

ANA KARLLA PENNA ROCHA

PROCESSOS HIDROLÓGICOS DA BACIA DO RIO PAJEÚ: REVISÃO SISTEMÁTICA  
E USO DO SWAT, E UMA ANÁLISE DE TENDÊNCIAS PELO MÉTODO  
SIMPLIFICADO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

Serra Talhada-PE

2021

**R  
O  
C  
H  
A  
  
A  
K  
P  
  
P  
R  
O  
C  
E  
S  
S  
O  
S  
  
H  
I  
D  
R  
O  
L  
Ó  
G  
I  
C  
O  
S  
  
·  
·  
·  
2  
0  
2  
1**

ANA KARLLA PENNA ROCHA

PROCESSOS HIDROLÓGICOS DA BACIA DO RIO PAJEÚ: REVISÃO SISTEMÁTICA  
E USO DO SWAT, E UMA ANÁLISE DE TENDÊNCIAS PELO MÉTODO  
SIMPLIFICADO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva.

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Luciana Sandra Bastos de Souza.

Serra Talhada-PE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

R672p

Rocha, Ana Karlla Penna Rocha

Processos hidrológicos da bacia do rio Pajeú: revisão sistemática e uso do SWAT, e uma análise de tendências pelo método simplificado do balanço hídrico climatológico / Ana Karlla Penna Rocha Rocha. - 2021.  
134 f. : il.

Orientador: Thieres George Freire da Silva.

Coorientadora: Luciana Sandra Bastos de Souza.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Serra Talhada, 2021.

1. regiões semiáridas. 2. comportamento climático. 3. disponibilidade hídrica. I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Souza, Luciana Sandra Bastos de, coorient. III. Título

CDD 581.15

---

ANA KARLLA PENNA ROCHA

PROCESSOS HIDROLÓGICOS DA BACIA DO RIO PAJEÚ: REVISÃO SISTEMÁTICA  
E USO DO SWAT, E UMA ANÁLISE DE TENDÊNCIAS PELO MÉTODO  
SIMPLIFICADO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADA em 25/02/2021.

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva – UAST/UFRPE  
Orientador

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Luciana Sandra Bastos de Souza – UAST/UFRPE  
Coorientadora, Examinadora Externa

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Werônica Meira de Souza – UFAPE  
Examinadora Externa

---

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro – UFRPE  
Examinador Externo

Aos meus pais, irmãos, esposo e filhos.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me permitiu concluir esta etapa árdua, porém com muito aprendizado, sabedoria e amadurecimento.

“Não tenha piedade dos mortos, Harry. Tenha piedade dos vivos e, acima de tudo, dos que vivem sem amor”. Essas palavras definem bem minhas escolhas e agradeço imensamente por sentir esse sentimento, devo isso ao meu pai, Antônio Figueiredo Penna e minha mãe Márcia da Silva Figueiredo Penna (*In Memoriam*), vocês são minha inspiração e espero seguir seus exemplos pelo resto da minha vida. Aos meus irmãos, Luis Antônio e Ana Cláudia, vocês são os irmãos mais queridos do mundo, sinto muita saudade de vocês, amo muito os dois. Ao meu esposo, Claudio, por ser meu companheiro em todos os momentos, por ser inteligente, engraçado, crítico, esforçado e um excelente pai e marido. Aos meus dois filhos, os amores da minha vida, Luis e Eric, não há amor maior e não há como descrevê-lo. Aos meus amigos e amigas da pós-graduação e ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido, em especial Cleber e Dani, muito obrigada pela força nos momentos mais difíceis.

Ao Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal Rural de Pernambuco e também à Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Ao apoio financeiro e científico concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de pesquisa e estudo (Código Financeiro 001). À Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE (processos: APQ-0215-5.01/10 e APQ-1159-1.07/14) e também pelo apoio financeiro a partir do projeto "Pesquisa e Tecnologias Hídricas para o Desenvolvimento do Semiárido de Pernambuco", Universitas (processo: APQ-0030-5.03/17). E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (processos: 475279/2010-7, 476372/2012-7, 305286/2015-3, 309421/2018-7 e 152251/2018-9).

Por fim, não posso deixar de agradecer ao meu orientador, professor Thieres e minha coorientadora professora Luciana. Foram eles que confiaram em mim e que sempre acreditaram que tudo é possível. Agradeço por serem um exemplo de servidores, docentes, cientistas, humanos e acima de tudo por terem empatia e um bom senso de humor. Muito obrigada pelo conhecimento, sabedoria, força e determinação, vocês são show!

“São as nossas escolhas, Harry, que revelam o que realmente somos,  
muito mais do que as nossas qualidades”

Albus Percival Wulfric Brian Dumbledore (1993)



## RESUMO GERAL

Os impactos nos processos hidrológicos em escala regional, por exemplo, com a redução da disponibilidade hídrica, podem ser provocados pela remoção da vegetação nativa e por causa das mudanças no uso e cobertura do solo. Esses processos, em conjunto com os fenômenos atmosféricos, influenciam nos padrões da precipitação e da evapotranspiração potencial da região. A sub-bacia do rio Pajeú é um dos principais afluentes da bacia hidrográfica do rio São Francisco, e tem a pecuária como a principal atividade socioeconômica. Diante disto, objetivou-se analisar os usos e critérios aplicados no modelo hidrossedimentológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT), calibrar e validar o SWAT a partir dos dados da bacia hidrográfica do rio Pajeú e, por meio do método simplificado do balanço hídrico climatológico, identificar tendências climáticas e correlações de variáveis climáticas com índices de teleconexão. Logo, realizou-se: 1) revisão sistemática que compreendeu na análise de artigos científicos entre 2009 a 2019 em regiões áridas e semiáridas; 2) análise de sensibilidade, calibração, validação e análise de incerteza na bacia hidrográfica do rio Pajeú, utilizando dados de vazão; 3) análises de tendência climática e série temporal (Man-Kendall, Sen's Slope, Pettitt, Seasonal Trend decomposition using Loess) e 4) correlação entre as variáveis climáticas e os índices de teleconexão com influência nos Oceanos Pacífico e Atlântico (Coeficiente de Correlação de Spearman). O modelo SWAT tem sido amplamente usado no gerenciamento de recursos terrestres e hídricos de bacias hidrográficas, inclusive em regiões áridas e semiáridas. As etapas de calibração, validação e análise de incerteza não foram satisfatórias, apresentando melhor resultado apenas em um posto fluviométrico. Os padrões da precipitação, evapotranspiração e do balanço hídrico exercem impacto significativo no ciclo hidrológico e, portanto, no calendário agrícola da sub-bacia do rio Pajeú com maior interferência dos fenômenos da Oscilação Multidecadal do Atlântico, região do El Niño N12 e do Atlântico Tropical Norte. Conclui-se que, avanços com a aplicação do SWAT na sub-bacia do rio Pajeú ainda são necessários, em especial, com melhorias na calibração e validação do modelo, a fim de se aprofundar o conhecimento sobre a relação entre os efeitos das mudanças no uso do solo e dos fenômenos atmosféricos atuantes, e os impactos nas atividades agropecuárias da região.

**Palavras-chave:** regiões semiáridas; comportamento climático; disponibilidade hídrica.

## GENERAL ABSTRACT

The impacts on hydrological processes on a regional scale, for example, with the reduction of water availability, can be caused by the removal of native vegetation and because of changes in land use and land cover. These processes, together with atmospheric phenomena, influence patterns of precipitation and potential evapotranspiration in the region. The Pajeú river sub-basin is one of the main tributaries of the watershed of the São Francisco river, with livestock as the main socioeconomic activity. Then, the objective was to analyze the uses and criteria applied in the hydrosedimentological model Soil and Water Assessment Tool (SWAT), calibrate and validate the SWAT from the data of watershed of Pajeú river and, through the simplified method of the climatological water balance, identify climatic trends and correlations of climatic variables with teleconnection indexes. Therefore, there was: 1) a systematic review that comprised the analysis of scientific articles between 2009 and 2019 in arid and semi-arid regions; 2) sensitivity analysis, calibration, validation and uncertainty analysis in the basin of the Pajeú river, using flow data; 3) analyzes of climatic trend and time series (Man-Kendall, Sen's Slope, Pettitt, Seasonal Trend decomposition using Loess) and 4) correlation between climatic variables and teleconnection indices with influence in the Pacific and Atlantic Oceans (Correlation Coefficient of Spearman). The SWAT model has been widely used in the management of land and water resources in river basins, including in arid and semi-arid regions. The steps of calibration, validation and uncertainty analysis were not satisfactory, presenting a better result only in a fluviometric station. The patterns of precipitation, evapotranspiration and climatic water balance have a significant impact on the hydrological cycle and, therefore, on the agricultural calendar of the sub-basin of the Pajeú river with greater interference from the phenomena of the Atlantic Multidecadal Oscillation, El Niño region N12 and the North Tropical Atlantic. It is concluded that advances with the application of SWAT in the sub-basin of the Pajeú river are still necessary, in particular, with improvements in the calibration and validation of the model, in order to deepen the knowledge about the relationship between the effects of changes in the land use and active atmospheric phenomena, and impacts on agricultural activities in the region.

**Keywords:** semi-arid regions; climate behavior; water availability.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1	Mudanças na precipitação média no globo terrestre (1986-2005 a 2081-2100)	18
Figura 2	Síntese ilustrativa do risco dos impactos no clima e nos processos socioeconômicos .....	18
Figura 3	Esquema da relação entre as informações utilizadas, simuladas e produzidas por meio da modelagem hidrológica .....	20
Figura 4	Distribuição dos trabalhos realizados em regiões semiáridas e áridas com uso do SWAT por continente .....	24
Figura 5	Relação entre a quantidade de estudos conduzidos em regiões semiáridas e áridas por continentes entre 2009 a 2019 .....	25
Figura 6	Frequência dos estudos simulados com o uso do SWAT em regiões áridas e semiáridas .....	26
Figura 7	Quantitativo de estudos que realizaram a calibração .....	27
Figura 8	Quantitativo de estudos que realizaram a validação .....	28
Figura 9	Número de estudos que utilizaram os coeficientes de eficiência .....	29

### CAPÍTULO 2

Figura 1	Localização da bacia hidrográfica do rio Pajeú com inserção dos pontos de coleta dos dados .....	00
Figura 2	Uso e ocupação do solo (A), tipo do solo (B), modelo digital de elevação (C) e declividade (D) da bacia hidrográfica do rio Pajeú .....	00
Figura 3	Valores observados e simulados de vazão em escala mensal durante o período de aquecimento (1973 - 1975 e 1996 - 1998), calibração (1976 - 1995) e validação (1999 - 2018). Em que: Flores (A), Serra Talhada (B) e Floresta (C) .....	00

### CAPÍTULO 3

Figura 1	Localização da Bacia Hidrológica do Rio Pajeú e a área Semiárida analisada no estudo .....	00
Figura 2	Fluxograma das etapas do trabalho .....	
Figura 3	Comportamento da precipitação l (A), da evapotranspiração de referência (B) e do balanço hídrico climático (C) para os subperíodos: anual, verão, outono,	

inverno, primavera, período chuvoso, período seco, plantio caupi, plantio milho e plantio palma, de 1912 a 2019 (A) e de 1961 a 2019 (B e C) .....

- Figura 4 Boxplot da precipitação (A), da evapotranspiração de referência (B) e do balanço hídrico climático (mm/mês) para o período de 1912 a 2019 (A) e de 1961 a 2019 (B e C) .....
- Figura 5 Boxplot da precipitação (A) e da evapotranspiração de referência (B) por estação utilizada para o período de 1912 a 2019 (A) e de 1961 a 2019 (B) e nos subperíodos: anual, verão, outono, inverno, primavera, período chuvoso, período seco, plantio feijão, milho e palma .....
- Figura 6 Decomposição da série temporal da precipitação de 1912-2019 (A), da evapotranspiração de referência de 1961-2019 (B) e do balanço hídrico climático de 1961-2019 (C) em uma região do Semiárido brasileiro .....
- Figura 7 Influências das precipitações e dos índices de teleconexão (AMO, BEST, ENSO, N3, N4, N12, NTA, PDO, SOI e TNI) para as escalas temporais (ANUAL, VERÃO, OUTONO, INVERNO, PRIMAVERA, CHUVOSO, SECO, FEIJÃO, MILHO e PALMA) em uma região do Semiárido brasileiro
- Figura 8 Influências da evapotranspiração de referência e dos índices de teleconexão (AMO, BEST, ENSO, N3, N4, N12, NTA, PDO, SOI e TNI) para as escalas temporais (ANUAL, VERÃO, OUTONO, INVERNO, PRIMAVERA, CHUVOSO, SECO, FEIJÃO, MILHO e PALMA) em uma região do Semiárido brasileiro .....
- Figura 9 Influências do balanço hídrico climático e dos índices de teleconexão (AMO, BEST, ENSO, N3, N4, N12, NTA, PDO, SOI e TNI) para as escalas temporais (ANUAL, VERÃO, OUTONO, INVERNO, PRIMAVERA, CHUVOSO, SECO, FEIJÃO, MILHO e PALMA) em uma região do Semiárido brasileiro .....

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

Tabela 1	Fontes primárias de informações utilizadas para realização da revisão sobre o uso do modelo SWAT em regiões áridas e/ou semiáridas .....	22
Tabela 2	Descrição dos estudos realizados quanto ao continente, país onde foi realizado e com a faixa do CN2 utilizado .....	30
Tabela 3	Descrição dos estudos realizados quanto ao continente, país onde foi realizado e com a faixa do ALPHA_BF utilizado .....	32
Tabela 4	Descrição dos estudos realizados quanto ao continente, país onde foi realizado e com a faixa do SOL_K utilizado .....	33
Tabela 5	Descrição dos estudos realizados quanto ao continente, país onde foi realizado e com a faixa do CH_K2 utilizado .....	34
Tabela 6	Descrição dos estudos realizados quanto ao continente, país onde foi realizado e com a faixa do CH_N2 utilizado .....	34
Tabela 7	Relação dos artigos que realizaram inúmeras simulações mediante mudança do uso e cobertura da terra .....	37

### CAPÍTULO 2

Tabela 1	Dados de entrada no SWAT .....	00
Tabela 2	Funções objetivo e suas classificações quanto ao desempenho do modelo ...	
Tabela 3	Ranking da análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SWAT na bacia hidrográfica do rio Pajeú .....	
Tabela 4	Desempenho do modelo a partir dos índices estatísticos e funções objetivos	

### CAPÍTULO 3

Tabela 1	Locais das estações climáticas e as informações dos dados climáticos utilizados no estudo .....	00
Tabela 2	Modelos de estimativa para a Radiação solar (Rs) utilizados nas etapas de calibração e validação .....	
Tabela 3	Tabela 3. Modelos de estimativa para a Evapotranspiração de referência (ET <sub>0</sub> ) .....	
Tabela 4	Resultados dos índices estatísticos obtidos durante a calibração dos modelos	

	de estimativa da $R_s$ .....	
Tabela 5	Resultados dos índices estatísticos obtidos durante a calibração dos modelos de estimativa da $ET_0$ .....	
Tabela 6	Tendências, magnitudes e os pontos de mudanças das tendências de precipitação em diferentes locais de uma região do Semiárido brasileiro para 5 escalas temporais (anual, verão, outono, inverno e primavera) .....	
Tabela 7	Tendências, magnitudes e os pontos de mudanças das tendências da precipitação em diferentes locais de uma região do Semiárido brasileiro para 5 escalas temporais (período chuvoso, período seco, plantio caupi, plantio milho e plantio palma) .....	
Tabela 8	Tendências, magnitudes e os pontos de mudanças das tendências da evapotranspiração de referência em diferentes locais de uma região do Semiárido brasileiro em 10 escalas temporais .....	
Tabela 9	Tendências médias da precipitação, da evapotranspiração de referência e do balanço hídrico climático (mm/ano) para as dez escalas temporais em uma região do Semiárido brasileiro .....	00

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	13
<b>CAPÍTULO 1 - REVISITANDO A APLICAÇÃO DO MODELO SWAT EM REGIÕES ÁRIDAS E SEMIÁRIDAS: UM RECORTE PARA O PERÍODO DE 2009-2019</b> .....	14
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
<b>3 MATERIAL E PROCEDIMENTOS</b> .....	22
<b>4 RESULTADOS</b> .....	24
<b>CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	38
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	39
<b>CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE, CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO PARA PREDIÇÃO DA VAZÃO NA BACIA DO RIO PAJEÚ, BRASIL, USANDO O SWAT</b> .....	
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	
<b>3 RESULTADOS</b> .....	
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	
<b>CONCLUSÃO</b> .....	
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	
<b>CAPÍTULO 3 - MUDANÇAS DO BALANÇO HÍDRICO CLIMÁTICO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: MÉTODOS E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS</b> .....	
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	
<b>3 RESULTADOS</b> .....	
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	
<b>CONCLUSÃO</b> .....	
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	

## APRESENTAÇÃO

A perda de cobertura vegetal em função do desmatamento da Caatinga para fins agrícolas e as mudanças climáticas têm intensificado o processo de desertificação no semiárido brasileiro. As modificações do uso do solo de maneira demasiada promovem alterações nas circulações convectivas, formação de nuvens e chuvas, e, conseqüentemente, nos processos hidrológicos com prejuízos à manutenção dos recursos hídricos regionais. Foi por meio da modelagem hidrológica que os pesquisadores e tomadores de decisão puderam simular os processos hidrológicos sob cenários ambientais diversos, tanto para explicar fenômenos passados, como para compreender os impactos causados nos corpos hídricos.

As mudanças no clima podem representar severas ameaças para a segurança alimentar, afetar países produtores de alimentos, promover impactos significativos nas atividades agropecuárias bem como em aspectos socioeconômicos da população, por causa da dificuldade de se produzir em ambiente com baixa disponibilidade hídrica. Os ambientes áridos e semiáridos são citados como mais vulneráveis à estas alterações climáticas por apresentarem características ímpares: irregularidade da precipitação pluvial, alta temperatura, baixa umidade e baixa disponibilidade hídrica.

A sub-bacia hidrológica do Rio Pajeú é um dos exemplos de áreas que sofrem continuamente com pressão antrópica, por meio do desmatamento da caatinga, atividade pecuária extensiva ou pelo mau manejo dos solos e dos recursos hídricos. Está localizada no nordeste brasileiro e é a maior do estado de Pernambuco, contribuindo para o avanço socioeconômico da região. O rio Pajeú é um dos principais afluentes da bacia hidrográfica do rio São Francisco e devido à sua grande extensão e diferença altimétrica, seu clima é diversificado. Com classificação climática “BSh” (Köppen), sua parte norte apresenta temperatura média do ar de 20 °C e precipitação média de 1207 mm por ano, enquanto que a porção sul da bacia com 26,2 °C e 467 mm, em que a altitude média varia de 900 metros a 350 metros, consecutivamente.

Diante disto, a dissertação foi dividida em 3 capítulos. O primeiro, tratou-se de uma revisão sistemática com o intuito de responder e compreender alguns questionamentos: como a modelagem hidrológica por meio da ferramenta SWAT tem sido aplicada em regiões áridas e semiáridas do mundo e quais foram os critérios utilizados pelos pesquisadores em sua aplicação? O segundo capítulo, abordou as etapas primordiais e iniciais da simulação hidrológica: análise de sensibilidade, calibração e validação dos dados de entrada na Bacia



Hidrológica do Rio Pajeú. Por fim, no terceiro capítulo foram abordados assuntos relacionados ao clima da Bacia Hidrológica do Rio Pajeú: o comportamento da precipitação, evapotranspiração de referência e balanço hídrico climático ao longo do tempo e espaço, bem como a identificação de possíveis tendências e correlações entre estas variáveis climáticas e índices de teleconexão.

## **CAPÍTULO 1 – REVISITANDO A APLICAÇÃO DO MODELO SWAT EM REGIÕES ÁRIDAS E SEMIÁRIDAS: UM RECORTE PARA O PERÍODO DE 2009-2019**

**RESUMO:** O uso de modelos pode permitir o entendimento dos processos hidrológicos às diferentes condições e subsidiar ações de planejamento em frente às mudanças futuras. Neste contexto o uso do modelo SWAT tem sido observado em diferentes locais do mundo e sob diversas aplicações. Este trabalho analisou estudos recentes, em um recorte para o período de 2009 a 2019, que usaram o modelo SWAT em análises hidrológicas, com vistas ao entendimento das seguintes questões: 1) Como o modelo SWAT tem sido aplicado em regiões áridas e semiáridas do mundo? 2) Quais critérios têm sido utilizados na aplicação do modelo? Uma busca sistemática foi realizada em diferentes bases de artigos científicos para levantamento das informações. Neste trabalho, identificaram-se 134 artigos com uso deste modelo em diferentes regiões áridas e semiáridas do globo com diversas aplicações. Com maiores e menores quantidades de aplicações nos continentes Asiático e Oceania, respectivamente. A evolução das publicações foi evidenciada a partir de 2014, com maior quantidade de trabalhos observados no ano de 2017. Adicionalmente a quantidade de anos de dados utilizados para a calibração e validação normalmente é baixa em decorrência da limitação na disponibilidade de dados de superfície ou a descontinuidade de observações nestas áreas somadas à alta heterogeneidade. Dentre os índices de eficiência o Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE, 92%) foi aquele de maior utilização, seguido de  $R^2$  (76%) e PBIAS (41%). O impacto da dinâmica da vegetação nos processos hidrológicos por meio de simulações, é essencial para o gerenciamento de recursos terrestres e hídricos e também no desenvolvimento das estratégias na gestão de bacias hidrográficas em regiões com restrição hídrica. Além disso, o uso de maior número de dados hidrológicos pode melhorar as etapas de validação e calibração do modelo, podendo ser utilizados como alternativas informações relativas à umidade do solo ou uso de informações obtidas por meio de satélites.

**Palavras-chave:** uso e cobertura da terra; mudanças climáticas; SWAT; áreas áridas e semiáridas.

**ABSTRACT:** The use of models can allow the understanding of hydrological processes under different conditions and support planning actions in the face of future changes. In this context the use of the SWAT model has been observed in different places in the world and

under different applications. This work analyzed recent studies, in an excerpt for the period from 2009 to 2019, that used the SWAT model in hydrological analyzes, in order to understand the following issues: 1) How has the SWAT model been applied in arid and semi-arid regions of the world? 2) What criteria have been used in applying the model? A systematic search was carried out on different bases of scientific articles to collect the information. In our work, we identified 134 studies using this model in different arid and semi-arid regions of the globe with different applications. With greater and lesser amounts of applications in Asia and Oceania, respectively. The evolution of publications was evidenced as of 2014, with a greater number of works observed in the year 2017. Additionally, the number of years of data used for calibration and validation is usually low due to the limited availability of surface data or the discontinuity of observations in these areas added to the high heterogeneity. Among the efficiency indices, the Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE, 92%) was the one with the highest utilization, followed by  $R^2$  (76%) and PBIAS (41%). The impact of vegetation dynamics on hydrological processes through simulations, is essential for the management of terrestrial and water resources and also in the development of strategies for the management of hydrographic basins in regions with water restrictions. In addition, the use of a larger number of hydrological data can improve the model's validation and calibration steps, and information related to soil moisture or the use of information obtained through satellites can be used as alternatives.

**Keywords:** land use cover change; climate changes; SWAT; arid and semi-arid areas.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescente uso dos recursos naturais devido à maior demanda por alimentos, energia e fibras, vem aumentando também as áreas destinadas à agricultura, pastagem e a necessidade de expandir as fronteiras agrícolas (SAATH e FACHINELLO, 2018). Estas alterações antrópicas podem ser nocivas, logo que, aumentam a degradação das bacias hidrográficas e podem afetar de modo considerável a qualidade e quantidade dos recursos hídricos (DEFERSHA e MELESSE, 2012).

As mudanças climáticas podem intensificar a problemática dos recursos hídricos logo que, as alterações nos regimes de precipitação e evapotranspiração do globo podem promover a diminuição da vazão dos rios com consequências negativas nos recursos hídricos

(PRĂVĂLIE et al., 2019; SANTOS et al., 2019). Neste sentido, as regiões áridas e semiáridas são citadas como aquelas mais sujeitas aos impactos das mudanças climáticas (IPCC, 2014a). Estas regiões recobrem grande parte das superfícies continentais do globo (FENG e FU, 2013; RIBEIRO, 2016) e, tradicionalmente, apresentam irregularidade da precipitação pluvial, alta temperatura, baixa umidade e disponibilidade hídrica (ALVARES et al., 2013), o que por vezes representa um desafio para a produção vegetal. Com as mudanças iminentes do clima os índices climáticos tornariam-se mais descomuns, ocasionando perdas qualitativas e quantitativas nos recursos hídricos (KOUR, PATEL e KRISHNA, 2016).

O entendimento dos impactos nos processos hidrológicos ocasionados pelas alterações no clima, ações de natureza antrópica e etc., são importantes logo que, podem auxiliar na tomada de decisão e governança dos recursos hídricos por parte dos usuários e poder público, tanto para ações de planejamento quanto na conservação dos recursos hídricos (ANJUM, DING e SHANGGUAN, 2019; JUN e YONGYONG, 2008; LIU et al., 2015). Para quantificar essas perdas o uso de modelagem a partir de dados meteorológicos, hidrológicos e de parâmetros da vegetação tem sido bastante evidenciado (PERRA et al., 2018; WU, LIU e GALLANT, 2012b; YAO et al., 2015). Estes podem auxiliar no planejamento e gerenciamento das bacias hidrográficas para que ocorra a melhor utilização, a preservação do ecossistema e a conservação dos recursos naturais (ANDRADE et al., 2017; DEGIFE et al., 2019).

