, Mississippi 1470 State, Mississippi, USA/edited by VP Singh**. Littleton, Colo.: Water Resources 1471 Publications, c1982., 1982.
- RAPOSO, Juan Ramón; DAFONTE, Jorge; MOLINERO, Jorge. Assessing the impact of future 1477 climate change on groundwater recharge in Galicia-Costa, Spain. **Hydrogeology Journal**, 1478 v. 21, n. 2, p. 459-479, 2013.
- RIBEIRO, Glaucielen Faria et al. Aplicação do modelo SWAT na análise dos componentes do balanço hídrico em diferentes usos e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, Minas Gerais. 2021.
- RODRIGUEZ, D. A. Impactos dos padrões espaciais da vegetação nas variáveis atmosférica e terrestre do ciclo hidrológico, em bacia de floresta amazônica. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 208pp**, 2011.
- ROUHOLAHNEJAD, E., ABBASPOUR, K. C., VEJDANI, M., SRINIVASAN, R., SCHULIN, R., LEHMANN, A. A parallelization framework for calibration of hydrological models. **Environmental Modelling & Software**, v. 31, p. 28-36, 2012.
- SARTORI, Aderson; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, Abel Maia. Classificação hidrológica 1494 de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de 1495 Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de 1496 Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.
- SHARMA, Arabinda; TIWARI, K. N. A comparative appraisal of hydrological behavior of SRTM DEM at catchment level. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 1394-1404, 2014.
- SIQUEIRA, V.A., PAIVA, R.C.D., FLEISCHMANN, A.S., FAN, F.M., RUHOFF, A.L., PONTES, P.R.M., PARIS, A., CALMANT, S., COLLISCHONN, W. Toward continental hydrologic–hydrodynamic modeling in South America. **Hydrology and Earth System Sciences. Göttingen: Copernicus. Vol. 22, n. 9 (set. 2018), p. 4815-4842**, 2018.
- SOARES, Maria Carolina S. et al. Eutrophication and retention time affecting spatial heterogeneity in a tropical reservoir. **Limnologia**, v. 42, n. 3, p. 197-203, 2012.

- SOUZA, I. A., MACIEL NETTO, A., ANTONINO, A. C. D. e KUNTZE, M. A. G. Variabilidade climática na bacia hidrográfica do rio Una-PE/Brasil e os seus efeitos na agricultura. **Anais...** Congresso Brasileiro de Meteorologia. Edição XIII - Fortaleza – 2004.
- SPRACKLEN, Dominick V.; ARNOLD, Steve R.; TAYLOR, C. M. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. **Nature**, v. 489, n. 7415, p. 282-285, 2012.
- TAN, Mou Leong et al. A review of alternative climate products for SWAT modelling: Sources, assessment, and future directions. **Science of The Total Environment**, p. 148915, 2021.
- TAVARES, Bianca Silva et al. Water quality in Una River Basin–Pernambuco. **Revista Geama**, p. 26-32, 2018.
- TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos** Brasília: Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002. 150p.
- TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998.
- TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed, Porto Alegre: UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) – Editora da Universidade, 1997.
- VIOLA, M. R., MELLO, C. R., BESKOW, S., NORTON, L. D. Impacts of land-use changes on the hydrology of the Grande River basin headwaters, Southeastern Brazil. **Water resources management**, v. 28, n. 13, p. 4537-4550, 2014.
- WANG, Huiliang; WU, Zening; HU, Caihong. A comprehensive study of the effect of input data on hydrology and non-point source pollution modeling. **Water resources management**, v. 29, n. 5, p. 1505-1521, 2015.
- ZENG, R.; CAI, Ximing. Analyzing streamflow changes: Irrigation-enhanced interaction between 1639 aquifer and streamflow in the Republican River Basin. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, n. 2, p. 493-502, 2014.
- ZHOU, F., XU, Y., CHEN, Y., XU, C. Y., GAO, Y., DU, J. Hydrological response to urbanization 1649 at different spatio-temporal scales simulated by coupling of CLUE-S and the SWAT model 1650 in the Yangtze River Delta region. **Journal of Hydrology**, v. 485, p. 113-125, 2013.
- ZHUANG, X. W., LI, Y. P., NIE, S., FAN, Y. R., HUANG, G. H. Analyzing climate change impacts on water resources under uncertainty using an integrated simulation-optimization approach. **Journal of Hydrology**, v. 556, p. 523-538, 2018.