A ferramenta hidrossedimentológica *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) tem se demonstrado promissora para simular os processos hidrológicos sob condições ambientais diversas (DOSDOGRU et al., 2020; DU, SHRESTHA e WANG, 2019; YIN et al., 2016). Devido à sua versatilidade esta ferramenta é amplamente utilizada em bacias hidrográficas em todo mundo, logo que permite simulações, como: escoamento superficial, fluxo da água, percolação, produção de sedimentos, umidade do solo, rendimento da água, entre outras (GUO et al., 2016; MAGALHÃES et al., 2018; SILVA et al., 2016; YANG et al., 2019; CARD et al., 2020; BESSIANI et al., 2015). É considerada de alta importância para desenvolver estratégias de conservação dos recursos hídricos e minimizar os impactos ambientais, principalmente em locais com baixa precipitação e alta evapotranspiração potencial (ANAND, GOSAIN e KHOSA, 2018; WOLDESENBET et al., 2018), como as regiões semiáridas.

Recentemente, diferentes trabalhos foram desenvolvidos com uso da ferramenta SWAT, estas versam sobre estudos de extremos hidroclimáticos (TAN et al., 2020), emissão

de óxido nitroso (GHIMIRE et al., 2020), transporte e destino de pesticidas (WANG et al., 2019), serviços ecossistêmicos (FRANCESCONI et al., 2016), processo hidrológico subsidiário (BRIGHENTI, BONUMÁ e CHAFFE, 2016), estudos e aplicações do SWAT no Brasil (AMORIM e CHAFFE, 2019; BRESSIANI et al., 2015) e sudeste da Ásia (TAN et al., 2019). Para regiões semiáridas onde pode ser observada a heterogeneidade dos processos hidrológicos e baixa disponibilidade de dados que podem dificultar a simulação dos processos hidrológicos (KAN et al., 2017; MENGISTU, RENSBURG, van e WOYESSA, 2019a), um levantamento da aplicação dos trabalhos desenvolvidos com SWAT podem permitir o entendimento dos processos hidrológicos já estudados e subsidiar a realização de outros que permitam entender as respostas destes às mudanças de contorno futuras. Este trabalho se limita a analisar estudos recentes, em um recorte para o período de 2009 a 2019, que usaram o modelo SWAT em análises hidrológicas, com vistas ao entendimento das seguintes questões: 1) Como o modelo SWAT tem sido aplicado em regiões áridas e semiáridas do mundo? 2) Quais critérios têm sido utilizados na aplicação do modelo?

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### *2.1 Mudanças climáticas e seus efeitos nos recursos hídricos*

A alteração climática é considerada das questões ambientais mais importantes do século XXI e representa risco tanto para o sistema humano quanto para o sistema natural (IPCC, 2014b). Ainda de acordo com o IPCC (2014), embora as mudanças climáticas possam ocorrer devido às causas naturais (i.e. movimento orbital da Terra, ciclos solares, ciclos climáticos e atividades vulcânicas), aquelas observadas longo do século XX estão relacionadas à atividades antropogênicas (e.g. queima de combustíveis fósseis, desmatamento e urbanização) que têm resultado no aquecimento global.

Em muitas regiões do globo, as alterações climáticas ocasionarão impactos na qualidade e quantidade dos recursos hídricos (DU, SHRESTHA e WANG, 2019; SÖNMEZ e KALE, 2020; XU, TAYLOR e XU, 2011). O aquecimento terrestre proporcionou derretimento do gelo, que por sua vez afetou o escoamento e vazão dos rios (IPCC, 2014b). Houve também um aumento dos impactos nos sistemas geofísicos: ocorrência de inundação, seca e aumento do nível do mar. De acordo com o IPCC (2014a), a temperatura da Terra aumentará em média 1.5 °C até o final do século, isso implica dizer que as mudanças que ocorrem com a precipitação não será uniforme, ou seja, em algumas regiões haverá uma

tendência negativa de aproximadamente -20%, por exemplo, na precipitação no norte da América do Sul, e eventos extremos de precipitação no Nordeste Africano e Oriente médio (Figura 1).

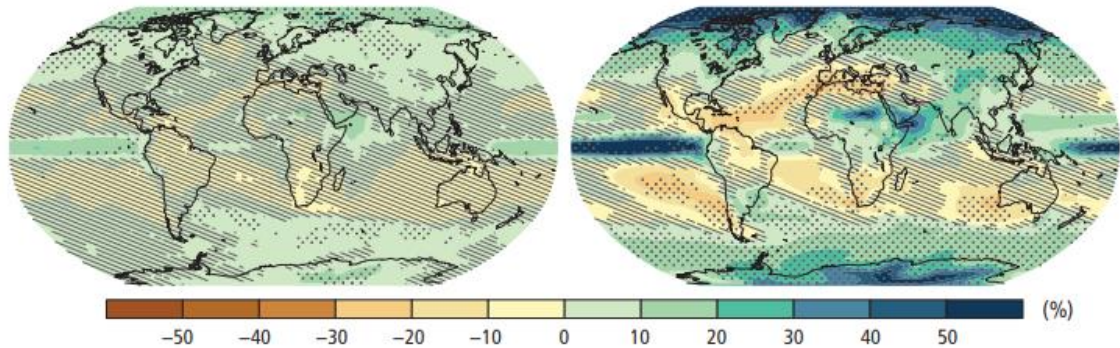


Figura 1. Mudanças na precipitação média no globo terrestre (1986-2005 a 2081-2100).  
Fonte: (IPCC, 2014a).

Além dos impactos nos sistemas naturais, a mudança climática representa impactos nos processos socioeconômicos, ou seja, afetam a vida humana, sociedade, economia, atividades de subsistência, serviços e até mesmo a cultura (IPCC, 2014b), a Figura 2, sintetiza bem o que foi mencionado.

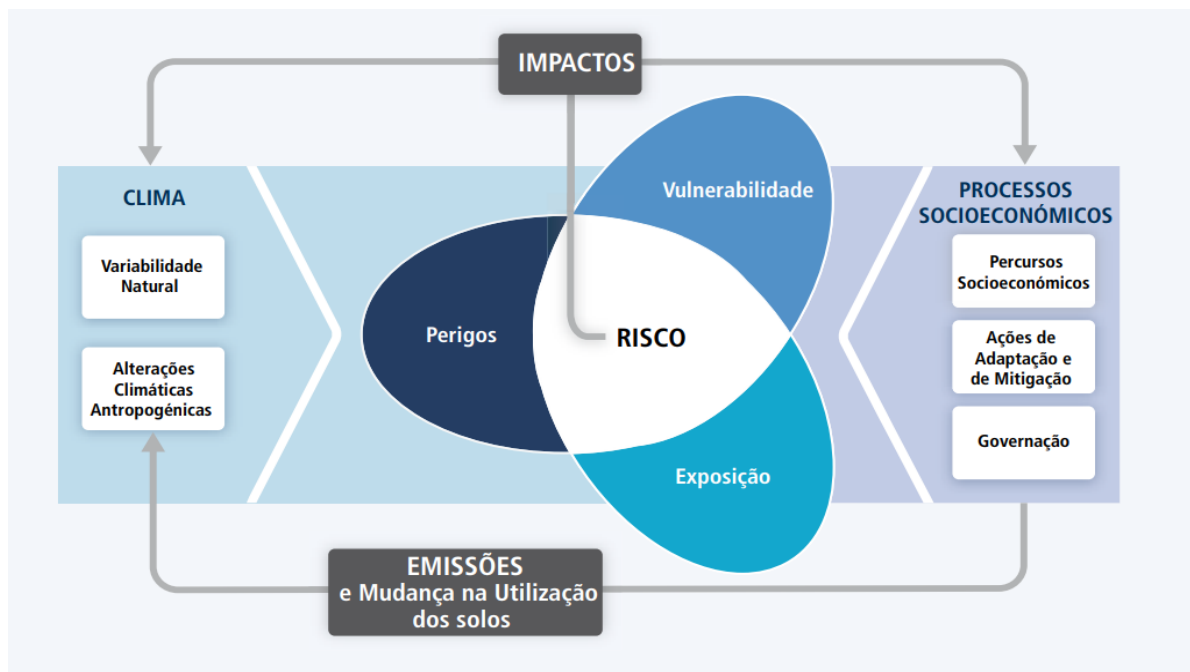


Figura 2. Síntese ilustrativa do risco dos impactos no clima e nos processos socioeconômicos.  
Fonte: (IPCC, 2014b).

O ciclo hidrológico apresenta relações com a temperatura, precipitação e balanço de radiação (ANA, 2016), logo o entendimento das variações destes elementos é necessário propor estratégias a fim de garantir a segurança hídrica. O termo segurança hídrica refere-se à preservação e manutenção de todo ecossistema aquático (ANA, 2016) e diante disto, o IPCC (2014b) afirma que é possível reduzir os riscos por meio de adaptação e mitigação, para isto foi proposto em todas as regiões do mundo: gestão de riscos de catástrofes, diversificação dos meios de subsistência, proteção ambiental, gestão integrada dos recursos hídricos, agrossilvicultura e reflorestação costeira dos mangais, acordos de conservação, uso de variedades de culturas resilientes, adoção de tecnologias e estratégias de economia de água mais eficientes, entre outros. Em relação a gestão integrada dos recursos hídricos, foram sugeridos: dessalinização, comércio hídrico e o reuso da água, para que sejam alcançados os objetivos: maior confiabilidade, maximização e melhoria dos recursos hídricos disponíveis e resiliência à seca (IPCC, 2014a).

Diversos são os trabalhos que exibem os impactos da mudança climática sobre os processos hidrológicos (LIU et al., 2015; WANG et al., 2016; XU et al., 2016; YAO et al., 2015). Lubini e Adamowski (2013) utilizaram o SWAT para avaliar os impactos potenciais no fluxo da vazão do Rio Simiyu, Tanzânia, e constataram maior sensibilidade da vazão a variação da precipitação em relação à temperatura.

Declínio no fluxo (96%), escoamento superficial (85%), rendimento hídrico total (91%) e armazenamento na água do solo (91%) entre 2046 a 2065 devido às mudanças climáticas, também foram observados (MEHAN, KANNAN e NEUPANE et al., 2016). Da mesma forma, Molina-Navarro et al. (2016) concluíram que as mudanças climáticas podem causar impactos negativos na Bacia do Rio Guadalupe, até o final do século XXI, como redução no escoamento superficial (60%), recarga do aquífero (74%) e fluxo (72%). Assim, pesquisas que avaliam estes impactos podem auxiliar na gestão dos recursos hídricos de modo à minimizar os impactos negativos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica (MEHAN, KANNAN e NEUPANE et al., 2016), além de que o uso de modelos, como o SWAT, podem contribuir para reduzir impactos ocasionados pelos eventos extremos (secas e enchentes) nas regiões áridas e semiáridas.

## *2.2 Modelagem hidrológica na gestão dos recursos hídricos*

A representação de processos hidrológicos por meio da modelagem representou um grande avanço para as análises hidrológicas (TUCCI e CLARK, 1997), esta pode subsidiar

pesquisadores, gestores, estudantes e usuários na tomada de decisão e governança dos recursos hídricos por parte dos usuários e poder público, tanto para ações de planejamento quanto na conservação dos recursos hídricos.

Zhang et al. (2016) relataram que o avanço tecnológico possibilitou o desenvolvimento de modelos para análise das variações espaço-temporais dos processos hidrológicos. Tais ferramentas permitem a simulação de eventos mediante alterações no uso da água, solo, planta e também transporte nos resíduos de inseticidas (BHATTA et al., 2019; UNIYAL e DIETRICH, 2019; WANG et al., 2019) em escala espacial e temporal, permitem a caracterização de variáveis importantes no modelo, e com isso, a melhor representação dos processos hidrológicos (Figura 3).

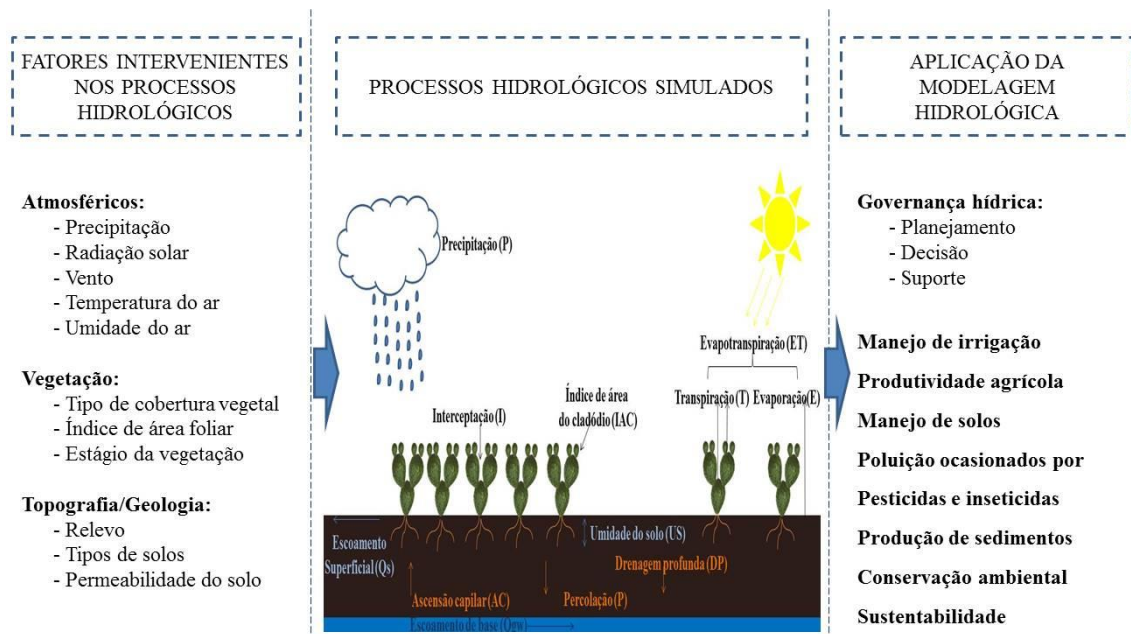


Figura 3. Esquema da relação entre as informações utilizadas, simuladas e produzidas por meio da modelagem hidrológica. Fonte: O Autor, 2020.

Os modelos hidrológicos utilizam-se de dados meteorológicos (e.g. precipitação, temperatura, umidade do ar, vento, radiação), da vegetação (e.g. cobertura do solo, índice de área foliar, etc.) e relativos ao relevo, tipos de solos, permeabilidade entre outros (Figura 3). Estes têm sido empregados para diferentes finalidades que incluem: simulação da vazão (GUO et al., 2016; SAYYAD et al., 2015a; SRIDHAR e NAYAK, 2010), qualidade da água (GIROLAMO e LO PORTO, 2012; KAVIAN et al., 2018; WU et al., 2012b), produção de sedimentos na bacia (LI et al., 2013; NERANTZAKI et al., 2015; ZETTAM et al., 2017), armazenamento e altura do lençol freático (SAYYAD et al., 2015a), fluxo do curso de água



(NIRAULA et al., 2012; SINGH, SHARMA e JOSHI, 2015), previsão de enchentes (NERANTZAKI et al., 2015), entre outros.

### *2.3 Utilização do modelo SWAT*

O modelo SWAT (do inglês, *Soil and Water Assessment Tool*) é usado para simular processos hidrológicos e agrícolas diversos, como análise dos impactos ocasionados pelas mudanças no uso do solo (LUAN e WU, 2018), mudanças do clima (WANG et al., 2016; WU, LIU e GALLANT, 2012a), estratégias de manejo (DADASER-CELIK e JOUMA, 2018), transportes de nutrientes (DECHMI, BURGUETE e SKHIRI, 2012), sedimentos (PENG et al., 2017) e pesticidas (BANNWARTH et al., 2014). O mesmo tem demonstrado bons resultados (ANDARYANI et al., 2019; FAZELI et al., 2019; WANG et al., 2020; YIN et al., 2016) e por estes motivos, o em sido empregado por pesquisadores e gestores hídricos em todo o mundo, pois é capaz de proporcionar simulações hidrológicas a fim de obter um eficiente planejamento dos recursos hídricos e sistemas agrícolas (KROEGER et al., 2019; SINGH, SHARMA e JOSHI, 2015).

Ao longo dos anos a adesão ao uso deste modelo por pesquisadores no mundo vêm aumentando, como pode ser observado na base de publicações do SWAT (CARD, 2020). Nesta podem ser observados um total de 3971 artigos publicados em periódicos com diferentes idiomas, sendo que nos últimos anos houve um aumento significativo da utilização deste modelo, para diferentes finalidades (2051 trabalhos publicados no período de 2014 a 2019) (CARD, 2020).

Tan et al. (2020) indicaram que o uso do SWAT no globo cresceu significativamente após o ano de 2009, em relação à períodos antecedentes. Em bacias hidrográficas situadas em regiões áridas e semiáridas, a exemplo da Bacia hidrográfica do Rio Yellow, na China, uma das maiores do mundo pode ser observados trabalhos relacionados à simulação do consumo e utilização da água (LI et al., 2011; LUAN e YIN, 2018). LUAN et al. (2018a) utilizaram o SWAT para examinar os impactos nos recursos hídricos na região a partir de cenários diversos na mudança do solo. Zhang et al. (2015) avaliaram o impacto das futuras mudanças climáticas sobre os componentes hidrológicos da região e ambos concluíram que estudos como estes podem proporcionar um retorno benéfico para o gerenciamento dos recursos hídricos. Todos os exemplos acima obtiveram sucesso nas simulações após passarem por procedimentos de calibração e validação.

A escolha dos parâmetros sensíveis como dado de entrada pro modelo é um procedimento frequentemente utilizado, sendo útil para validar o modelo para a bacia de estudo (WANG et al., 2019). A etapa de calibração e validação do SWAT é altamente importante e recomendada para minimizar as incertezas e obter uma aplicação sucedida do modelo (ABBASPOUR, 2015). Entretanto, muitos autores relatam sobre o desafio e a grande dificuldade em se calibrar modelos hidrológicos em áreas áridas e semiáridas, por causa dos fatores hidroclimáticos característicos dessas regiões (KAN et al., 2017) e indisponibilidade de dados para procedimentos de calibração e validação desses modelos (MENGISTU, RENSBURG, VAN e WOYESSA, 2019a).

### 3 MATERIAL E PROCEDIMENTOS

#### 3.1 Métodos

A revisão dos trabalhos foi realizada entre dezembro de 2019 e março de 2020, e visou fornecer uma análise teórica sobre a utilização do modelo SWAT em regiões áridas e semiáridas do mundo a partir de um recorte para o período de 2009 a 2019.

#### 3.2 Busca e seleção dos trabalhos

A estratégia de busca teve como objetivo identificar artigos nos quais o modelo SWAT tenha sido aplicado e publicado no período especificado, em bases de artigos (Tabela 1). Não foram impostas limitações no que concerne ao idioma de publicação. Mas, apenas limitados ao fato de terem sido aplicadas para regiões áridas e/ou semiáridas e se tratar de artigos científicos, ou seja, não foram consideradas nesta revisão teses, dissertações e resumos publicados em anais de eventos.

Tabela 1. Fontes primárias de informações utilizadas para realização da revisão sobre o uso do modelo SWAT em regiões áridas e/ou semiáridas.

Fonte da Informação	Endereço	Acesso	Característica
ScienceDirect	<a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>	Pago	Multidisciplinar
Portal de periódicos da CAPES	<a href="http://www-periodicos-capes-gov-br.ez19.periodicos.capes.gov.br/index.php?">http://www-periodicos-capes-gov-br.ez19.periodicos.capes.gov.br/index.php?</a>	Gratuito	Multidisciplinar
Google Acadêmico	<a href="https://scholar.google.com.br/scholar?q=">https://scholar.google.com.br/scholar?q=</a>	Gratuito	Multidisciplinar

Visando garantir a captura do maior número de trabalhos relevantes possíveis para a análise, os termos da busca incluíram os termos: “SWAT”, “*Semi-arid*”, “*Soil and Water Assessment Tool, arid*”, “SWAT” AND “*Semi-arid*”, “SWAT” AND “*Arid*”. Inicialmente, foi realizada uma triagem para eliminação dos trabalhos duplicados. Após este procedimento, foram observados: título, abstract e palavras-chave para observância do enquadramento dos artigos dentro da temática analisada. Todos os trabalhos que permaneceram após esta análise inicial foram incluídos nesta revisão, totalizando 134 trabalhos.

### 3.3 Análise dos dados

Para análise das informações, os artigos foram categorizados em 8 Grupos relativos à: 1) Ano de publicação; 2) Continente; 3) País e localidade da bacia estudada; 4) Simulações realizadas; 5) Calibração; 6) Validação; 7) Coeficientes de eficiência e 8) Sensibilidade do modelo.

Com o intuito de verificar qual a evolução dos estudos em regiões áridas e semiáridas no tempo e no espaço, buscamos responder por meio dos resultados em ano de publicação, continente e localização da bacia hidrográfica.

Para melhor visualização e entendimento das simulações realizadas, foi feita a separação em cinco grupos e posteriormente em subgrupos, de acordo com a afinidade cada: I. Agricultura (subgrupos: conteúdo de água no solo, vazão da água subterrânea, rendimento das culturas e reservatório de armazenamento); II. Governança hídrica (subgrupos: mudança no uso do solo e mudança climática); III. Conservação ambiental (subgrupos: produção de sedimentos, concentração de nitrato, destino e transporte de sais ou nutrientes, uso da água, qualidade da água e *blue and green water*); IV. Processo hidrológico (subgrupos: escoamento, evapotranspiração, precipitação, temperatura, vazão, percolação, fluxo do curso d'água, armazenamento do lençol freático e recarga do aquífero) e V. Eventos extremos (subgrupos: enchente ou inundação, seca e irrigação).

Para os resultados de simulações calibradas e validadas foram separados em: sim ou não, e se sim quantos anos de dados calibrados e/ou validados. Adicionalmente, foi realizada um levantamento dos coeficientes de eficiência do modelo aplicado: NSE, R<sup>2</sup>, PBIAS, RMSE, RSR e RE, para identificar aqueles mais utilizados nos estudos. E por fim, para posterior coleta dos dados por outros autores, foi realizada a captura dos valores dos parâmetros mais usados: CN2, ALPHA\_BF, SOL\_K, CH\_K2 e CH\_N2. No entanto, não é possível

recomendar quais destes indicadores seriam os melhores, pois é necessário realizar a etapa de sensibilidade dos parâmetros que varia de bacia para bacia.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Evolução dos estudos em regiões áridas e semiáridas no tempo

Foram analisados 134 artigos científicos publicados entre 2009 a 2019 em toda região árida e semiárida (Figura 4). De acordo com a classificação das regiões secas (drylands), definido pela UNCCD e CBD, estas regiões foram divididas em árido, semiárido, subúmido seco e hiperárido, sendo, portanto, os locais deste estudo. A maioria (58,21%) destes trabalhos foram desenvolvidos no Continente Asiático e a minoria (1,49%) na Oceania (Figura 5). A China foi o país que mais publicou artigos (40 estudos), seguido do Irã (23 estudos), EUA (19 estudos), Brasil (7 estudos) e Espanha (6 artigos).

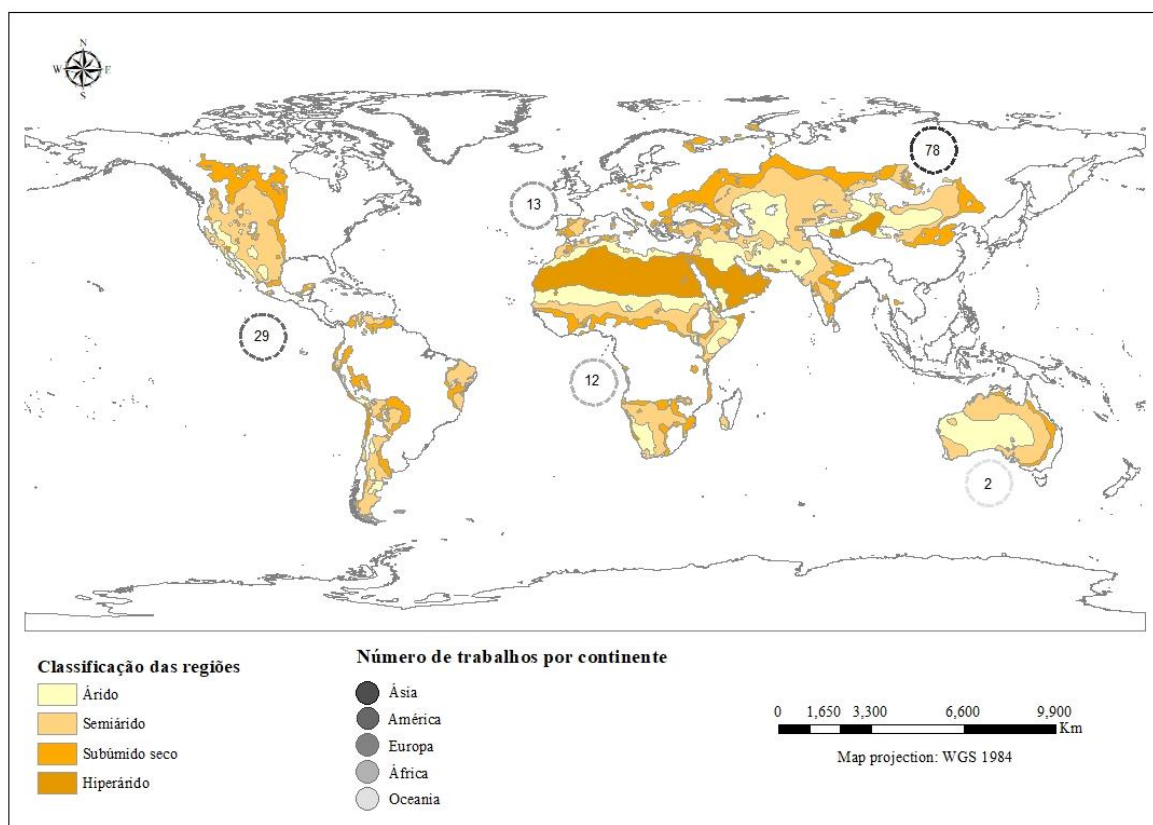


Figura 4. Distribuição dos trabalhos realizados em regiões semiáridas e áridas com uso do SWAT por continente. Fonte: UNEP-WCMC, 2007.

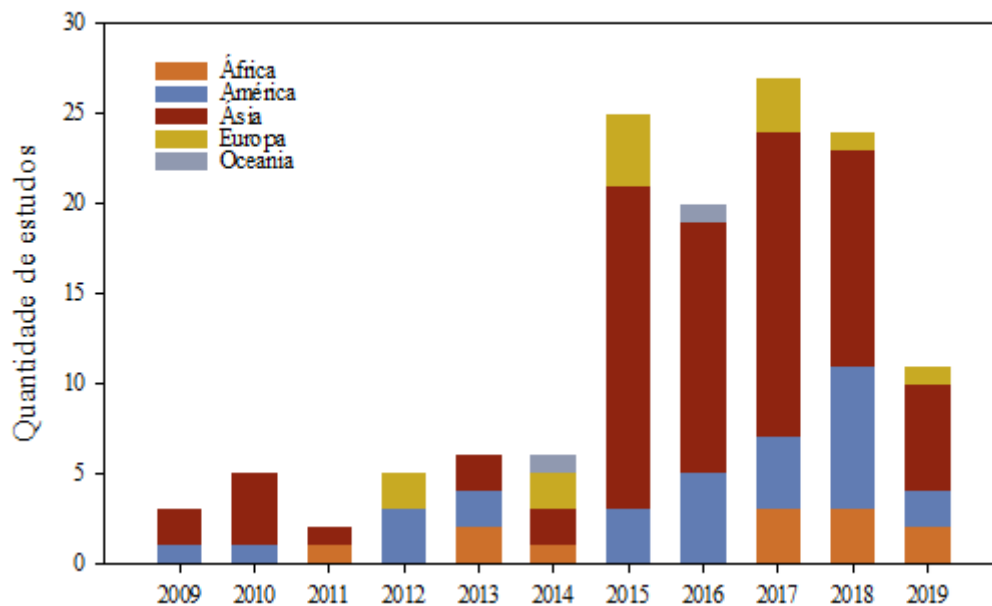


Figura 5. Relação entre a quantidade de estudos conduzidos em regiões semiáridas e áridas por continentes entre 2009 a 2019.

Apesar de ter sido observado um aumento de publicações com uso do SWAT a partir de 2009 (CARD, 2020; TAN et al., 2020) é a partir de 2014 que se observa maior destaque da aplicação deste modelo em publicações científicas (CARD, 2020). Da mesma forma, foi a partir de 2014 que os estudos nas regiões áridas e semiáridas foram impulsionados. Uma vez que nestas regiões as condições climáticas são extremas, os estudos que simulam os processos hidrológicos mediante mudança climática e uso do solo podem estimular a elaboração de políticas públicas com foco na melhoria do gerenciamento dos recursos hídricos.

O ano de 2017 foi aquele com maior número de publicações, com 20% do total observado para o período. Quanto à localização da Bacia hidrográfica, as Bacia do Rio Heihe (Heihe River Basin) e Bacia do Rio Karkheh (Karkheh River Basin) foram as mais estudadas (com 7 estudos cada) entre as demais Bacias localizadas em regiões áridas e semiáridas, ambas localizadas na Ásia. A escolha dessas bacias, muitas vezes, está relacionada com o grau de intensificação agrícola, escassez hídrica, poluição dos recursos hídricos a partir de fontes agrícolas, alta suscetibilidade à erosão do solo, ameaça à sustentabilidade agrícola ou até mesmo o grau de importância para determinado local (GIROLAMO et al., 2015; SILVA et al., 2016). Portanto, os autores optam por estes locais com intuito de melhoria do ambiente, uma vez que as bacias situadas em regiões áridas e semiáridas enfrentam inúmeros problemas

relacionados à quantidade e qualidade da água (NDAMBUKI, GYAMFI e SALIM, 2017). Esses problemas são desafiadores, pois atuam como engate para o desenvolvimento local, assim como na melhoria dos meios de subsistência da população.

#### 4.2 Porcentagem dos estudos relativos aos benefícios do estudo

Os estudos foram divididos em 5 grupos com foco em Agricultura (45 simulações), Governança hídrica (73 simulações), Conservação ambiental (58 simulações), Processo hidrológico (194 simulações) e Eventos extremos (9 simulações) (Figura 6). Com o maior número de simulações, o grupo de Processo hidrológico foi composto por 9 simulações: Escoamento, Evapotranspiração, Precipitação, Temperatura, Vazão, Percolação, Fluxo do curso d'água, Armazenamento do lençol freático e Recarga do aquífero. Portanto, buscaram compreender os processos hidrológicos estudando, em sua maioria, o escoamento (46 simulações) e a vazão dos rios (38 simulações). Em seguida, a maior frequência de simulações foi realizada por autores que buscaram o entendimento e melhoria de suas Bacias por meio da Governança hídrica. Do total de 379 simulações realizadas pelo SWAT, 46 foi relativa às mudanças climáticas e 27 quanto às mudanças do uso do solo.

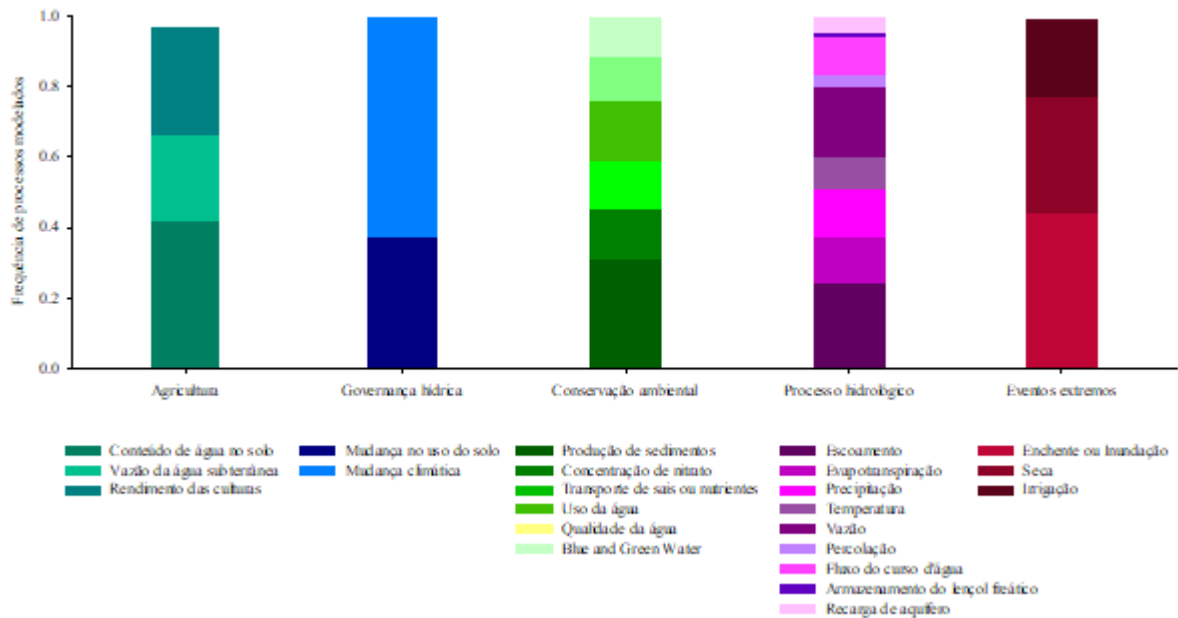


Figura 6. Frequência dos estudos simulados com o uso do SWAT em regiões áridas e semiáridas.

#### 4.3. Calibração e validação

Para melhoria e confiabilidade dos seus dados simulados, a maioria dos estudos realizaram a calibração do modelo SWAT (94%) (Figura 7), com uso na maior parte dos trabalhos de séries de dados entre 7 a 10 anos para efetuar esta calibração (27%). Uma minoria de estudos utilizou séries acima de 20 anos (6%) (ABBAS, WASIMI e AL-ANSARI, 2016; ABU-ALLABAN et al., 2015; BI et al., 2018; FREUND, ABBASPOUR e LEHMANN, 2017; KAMALI et al., 2017; LI et al., 2013; TAIE SEMIROMI e KOCH, 2019; YIN et al., 2016). Esta minoria de estudos deve ter sido devido à pequena disponibilidade de dados sequenciais, a qual pode atrapalhar a simulação dos processos hidrológicos (KAN et al., 2017; MENGISTU et al., 2019a).

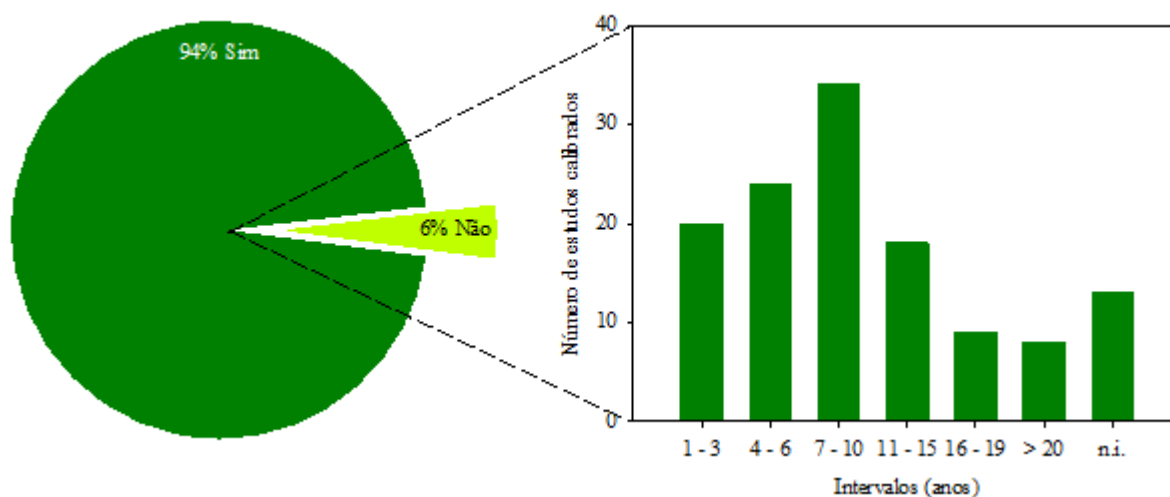


Figura 7. Quantitativo de estudos que realizaram a calibração.

Diversos autores adotaram dados de vazão diários (HIMANSHU, PANDEY e SHRESTHA, 2017; NOOR et al., 2014; SULIMAN et al., 2015), mensais (ASHRAF VAGHEFI et al., 2014; LI et al., 2010; TAIE SEMIROMI e KOCH, 2019) e anuais (GHORABA, 2015; KAMALI, ABBASPOUR e YANG, 2017; NIE et al., 2012) para realização da calibração. Com isto, pode-se observar algumas limitações observadas nos estudos, como citado por Dowlatabadi e Ali Zomorodian (2016) em que explicam que as diferenças indesejadas provenientes entre o processo hidrológico observado e o estimado podem ocorrer devido a: estações hidrometeorológicas insuficientes em relação com o tamanho da bacia estudada, má distribuição destas estações na bacia, erros humanos ao resgatar ou digitar esses dados e até a escassa presença e/ou falta de dispositivos com datalogger. Uma alternativa a esta problemática pode ser o uso de produtos derivados de satélites, a partir das quais é possível obter informações com boa resolução espaço-temporal para

entendimento das condições atmosféricas. Tan et al. (2020) indicam que o acoplamento de informações oriundas de satélites ao SWAT tem se tornado uma tendência para contornar a ausência de dados do monitoramento na superfície.

A Figura 8, sugere que a validação por outro lado, embora ocorra na maioria dos estudos (90%) nem sempre é realizada, e predominantemente é feita com séries de dados provisória (1 a 10 anos, em 71% dos trabalhos), enquanto apenas 4% utilizaram dados acima de 20 anos para validação (LI et al., 2013; SRIDHAR e NAYAK, 2010; XU et al., 2016; YIN et al., 2016; ZUO et al., 2015).

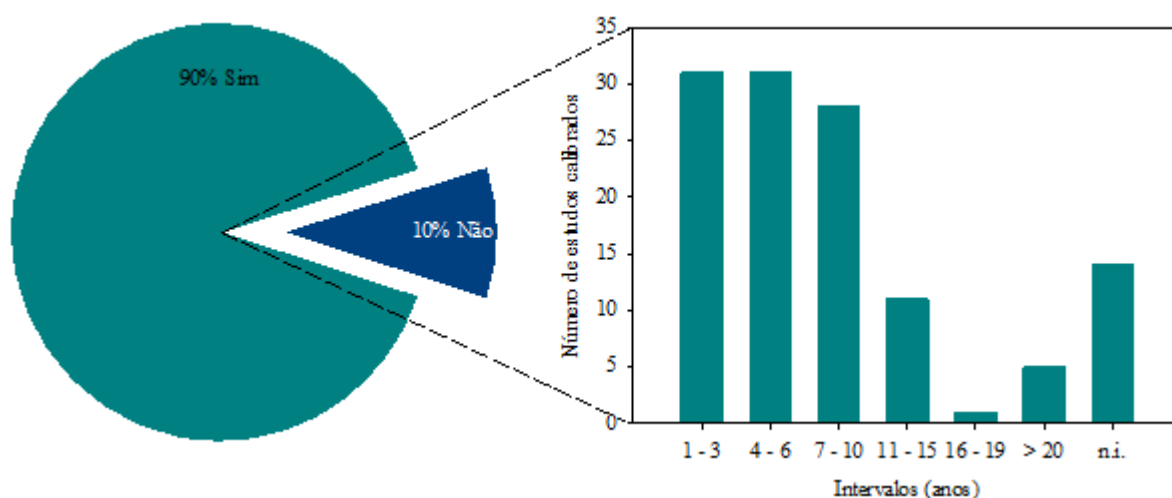


Figura 8. Quantitativo de estudos que realizaram a validação.

O sucesso da aplicação de um modelo hidrológico é dependente das etapas de calibração e validação, as quais são relacionadas à sua adequação as condições analisadas. Além disto, Shuol et al. (2008) relata que cada modelo simulado passa a depender das incertezas dos modelos conceituais, além de alguns processos naturais e artificiais que ocorrem na bacia podem não estar sendo representado no modelo e vice-versa. Zuo et al. (2015) relata que provavelmente o modelo SWAT é mais adequado para condições mais úmidas, ainda pode subestimar picos do fluxo da água na primavera e até mesmo sofrer alterações de acordo com a localização de reservatórios de água e dados insuficientes de uso da água na agricultura.

#### 4.4 Coeficientes de eficiência

A fim de analisar a confiabilidade do modelo, os autores utilizaram os indicadores estatísticos: Coefficient of Determination ( $R^2$ ), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Percent Bias



(PBIAS), Relative Error (RE), Root Mean Square Error (RMSE) e RMSE-Observations Standard Deviation Ratio (RSR) (Figura 9). Dos 134 artigos da revisão, 126 (94%) utilizaram pelo menos 1 ou no máximo 5 indicadores citados acima. Na sequência de maior frequência de indicadores utilizados temos: NSE (92%),  $R^2$  (76%), PBIAS (41%), RMSE (27%), RSR (10%) e RE (4%).

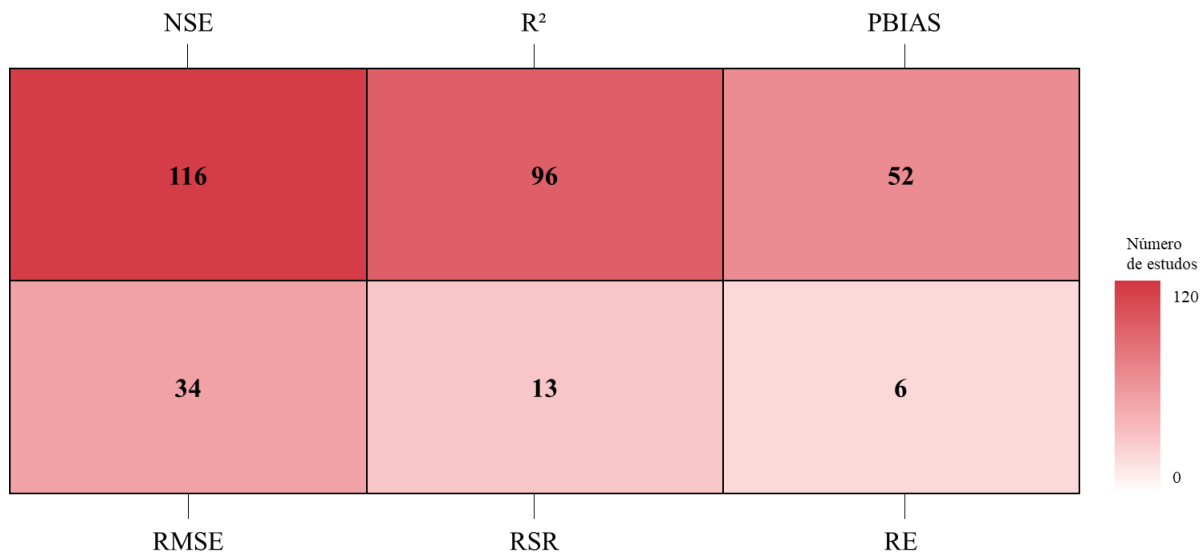


Figura 9. Número de estudos que utilizaram os coeficientes de eficiência.

O desempenho do modelo é baseado utilizando diferentes modelos estatísticos, em que é posteriormente analisado quanto à qualidade do modelo gerado, referente ao nível de satisfação. Como pudemos observar o NSE foi o mais utilizado sendo de fundamental importância no processo de calibração e validação, talvez este modelo foi o mais procurado por causa do trabalho de sua citação em Abbaspour (2015). Brouziyne et al. (2018) apresentou níveis satisfatórios em seu modelo com  $NSE = 0,58$ ,  $R^2 = 0,79$ ,  $PBIAS = 19\%$ , durante a calibração e  $NSE = 0,65$ ,  $R^2 = 0,73$ ,  $PBIAS = 20\%$ , durante a validação. Os resultados obtidos por (Peng et al., 2017) revelaram ótimo desempenho, com valores de  $NSE = 0,83$ ,  $R^2 = 0,97$  e  $NSE = 0,82$ ,  $R^2 = 0,95$ , para calibração e validação respectivamente, mostrando que o escoamento simulado ficou de acordo com os valores de escoamento medido durante o período estudado, sendo de fundamental importância. Mengistu et al. (2019a) relata que o sucesso de um modelo hidrológico está relacionado com os níveis de desempenho gerado, em seu estudo, os autores informam que o desempenho do modelo mostrou resultados aceitáveis  $NSE = 0,76$  e  $R^2 = 0,78$ .

#### 4.5 Sensibilidade

A escolha dos parâmetros de entrada ou dados de sensibilidade depende de vários fatores inerentes à bacia hidrográfica de estudo. Dos 134 artigos publicados, 77,6% realizaram este procedimento, enquanto que 22,4% não realizaram ou não divulgaram os dados nos respectivos estudos (ABU-ALLABAN et al., 2015; BAILEY, TAVAKOLI-KIVI e WEI, 2019; BI et al., 2018; CHAPLOT, 2007; CHEN e LI, 2016; CHUNG et al., 2010; COMÍN et al., 2014; GAMVROUDIS et al., 2017; IMANI et al., 2017; JAIN, PANDEY e JAIN, 2015; JAJARMIZADEH et al., 2016; KAMALI et al., 2017; KISHIWA et al., 2018; LI, ZHANG e XU, 2016; LI, MA e DU, 2010; LI et al., 2011; LIU et al., 2016; LUAN, YIN, et al., 2018; LUO et al., 2017; MEHTA et al., 2016; MOSBAHI, BENABDALLAH e BOUSSEMA, 2013; PERRA et al., 2018; RAMOS e MARTÍNEZ-CASASNOVAS, 2014; SALSABILLA e KUSRATMOKO, 2017; WANG et al., 2016; WHITE et al., 2015; WOYESSA, 2019; YAO et al., 2015; YE e GRIMM, 2013; ZHANG, L. et al., 2015).

Como podemos notar nas Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6, estes parâmetros possuem uma ampla gama de valores. Os parâmetros mais usados pelos os autores foram: CN2 (escoamento superficial), ALPHA\_BF (constante de recessão do escoamento de base), SOL\_K (fator erodibilidade do solo USLE), CH\_K2 (condutividade hidráulica efetiva do canal principal) e CH\_N2 (coeficiente de Manning para o canal principal). Podemos observar na Tabela 2, os valores que foram utilizados pelos autores de acordo com cada bacia de estudo. Os valores variaram entre -44 a 98, sendo o valor entre -25 a 25 aqueles mais utilizados (27 estudos), ambos conduzidos na Ásia. Na Tabela 3, podemos observar um estudo que adotou o valor de 6,11 para a Bacia do Rio Heihe (China), sendo o maior valor. E o menor valor, -0,2 a 0,6, adotado para a Bacia Salman Dam (Irã). Para os valores adotados do parâmetro de sensibilidade SOL\_K, foi observado a maior variação de valores, sendo Lower Arkansas River Valley (EUA) o valor que mais variou, de 0 a 150 (Tabela 4). Utilizado por 40 autores, o parâmetro CH\_K2, foi maior adotado por autores da Ásia, no qual 32% dos autores escolheram o valor entre 1 a 84,64 (Tabela 5). O parâmetro menos utilizado dos 5, foi o CH\_N2, com apenas 33 estudos (Tabela 6). Dos quatro estudos localizados no Continente Africano, foi adotado os valores 0,05, 0,067, 0,25 e 0,01 a 0,2, nos países Argélia, Marrocos, África do Sul e Tanzânia, consecutivamente.

Tabela 2. Descrição dos estudos realizados quanto ao continente, país onde foi realizado e com a faixa do CN2 utilizado.

Continente	Países	CN2 (faixa)	Estudos	Autores
------------	--------	-------------	---------	---------

África	Tunísia, Marrocos e África do Sul	-0,03 a 0,2	3	(KHELIFA <i>et al.</i> , 2017; MENGISTU; VAN RENSBURG; WOYESSA, 2019a; MIMICH <i>et al.</i> , 2018)
África	Tanzânia, África do Sul, Argélia e Marrocos	38,5 a 94	4	(BROUZIYNE <i>et al.</i> , 2018; LUBINI; ADAMOWSKI, 2013; NDAMBUKI; GYAMFI; SALIM, 2017; ZETTAM <i>et al.</i> , 2017)
América	Brasil e EUA	-0,25 a 0,25	10	(CHUN <i>et al.</i> , 2018; DA SILVA, Vicente De P.R.; SILVA; DE SOUZA, 2016; GOLDSTEIN; TARHULE, 2015; MAREK <i>et al.</i> , 2016; MEHAN <i>et al.</i> , 2016b; NASCIMENTO; FRADE; SILVA, 2018; SILVA, Lorryne; COSTA, 2019; SRIDHAR; NAYAK, 2010; WEI; BAILEY; TASDIGHI, 2018; WU, Yiping; LIU; GALLANT, 2012a)
América	Brasil, EUA e México	0,58 a 10	4	(Bressiani <i>et al.</i> , 2015; Nie <i>et al.</i> , 2012; Niraula <i>et al.</i> , 2012; Yimam <i>et al.</i> , 2017)
América	Brasil, EUA e México	20 a 98	5	(AHN <i>et al.</i> , 2018; MAGALHÃES <i>et al.</i> , 2018; MOLINA-NAVARRO <i>et al.</i> , 2016; SANTOS <i>et al.</i> , 2019; STRATTON <i>et al.</i> , 2009)
Ásia	China	-44	1	(SUN <i>et al.</i> , 2017)
Ásia	China, Índia, Irã, Iraque e Mongólia	-25 a 25	27	(ABBAS; WASIMI; AL-ANSARI, 2016; AGHAKHANI AFSHAR <i>et al.</i> , 2018; ANDARYANI; TROLLE; <i>et al.</i> , 2019; ASHRAF VAGHEFI <i>et al.</i> , 2014; AZIMI <i>et al.</i> , 2013; DOWLATABADI; ALI ZOMORODIAN, 2016; GUO <i>et al.</i> , 2016; HIMANSHU; PANDEY; SHRESTHA, 2017; JIN <i>et al.</i> , 2018; KAVIAN <i>et al.</i> , 2018; KOUCHI <i>et al.</i> , 2017; LI, Erhui <i>et al.</i> , 2017; LI, Zhi <i>et al.</i> , 2010; LIU, G. H. <i>et al.</i> , 2015; LIU, Jianwei <i>et al.</i> , 2017; LUAN; WU; <i>et al.</i> , 2018; NOOR <i>et al.</i> , 2014; OUYANG <i>et al.</i> , 2017; SAYYAD <i>et al.</i> , 2015a; SINGH; SHARMA; JOSHI, 2015; SOLAYMANI; GOSAIN, 2015; TAIE SEMIROMI; KOCH, 2019; WANG, Hong <i>et al.</i> , 2017a; YIN <i>et al.</i> , 2016; YU <i>et al.</i> , 2018; ZHANG, Ling <i>et al.</i> , 2017; ZUO <i>et al.</i> , 2015)
Ásia	China, Irã e Jordânia	30 a 98	8	(DUAN <i>et al.</i> , 2019; HAMMOURI <i>et al.</i> , 2017; LI, Qingyun <i>et al.</i> , 2013; LU <i>et al.</i> , 2015; MASIH <i>et al.</i> , 2011; QIU <i>et al.</i> , 2019; SULIMAN <i>et al.</i> , 2015; TARAWNEH; BRIDGE; MACDONALD, 2016)
Europa	Alemanha	-0,25	1	(BAUWE; KAHLE; LENNARTZ, 2019)
Europa	Espanha	2,4	1	(SENENT-APARICIO <i>et al.</i> , 2017)
Europa	Espanha e Itália	54 a 88	3	(DE GIROLAMO, A. M.; LO PORTO, 2012; DE GIROLAMO, Anna Maria <i>et al.</i> , 2015; RAMOS;

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, 2015)				
Oceania	Austrália	0,18	1	(SHRESTHA <i>et al.</i> , 2016)
Oceania	Austrália	57 a 87	1	(SAHA; ZELEKE; HAFEEZ, 2014)

Tabela 3. Descrição dos estudos realizados quanto ao continente, país onde foi realizado e com a faixa do ALPHA\_BF utilizado.

Continente	Países	ALPHA_BF (faixa)	Estudos	Autores
África	Argélia	0,055 a 0,975	1	(ZETTAM <i>et al.</i> , 2017)
África	Africa do Sul e Tanzânia	0,15 a 0,39	3	(LUBINI; ADAMOWSKI, 2013; MENGISTU; VAN RENSBURG; WOYESSA, 2019b; NDAMBUKI; GYAMFI; SALIM, 2017)
África	Marrocos e Tunísia	0,7 a 0,92	2	(KHELIFA <i>et al.</i> , 2017; MIMICH <i>et al.</i> , 2018)
América	México	0,441	1	(MOLINA-NAVARRO <i>et al.</i> , 2016)
América	Brasil, EUA e México	0 a 1	13	(AHN <i>et al.</i> , 2018; BRESSIANI, Danielle Almeida <i>et al.</i> , 2015; DA SILVA, Vicente De P.R.; SILVA; DE SOUZA, 2016; MAGALHÃES <i>et al.</i> , 2018; MEHAN <i>et al.</i> , 2016a; NASCIMENTO; FRADE; SILVA, 2018; NIRAULA <i>et al.</i> , 2012; SILVA, Lorryne; COSTA, 2019; SRIDHAR; NAYAK, 2010; STRATTON <i>et al.</i> , 2009; WEI; BAILEY; TASDIGHI, 2018; WU, Yiping; LIU; GALLANT, 2012a; YIMAM; OCHSNER; FOX, 2017)
América	EUA	0,329	1	(GOLDSTEIN; TARHULE, 2015)
Ásia	China, Índia, Irã, Iraque, Israel e Mongolia	-0,42 a 1	32	(ABBAS; WASIMI; AL-ANSARI, 2016; AGHAKHANI AFSHAR <i>et al.</i> , 2018; ANDARYANI; TROLLE; <i>et al.</i> , 2019; ASHRAF VAGHEFI <i>et al.</i> , 2014; DOWLATABADI; ALI ZOMORODIAN, 2016; DUAN <i>et al.</i> , 2019; ESHTAWI; EVERS; TISCHBEIN, 2016; GUO <i>et al.</i> , 2016; HIMANSHU; PANDEY; SHRESTHA, 2017; KAMALI; ABBASPOUR; YANG, 2017; KAVIAN <i>et al.</i> , 2018; KOUCHI <i>et al.</i> , 2017; LI, Erhui <i>et al.</i> , 2017; LI, Qingyun <i>et al.</i> , 2013; LIU, G. H. <i>et al.</i> , 2015; LIU, Jianwei <i>et al.</i> , 2017; LU <i>et al.</i> , 2015; LUAN; WU; <i>et al.</i> , 2018; MASIH <i>et al.</i> , 2011; NOOR <i>et al.</i> , 2014; OUYANG <i>et al.</i> , 2017; SINGH; SHARMA; JOSHI, 2015; SULIMAN <i>et al.</i> , 2015; SUN <i>et al.</i> , 2017; TAIE SEMIROMI; KOCH, 2019; WANG, Hong <i>et al.</i> , 2017a; XU, Z. X. <i>et al.</i> , 2009; YIN <i>et al.</i> , 2016; YU <i>et al.</i> , 2018; ZHANG, Ling <i>et al.</i> , 2017; ZHANG, Yueguan <i>et al.</i> , 2015; ZUO

<i>et al., 2015)</i>				
Ásia	China	6,11	1	(JIN <i>et al.</i> , 2018)
Ásia	Irã	0 a 50	1	(SOLAYMANI; GOSAIN, 2015)
Europa	Espanha e Itália	0 a 0,75	3	(DE GIROLAMO, A. M.; LO PORTO, 2012; RAMOS; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, 2015; SENENT-APARICIO <i>et al.</i> , 2017)
Europa	Itália	0,37 a 0,9	1	(DE GIROLAMO, Anna Maria <i>et al.</i> , 2015)
Europa	Espanha	0,923	1	(DECHMI; BURGUETE; SKHIRI, 2012)
Oceania	Austrália	0,7	1	(SAHA; ZELEKE; HAFEEZ, 2014)
Oceania	Austrália	1	1	(SHRESTHA <i>et al.</i> , 2016)

Tabela 4. Descrição dos estudos realizados quanto ao continente, país onde foi realizado e com a faixa do SOL\_K utilizado.

Continente	Países	SOL_K (faixa)	Estudos	Autores
África	Tunísia	-0,91 a -0,89	1	(KHELIFA <i>et al.</i> , 2017)
África	Tanzânia	7 a 23	1	(LUBINI; ADAMOWSKI, 2013)
África	Argélia	4,71 a 180	1	(ZETTAM <i>et al.</i> , 2017)
América	Brasil e EUA	-0,94 a -0,4584	5	(CHUN <i>et al.</i> , 2018; MEHAN <i>et al.</i> , 2016a; NASCIMENTO; FRADE; SILVA, 2018; SILVA, Lorryne; COSTA, 2019; STRATTON <i>et al.</i> , 2009)
América	Brasil, EUA e México	0 a 150	4	(DA SILVA, Vicente De P.R.; SILVA; DE SOUZA, 2016; MOLINA-NAVARRO <i>et al.</i> , 2016; NIRLAULA <i>et al.</i> , 2012; WEI; BAILEY; TASDIGHI, 2018)
América	Brasil	2 a 79,1	3	(SANTOS <i>et al.</i> , 2018, 2019; SILVA, Madson Tavares <i>et al.</i> , 2002)
Ásia	China, Índia, Irã, Jordânia e Mongólia	-50 a 50	23	(AGHAKHANI AFSHAR <i>et al.</i> , 2018; ANDARYANI; TROLLE; <i>et al.</i> , 2019; HAMMOURI <i>et al.</i> , 2017; HIMANSHU; PANDEY; SHRESTHA, 2017; KAVIAN <i>et al.</i> , 2018; KOUCHI <i>et al.</i> , 2017; LI, Erhui <i>et al.</i> , 2017; LI, Qingyun <i>et al.</i> , 2013; LI, Zhi <i>et al.</i> , 2010; LIU, G. H. <i>et al.</i> , 2015; LIU, Jianwei <i>et al.</i> , 2017; MASIH <i>et al.</i> , 2011; NOOR <i>et al.</i> , 2014; QIU <i>et al.</i> , 2019; SAYYAD <i>et al.</i> , 2015b; SINGH; SHARMA; JOSHI, 2015; SULIMAN <i>et al.</i> , 2015; WANG, Hong <i>et al.</i> , 2017a; XU, Z. X. <i>et al.</i> , 2009; YIN <i>et al.</i> , 2016; YU <i>et al.</i> , 2018; ZHANG, Ling <i>et al.</i> , 2017; ZUO <i>et al.</i> , 2015)
Ásia	China	141,46	1	(OUYANG <i>et al.</i> , 2017)
Ásia	China	830,1	1	(DUAN <i>et al.</i> , 2019)
Ásia	China	0 a 2000	1	(LU <i>et al.</i> , 2015)

Europa	Itália	0,5 a 22	1	(DE GIROLAMO, A. M.; LO PORTO, 2012)
Europa	Espanha	14,5	1	(SENENT-APARICIO <i>et al.</i> , 2017)
Oceania	Austrália	0,06	1	(SHRESTHA <i>et al.</i> , 2016)

Tabela 5. Descrição dos estudos realizados quanto ao continente, país onde foi realizado e com a faixa do CH\_K2 utilizado.

Continente	Países	CH_K2 (faixa)	Estudos	Autores
África	Tanzânia	0,019	1	(LUBINI; ADAMOWSKI, 2013)
África	África do Sul	52,93	1	(MENGISTU; VAN RENSBURG; WOYESSA, 2019b)
África	Argélia e Marrocos	58 a 406	2	(MIMICH <i>et al.</i> , 2018; ZETTAM <i>et al.</i> , 2017)
América	Brasil, EUA e México	0 a 1,5	5	(GOLDSTEIN; TARHULE, 2015; NIE <i>et al.</i> , 2012; NIRLAULA <i>et al.</i> , 2012; SANTOS <i>et al.</i> , 2018, 2019)
América	Brasil e EUA	3,12 a 5,0	3	(CHUN <i>et al.</i> , 2018; NASCIMENTO; FRADE; SILVA, 2018; YIMAM; OCHSNER; FOX, 2017)
América	Brasil, EUA e México	57,85 a 89,4	3	(MEHAN <i>et al.</i> , 2016b; MOLINA-NAVARRO <i>et al.</i> , 2016; SILVA, Lorrayne; COSTA, 2019)
América	EUA	0,025 a 150	1	(WEI; BAILEY; TASDIGHI, 2018)
Ásia	China	-14,09	1	(JIN <i>et al.</i> , 2018)
Ásia	China	-0,01 a 500	1	(QIU <i>et al.</i> , 2019)
Ásia	China e Irã	0 a 150	4	(HIMANSHU; PANDEY; SHRESTHA, 2017; SAYYAD <i>et al.</i> , 2015b; SOLAYMANI; GOSAIN, 2015; YU <i>et al.</i> , 2018)
Ásia	China, Índia, Irã e Iraque	1 a 84,64	13	(ABBAS; WASIMI; AL-ANSARI, 2016; ANDARYANI; TROLLE; <i>et al.</i> , 2019; DUAN <i>et al.</i> , 2019; GUO <i>et al.</i> , 2016; LU <i>et al.</i> , 2015; MASIH <i>et al.</i> , 2011; OUYANG <i>et al.</i> , 2017; SINGH; SHARMA; JOSHI, 2015; SULIMAN <i>et al.</i> , 2015; WANG, Hong <i>et al.</i> , 2017b; XU, Z. X. <i>et al.</i> , 2009; YIN <i>et al.</i> , 2016; ZUO <i>et al.</i> , 2015)
Ásia	China, Irã e Mongolia	101,5 a 175,93	3	(AGHAKHANI AFSHAR <i>et al.</i> , 2018; LIU, Jianwei <i>et al.</i> , 2017; ZHANG, Ling <i>et al.</i> , 2017)
Europa	Espanha	9	1	(DECHMI; BURGUETE; SKHIRI, 2012)
Oceania	Austrália	70	1	(SAHA; ZELEKE; HAFEEZ, 2014)

Tabela 6. Descrição dos estudos realizados quanto ao continente, país onde foi realizado e com a faixa do CH\_N2 utilizado.

Continente	Países	CH_N2 (faixa)	Estudos	Autores
África	Argélia	0,05	1	(LUBINI; ADAMOWSKI, 2013)

África	Marrocos	0,067	1	(MIMICH <i>et al.</i> , 2018)
África	Tanzânia	0,01 a 0,2	1	(ZETTAM <i>et al.</i> , 2017)
África	África do Sul	0,25	1	(MENGISTU; VAN RENSBURG; WOYESSA, 2019b)
América	Brasil e EUA	0,01 a 0,07	2	(SILVA, Lorryne; COSTA, 2019; WEI; BAILEY; TASDIGHI, 2018)
América	Brasil e EUA	0,1059 a 0,15	4	(MAREK <i>et al.</i> , 2016; MEHAN <i>et al.</i> , 2016b; NASCIMENTO; FRADE; SILVA, 2018; WU, Yiping; LIU; GALLANT, 2012a)
América	EUA	0,2018	1	(CHUN <i>et al.</i> , 2018)
Ásia	China	-2,49	1	(JIN <i>et al.</i> , 2018)
Ásia	Índia	0 a 1	1	(HIMANSHU; PANDEY; SHRESTHA, 2017)
Ásia	Índia e Irã	0,44708 e 0,52	2	(KAVIAN <i>et al.</i> , 2018; SINGH; SHARMA; JOSHI, 2015)
Ásia	China, Irã e Mongólia	0 a 0,3	15	(AGHAKHANI AFSHAR <i>et al.</i> , 2018; ANDARYANI; TROLLE; <i>et al.</i> , 2019; ASHRAF VAGHEFI <i>et al.</i> , 2014; DOWLATABADI; ALI ZOMORODIAN, 2016; DUAN <i>et al.</i> , 2019; LIU, Jianwei <i>et al.</i> , 2017; MASIH <i>et al.</i> , 2011; OUYANG <i>et al.</i> , 2017; SAYYAD <i>et al.</i> , 2015b; SOLAYMANI; GOSAIN, 2015; SULIMAN <i>et al.</i> , 2015; YIN <i>et al.</i> , 2016; YU <i>et al.</i> , 2018; ZHANG, Ling <i>et al.</i> , 2017; ZUO <i>et al.</i> , 2015)
Europa	Itália	0,025	1	(DE GIROLAMO, A. M.; LO PORTO, 2012)
Oceania	Austrália	0,08	1	(SAHA; ZELEKE; HAFEEZ, 2014)
Oceania	Austrália	0,23	1	(SHRESTHA <i>et al.</i> , 2016)

Observou-se que os valores negativos de CN2 estão relacionados com o clima da bacia estudada. Por exemplo, a Bacia do Rio Wei está situada na China e sua altitude varia entre 300 a 3495 m, em que a temperatura mínima do ar no inverno pode chegar a -31°C, havendo acumulação de neve nas áreas mais altas da Bacia (ZUO *et al.*, 2015). Os resultados obtidos mostraram que dos 28 parâmetros escolhidos, o CN2 e ALPHA\_BF foram os mais sensíveis (Tabela 2 e Tabela 3). Com isso, podendo concluir que a alta variabilidade de valores está ao fato de diversas bacias no estudo e diferentes localidades de estudo, apesar de ambas serem de regiões áridas e semiáridas, mas possuem características ímpares.

#### 4.6 Estudos da simulação do uso e cobertura da terra

Uma das simulações mais realizadas pelos autores desta revisão foi quanto à alteração do uso da terra (27 simulações). Dos 27 estudos, apenas dois não definiram ou não expuseram os valores dos parâmetros de sensibilidade no artigo (BI *et al.*, 2018; ZHANG, L. *et al.*,

2015). No entanto, 100% dos estudos realizaram os procedimentos de calibração e validação. 45% dos artigos selecionados foram conduzidos nas bacias chinesas: Bacias do Rio Fenhe (1), Bacia do Rio Heihe (3), Bacia do Rio Luanhe (1), Bacia do Rio Naoli (1), Bacia do Rio Wei (1), Bacia do Rio Weihe (1), Bacia do Rio Xilin (1), Bacia do Rio Xiyang (1), Bacia do Rio Yanhe (1), Bacia do Rio Yellow e Bacia do Rio Yingluoxia (1).

Ndambuki et al. (2017) adotaram três diferentes cenários de mudança no uso da terra, para averiguar as respostas na recarga das águas subterrâneas da bacia localizada no continente africano (Bacia do Rio Olifants). Os autores afirmam que a dinâmica das águas subterrâneas se altera de acordo com as alterações no regime hidrológico e confirmaram que a redução na recarga de água subterrânea (~35 mm/ano em 2000 para ~23 mm/ano em 2013) na bacia estudada esteve relacionada com o aumento das áreas urbanas, áreas agrícolas e pastagens (para o mesmo período). Em um estudo conduzido no continente asiático na Bacia do Rio Heihe, China, os autores averiguaram as respostas climáticas e hidrológicas mediante seis cenários de uso da terra. Viram que entre 2006 a 2030, haverá aumento das áreas urbanas e pastagens, porém diminuição das áreas não utilizáveis. Com isso, pôde concluir que a temperatura e precipitação sofrerão uma variação entre +0,8°C e +10,8°C, respectivamente. O que ocasionará impactos substanciais na hidrologia da bacia hidrográfica, especialmente no escoamento superficial e no fluxo d'água do rio (WU et al., 2015).

Em outro estudo conduzido na Bacia do Rio Xilin, China, os autores afirmam que a mudança na cobertura vegetal foi um dos fatores contribuintes importantes para as variações do fluxo da corrente de água (SUN et al., 2017), assim como outros autores (LIU et al., 2015; SILVA et al., 2018; WANG et al., 2017a). Portanto, concluindo que o modelo hidrológico utilizado serve como uma ferramenta de apoio à decisão na avaliação de recarga de águas subterrâneas, mitigação de impactos hidrológicos negativos nas bacias estudadas e na melhoria na qualidade dos recursos hídricos em regiões com restrição hídrica.

Alguns autores ainda afirmam que os impactos das mudanças climáticas e do uso e cobertura da terra não podem ser simuladas isoladamente, pois ambos exercem grande impacto no ciclo hidrológico, além de contribuir na produção e transporte de sedimentos, afetando assim a quantidade e a qualidade dos sistemas hídricos de uma região (PULIDO-VELAZQUEZ et al., 2015).

Na Tabela 7 é possível observar os objetivos dos autores ao aplicar o modelo SWAT nas bacias correspondentes. Muitos estudos investigaram tanto a eficiência hidrológica como os impactos negativos nos processos hidrológicos, como por exemplo ao avaliar cenários de



usos de terra com adoção de recuperação da caatinga ou diminuição de áreas utilizáveis e aumento de pastagens/culturas agrícolas, consecutivamente. Dos 27 artigos, 48% relatam que seus trabalhos atuam para o melhor gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos e terrestres. Dos artigos selecionados para esta finalidade, foram observadas 48 respostas hidrológicas, das quais 22,9% avaliaram o fluxo de água superficial e subterrâneo, 16,7% escoamento, 12,5% cargas de poluentes, 8,3% rendimento da água, 6,2% produção de sedimentos e 33,4% outras avaliações.

Tabela 7. Relação dos artigos que realizaram inúmeras simulações mediante mudança do uso e cobertura da terra.

Respostas hidrológicas	Recomendações e contribuição dos autores/Ações mitigadoras de impactos negativos/Objetivo final/Aplicabilidade do modelo	Autores
Recarga das águas subterrâneas	Avaliação de recarga hídrica	(NDAMBUKI; GYAMFI; SALIM, 2017)
Percolação, Umidade do solo, Escoamento superficial	Recuperação de cabeceiras e aumento da resiliência hídrica	(MAGALHÃES <i>et al.</i> , 2018)
Produção de sedimentos, Erosão do solo	Identificação das áreas com alta probabilidade à erosão	(Silva <i>et al.</i> , 2016)
Fluxo de água, Produção de sedimentos	Identificação de áreas que necessitam de reflorestamento	(Silva <i>et al.</i> , 2018)
Escoamento, Conteúdo de água no solo, Evapotranspiração	Regular recursos hídricos e mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas	(LI, Zhi <i>et al.</i> , 2010)
Escoamento superficial, Fluxo de águas subterrâneas	Gerenciamento e planejamento de recursos hídricos	(YIN <i>et al.</i> , 2016)
Cargas de nitrogênio e fósforo total	Qualidade da água superficial	(BI <i>et al.</i> , 2018)
Água subterrânea, Rendimento da água	Gerenciamento de recursos terrestres e hídricos	(LU <i>et al.</i> , 2015)
Fluxo de água	Gerenciamento e planejamento de recursos hídricos	(SUN <i>et al.</i> , 2017)
Vazão do rio	Gerenciamento e planejamento de recursos hídricos	(LUAN; WU; <i>et al.</i> , 2018)
Escoamento superficial, Fluxo de água	Conservação do solo e água	(WANG, Hong <i>et al.</i> , 2017a)
Fluxo de água	Gerenciamento e planejamento de recursos hídricos	(GUO <i>et al.</i> , 2016)
Produção de sedimentos, Rendimento da água	Gerenciamento de recursos terrestres e hídricos	(YANG <i>et al.</i> , 2019)
Fluxo de água, Frequência de extremos	Gerenciamento e planejamento de recursos hídricos	(Zhang <i>et al.</i> , 2015)

hidrológicos		
Fluxo de água	Planejamento de uso e ocupação do solo na bacia	(Liu et al., 2015)
Escoamento superficial, Rendimento da água, Fluxo de água	Gerenciamento e planejamento de recursos hídricos	(WU, Feng <i>et al.</i> , 2015)
Fluxo de água, Umidade do solo	Gerenciamento e planejamento de recursos hídricos	(JI; DUAN, 2019)
Recurso de água doce	Gerenciamento e planejamento de recursos hídricos	(FREUND; ABBASPOUR; LEHMANN, 2017)
Fluxo de água subterrânea, Concentração de nitrato	Gerenciamento da quantidade e qualidade da água	(PULIDO-VELAZQUEZ <i>et al.</i> , 2015)
Fluxo de água, Produção de pastagem	Gerenciamento de recursos terrestres e hídricos	(YIMAM; OCHSNER; FOX, 2017)
Percolação, Escoamento superficial, Rendimento da água	Gerenciamento de recursos terrestres e hídricos	(NIE <i>et al.</i> , 2012)
Cargas de nitrogênio	Qualidade da água e gerenciamento de recursos terrestres	(KAVIAN <i>et al.</i> , 2018)
Escoamento, Recarga das águas subterrâneas	Gerenciamento de recursos terrestres e hídricos	(ANDARYANI; TROLLE; <i>et al.</i> , 2019)
Recarga das águas subterrâneas	Quantidade e qualidade da água	(EHTIAT; JAMSHID MOUSAVI; SRINIVASAN, 2018)
Cargas de poluentes: nitrogênio e fósforo	Gerenciamento sustentável da água e de uso de fertilizantes	(DE GIROLAMO, A. M.; LO PORTO, 2012)
Escoamento superficial	Alocação racional de recursos hídricos e gerenciamento de recursos terrestres	(LIU, Jianwei <i>et al.</i> , 2017)
Eficiência no uso da água	Aumento da produtividade de biomassa	(JORDAN <i>et al.</i> , 2018)

## CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

Tomadores de decisão têm utilizado a ferramenta SWAT com diversas finalidades. Nesta revisão buscamos investigar como o modelo SWAT tem sido aplicado em regiões áridas e semiáridas do mundo e quais critérios têm sido utilizados na aplicação do modelo. Estas informações são essenciais para o direcionamento relativo à proposição de trabalhos futuros nestas áreas que busquem elucidar as lacunas do conhecimento existentes, e contribuam para o avanço da modelagem usando o SWAT e da sociedade. Em nosso trabalho, identificamos 134 trabalhos com uso deste modelo em diferentes regiões áridas e semiáridas do globo com diversas aplicações. Com maiores e menores quantidades de aplicações nos

continentes Asiático e Oceania, respectivamente. A evolução das publicações foi evidenciada a partir de 2014, com maior quantidade de trabalhos observados no ano de 2017. Em relação às simulações realizadas pode-se constatar melhor simulação para picos em condições mais úmidas (Zhuo et al., 2015). Adicionalmente a quantidade de anos de dados utilizados para a calibração e validação normalmente é baixa em decorrência da limitação na disponibilidade de dados de superfície ou a descontinuidade de observações nestas áreas somadas à alta heterogeneidade. Dentre os índices de eficiência o NSE (92%) foi aquele de maior utilização, seguido de R<sup>2</sup> (76%) e PBIAS (41%). Simulações de cenários que visam a mudança no uso da terra e as mudanças climáticas devem ser consideradas no planejamento de recursos hídricos para as bacias hidrográficas semiáridas e áridas do globo. O impacto da dinâmica da vegetação nos processos hidrológicos por meio de simulações, é essencial para o gerenciamento de recursos terrestres e hídricos e também no desenvolvimento das estratégias na gestão de bacias hidrográficas em regiões com restrição hídrica. Além disso, o uso de maior número de dados hidrológicos pode melhorar as etapas de validação e calibração do modelo, podendo ser utilizados como alternativas informações relativas à umidade do solo ou uso de informações obtidas por meio de satélites.

## REFERÊNCIAS

ABBAS, Nahlah; WASIMI, Saleh A.; AL-ANSARI, Nadhir. Assessment of climate change impacts on water resources of khabour in kurdistan, Iraq using swat model. **Journal of Environmental Hydrology**, vol. 24, p. 716–732, 2016. <https://doi.org/10.4236/eng.2016.810065>.

ABBASPOUR, Karim C. **SWAT-CUP: SWAT Calibration and Uncertainty Programs**. Duebendorf: [s. n.], 2015.

ABU-ALLABAN, Mahmoud; EL-NAQA, Ali; JABER, Mohammed; HAMMOURI, Nezar. Water scarcity impact of climate change in semi-arid regions: a case study in Mujib basin, Jordan. **Arabian Journal of Geosciences**, vol. 8, no. 2, p. 951–959, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1266-5>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, (ANA). **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação**. Brasília: [s. n.], 2016.

AGHAKHANI AFSHAR, A.; HASSANZADEH, Y.; POURREZA-BILONDI, M.; AHMADI, A. Analyzing long-term spatial variability of blue and green water footprints in a semi-arid mountainous basin with MIROC-ESM model (case study: Kashafrood River Basin, Iran). **Theoretical and Applied Climatology**, vol. 134, no. 3–4, p. 885–899, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2309-0>.

AHN, Sora; ABUDU, Shalamu; SHENG, Zhuping; MIRCHI, Ali. Hydrologic impacts of drought-adaptive agricultural water management in a semi-arid river basin: Case of Rincon Valley, New Mexico. **Agricultural Water Management**, vol. 209, no. July, p. 206–218, 2018. DOI 10.1016/j.agwat.2018.07.040. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.040>.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; DE MORAES GONÇALVES, José Leonardo; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 22, no. 6, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ANAND, Jatin; GOSAIN, A. K.; KHOSA, R. Prediction of land use changes based on Land Change Modeler and attribution of changes in the water balance of Ganga basin to land use change using the SWAT model. **Science of the Total Environment**, vol. 644, p. 503–519, 2018. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.07.017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.017>.

ANDARYANI, Soghra; NOURANI, Vahid; TROLLE, Dennis; DEHGANI, Maryam; ASL, Abolfazl Mokhtari. Assessment of land use and climate change effects on land subsidence using a hydrological model and radar technique. **Journal of Hydrology**, vol. 578, p. 124070, 1 Nov. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124070>.

ANDARYANI, Soghra; TROLLE, Dennis; NIKJOO, M. R.; MOGHADAM, M. H.Rezaei; MOKHTARI, Davod. Forecasting near-future impacts of land use and climate change on the Zilbier river hydrological regime, northwestern Iran. **Environmental Earth Sciences**, vol. 78, no. 6, p. 1–14, 2019. DOI 10.1007/s12665-019-8193-4. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-019-8193-4>.

ANDRADE, Carolyne Wanessa Lins de; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima; LIMA, José Romualdo de Sousa; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; MAGALHÃES,

Adriana Guedes. Modelagem hidrológica sob mudanças na cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica no Nordeste do Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, vol. 2, no. 3, p. 239, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1446.239-248>.

ANJUM, Muhammad Naveed; DING, Yongjian; SHANGGUAN, Donghui. Simulation of the projected climate change impacts on the river flow regimes under CMIP5 RCP scenarios in the westerlies dominated belt, northern Pakistan. **Atmospheric Research**, vol. 227, p. 233–248, 1 Oct. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.05.017>.

ASHRAF VAGHEFI, S.; MOUSAVI, S. J.; ABBASPOUR, K. C.; SRINIVASAN, R.; YANG, H. Analyses of the impact of climate change on water resources components, drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh River Basin in Iran. **Hydrological Processes**, vol. 28, no. 4, p. 2018–2032, 2014. <https://doi.org/10.1002/hyp.9747>.

AZIMI, M.; HESHMATI, Gh A.; FARAHPOUR, M.; FARAMARZI, M.; ABBASPOUR, K. C. Modeling the impact of rangeland management on forage production of sagebrush species in arid and semi-arid regions of Iran. **Ecological Modelling**, vol. 250, p. 1–14, 2013. DOI 10.1016/j.ecolmodel.2012.10.017. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.10.017>.

BAILEY, Ryan T.; TAVAKOLI-KIVI, Saman; WEI, Xiaolu. A Salinity Module for SWAT to Simulate Salt Ion Fate and Transport at the Watershed Scale. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, , p. 1–26, 2019. <https://doi.org/10.5194/hess-2018-614>.

BANNWARTH, M. A.; SANGCHAN, W.; HUGENSCHMIDT, C.; LAMERS, M.; INGWERSEN, J.; ZIEGLER, A. D.; STRECK, T. Pesticide transport simulation in a tropical catchment by SWAT. **Environmental Pollution**, vol. 191, p. 70–79, 1 Aug. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.04.011>.

BAUWE, Andreas; KAHLE, Petra; LENNARTZ, Bernd. Evaluating the SWAT model to predict streamflow, nitrate loadings and crop yields in a small agricultural catchment. **Advances in Geosciences**, vol. 48, p. 1–9, 2019. <https://doi.org/10.5194/adgeo-48-1-2019>.

BHATTA, Binod; SHRESTHA, Sangam; SHRESTHA, Pallav K.; TALCHABHADEL, Rocky. Evaluation and application of a SWAT model to assess the climate change impact on the hydrology of the Himalayan River Basin. **Catena**, vol. 181, no. April, p. 104082, 2019.

DOI 10.1016/j.catena.2019.104082. Available at:  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104082>.

BI, Wuxia; WENG, Baisha; YUAN, Zhe; YE, Mao; ZHANG, Cheng; ZHAO, Yu; YAN, Dengming; XU, Ting. Evolution characteristics of surface water quality due to climate change and LUCC under scenario simulations: A case study in the Luanhe River Basin. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, vol. 15, no. 8, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081724>.

BRESSIANI, Danielle Almeida; SRINIVASAN, Raghavan; JONES, Charles Allan; MENDIONDO, Eduardo Mario. Effects of different spatial and temporal weather data resolutions on the stream flow modeling of a semi-arid basin, Northeast Brazil. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, vol. 8, no. 3, p. 1–16, 2015. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20150803.970>.

BRESSIANI, Danielle de Almeida; GASSMAN, Philip W.; FERNANDES, Josimar Gurgel; GARBOSSA, Luis Hamilton Pospissil; SRINIVASAN, Raghavan; BONUMÁ, Nadia Bernardi; MENDIONDO, Eduardo Mario. A review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, vol. 8, no. 3, p. 1–27, 2015. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20150803.1765>.

BRIGHENTI, Tássia Mattos; BONUMÁ, Nadia Bernardi; CHAFFE, Pedro Luiz Borges. Calibração hierárquica do modelo swat em uma bacia hidrográfica catarinense. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 21, no. 1, p. 53–64, 2016. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p53-64>.

BROUZIYNE, Youssef; ABOUABDILLAH, Aziz; BOUABID, Rachid; BENAABIDATE, Lahcen. SWAT streamflow modeling for hydrological components' understanding within an agro-sylvo-pastoral watershed in Morocco. **Journal of Materials and Environmental Science**, vol. 9, no. 1, p. 128–138, 2018. <https://doi.org/10.26872/jmes.2018.9.1.16>.

CARD. **SWAT Literature Database for Peer-Reviewed Journal Articles**. 2020. Available at: [https://www.card.iastate.edu/swat\\_articles/](https://www.card.iastate.edu/swat_articles/). Accessed on: 19 Aug. 2020.

CHAPLOT, V. Water and soil resources response to rising levels of atmospheric CO<sub>2</sub>

concentration and to changes in precipitation and air temperature. **Journal of Hydrology**, vol. 337, no. 1–2, p. 159–171, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.01.026>.

CHEN, Fulong; LI, Jianzhu. Quantifying drought and water scarcity: a case study in the Luanhe river basin. **Natural Hazards**, vol. 81, no. 3, p. 1913–1927, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2162-y>.

CHUN, Jong Ahn; BAIK, Jongjin; KIM, Daeha; CHOI, Minha. A comparative assessment of SWAT-model-based evapotranspiration against regional-scale estimates. **Ecological Engineering**, vol. 122, no. July, p. 1–9, 2018. DOI 10.1016/j.ecoleng.2018.07.015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.015>.

CHUNG, Il Moon; KIM, Nam Won; LEE, Jeongwoo; SOPHOCLEOUS, Marios. Assessing distributed groundwater recharge rate using integrated surface water-groundwater modelling: Application to Mihocheon watershed, South Korea. **Hydrogeology Journal**, vol. 18, no. 5, p. 1253–1264, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10040-010-0593-1>.

COMÍN, Francisco A.; SORANDO, Ricardo; DARWICHE-CRIADO, Nadia; GARCÍA, Mercedes; MASIP, Adriá. A protocol to prioritize wetland restoration and creation for water quality improvement in agricultural watersheds. **Ecological Engineering**, vol. 66, p. 10–18, 2014. DOI 10.1016/j.ecoleng.2013.04.059. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.059>.

DA SILVA, Valdiney José; DA SILVA, Cláudio Ricardo; ALMOROX, Javier; JÚNIOR, José Alves. Temperature-based solar radiation models for use in simulated soybean potential yield. **Australian Journal of Crop Science**, vol. 10, no. 7, p. 926–932, 2016. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.07.p7301>.

DA SILVA, Vicente De P.R.; SILVA, Madson T.; DE SOUZA, Enio P. Influence of land use change on sediment yield: A case study of the sub-middle of the são francisco river basin. **Engenharia Agricola**, vol. 36, no. 6, p. 1005–1015, 2016. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n6p1005-1015/2016>.

DADASER-CELIK, Filiz; JOUMA, Nada. Simulation of Irrigation and Reservoir Storage in the Develi Basin ( Turkey ) using Soil and Water Assessment Tool ( SWAT ). **Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, , p. 468–476, 2018. .

DE AMORIM, Pablo Borges; CHAFFE, Pedro Luiz Borges. Integrating climate models into hydrological modelling: What's going on in Brazil? **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 24, 2019. DOI 10.1590/2318-0331.241920180176. Available at: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180176>. Accessed on: 18 Aug. 2020.

DE GIROLAMO, A. M.; LO PORTO, A. Land use scenario development as a tool for watershed management within the Rio Mannu Basin. **Land Use Policy**, vol. 29, no. 3, p. 691–701, 2012. DOI 10.1016/j.landusepol.2011.11.005. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.11.005>.

DE GIROLAMO, Anna Maria; LO PORTO, Antonio; PAPPAGALLO, Giuseppe; GALLART, Francesc. Assessing flow regime alterations in a temporary river - The River Celone case study. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, vol. 63, no. 3, p. 263–272, 2015. <https://doi.org/10.1515/johh-2015-0027>.

DE PAULO RODRIGUES DA SILVA, Vicente; SILVA, Madson Tavares; SINGH, Vijay P.; DE SOUZA, Enio Pereira; BRAGA, Célia Campos; DE HOLANDA, Romildo Morant; ALMEIDA, Rafaela Silveira R.; DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA, Francisco; BRAGA, Armando César Rodrigues. Simulation of stream flow and hydrological response to land-cover changes in a tropical river basin. **Catena**, vol. 162, no. November 2017, p. 166–176, 2018. DOI 10.1016/j.catena.2017.11.024. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.11.024>.

DECHMI, Farida; BURGUETE, Javier; SKHIRI, Ahmed. SWAT application in intensive irrigation systems: Model modification, calibration and validation. **Journal of Hydrology**, vol. 470–471, p. 227–238, 2012. DOI 10.1016/j.jhydrol.2012.08.055. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.08.055>.

DEFERSHA, Mengistu B.; MELESSE, Assefa M. Field-scale investigation of the effect of land use on sediment yield and runoff using runoff plot data and models in the Mara River basin, Kenya. **Catena**, vol. 89, no. 1, p. 54–64, 2012. DOI 10.1016/j.catena.2011.07.010. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2011.07.010>.

DEGIFE, Arega; WORKU, Hailu; GIZAW, Shumete; LEGESSE, Abiyot. Land use land cover dynamics, its drivers and environmental implications in Lake Hawassa Watershed of Ethiopia. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, vol. 14, no. April, p.



178–190, 2019. DOI 10.1016/j.rsase.2019.03.005. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.03.005>.

DOSDOGRU, Furkan; KALIN, Latif; WANG, Ruoyu; YEN, Haw. Potential impacts of land use/cover and climate changes on ecologically relevant flows. **Journal of Hydrology**, vol. 584, p. 124654, 1 May 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124654>.

DOWLATABADI, Sepideh; ALI ZOMORODIAN, S. M. Conjunctive simulation of surface water and groundwater using SWAT and MODFLOW in Firoozabad watershed. **KSCE Journal of Civil Engineering**, vol. 20, no. 1, p. 485–496, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0354-8>.

DU, Xinzhong; SHRESTHA, Narayan Kumar; WANG, Junye. Assessing climate change impacts on stream temperature in the Athabasca River Basin using SWAT equilibrium temperature model and its potential impacts on stream ecosystem. **Science of the Total Environment**, vol. 650, p. 1872–1881, 10 Feb. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.344>.

DUAN, Yongchao; MENG, Fanhao; LIU, Tie; HUANG, Yue; LUO, Min; XING, Wei; DE MAEYER, Philippe. Sub-daily simulation of mountain flood processes based on the modified soil water assessment tool (Swat) model. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, vol. 16, no. 17, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph16173118>.

EHTIAT, Majid; JAMSHID MOUSAVI, S.; SRINIVASAN, Raghavan. Groundwater Modeling Under Variable Operating Conditions Using SWAT, MODFLOW and MT3DMS: a Catchment Scale Approach to Water Resources Management. **Water Resources Management**, vol. 32, no. 5, p. 1631–1649, 2018. DOI 10.1007/s11269-017-1895-z. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-017-1895-z>.

ESHTAWI, Tamer; EVERS, Mariele; TISCHBEIN, Bernhard. Quantifying the impact of urban area expansion on groundwater recharge and surface runoff. **Hydrological Sciences Journal**, vol. 61, no. 5, p. 826–843, 2016. DOI 10.1080/02626667.2014.1000916. Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.1000916>.

FAZELI FARSAANI, Iman; FARZANEH, M. R.; BESALATPOUR, A. A.; SALEHI, M. H.; FARAMARZI, M. Assessment of the impact of climate change on spatiotemporal variability

of blue and green water resources under CMIP3 and CMIP5 models in a highly mountainous watershed. **Theoretical and Applied Climatology**, vol. 136, no. 1–2, p. 169–184, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2474-9>.

FENG, S.; FU, Q. Expansion of global drylands under a warming climate. **Atmospheric Chemistry and Physics**, vol. 13, no. 19, p. 10081–10094, 2013. <https://doi.org/10.5194/acp-13-10081-2013>.

FRANCESCONI, Wendy; SRINIVASAN, Raghavan; PÉREZ-MIÑANA, Elena; WILLCOCK, Simon P.; QUINTERO, Marcela. Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to model ecosystem services: A systematic review. **Journal of Hydrology**, vol. 535, p. 625–636, 1 Apr. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.034>.

FREUND, Elham Rouholahnejad; ABBASPOUR, Karim C.; LEHMANN, Anthony. Water resources of the Black Sea Catchment under future climate and landuse change projections. **Water (Switzerland)**, vol. 9, no. 8, p. 1–18, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9080598>.

GAMVROUDIS, C.; DOKOU, Z.; NIKOLAIDIS, N. P.; KARATZAS, G. P. Impacts of surface and groundwater variability response to future climate change scenarios in a large Mediterranean watershed. **Environmental Earth Sciences**, vol. 76, no. 11, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6721-7>.

GHIMIRE, Uttam; SHRESTHA, Narayan Kumar; BISWAS, Asim; WAGNER-RIDDLE, Claudia; YANG, Wanhong; PRASHER, Shiv; RUDRA, Ramesh; DAGGUPATI, Prasad. A review of ongoing advancements in Soil and Water Assessment Tool (SWAT) for nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) modeling. **Atmosphere**, vol. 11, no. 5, p. 450, 1 May 2020. DOI 10.3390/ATMOS11050450. Available at: [www.mdpi.com/journal/atmosphere](http://www.mdpi.com/journal/atmosphere). Accessed on: 18 Aug. 2020.

GHORABA, Shimaa M. Hydrological modeling of the Simly Dam watershed (Pakistan) using GIS and SWAT model. **Alexandria Engineering Journal**, vol. 54, no. 3, p. 583–594, 2015. DOI 10.1016/j.aej.2015.05.018. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2015.05.018>.

GOLDSTEIN, Justin C.; TARHULE, Aonover. Evaluating the impacts of climate change and switchgrass production on a semiarid basin. **Hydrological Processes**, vol. 29, no. 5, p.

724–738, 2015. <https://doi.org/10.1002/hyp.10159>.

GUO, Jing; SU, Xiaoling; SINGH, Vijay P.; JIN, Jiming. Impacts of climate and land use/cover change on streamflow using SWAT and a separation method for the Xiyang river basin in northwestern China. **Water (Switzerland)**, vol. 8, no. 5, p. 9–13, 2016. <https://doi.org/10.3390/w8050192>.

HAMMOURI, Nezar; ADAMOWSKI, Jan; FREIWAN, Muwaffaq; PRASHER, Shiv. Climate change impacts on surface water resources in arid and semi-arid regions: a case study in northern Jordan. **Acta Geodaetica et Geophysica**, vol. 52, no. 1, p. 141–156, 2017. <https://doi.org/10.1007/s40328-016-0163-7>.

HIMANSHU, Sushil Kumar; PANDEY, Ashish; SHRESTHA, Prabin. Application of SWAT in an Indian river basin for modeling runoff, sediment and water balance. **Environmental Earth Sciences**, vol. 76, no. 1, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6316-8>.

IMANI, Somaye; NIKSOKHAN, Mohammad Hossein; JAMSHIDI, Shervin; ABBASPOUR, Karim C. Discharge permit market and farm management nexus: an approach for eutrophication control in small basins with low-income farmers. **Environmental Monitoring and Assessment**, vol. 189, no. 7, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6066-4>.

IPCC. **Climate Change 2014 Part A: Global and Sectoral Aspects**. [S. l.: s. n.], 2014a. Available at: [papers2://publication/uuid/B8BF5043-C873-4AFD-97F9-A630782E590D](https://www.ipcc.ch/publications_and_products/working_group_contributions/working_group_i/working_group_i_contributions/working_group_i_contributions_publications/).

IPCC. **Resumo para Decisores**. [S. l.: s. n.], 2014b.

JAIN, Vinit K.; PANDEY, R. P.; JAIN, Manoj K. Spatio-temporal assessment of vulnerability to drought. **Natural Hazards**, vol. 76, no. 1, p. 443–469, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1502-z>.

JAJARMIZADEH, Milad; SIDEK, Lariyah Mohd; MIRZAI, Majid; ALAGHMAND, Sina; HARUN, Sobri; MAJID, Mohammad Rafee. Prediction of Surface Flow by Forcing of Climate Forecast System Reanalysis Data. **Water Resources Management**, vol. 30, no. 8, p. 2627–2640, 2016. DOI 10.1007/s11269-016-1303-0. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-016-1303-0>.

JI, Lin; DUAN, Keqin. What is the main driving force of hydrological cycle variations in the

semiarid and semi-humid Weihe River Basin, China? **Science of the Total Environment**, vol. 684, p. 254–264, 2019. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.05.333. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.333>.

JIN, Xin; HE, Chansheng; ZHANG, Lanhui; ZHANG, Baoqing. A Modified Groundwater Module in SWAT for Improved Streamflow Simulation in a Large, Arid Endorheic River Watershed in Northwest China. **Chinese Geographical Science**, vol. 28, no. 1, p. 47–60, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11769-018-0931-0>.

JORDAN, Greta; GOENSTER-JORDAN, Sven; LAMPARTER, Gabriele Johanna; ULZIISUREN, Baigal; SONINKISHIG, Nergui; SCHLECHT, Eva; BUERKERT, Andreas. Water use in agro-pastoral livelihood systems within the Bulgan River watershed of the Altay Mountains, Western Mongolia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, vol. 251, no. September 2017, p. 180–193, 2018. DOI 10.1016/j.agee.2017.09.008. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.008>.

JUN, Xia; YONGYONG, Zhang. Water security in north China and countermeasure to climate change and human activity. **Physics and Chemistry of the Earth**, vol. 33, no. 5, p. 359–363, 1 Jan. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.009>.

KAMALI, Bahareh; ABBASPOUR, Karim C.; YANG, Hong. Assessing the uncertainty of multiple input datasets in the prediction of water resource components. **Water (Switzerland)**, vol. 9, no. 9, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9090709>.

KAMALI, Bahareh; KOUCHI, Delaram Houshmand; YANG, Hong; ABBASPOUR, Karim C. Multilevel drought hazard assessment under climate change scenarios in semi-arid regions—a case study of the karkheh river basin in Iran. **Water (Switzerland)**, vol. 9, no. 4, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9040241>.

KAN, Guangyuan; HE, Xiaoyan; DING, Liuqian; LI, Jiren; LIANG, Ke; HONG, Yang. Study on applicability of conceptual hydrological models for flood forecasting in humid, semi-humid semi-arid and arid basins in China. **Water (Switzerland)**, vol. 9, no. 10, p. 1–25, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9100719>.

KAVIAN, Ataollah; MOHAMMADI, Maziar; GHOLAMI, Leila; RODRIGO-COMINO, Jesús. Assessment of the spatiotemporal effects of land use changes on runoff and nitrate

loads in the Talar River. **Water (Switzerland)**, vol. 10, no. 4, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10040445>.

KHELIFA, Walid Ben; HERMASSI, Taoufik; STROHMEIER, Stefan; ZUCCA, Claudio; ZIADAT, Feras; BOUFAROUA, Mohamed; HABAIEB, Hamadi. Parameterization of the Effect of Bench Terraces on Runoff and Sediment Yield by Swat Modeling in a Small Semi-arid Watershed in Northern Tunisia. **Land Degradation and Development**, vol. 28, no. 5, p. 1568–1578, 2017. <https://doi.org/10.1002/ldr.2685>.

KISHIWA, Peter; NOBERT, Joel; KONGO, Victor; NDOMBA, Preksedis. Assessment of impacts of climate change on surface water availability using coupled SWAT and WEAP models: Case of upper Pangani River Basin, Tanzania. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, vol. 378, p. 23–27, 2018. <https://doi.org/10.5194/piahs-378-23-2018>.

KOUCHI, Delaram Houshmand; ESMAILI, Kazem; FARIDHOSSEINI, Alireza; SANAEINEJAD, Seyed Hossein; KHALILI, Davar; ABBASPOUR, Karim C. Sensitivity of calibrated parameters and water resource estimates on different objective functions and optimization algorithms. **Water (Switzerland)**, vol. 9, no. 6, p. 1–16, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9060384>.

KOUR, Retinder; PATEL, Nilanchal; KRISHNA, Akhouri Pramod. Climate and hydrological models to assess the impact of climate change on hydrological regime: a review. **Arabian Journal of Geosciences**, vol. 9, no. 9, p. 1–31, 1 Jul. 2016. DOI 10.1007/s12517-016-2561-0. Available at: [http://web.bf.uni-lj.si/agromet/EarthsClimate\\_Web\\_Chapter.pdf](http://web.bf.uni-lj.si/agromet/EarthsClimate_Web_Chapter.pdf). Accessed on: 18 Aug. 2020.

KROEGER, Timm; KLEMZ, Claudio; BOUCHER, Timothy; FISHER, Jonathan R.B.; ACOSTA, Eileen; CAVASSANI, Andre Targa; DENNEDY-FRANK, P. James; GARBOSSA, Luis; BLAINSKI, Everton; SANTOS, Rafaela Comparim; GIBERTI, Silvana; PETRY, Paulo; SHEMIE, Daniel; DACOL, Kelli. Returns on investment in watershed conservation: Application of a best practices analytical framework to the Rio Camboriú Water Producer program, Santa Catarina, Brazil. **Science of the Total Environment**, vol. 657, no. December 2018, p. 1368–1381, 2019. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.12.116. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.116>.

LI, Erhui; MU, Xingmin; ZHAO, Guangju; GAO, Peng; SUN, Wenyi. Effects of check dams on runoff and sediment load in a semi-arid river basin of the Yellow River. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, vol. 31, no. 7, p. 1791–1803, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00477-016-1333-4>.

LI, Fengping; ZHANG, Guangxin; XU, Y. Jun. Assessing climate change impacts on water resources in the Songhua River Basin. **Water (Switzerland)**, vol. 8, no. 10, 2016. <https://doi.org/10.3390/w8100420>.

LI, Ming Xing; MA, Zhu Guo; DU, Ji Wen. Regional soil moisture simulation for Shaanxi Province using SWAT model validation and trend analysis. **Science China Earth Sciences**, vol. 53, no. 4, p. 575–590, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11430-010-0031-1>.

LI, Qingyun; YU, Xinxiao; XIN, Zhongbao; SUN, Yanwei. Modeling the Effects of Climate Change and Human Activities on the Hydrological Processes in a Semiarid Watershed of Loess Plateau. **Journal of Hydrologic Engineering**, vol. 18, no. 4, p. 401–412, 27 Apr. 2013. DOI 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000629. Available at: <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29HE.1943-5584.0000629>. Accessed on: 16 Jun. 2020.

LI, Xianglian; GAO, Qiong; LEI, Tingwu; YANG, Xiusheng. Application of an integrative hydro-ecological model to study water resources management in the upper and middle parts of the Yellow River basin. **Frontiers of Earth Science**, vol. 5, no. 1, p. 45–55, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11707-011-0150-9>.

LI, Zhi; LIU, Wen Zhao; ZHANG, Xun Chang; ZHENG, Fen Li. Assessing and regulating the impacts of climate change on water resources in the Heihe watershed on the Loess Plateau of China. **Science China Earth Sciences**, vol. 53, no. 5, p. 710–720, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11430-009-0186-9>.

LIU, G. H.; LUAN, Z. Q.; YAN, B. X.; GUO, Y. D.; WANG, Z. X. Response of hydrological processes to land use change and climate variability in the upper Naoli River watershed, northeast China. **Water Resources**, vol. 42, no. 4, p. 438–447, 2015. <https://doi.org/10.1134/S0097807815040077>.

LIU, Jianwei; ZHANG, Can; KOU, Limin; ZHOU, Qiang. Effects of Climate and Land Use

Changes on Water Resources in the Taoer River. **Advances in Meteorology**, vol. 2017, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1031854>.

LIU, Jiao; LIU, Tie; BAO, Anming; DE MAEYER, Philippe; FENG, Xianwei; MILLER, Scott N.; CHEN, Xi. Assessment of Different Modelling Studies on the Spatial Hydrological Processes in an Arid Alpine Catchment. **Water Resources Management**, vol. 30, no. 5, p. 1757–1770, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1249-2>.

LU, Zhixiang; ZOU, Songbing; QIN, Zuodong; YANG, Yonggang; XIAO, Honglang; WEI, Yongping; ZHANG, Kai; XIE, Jiali. Hydrologic Responses to Land Use Change in the Loess Plateau: Case Study in the Upper Fenhe River Watershed. **Advances in Meteorology**, vol. 2015, no. 2013, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/676030>.

LUAN, Xiao Bo; WU, Pu Te; SUN, Shi Kun; LI, Xiao Lei; WANG, Yu Bao; GAO, Xue Rui. Impact of Land Use Change on Hydrologic Processes in a Large Plain Irrigation District. **Water Resources Management**, vol. 32, no. 9, p. 3203–3217, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1986-5>.

LUAN, Xiao Bo; YIN, Ya Li; WU, Pu Te; SUN, Shi Kun; WANG, Yu Bao; GAO, Xue Rui; LIU, Jing. An improved method for calculating the regional crop water footprint based on a hydrological process analysis. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 22, no. 10, p. 5111–5123, 2018. <https://doi.org/10.5194/hess-22-5111-2018>.

LUBINI, Alain; ADAMOWSKI, Jan. Assessing the Potential Impacts of Four Climate Change Scenarios on the Discharge of the Simiyu River, Tanzania Using the SWAT Model. **International Journal of Water Sciences**, vol. 2, p. 1, 2013. <https://doi.org/10.5772/56453>.

LUO, Kaisheng; TAO, Fulu; DENG, Xiangzheng; MOIWO, Juana P. Changes in potential evapotranspiration and surface runoff in 1981–2010 and the driving factors in Upper Heihe River Basin in Northwest China. **Hydrological Processes**, vol. 31, no. 1, p. 90–103, 2017. <https://doi.org/10.1002/hyp.10974>.

MAGALHÃES, Adriana Guedes; ASSUNÇÃO, Abelardo Antônio de; MONTENEGRO; ANDRADE, Carolyne Wanessa Lins de Andrade; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima; FONTES JÚNIOR, Robertson Valério de Paiva. Hydrological modeling of an experimental basin in the semiarid region of the Brazilian State of Pernambuco. **Revista**

**Ambiente e Agua**, vol. 13, no. 6, p. 1–19, 2018. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>.

MAREK, Gary W.; GOWDA, Prasanna H.; EVETT, Steven R.; BAUMHARDT, R. Louis; BRAUER, David K.; HOWELL, Terry A.; MAREK, Thomas H.; SRINIVASAN, R. Estimating Evapotranspiration for Dryland Cropping Systems in the Semiarid Texas High Plains Using SWAT. **Journal of the American Water Resources Association**, vol. 52, no. 2, p. 298–314, 2016. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12383>.

MASIH, Ilyas; MASKEY, Shreedhar; UHLENBROOK, Stefan; SMAKHTIN, Vladimir. Assessing the Impact of Areal Precipitation Input on Streamflow Simulations Using the SWAT Model. **Journal of the American Water Resources Association**, vol. 47, no. 1, p. 179–195, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00502.x>.

MEHAN, Sushant; KANNAN, Narayanan; NEUPANE, Ram; MCDANIEL, Rachel; KUMAR, Sandeep. Climate Change Impacts on the Hydrological Processes of a Small Agricultural Watershed. **Climate**, vol. 4, no. 4, p. 56, 17 Nov. 2016a. DOI 10.3390/cli4040056. Available at: <http://www.mdpi.com/2225-1154/4/4/56>. Accessed on: 17 Jun. 2020.

MEHAN, Sushant; KANNAN, Narayanan; NEUPANE, Ram P.; MCDANIEL, Rachel; KUMAR, Sandeep. Climate change impacts on the hydrological processes of a small agricultural watershed. **Climate**, vol. 4, no. 4, p. 1–22, 2016b. <https://doi.org/10.3390/cli4040056>.

MEHTA, Vikram M.; MENDOZA, Katherin; DAGGUPATI, Prasad; SRINIVASAN, Raghavan; ROSENBERG, Norman J.; DEB, Debjani. High-resolution simulations of decadal climate variability impacts on water yield in the Missouri River basin with the soil and water assessment tool (SWAT). **Journal of Hydrometeorology**, vol. 17, no. 9, p. 2455–2476, 2016. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0039.1>.

MENGISTU, Achamyeleh G.; VAN RENSBURG, Leon D.; WOYESSA, Yali E. Techniques for calibration and validation of SWAT model in data scarce arid and semi-arid catchments in South Africa. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, vol. 25, no. August, p. 100621, 2019a. DOI 10.1016/j.ejrh.2019.100621. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100621>.



MENGISTU, Achamyelah G.; VAN RENSBURG, Leon D.; WOYESSA, Yali E. Techniques for calibration and validation of SWAT model in data scarce arid and semi-arid catchments in South Africa. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, vol. 25, no. July, p. 100621, 2019b. DOI 10.1016/j.ejrh.2019.100621. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100621>.

MIMICH, Khalid; ESSAHLAOU, Ali; EL OUALI, Abdelhadi; EL HMAIDI, Abdellah. Using SWAT To Simulate A Moroccan Watershed, Including An Assessment Of The Most Sensitive Modelling Parameters With SUFI2. , p. 50–63, 2018. DOI 10.9790/1813-0710035063. Available at: [www.theijes.com](http://www.theijes.com).

MOLINA-NAVARRO, Eugenio; HALLACK-ALEGRÍA, Michelle; MARTÍNEZ-PÉREZ, Silvia; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, Jorge; MUNGARAY-MOCTEZUMA, Alejandro; SASTRE-MERLÍN, Antonio. Hydrological modeling and climate change impacts in an agricultural semiarid region. Case study: Guadalupe River basin, Mexico. **Agricultural Water Management**, vol. 175, p. 29–42, 2016. DOI 10.1016/j.agwat.2015.10.029. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.029>.

MOSBAHI, Manel; BENABDALLAH, Sihem; BOUSSEMA, Mohamed Rached. Assessment of soil erosion risk using SWAT model. **Arabian Journal of Geosciences**, vol. 6, no. 10, p. 4011–4019, 2013. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0658-7>.

NASCIMENTO, Jennifer Marinho; FRADE, Tatiane Gomes; SILVA, Richarde Marques. Modelagem da resposta do escoamento em uma bacia do semiárido da Paraíba utilizando o modelo SWAT. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 11, p. 1137–1150, 2018. .

NDAMBUKI, Julius M; GYAMFI, Charles; SALIM, Ramadhan W. Modelling Groundwater Recharge in a Semi-arid River Basin: A Retrospective Assessment. **International Journal of Research in Chemical, Metallurgical and Civil Engineering**, vol. 4, no. 1, 2017. <https://doi.org/10.15242/ijrcmce.ae0317111>.

NERANTZAKI, S. D.; GIANNAKIS, G. V.; EFSTATHIOU, D.; NIKOLAIDIS, N. P.; SIBETHEROS, I. A.; KARATZAS, G. P.; ZACHARIAS, I. Modeling suspended sediment transport and assessing the impacts of climate change in a karstic Mediterranean watershed. **Science of the Total Environment**, vol. 538, p. 288–297, 2015. DOI 10.1016/j.scitotenv.2015.07.092. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.092>.

NIE, W.; YUAN, Y.; KEPNER, W.; ERICKSON, C.; JACKSON, M. Hydrological impacts of mesquite encroachment in the upper San Pedro watershed. **Journal of Arid Environments**, vol. 82, p. 147–155, 2012. DOI 10.1016/j.jaridenv.2012.02.008. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.02.008>.

NIRAULA, Rewati; NORMAN, Laura M.; MEIXNER, Thomas; CALLEGARY, James B. Multi-gauge Calibration for modeling the Semi-Arid Santa Cruz watershed in Arizona-Mexico border area using SWAT. **Air, Soil and Water Research**, vol. 5, p. 41–57, 2012. <https://doi.org/10.4137/ASWR.S9410>.

NOOR, Hamzeh; VAFAKHAH, Mahdi; TAHERIYOUN, Masoud; MOGHADASI, Mahnoosh. Hydrology modelling in Taleghan mountainous watershed using SWAT. **Journal of Water and Land Development**, vol. 20, no. 1, p. 11–18, 2014. <https://doi.org/10.2478/jwld-2014-0003>.

OUYANG, Wei; XU, Xueting; HAO, Zengchao; GAO, Xiang. Effects of soil moisture content on upland nitrogen loss. **Journal of Hydrology**, vol. 546, p. 71–80, 2017. DOI 10.1016/j.jhydrol.2016.12.053. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.053>.

PENG, Jianbing; HUO, Aidi; CHENG, Yuxiang; DANG, Jian; WEI, Hong; WANG, Xiaofan; LI, Chongyi. Submersion simulation in a typical debris flow watershed of Jianzhuangchuan catchment, Loess Plateau. **Environmental Earth Sciences**, vol. 76, no. 13, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6797-0>.

PERRA, Enrica; PIRAS, Monica; DEIDDA, Roberto; PANICONI, Claudio; MASCARO, Giuseppe; VIVONI, Enrique R.; CAU, Pierluigi; MARRAS, Pier Andrea; LUDWIG, Ralf; MEYER, Swen. Multimodel assessment of climate change-induced hydrologic impacts for a Mediterranean catchment. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 22, no. 7, p. 4125–4143, 2018. <https://doi.org/10.5194/hess-22-4125-2018>.

PRĂVĂLIE, Remus; PITICAR, Adrian; ROȘCA, Bogdan; SFÎCĂ, Lucian; BANDOC, Georgeta; TISCOVSCHI, Adrian; PATRICHE, Cristian. Spatio-temporal changes of the climatic water balance in Romania as a response to precipitation and reference evapotranspiration trends during 1961–2013. **Catena**, vol. 172, no. August 2018, p. 295–312, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.028>.

PULIDO-VELAZQUEZ, M.; PEÑA-HARO, S.; GARCÍA-PRATS, A.; MOCHOLI-ALMUDEVER, A. F.; HENRIQUEZ-DOLE, L.; MACIAN-SORRIBES, H.; LOPEZ-NICOLAS, A. Integrated assessment of the impact of climate and land use changes on groundwater quantity and quality in the Mancha Oriental system (Spain). **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 19, no. 4, p. 1677–1693, 2015. <https://doi.org/10.5194/hess-19-1677-2015>.

QIU, Jiali; SHEN, Zhenyao; CHEN, Lei; HOU, Xiaoshu. Quantifying effects of conservation practices on non-point source pollution in the Miyun Reservoir Watershed, China. **Environmental Monitoring and Assessment**, vol. 191, no. 9, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7747-y>.

RAMOS, M. C.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A. Soil water content, runoff and soil loss prediction in a small ungauged agricultural basin in the Mediterranean region using the Soil and Water Assessment Tool. **Journal of Agricultural Science**, vol. 153, no. 3, p. 481–496, 2015. <https://doi.org/10.1017/S0021859614000422>.

RAMOS, M. C.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A. Soil water variability and its influence on transpirable soil water fraction with two grape varieties under different rainfall regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, vol. 185, p. 253–262, 2014. DOI 10.1016/j.agee.2013.12.025. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.025>.

RIBEIRO, Eberson Pessoa. **Mudanças ambientais e desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú**. 2016. 178 f. UFPE, 2016.

SAATH, Kleverton Clovis de Oliveira; FACHINELLO, Arlei Luiz. Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, vol. 56, no. 2, p. 195–212, 2018. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201>.

SAHA, Partha Pratim; ZELEKE, Ketema; HAFEEZ, Mohsin. Streamflow modeling in a fluctuant climate using SWAT: Yass River catchment in south eastern Australia. **Environmental Earth Sciences**, vol. 71, no. 12, p. 5241–5254, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2926-6>.

SALSABILLA, A.; KUSRATMOKO, E. Assessment of soil erosion risk in Komering

watershed, South Sumatera, using SWAT model. **AIP Conference Proceedings**, vol. 1862, no. July, 2017. <https://doi.org/10.1063/1.4991296>.

SANTOS, Carlos A.S.; ALMEIDA, Carina; RAMOS, Tiago B.; ROCHA, Felizardo A.; OLIVEIRA, Rodrigo; NEVES, Ramiro. Using a hierarchical approach to calibrate SWAT and predict the semi-arid hydrologic regime of northeastern Brazil. **Water (Switzerland)**, vol. 10, no. 9, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10091137>.

SANTOS, Carlos A.S.; ROCHA, Felizardo A.; RAMOS, Tiago B.; ALVES, Lincoln M.; MATEUS, Marcos; DE OLIVEIRA, Rodrigo Proença; NEVES, Ramiro. Using a hydrologic model to assess the performance of regional climate models in a semi-arid Watershed in Brazil. **Water (Switzerland)**, vol. 11, no. 1, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11010170>.

SAYYAD, Gholamabbas; VASEL, Lida; BESALATPOUR, Ali Asghar; GHARABAGHI, Bahram; GOLMOHAMMADI, Golmar. Modeling Blue and Green Water Resources Availability in an Iranian Data Scarce Watershed Using SWAT. **Journal of Water Management Modeling**, , p. 1–8, 2015a. <https://doi.org/10.14796/jwmm.c391>.

SAYYAD, Gholamabbas; VASEL, Lida; BESALATPOUR, Ali Asghar; GHARABAGHI, Bahram; GOLMOHAMMADI, Golmar. Modeling Blue and Green Water Resources Availability in an Iranian Data Scarce Watershed Using SWAT. **Journal of Water Management Modeling**, 5 Nov. 2015b. <https://doi.org/10.14796/jwmm.c391>.

SENENT-APARICIO, Javier; PÉREZ-SÁNCHEZ, Julio; CARRILLO-GARCÍA, Jesús; SOTO, Jesús. Using SWAT and fuzzy TOPSIS to assess the impact of climate change in the headwaters of the Segura River Basin (SE Spain). **Water (Switzerland)**, vol. 9, no. 2, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9020149>.

SHRESTHA, Manoj Kumar; RECKNAGEL, Friedrich; FRIZENSCHAF, Jacqueline; MEYER, Wayne. Assessing SWAT models based on single and multi-site calibration for the simulation of flow and nutrient loads in the semi-arid Onkaparinga catchment in South Australia. **Agricultural Water Management**, vol. 175, p. 61–71, 2016. DOI 10.1016/j.agwat.2016.02.009. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.009>.

SILVA, Lorryne; COSTA, Stela Dalva dos Santos. Derivação de parâmetros para o uso do modelo SWAT na estimativa de recarga subterrânea em um aquífero cárstico- fissural do

semiárido brasileiro. **Águas Subterrâneas**, vol. 33, no. 1, p. 22–33, 2019. <https://doi.org/10.14295/ras.v33i1.29160>.

SILVA, Madson Tavares; AZEVEDO, Pedro Vieira de; SILVA, Vicente de Paulo Rodrigues da; SILVA, Bruce Kelly da Nobrega; MARIANO, Everson Batista; AMORIM, Marcos Renato Basílio. Estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do submédio Rio São Francisco. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, vol. 01, p. 1–27, 2002. <https://doi.org/10.3109/03014460.2014.968618>.

SINGH, Vikrant Vijay; SHARMA, Anupma; JOSHI, P C. Modelling of runoff response in a semi-arid coastal watershed using SWAT, **IJERA**, vol. 5, no. 6, p. 50–57, 2015.

SOLAYMANI, Hamid R.; GOSAIN, A. K. Assessment of climate change impacts in a semi-arid watershed in Iran using regional climate models. **Journal of Water and Climate Change**, vol. 6, no. 1, p. 161–180, 2015. <https://doi.org/10.2166/wcc.2014.076>.

SÖNMEZ, Adem Yavuz; KALE, Semih. Climate change effects on annual streamflow of filyos river (Turkey). **Journal of Water and Climate Change**, vol. 11, no. 2, p. 420–433, 1 Jun. 2020. <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.060>.

SRIDHAR, V.; NAYAK, Anurag. Implications of climate-driven variability and trends for the hydrologic assessment of the Reynolds Creek Experimental Watershed, Idaho. **Journal of Hydrology**, vol. 385, no. 1–4, p. 183–202, 2010. DOI 10.1016/j.jhydrol.2010.02.020. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.02.020>.

STRATTON, Benjamin T.; SRIDHAR, Venakataramana; GRIBB, Molly M.; MCNAMARA, James P.; NARASIMHAN, Balaji. Modeling the spatially varying water balance processes in a Semiarid Mountainous Watershed of Idaho. **Journal of the American Water Resources Association**, vol. 45, no. 6, p. 1390–1408, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2009.00371.x>.

SULIMAN, Ali H.Ahmed; JAJARMIZADEH, Milad; HARUN, Sobri; MAT DARUS, Intan Zaurah. Comparison of Semi-Distributed, GIS-Based Hydrological Models for the Prediction of Streamflow in a Large Catchment. **Water Resources Management**, vol. 29, no. 9, p. 3095–3110, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0984-0>.

SUN, Lei; YANG, Lizhe; HAO, Lu; FANG, Di; JIN, Kailun; HUANG, Xiaolin. Hydrological

effects of vegetation cover degradation and environmental implications in a semiarid temperate Steppe, China. **Sustainability (Switzerland)**, vol. 9, no. 2, 2017. <https://doi.org/10.3390/su9020281>.

TAIE SEMIROMI, Majid; KOCH, Manfred. Analysis of spatio-temporal variability of surface–groundwater interactions in the Gharehsoo river basin, Iran, using a coupled SWAT–MODFLOW model. **Environmental Earth Sciences**, vol. 78, no. 6, p. 1–21, 2019. DOI 10.1007/s12665-019-8206-3. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-019-8206-3>.

TAN, Mou Leong; GASSMAN, Philip W.; SRINIVASAN, Raghavan; ARNOLD, Jeffrey G.; YANG, XiaoYing. A Review of SWAT Studies in Southeast Asia: Applications, Challenges and Future Directions. **Water**, vol. 11, no. 5, p. 914, 1 May 2019. DOI 10.3390/w11050914. Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/5/914>. Accessed on: 18 Aug. 2020.

TAN, Mou Leong; GASSMAN, Philip W.; YANG, Xiaoying; HAYWOOD, James. A review of SWAT applications, performance and future needs for simulation of hydro-climatic extremes. **Advances in Water Resources**, vol. 143, p. 103662, 1 Sep. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103662>.

TARAWNEH, Esraa; BRIDGE, Jonathan; MACDONALD, Neil. A pre-calibration approach to select optimum inputs for hydrological models in data-scarce regions. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 20, no. 10, p. 4391–4407, 2016. <https://doi.org/10.5194/hess-20-4391-2016>.

UNIYAL, Bhumika; DIETRICH, Jörg. Modifying Automatic Irrigation in SWAT for Plant Water Stress scheduling. **Agricultural Water Management**, vol. 223, no. July, p. 105714, 2019. DOI 10.1016/j.agwat.2019.105714. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105714>.

WANG, Hong; SUN, Fubao; XIA, Jun; LIU, Wenbin. Impact of LUCC on streamflow based on the SWAT model over the Wei River basin on the Loess Plateau in China. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 21, no. 4, p. 1929–1945, 2017a. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1929-2017>.

WANG, Hong; SUN, Fubao; XIA, Jun; LIU, Wenbin. Impact of LUCC on streamflow based on the SWAT model over the Wei River basin on the Loess Plateau in China. **Hydrology and**

**Earth System Sciences**, vol. 21, no. 4, p. 1929–1945, 6 Apr. 2017b. DOI 10.5194/hess-21-1929-2017. Available at: <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/21/1929/2017/>. Accessed on: 17 Jun. 2020.

WANG, Qiang; XU, Youpeng; WANG, Yuefeng; ZHANG, Yuqing; XIANG, Jie; XU, Yu; WANG, Jie. Individual and combined impacts of future land-use and climate conditions on extreme hydrological events in a representative basin of the Yangtze River Delta, China. **Atmospheric Research**, vol. 236, p. 104805, 15 May 2020. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104805>.

WANG, Ruoyu; YUAN, Yongping; YEN, Haw; GRIENEISEN, Michael; ARNOLD, Jeffrey; WANG, Dan; WANG, Chaozi; ZHANG, Minghua. A review of pesticide fate and transport simulation at watershed level using SWAT: Current status and research concerns. **Science of the Total Environment**, vol. 669, p. 512–526, 2019. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.03.141. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.141>.

WANG, Yue Jian; MENG, Xian Yong; LIU, Zhi Hui; JI, Xiao Nan. Snowmelt runoff analysis under generated climate change scenarios for the Juntanghu River Basin, in Xinjiang, China. **Tecnologia y Ciencias del Agua**, vol. 7, no. 4, p. 41–54, 2016.

WEI, Xiaolu; BAILEY, Ryan T.; TASDIGHI, Ali. Using the SWAT model in intensively managed irrigated watersheds: Model modification and application. **Journal of Hydrologic Engineering**, vol. 23, no. 10, 2018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001696](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001696).

WHITE, Michael; GAMBONE, Marilyn; YEN, Haw; ARNOLD, Jeff; HARMEL, Daren; SANTHI, Chinnasamy; HANEY, Richard. Regional Blue and Green Water Balances and Use by Selected Crops in the U.S. **Journal of the American Water Resources Association**, vol. 51, no. 6, p. 1626–1642, 2015. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12344>.

WOLDESENBET, Tekalegn Ayele; ELAGIB, Nadir Ahmed; RIBBE, Lars; HEINRICH, Jürgen. Catchment response to climate and land use changes in the Upper Blue Nile sub-basins, Ethiopia. **Science of the Total Environment**, vol. 644, p. 193–206, 2018. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.06.198. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.198>.

WOYESSA, Yali. Climate change impact assessment on water security in South Africa: A

case study in a semi-arid river basin. **E3S Web of Conferences**, vol. 98, 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199806014>.

WU, Feng; ZHAN, Jinyan; SU, Hongbo; YAN, Haiming; MA, Enjun. Scenario-Based Impact Assessment of Land Use/Cover and Climate Changes on Watershed Hydrology in Heihe River Basin of Northwest China. **Advances in Meteorology**, vol. 2015, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/410198>.

WU, Yiping; LIU, Shuguang; GALLANT, Alisa L. Predicting impacts of increased CO<sub>2</sub> and climate change on the water cycle and water quality in the semiarid James River Basin of the Midwestern USA. **Science of the Total Environment**, vol. 430, p. 150–160, 2012a. DOI 10.1016/j.scitotenv.2012.04.058. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.058>.

WU, Yiping; LIU, Shuguang; GALLANT, Alisa L. Predicting impacts of increased CO<sub>2</sub> and climate change on the water cycle and water quality in the semiarid James River Basin of the Midwestern USA. **Science of the Total Environment**, vol. 430, p. 150–160, 15 Jul. 2012b. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.058>.

XU, Changchun; ZHAO, Jie; DENG, Haijun; FANG, Gonghuan; TAN, Jing; HE, Dandan; CHEN, Yapeng; CHEN, Yaning; FU, Aihong. Scenario-based runoff prediction for the Kaidu River basin of the Tianshan Mountains, Northwest China. **Environmental Earth Sciences**, vol. 75, no. 15, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5930-9>.

XU, H.; TAYLOR, R. G.; XU, Y. Quantifying uncertainty in the impacts of climate change on river discharge in sub-catchments of the Yangtze and Yellow River Basins, China. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 15, no. 1, p. 333–344, 26 Jan. 2011. DOI 10.5194/hess-15-333-2011. Available at: <https://hess.copernicus.org/articles/15/333/2011/>. Accessed on: 10 Aug. 2020.

XU, Z. X.; PANG, J. P.; LIU, C. M.; LI, J. Y. Assessment of runoff and sediment yield in the Miyun Reservoir catchment by using SWAT model. **Hydrological Processes**, vol. 23, no. 25, p. 3619–3630, 15 Dec. 2009. DOI 10.1002/hyp.7475. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/hyp.7475>. Accessed on: 17 Jun. 2020.

YANG, Xiaonan; SUN, Wenyi; LI, Pengfei; MU, Xingmin; GAO, Peng; ZHAO, Guangju.



Integrating agricultural land, water yield and soil conservation trade-offs into spatial land use planning. **Ecological Indicators**, vol. 104, no. April, p. 219–228, 2019. DOI 10.1016/j.ecolind.2019.04.082. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.082>.

YAO, Xiaolei; CUI, Xingqi; YU, Jingshan; SUN, Wenchao. Response of hydrological processes to climate change in the middle reaches of the Yellow River, China. **IAHS-AISH Proceedings and Reports**, vol. 368, no. August 2014, p. 293–298, 2015. <https://doi.org/10.5194/piahs-368-293-2015>.

YE, Lin; GRIMM, Nancy B. Modelling potential impacts of climate change on water and nitrate export from a mid-sized, semiarid watershed in the US Southwest. **Climatic Change**, vol. 120, no. 1–2, p. 419–431, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0827-z>.

YIMAM, Yohannes Tadesse; OCHSNER, Tyson E.; FOX, Garey A. Hydrologic cost-effectiveness ratio favors switchgrass production on marginal croplands over existing grasslands. **PLoS ONE**, vol. 12, no. 8, p. 1–19, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181924>.

YIN, Zhenliang; FENG, Qi; ZOU, Songbing; YANG, Linshan. Assessing variation in water balance components in mountainous Inland River Basin experiencing climate change. **Water (Switzerland)**, vol. 8, no. 10, 2016. <https://doi.org/10.3390/w8100472>.

YU, Dan; XIE, Ping; DONG, Xiaohua; HU, Xiaonong; LIU, Ji; LI, Yinghai; PENG, Tao; MA, Haibo; WANG, Kai; XU, Shijin. Improvement of the SWAT model for event-based flood simulation on a sub-daily timescale. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 22, no. 9, p. 5001–5019, 2018. <https://doi.org/10.5194/hess-22-5001-2018>.

ZETTAM, Amin; TALEB, Amina; SAUVAGE, Sabine; BOITHIAS, Laurie; BELAIDI, Nouria; SÁNCHEZ-PÉREZ, José Miguel. Modelling hydrology and sediment transport in a semi-arid and anthropized catchment using the swat model: The case of the Tafna River (Northwest Algeria). **Water (Switzerland)**, vol. 9, no. 3, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9030216>.

ZHANG, Ling; KARTHIKEYAN, Raghupathy; ZHANG, Hui; TANG, Yuxuan. Estimation of sediment yield change in a loess Plateau basin, China. **Water (Switzerland)**, vol. 9, no. 9, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9090683>.

ZHANG, Ling; NAN, Zhuotong; YU, Wenjun; GE, Yingchun. Modeling Land-Use and Land-Cover Change and Hydrological Responses under Consistent Climate Change Scenarios in the Heihe River Basin, China. **Water Resources Management**, vol. 29, no. 13, p. 4701–4717, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1085-9>.

ZHANG, Yueguan; SU, Fengge; HAO, Zhenchun; XU, Chongyu; YU, Zhongbo; WANG, Lu; TONG, Kai. Impact of projected climate change on the hydrology in the headwaters of the Yellow River basin. **Hydrological Processes**, vol. 29, no. 20, p. 4379–4397, 2015. <https://doi.org/10.1002/hyp.10497>.

ZUO, Depeng; XU, Zongxue; PENG, Dingzhi; SONG, Jinxi; CHENG, Lei; WEI, Shouke; ABBASPOUR, Karim C.; YANG, Hong. Simulating spatiotemporal variability of blue and green water resources availability with uncertainty analysis. **Hydrological Processes**, vol. 29, no. 8, p. 1942–1955, 2015. <https://doi.org/10.1002/hyp.10307>.

## **CAPÍTULO 2 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE, CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO PARA PREDIÇÃO DA VAZÃO NA BACIA DO RIO PAJEÚ, BRASIL, USANDO O SWAT**

**RESUMO:** A ferramenta SWAT foi calibrada e validada utilizando dados de vazão a partir de três estações fluviométricas localizadas ao longo da bacia hidrográfica do rio Pajeú, Brasil. O Algoritmo SUFI-2 (*Sequential Uncertainty Fitting*), integrado ao software SWAT-CUP (*SWAT Calibration and Uncertainty Programs*), foi utilizado para as análises de sensibilidade, calibração, validação e análise de incerteza. Com base na análise de sensibilidade, dos 29 apenas 7 parâmetros (CN2, ALPHA\_BF, GW\_DELAY, GWQMN, GW\_REVAP, SLSOIL e LAT\_TTIME) foram considerados os mais sensíveis e posteriormente foram calibrados ( $t\text{-Stat} > 8,54$  e  $p\text{-Value} < 0,09$ ). Resultados mostraram os valores de  $R^2$  (0,72, 0,58, 0,64), NSE (0,55, 0,16 e 0,63) e PBIAS (50,7, -83 e -6,5) para calibração (entre 1976 a 1995) e validação (entre 1999 a 2018) os valores de  $R^2$  (0,55, 0,49, 0,23), NSE (0,29, 0,44, 0,2) e PBIAS (45,5, -76,8 e -35,4). De modo geral, os resultados de calibração, validação e análise de incerteza não foram considerados satisfatórios, apresentando melhor resultado apenas em um posto fluviométrico durante a calibração, concluindo que há necessidade de aprofundar mais estudos sobre o modelo SWAT para aplicação na bacia. Recomenda-se a calibração da vazão para período anual, bem como utilização de dados de campo, a fim de se obter resultados satisfatórios para a modelagem hidrológica com o SWAT.

**Palavras-chave:** modelagem hidrológica; coeficientes de eficiência; semiárido; SWAT.

**ABSTRACT:** The SWAT tool was calibrated and validated using flow data from three fluviometric stations located along the hydrographic basin of the Pajeú river, Brazil. The SUFI-2 Algorithm (*Sequential Uncertainty Fitting*), integrated with the SWAT-CUP software (*SWAT Calibration and Uncertainty Programs*), was used for sensitivity analysis, calibration, validation and uncertainty analysis. Based on the sensitivity analysis, of the 29 only 7 parameters (CN2, ALPHA\_BF, GW\_DELAY, GWQMN, GW\_REVAP, SLSOIL and LAT\_TTIME) were considered the most sensitive and were later calibrated ( $t\text{-Stat} > 8.54$  and  $p\text{-Value} < 0.09$ ). Results showed the values of  $R^2$  (0.72, 0.58, 0.64), NSE (0.55, 0.16 and 0.63) and PBIAS (50.7, -83 and -6.5) for calibration (between 1976 to 1995) and validation

(between 1999 to 2008) the values of  $R^2$  (0.55, 0.49, 0.23), NSE (0.29, 0.44, 0.2) and PBIAS (45.5, -76.8 and -35.4). In general, the results of calibration, validation and uncertainty analysis were not considered satisfactory, presenting a better result only in a fluviometric station during calibration, concluding that there is a need for further studies on the SWAT model for application in the basin. It is recommended to calibrate the flow for an annual period, as well as the use of field data, in order to obtain satisfactory results for hydrological modeling with SWAT.

**Keywords:** hydrological modeling, efficiency coefficients, semiarid, SWAT

## 1 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é caracterizado por apresentar distribuição irregular anual da precipitação pluviométrica, elevada temperatura do ar e evapotranspiração potencial superior ao da precipitação, sujeitando esta região a um balanço hídrico negativo (ANGELOTTI, FERNANDES JÚNIOR e SÁ, 2012; BRASIL, 2017). Além disto, os eventos pluviométricos ocorrem com muita intensidade e em curto intervalo de tempo, ocasionando flutuações no escoamento superficial e conseqüentemente erosão do solo e transporte de sedimentos para os rios (KOCH *et al.*, 2020). Tal questão ambiental se intensifica, uma vez que as mudanças climáticas acentuam o processo de aridização e desertificação, tornando o semiárido cada vez mais vulnerável (LACERDA *et al.*, 2016).

Por meio da modelagem hidrológica, pesquisadores e gestores de bacias tentam compreender os diferentes aspectos que acontecem no sistema hidrológico, bem como os impactos proporcionados pelas modificações do uso do solo e mudanças do clima nas bacias hidrográficas (BAI, LIU e XIE, 2021). Dados simulados com a utilização do Soil and Water Assessment Tool (SWAT) têm demonstrado que alterações no tipo de cobertura do solo tendem a promover alterações na umidade do solo (ASHRAF VAGHEFI *et al.*, 2014) e perdas no armazenamento e na manutenção dos recursos hídricos (DAVIS *et al.*, 2015). Em situações de desmatamento, o escoamento tende a ser aumentado, podendo ser observados picos de vazões máximas e o favorecimento à ocorrência de enchentes (KUNDZEWICZ *et al.*, 2019). Adicionalmente, a exposição da superfície terrestre à radiação solar diminui a disponibilidade hídrica local, devido à absorção excessiva de energia e a redução de sua refletância (MARIANO *et al.*, 2018). Uma vez que são esperadas mudanças na intensidade,

duração, frequência, bem como no padrão da precipitação, mediante efeitos das mudanças climáticas, são esperadas alterações no regime hidrológico e na biota lacustre, como por exemplo o fluxo dos rios de pequeno e médio porte e índice de peixes (LIU *et al.*, 2020).

O SWAT vem sendo bastante utilizada em várias regiões climáticas (GÓMEZ-LIMÓN, 2020; MOHAMMED, TVETEN e SEIDU, 2019; SUN *et al.*, 2018) pois seus resultados são bem sucedidos ao simular o comportamento hidrológico de uma bacia mediante condições raras e/ou combinações de cenários, como mudanças climáticas, desmatamento, mudança de cobertura do uso da terra (DOSDOGRU *et al.*, 2020; DU, SHRESTHA e WANG, 2019; YIN *et al.*, 2016). É considerada de alta importância para desenvolver estratégias de conservação dos recursos hídricos e minimizar os impactos ambientais, principalmente em locais com baixa precipitação e alta evapotranspiração potencial, como as regiões semiáridas, bem como em regiões com dados de entrada escassos (ANAND, GOSAIN e KHOSA, 2018; ANDRADE *et al.*, 2019; WOLDESENBET *et al.*, 2018).

Os dados simulados por modelagem não são reais, estes tratam de dados projetados para compreender acontecimentos hidrológicos do passado e também para obter informações sobre eventos futuros (THAVHANA, SAVAGE e MOELETSI, 2018). Para que os dados simulados sejam os mais confiáveis, representativos e os próximos possíveis da realidade, são utilizadas algumas ferramentas como: análise de sensibilidade, calibração e validação dos dados (ABBASPOUR, 2015). No entanto, as etapas de calibração e validação são etapas desafiadoras, principalmente para bacias em áreas áridas e semiáridas, pois carecem de dados de entrada (MENGISTU, RENSBURG e WOYESSA, 2019). Koch *et al.* (2020) ao simular projeções climáticas na Bacia do rio Pajeú, utilizando a ferramenta europeia Soil and Water Integrated Model (SWIM), observaram efeitos no escoamento superficial e na vazão natural do rio. No entanto, na etapa da calibração foi constatada a superestimativa da vazão simulada com valores de NSE (-0,79 e -4,1) e PBIAS (25,3 e 64,1), tais resultados devem às condições hidroclimatológicas e escassez de dados locais (KOCH *et al.*, 2020).

Com isso, o objetivo principal deste estudo foi aplicar o SWAT em uma representativa bacia inserida na região semiárida do nordeste brasileiro a fim de simular as vazões e umidade do solo na Bacia do Rio Pajeú por meio da calibração e validação do modelo, o primeiro a partir de quatro estações hidrológicas e o segundo por meio da obtenção de dados experimentais de uma estação micrometeorológica. Nossos resultados possibilitarão a

realização de simulações diversas em regiões hidrográficas com características semelhantes ao da bacia estudada.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Área de estudo

Localizada no semiárido do nordeste brasileiro, a Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú é um dos tributários mais importantes do Rio São Francisco (Figura 1). Sua nascente é localizada no município de Brejinho, na divisa entre os estados de Pernambuco e Paraíba, e sua foz é ao sul de Pernambuco, no município de Itacuruba, distanciados por 355 km (Feitosa, Santos e Araújo, 2011). A bacia é caracterizada por possuir uma altitude média de 625 m, variando entre 350 a 900 m, com clima do tipo BSh (ALVARES *et al.*, 2013), apresentando evapotranspiração potencial anual cerca de 1200 mm (RIBEIRO, 2016) e com precipitação média anual de 658 mm, variando de 1207 mm ao norte e 467 mm ao sul da bacia, com maior concentração ocorrendo no verão (dezembro a março) e estação seca por aproximadamente 8 meses (SALGUEIRO e MONTENEGRO, 2008; SOARES, NÓBREGA e GALVÍNIO, 2018).

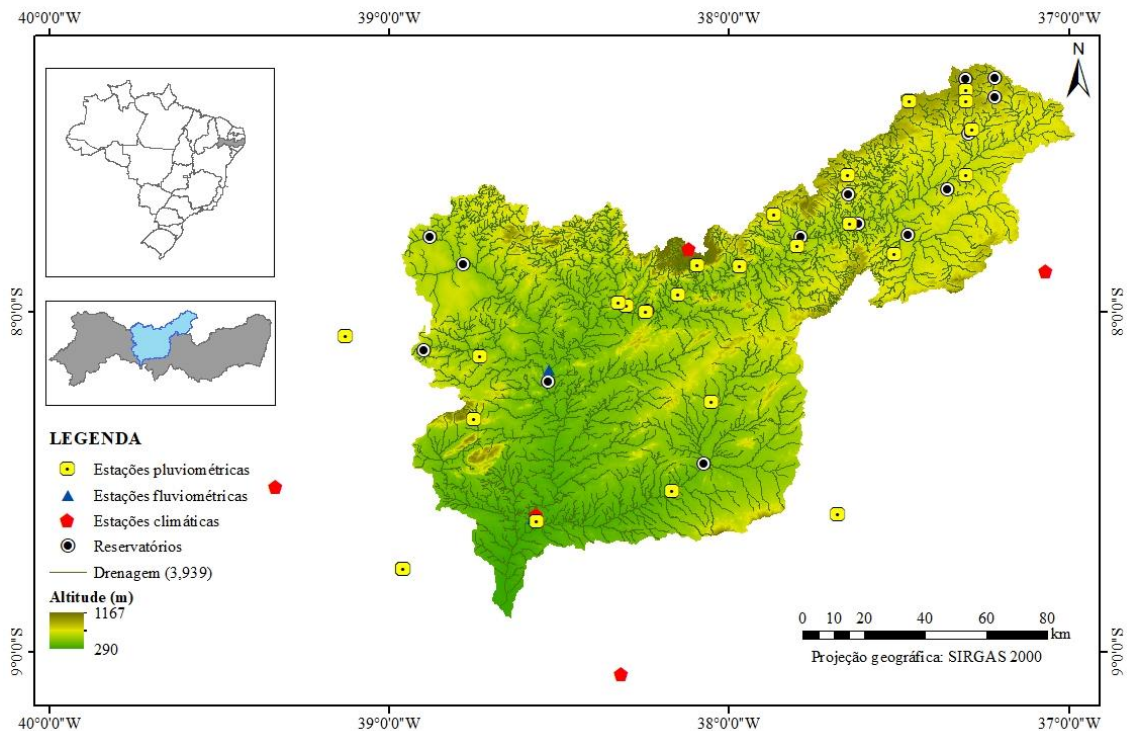


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Pajeú com inserção dos pontos de coleta dos dados.

Quanto às características físicas, apresenta uma área de 16.335,69 km<sup>2</sup>, perímetro de 1.041,74 km e rede de drenagem total de 12.303,41 km (FEITOSA, SANTOS e ARAÚJO, 2011), sendo a bacia de maior importância do estado, representando cerca de 17% do território pernambucano (APAC, 2021). Classificada de 7<sup>a</sup> ordem, a bacia possui baixa densidade de drenagem ( $Dd = 0,753 \text{ km/km}^2$ ), forma muito alongada ( $Ff = 0,139$ ) e menor suscetibilidade a enchentes ( $Kc = 2,8 \text{ m/m}^2$ ) (FEITOSA, SANTOS e ARAÚJO, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2013). Outro destaque é sua vulnerabilidade à erosão, em que áreas sem cobertura vegetal revelam uma maior fragilidade, fato que em união à forma alongada da bacia, favorece os processos de escoamento e inundação (FEITOSA, SANTOS e ARAÚJO, 2011). As principais atividades econômicas da região são agricultura e pecuária, as quais são bastante comprometidas devido à intermitência do rio, má distribuição temporal das chuvas e recorrentes estiagens (CAVALCANTE e VASCONCELOS, 2016; CUNHA *et al.*, 2017).

## 2.2 Descrição do Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

O modelo utilizado neste estudo foi o SWAT versão 2012.10 com interface do ArcGIS. Este modelo foi desenvolvido pelo *Agricultural Research Service of the United States Department of Agriculture* (ARS-USDA), e é amplamente utilizado por pesquisadores e gestores, afim de obter um melhor gerenciamento hídrico das bacias hidrográficas, uma vez que é capaz de simular os processos hidrológicos por um longo período de tempo, em escala diária, bastante eficiente se usado em grandes áreas e baseado nas características conceituais de um ciclo hidrológico (ARNOLD *et al.*, 1998).

O componente do ciclo hidrológico é baseado na equação do balanço hídrico:

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

Em que  $SW_t$  e  $SW_0$  são o conteúdo final e inicial de água no solo (mm), respectivamente,  $t$  é o tempo (dias),  $P$  é a precipitação (mm),  $Q_s$  é o escoamento superficial (mm),  $ET$  é a evapotranspiração,  $W_s$  é a percolação e  $Q_{gw}$  é o escoamento de base (ARNOLD *et al.*, 1998).

O escoamento superficial é baseado a partir do ajuste do modelo empírico da curva-número (CN) do *Soil Conservation Service* (NEITSCH *et al.*, 2011):

$$Q_s = \frac{(R - 0,2 S)^2}{(R + 0,8 S)} \text{ se } R > 0,2 S$$

$$Q_s = 0 \text{ se } R \leq 0,2 S$$

$$S = 25,4 \frac{(1000)}{CN} - 10 \quad (2)$$

Onde R é a precipitação diária (mm), S é o parâmetro de retenção (ANDRADE *et al.*, 2017; LENHART *et al.*, 2002).

A estimativa da evapotranspiração pelo modelo SWAT será realizada pelo método de Penman-Monteith, padronizado pelo boletim da FAO56 (ALLEN *et al.*, 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} v_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 v_2)} \quad (3)$$

Em que  $ET_0$  é a evapotranspiração potencial (mm/dia),  $\Delta$  é a declividade da curva da pressão de saturação de vapor com temperatura em ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $R_n$  é o saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ),  $G$  é a densidade de fluxo de calor do solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ),  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $v_2$  é a velocidade do vento (m/s),  $e_s$  e  $e_a$  é a pressão de saturação e pressão atual de vapor d'água (kPa), respectivamente, e T é a temperatura média do ar ( $^\circ\text{C}$ ).

A perda de solo será estimada pelo modelo através da aplicação da Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE, conforme expresso na equação 4 (WILLIAMS, 1975):

$$Sed = 11,8 (Q_{surf} \times q_{peak} \times \text{área}_{hru})^{0,56} \times K_{USLE} \times C_{USLE} \times P_{USLE} \times LS_{USLE} \times CFRG \quad (4)$$

Esta perda de solo estimada utiliza os dados da quantidade de escoamento gerado para a simulação da produção dos sedimentos devido à erosão. O Modelo MUSLE é uma adaptação ao Modelo USLE de Wischmeier e Smith (1965). Em que Sed é a produção de sedimentos ou perda de solo (t),  $Q_{surf}$  é o volume do escoamento superficial (mm/ha),  $q_{peak}$  é a vazão de pico ou índice máximo de escoamento ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $\text{área}_{hru}$  é área de cada unidade de resposta hidrológica (ha) e K, C, P, LS e CFRG são respectivamente fator de erodibilidade do solo, fator de uso e manejo, fator de práticas conservacionistas, fator topográfico e fator de fragmento bruto.

Para obtenção dos dados de saída, é necessário a utilização de dados hidrológicos, topográficos, climáticos, tipo e uso e cobertura do solo (Figura 2). A Tabela 1 apresenta as fontes utilizadas para cada variável necessária, bem como sua resolução e descrição de cada item.

Tabela 1. Dados de entrada no SWAT



Variável	Resolução	Fonte
Precipitação	Valores diários (1960 – 2019)	APAC
Temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e brilho solar	Valores diários (1960 – 2019)	INMET
Mapa do uso do solo	Escala (1:100000)	MapBioma
Mapa tipo de solo	Escala (1:100000)	Zoneamento Agroecológico de Pernambuco
Modelo Digital de Elevação	Resolução (90 x 90 m)	Embrapa
Vazão	Valores diários (1975 - 2019)	ANA

### 2.3 Dados de entrada

Foram coletados dados de precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e brilho solar da estação meteorológica de Monteiro, Floresta, Ibimirim, Triunfo e Salgueiro obtidos pelo site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para os demais municípios inseridos na bacia foram coletados os dados apenas de precipitação (APAC), pois os demais pontos carecem de informações climatológicas. Devido a isto, os dados para cálculo da evapotranspiração foram coletados a partir de estações próximas à bacia estudada. Apesar de apresentar dados climáticos a partir do início do século XX, estes muitas vezes continuam falhas e incoerência. Devido a isso, foi realizada uma análise destes dados a fim de obter uma série aceitável para a modelagem hidrológica, com o uso do software *WGN Parameters Estimation Tool*.

Os dados de vazão foram coletados a partir de plataformas distribuídas ao longo da bacia por meio do portal HydroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA). As estações fluviométricas estão localizadas ao longo da bacia nos municípios: Flores, Serra Talhada e Floresta. No nosso estudo, foram também adicionados 16 reservatórios e suas respectivas informações básicas para inserção no banco de dados de entrada do ArcSWAT. A localização de cada estação e reservatório podem ser observados na Figura 1.

Os dados relacionados ao uso (Figura 2A) e tipo do solo (Figura 2B) e o modelo digital de elevação (Figura 2C), bem como a declividade (Figura 2D) da bacia hidrográfica do rio Pajeú foram coletados pelos sites do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMPRAPA) e Pronassolos.

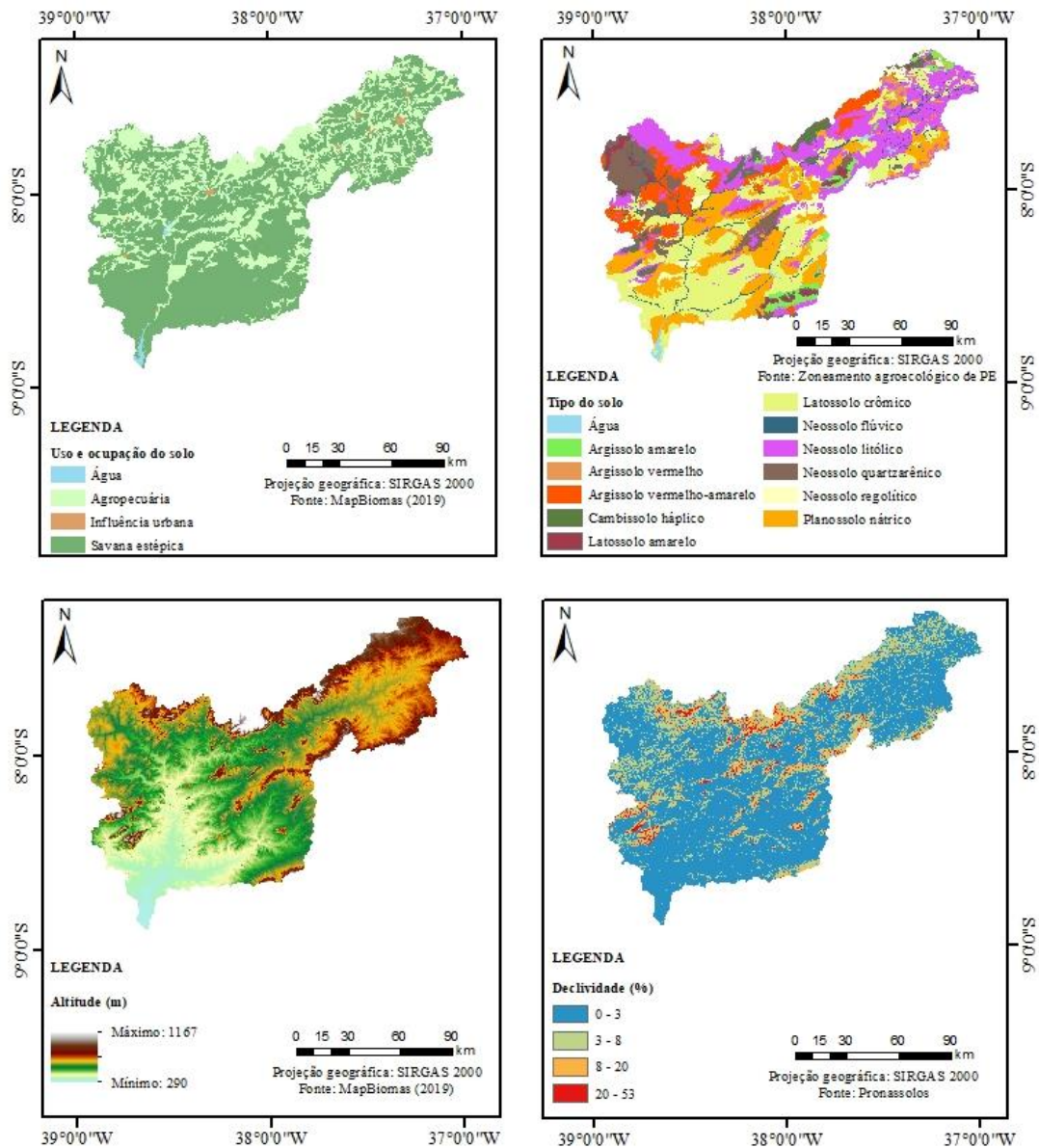


Figura 2. Uso e ocupação do solo (A), tipo do solo (B), modelo digital de elevação (C) e declividade (D) da bacia hidrográfica do rio Pajeú.

#### 2.4 Análise de sensibilidade, calibração, validação e desempenho do modelo

Para a realização de todos os procedimentos, utilizou-se o programa SWAT-CUP, a partir do algoritmo de otimização *Sequential Uncertainty Fitting* (SUFI-2) (ABBASPOUR, 2015). A fim de proporcionar maior confiabilidade nos projetos que serão aplicados, é necessário que os modelos hidrológicos sejam calibrados e validados. A primeira etapa, consiste na análise de sensibilidade. Este processo antecede a etapa de calibração e é essencial para reduzir o número excessivo de parâmetros necessários para a calibração, devido a isto, foi realizada uma revisão para a escolha dos parâmetros mais sensíveis e que já foram testados

anteriormente. Para avaliar os melhores parâmetros, são observados os valores de *p-value* e *t-Stat*. O *p-value* próximo a zero e o maior valor absoluto do *t-Stat* indicam maior significância da sensibilidade do parâmetro (DESAI et al, 2021).

Após a escolha dos parâmetros e realização dos ajustes, o modelo foi calibrado entre os anos: 1976 a 1995 e validado entre: 1999 a 2018, utilizando dados mensais de vazão. Sendo o período de 1973 a 1975 e 1996 a 1998, utilizados para aquecimento do modelo. Ainda foi realizada a análise de incerteza a partir dos valores registrados dos índices estatísticos *P-fator* e *R-fator*. Apesar de não haver um valor fixo para representar o ajuste ideal entre o valores simulados e observados, Abbaspour (2015) recomenda para dados simulados de vazão, os valores acima de 0,7 e mais próximo a 1,0, respectivamente.

Por fim, a partir de indicadores estatísticos, foi verificado se a partir das etapas acima, se o modelo foi capaz de simular de forma eficiente os dados (ARNOLD et al., 1998). Então, com o intuito de avaliar o ajuste perfeito entre os resultados simulados dos observados, foram utilizados os coeficientes de eficiência: Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) e Percent Bias (PBIAS). O NSE mede se o valor observado é melhor estimado pelo resultado do modelo ou pela média dos valores observados, logo, quanto mais próximo de 1, mais perfeito será o ajuste. Já, o segundo índice fornece uma medida de quanto os valores simulados são menores ou maiores dos observados, portanto, indica se o valor simulado foi subestimado (valor positivo) ou superestimado (valor negativo), sendo o valor de 0 o ideal para o coeficiente. A Tabela 2 apresenta as classificações das funções objetivo de acordo com o desempenho do modelo (MORIASI *et al.*, 1983; SANTHI *et al.*, 2001; THIEMIG *et al.*, 2013).

Tabela 2. Funções objetivo e suas classificações quanto ao desempenho do modelo

Função objetivo	Classificação do desempenho			
	Muito bom	Bom	Satisfatório	Insatisfatório
Nash-Sutcliffe efficiency (NSE)	$0.75 < NSE \leq 1$	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$0.5 < NSE \leq 0.65$	$NSE \leq 0.5$
Percent bias (Pbias)	$Pbias < \pm 10$	$\pm 10 \leq Pbias < \pm 15$	$\pm 15 \leq Pbias < \pm 25$	$Pbias \geq \pm 25$

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Análise de sensibilidade

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos da análise de sensibilidade para a variável vazão, onde nela é possível observar o ranking de importância para cada sub-bacia, significância estatística com respectivos valores de *p-value* e *t-Stat*, bem como os valores ajustados de cada um.

Tabela 3. Ranking da análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SWAT na bacia hidrográfica do rio Pajeú.

Ranking	Parâmetro	<i>t-Stat</i>	<i>p-value</i>	Valor ajustado	Valor Mínimo	Valor Máximo
17	R_ESCO.bsn	-0.78	0.44	-0.1707	-0.3071	0.0853
1	R_CN2.mgt	-8.54	0.00	-0.2856	-0.5431	-0.0729
5	V_ALPHA_BF.gw	2.49	0.01	0.0137	0.0106	0.0165
7	A_GW_DELAY.gw	-1.68	0.09	-47.8491	-56.8973	-2.8781
2	A_GWQMN.gw	-7.75	0.00	2586.9	337.0077	5000.0
16	R_CANMX.hru	-0.83	0.41	6.5360	0.3104	10.0
24	R_CH_K2.rte	0.22	0.83	3.8989	-1.1533	4.3233
28	R_CH_N2.rte	0.07	0.94	-0.5365	-0.6029	-0.2063
13	V_EPCO.bsn	-0.93	0.36	-0.0667	-0.3972	0.3175
4	V_GW_REVAP.gw	-2.59	0.01	0.0727	0.0200	0.2000
14	A_REVAPMN.gw	0.91	0.36	800.0	-57.2	833.4
21	R_SOL_AWC(..).sol	0.31	0.76	0.0003	-0.0854	0.0887
20	R_SOL_K(..).sol	0.43	0.66	0.6452	0.2996	0.7413
25	V_SURLAG.bsn	0.21	0.84	35.85	-0.4765	48.44
15	V_CH_N1.sub	-0.84	0.40	0.0034	0.0005	0.0899
12	R_CH_K1.sub	-0.93	0.35	0.3265	0.0088	0.3551
6	V_SLSOIL.hru	-2.10	0.04	29.41	-13.9066	69.00
3	V_LAT_TTIME.hru	-3.65	0.00	99.47	41.98	139.83
11	R_HRU_SLP.hru	-1.03	0.31	0.0285	-0.0981	0.0577
29	R_SLSUBBSN.hru	0.05	0.96	-0.0755	-0.2748	-0.0397
18	R_RES_ESA.res	-0.74	0.46	0.2620	0.1587	0.5847
10	R_RES_EVOL.res	-1.05	0.29	0.4645	0.0400	0.6906
22	R_RES_PVOL.res	-0.25	0.80	-0.2774	-0.5424	-0.1332
23	R_RES_PSA.res	-0.23	0.82	0.0014	-0.0680	0.2307
27	R_RES_VOL.res	-0.10	0.92	0.0038	-0.3055	0.2921
19	R_RES_RR.res	0.56	0.58	-0.2944	-0.7077	-0.2827
9	V_EVRSV.res	-1.60	0.11	0.8356	0.5984	1.1406
26	R_RES_K.res	-0.14	0.89	2.59	1.78	3.33
8	R_SOL_Z(..).sol	-1.64	0.10	0.2038	0.0000	0.5000

Em que: R - relativo: multiplica o valor existente; V - substituir: substitui o valor existente e A - adicionar: um novo valor é adicionado ao valor inicial do parâmetro.

Observa-se que a sensibilidade de cada parâmetro é influenciada quanto às características físicas, climáticas e topográficas da bacia. Os 29 parâmetros foram adicionados manualmente no SWAT-CUP, a fim de encontrar os mais adequados para a bacia. Nota-se que, dos 29 parâmetros, apenas 7 foram escolhidos por serem considerados os mais sensíveis, sendo o parâmetro CN2 o mais sensível com *t-Stat* de -8.54 e *p-value* de 0,00. As letras anteriores à cada parâmetro informa o tipo de procedimento realizado para ajustar os valores para a etapa de calibração e validação. Neste caso, o parâmetro CN2 sofreu um ajuste de -0.2856., ou seja, uma redução do seu valor gerado na simulação de 28%.

### *3.2 Calibração e validação do modelo*

A Figura 3 ilustra o processo de calibração (1976 a 1995), bem como mostra a comparação entre valores observados e simulados da validação (1999 a 2018), com valores dos índices estatísticos escolhidos: NSE, PBIAS e R<sup>2</sup>.

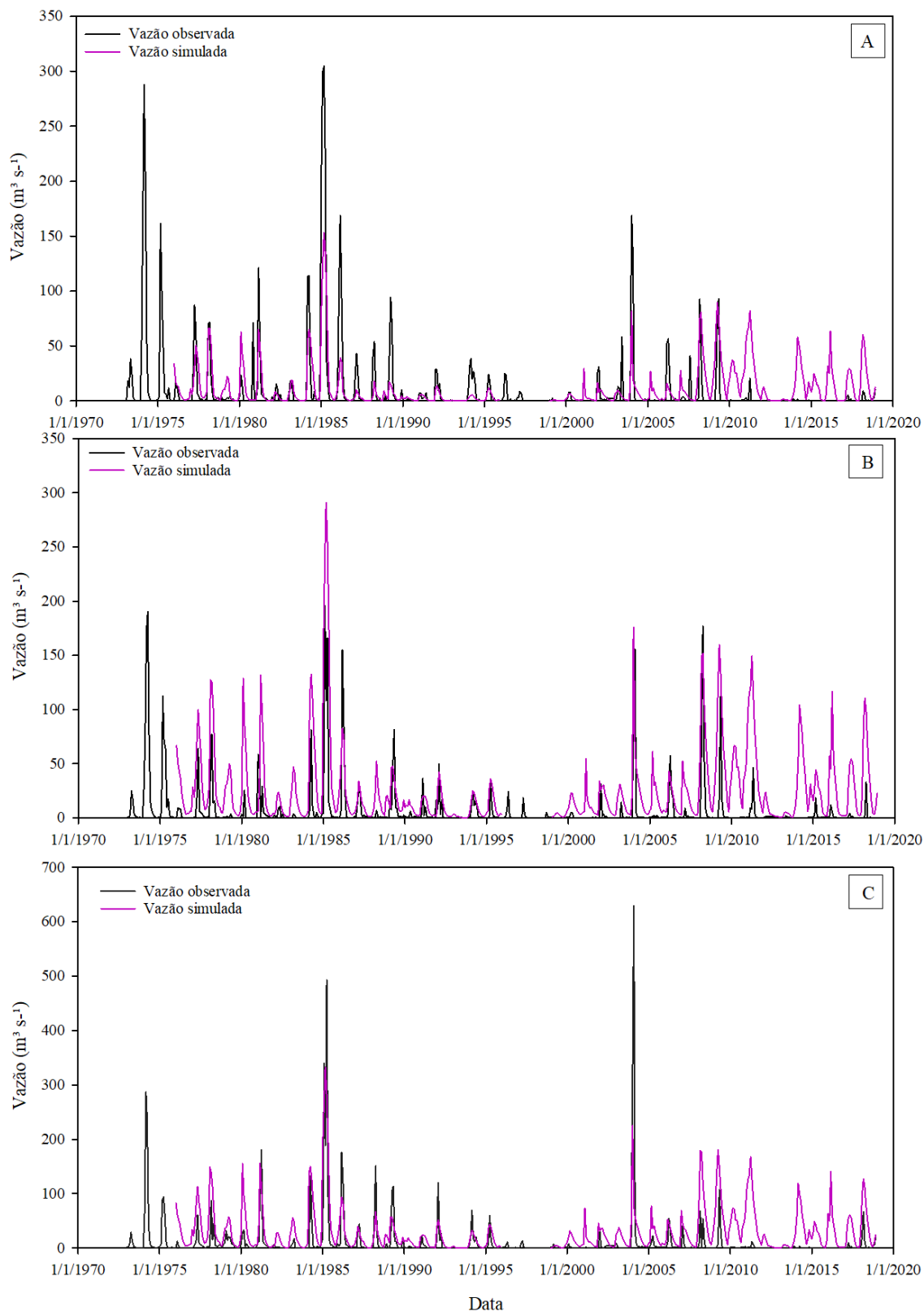


Figura 3. Valores observados e simulados de vazão em escala mensal durante o período de aquecimento (1973 - 1975 e 1996 - 1998), calibração (1976 - 1995) e validação (1999 - 2018). Em que: Flores (A), Serra Talhada (B) e Floresta (C).

Para a etapa de calibração, o desempenho do modelo na estação fluviométrica de Flores apresentou valores de R<sup>2</sup>, NSE e PBIAS de 0,72, 0,55 e 50,7 e durante a validação de 0,55, 0,29 e 45,5, respectivamente (Figura 3A, Tabela 4). Os valores de R<sup>2</sup>, NSE e PBIAS na estação de Serra Talhada (Figura 3B, Tabela 4) foram 0,58, 0,16, -83 e 0,49, 0,44 -76,8 para calibração e validação, respectivamente, indicando um desempenho do modelo “insatisfatório”. Com desempenho satisfatório, em Floresta foi observado valores de R<sup>2</sup>, NSE e PBIAS de 0,64, 0,63 e -6,5 para calibração e de 0,23, 0,2 e -35,4 para validação do modelo, consecutivamente (Figura 3C, Tabela 4).

Na etapa de calibração foram observados desempenho mais satisfatórios quando comparado com a etapa de validação. Na estação de Floresta (Figura 3C, Tabela 4), o valor de PBIAS foi menor que  $\pm 10$ , com desempenho do modelo classificado como muito bom, e nas estações hidrológicas de Flores e Serra Talhada, com valores registrados acima de  $\pm 25$ , com desempenho insatisfatório. Porém, na etapa de validação, a estação de Floresta apresentou valores superiores a  $\pm 25$ , indicando um desempenho do modelo “insatisfatório”.

Na Tabela 4 visualizamos os resultados da análise de incerteza da simulação hidrológica, sendo representado pelo *P-fator* e *R-fator*, no qual valores acima de 70% e próximos a 1, consecutivamente, são considerados adequados. No entanto, foram observados valores médios do primeiro índice estatístico de 0,59 e 0,24 e no segundo índice de 1,14 e 0,92, para calibração e validação, consecutivamente.

Tabela 4. Desempenho do modelo a partir dos índices estatísticos e funções objetivos

Coeficiente	Calibração			Validação		
	Flores	Serra Talhada	Floresta	Flores	Serra Talhada	Floresta
P-fator	0.62	0.46	0.68	0.29	0.17	0.25
R-fator	0.59	1.77	1.05	0.78	1.33	0.64
R <sup>2</sup>	0.72	0.58	0.64	0.55	0.49	0.23
NSE	0.55	0.16	0.63	0.29	0.44	0.2
PBIAS	50.7	-83	-6.5	45.5	-76.8	-35.4

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Análise de sensibilidade

Por meio da análise de sensibilidade realizada, afirma-se que CN2, ALPHA\_BF, GW\_DELAY, GWQMN, GW\_REVAP, SLSOIL e LAT\_TTIME são os parâmetros que dominam a produção do fluxo na bacia hidrográfica do rio Pajeú. Destaca-se que o parâmetro mais sensível foi aquele relacionado quanto às propriedades físicas do solo (i. e.

permeabilidade) e ao manejo (i. e. uso e ocupação), como o número da curva (CN2); águas subterrâneas (ALPHA\_BF, GWQMN e GW\_REVAP) e escoamento (SLSOIL e LATIME) (NEITSCH *et al.*, 2011).

É importante frisar que a esta etapa não garante que o modelo seja perfeito, no entanto, é recomendado que se conheça bem a bacia estudada, a fim de evitar as incertezas geradas no processo (NEITSCH *et al.*, 2002). Para calibração do modelo e obtenção de dados relacionados ao balanço hídrico e fluxo total da bacia, Neitsch *et al.* (2002) recomendam inicialmente ajustar o valor do parâmetro CN2 até que o escoamento superficial gerado se torne aceitável. Este parâmetro está indiretamente relacionado à mudança do uso e cobertura da terra, ou seja, quanto ao grau de urbanização ou degradação, no qual interfere na condição da umidade e permeabilidade do solo, mas também sofre alterações quanto ao volume e da precipitação (NEITSCH *et al.*, 2011; PANG *et al.*, 2020).

O parâmetro considerado o mais importante entre alguns autores é o CN2 (LELIS *et al.*, 2012; PANG *et al.*, 2020), no qual está relacionado à geração do escoamento superficial e precipitação pluviométrica diária, ou seja, quanto maior o valor obtido do CN2 (CN = 100), maior a estimativa do escoamento superficial, portanto maior o grau de urbanização/degradação do solo (KRYSAKOVA *et al.*, (2000). Ainda de acordo com Krysanova *et al.* (2000), o parâmetro CN2 é definido para condições médias de umidade (USDA-NRCS, 2009) e para nossas bacias hidrográficas rurais brasileiras, o valor encontrado corresponde à classificação da superfície do uso do solo e quanto ao grupo hidrológico do solo (TUCCI, 2009).

Guug, Abdul-Ganiyu e Kasei (2020) avaliaram a disponibilidade hídrica ao aplicar o SWAT na bacia hidrográfica Sherigu, região semiárida entre Gana e Burkina Faso e encontram um valor calibrado de CN2 entre 69,3 a 92. Esta bacia com área de drenagem aproximada de 1282 km<sup>2</sup>, apresenta 50,71% de sua área ocupada por terras agrícolas (painço, sorgo e amendoim) e apenas 4,46% de florestas. Ao avaliar os impactos das mudanças climáticas na bacia do rio Mun, sudeste asiático, Li e Fang (2021) ajustaram o valor inicial de CN2 em +0,4%. Esta bacia semiárida apresenta seis tipos de usos do solo, no qual sua área está ocupada por terras agrícolas (80,0%), florestas (15,1%), pastagens (2,28%), corpos hídricos (1,61%) e áreas para construção (1,10%).

Huo *et al.* (2021), por exemplo, após análise de sensibilidade, determinaram quatro parâmetros: GWQMN, GW\_DELAY, ALPHA\_BF e CN2. Para eles, estes elementos representaram melhor a quantidade da água na bacia do rio Yanwachuan, China. Esta bacia,



com área de drenagem de 300 km<sup>2</sup>, pertence a uma região de clima de monção sub-úmido, no entanto, apresenta como característica a precipitação irregular ao longo do ano e uma média anual de 546,9 mm, concentradas nos meses de junho a setembro. Os parâmetros GWQMN e GW\_REVAP estão relacionados aos sistemas de águas subterrâneas, sendo o primeiro relacionado à contribuição da água do aquífero raso para o fluxo de base e o segundo quanto ao deslocamento da água do aquífero raso para uma camada sobreposta não saturada (NEITSCH *et al.*, 2011). Andrade *et al.* (2019) encontraram GWQMN de 2686 mm H<sub>2</sub>O para bacia do rio Mundaú, nordeste brasileiro e afirma que a contribuição do aquífero raso para o fluxo de base está relacionada com às chuvas e evapotranspiração da região.

Os mesmos parâmetros mais sensíveis também foram apresentados por Jin *et al.* (2018) ao estudar a dinâmica entre as águas superficiais e subterrâneas na bacia do rio Heihe, na região árida da China, no entanto não demonstraram seus valores. Singh e Saravanan (2020) ajustaram o valor de GWQMN em 1147,5 mm H<sub>2</sub>O, ou seja, uma profundidade limite de água de 1,14 m necessária para ocorrer o fluxo de retorno. E para o coeficiente “revap” (GW\_REVAP) ajustado em 0,0425, valor que segundo os autores indicavam uma transferência moderada da água do aquífero raso para a zona insaturada subjacente (SINGH e SARAVANAN, 2020).

Com o valor inicial variando entre 0 a 1, o parâmetro ALPHA\_BF representa o fator do fluxo de base em dias. Ou seja, de acordo com Neitsch *et al.* (2011), indica a resposta do fluxo subterrâneo, em que quanto mais próximo de 1 maior será a recarga do aquífero. Dash, Sahoo e Raghuvanshi (2021) ao avaliarem a confiabilidade das estimativas de evapotranspiração por meio do SWAT na bacia hidrográfica do rio Kangsabati, Índia, apresentaram valores de ALPHA\_BF de 0,72. Ainda de acordo com a revisão publicada por Marin *et al.*, (2020), de todos os artigos revisados, 100% utilizaram o parâmetro CN2, enquanto que os parâmetros GWQMN (75%), GW\_DELAY (67%) e ALPHA\_BF (50%) entre 50 a 100% e abaixo de 50% os parâmetros: GW\_REVAP (42%), SLSOIL (8%) e LAT\_TIME (8%). Esta revisão abordou questões relacionadas às implicações das mudanças no clima e da alteração do uso e cobertura do solo na vulnerabilidade dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas florestadas do globo (MARIN *et al.*, 2020).

#### 4.2 Calibração e validação do modelo

Ao comparar os hidrogramas e os índices gerados (Figuras 3, Tabela 4), observou-se que em geral, os resultados da etapa de validação foram piores quando comparados a etapa de

calibração. Andrade *et al.*, (2019) relata que tal efeito é esperado, uma vez que há um “excesso de calibração” no processo, resultando em níveis insatisfatório para esta etapa. É o que observamos em alguns estudos que utilizaram a modelagem hidrológica com o SWAT. Hülsmann *et al.* (2015) apresentaram valores calibrados de PBIAS e NSE com melhor desempenho (-0,33 e -1,55), enquanto que na validação valores variaram em -1,1 a 0,6 (NSE) e 31,1 a 88,69. A fim de entender os efeitos da mudança climática no fluxo na bacia experimental de Reynolds Creek, Estados Unidos da América, o desempenho final do modelo foi aceitável, porém na etapa de validação ( $R^2 = 0,71$ , NSE = 0,68 e PBIAS = 10,87) observaram-se valores inferiores ao da calibração ( $R^2 = 0,82$ , NSE = 0,70 e PBIAS = 26,67).

Além desta observação, Andrade *et al.*, (2019) também afirma que o desempenho do modelo é melhor ao simular os dados de vazão de modo anual, ficando como sugestão para este trabalho, a fim de verificar se os coeficientes se alteram a realizar tal mudança. Outro fato que deve ter interferido na simulação pode estar referido a ter sido utilizado apenas os dados de vazão para calibração. Autores citam a importância da inserção de dados relativos à umidade do solo, informações obtidas por meio de satélites, rendimento de culturas, carga de sedimentos e outros, a fim de melhorar a simulação na bacia (ANDRADE *et al.*, 2019; CHEN *et al.*, 2017; VAGHEFI *et al.*, 2017).

Os valores do  $R^2$  variaram entre 0,58 a 0,74 na calibração e 0,55 a 0,23 na validação, obtendo-se assim um desempenho muito bom para Floresta e bom para Serra Talhada e Flores. No entanto, Abbaspour (2015) cita que um valor de  $R^2$  igual ou cima de 0.80 torna um modelo satisfatório. Por se tratar de um coeficiente de dispersão, valores mais altos de  $R^2$  ou seja muito bons, podem ser obtidos a partir da superestimativa ou subestimativa da vazão (TARAWNEH, BRIDGE e MACDONALD, 2016). Yin *et al.*, (2016) apresentaram um desempenho muito bom na calibração e validação, com NSE (0,92),  $R^2$  (0,93) e PBIAS (-5,3), mostrando que de fato o SWAT é uma ferramenta útil para estimativa do balanço hídrico na bacia do rio Heihe, semiárido da China.

O PBIAS representa a porcentagem de superestimativa ou subestimativa da vazão simulada, no qual quanto menor seu valor absoluto melhor é o seu ajuste (ZHANG *et al.*, 2020). Em nossa pesquisa, observamos que houve superestimativa da vazão nas estações localizadas em Serra Talhada e Floresta, enquanto que em Flores a vazão foi subestimada. Porém, apenas em Floresta que o modelo apresentou um ótimo desempenho, com seu valor em -6,5, ou seja, superestimou a vazão em 6,5%. O PBIAS é outra estatística métrica utilizada para avaliar o desempenho do modelo ao simular processos hidrológicos (BENNETT *et al.*,

2013) e foi utilizada por diversos pesquisadores. O SWAT foi utilizado por Sowah *et al.*, (2020) para verificar a qualidade da água na bacia hidrográfica de Clouds Creek, EUA. Este artigo apresentou valores de PBIAS de -5,2 (calibração) e 20 (validação), apresentando um desempenho do modelo muito bom na etapa de calibração e satisfatório durante a validação.

O índice NSE determinada a magnitude da variância dos dados, no qual valores simulados na simulação abaixo de 0,5 indicam que os dados observados refletem melhor às condições da bacia, sendo valor acima de 0,5 satisfatório e acima de 0,75 modelo muito bom (MORIASI *et al.*, 2007). Os valores do NSE variaram de 0,16 a 0,63 na calibração e 0,2 a 0,44 na validação, apresentando modelo satisfatório ao simular vazão em Flores (0,55) e em Floresta (0,63). Na literatura, há diversos trabalhos que citam este índice para avaliação do desempenho do modelo hidrológico e é um dos padrões mais comumente utilizados para comparar dados hidrológicos observados com simulados (LE e PRICOPE, 2017). Como é o caso de Li, Zhang e Xu (2016) em que observaram NSE de 0,67 e 0,72 na calibração e validação, consecutivamente. Ao avaliar a aplicabilidade do SWAT com o objetivo de prever a vazão, concentração de nitrato e rendimento agrícola, o modelo obteve desempenho satisfatório com NSE de 0,54 para calibração e 0,57 na validação para a etapa de simulação da vazão, no entanto para e de 0,31 (calibração) e 0,42 (validação) para carga de nitrato, apresentando desempenho insatisfatório. Conforme Desai *et al.*, (2020), o coeficiente NSE é sensível a valores extremos, no qual pode explicar os valores baixos observados durante a simulação, ocasionando a subestimativa dos valores de vazão. Ainda de acordo com Andrade, Mello e Beskow (2012), o NSE apresenta melhor desempenho ao simular as situações de pico de vazão nas bacias.

## CONCLUSÃO

Neste estudo foi avaliado o desempenho da modelagem hidrológica no rio Pajeú utilizando o SWAT. Foram encontrados parâmetros relacionados ao uso e cobertura do solo, geração de escoamento e também quanto às águas subterrâneas. Os parâmetros adicionados manualmente relacionados às características dos reservatórios não apresentaram valores considerados ótimos de *t-Stat* e *p-value*, sendo assim não selecionados entre os parâmetros sensíveis para calibração do modelo.

O desempenho do modelo foi observado a partir dos dados mensais de vazão de três postos fluviométricos distribuídos ao longo da bacia. No entanto, apenas os dados situados na estação em Floresta apresentaram simulações muito boas (PBIAS), satisfatórias ( $R^2$ ). Tal fato

ocorreu apenas na etapa de calibração, uma vez que durante a validação todos as funções objetivo apresentaram um desempenho insatisfatório.

Por fim, recomenda-se uma melhor abordagem dos parâmetros que possam representar melhor a bacia, seja acrescentando outros ou ajustando melhor os valores. Além disto, por apresentar reservatórios com barragens que limitam e barram a vazão ao longo do rio Pajeú, adicionar dados de campo, como por exemplo umidade do solo.

## REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, Karim C. **SWAT-CUP: SWAT Calibration and Uncertainty Programs**. Duebendorf: [s. n.], 2015.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 301 p. FAO Irrigation and Drainage Paper n. 56.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; DE MORAES GONÇALVES, José Leonardo; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 22, no. 6, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação** / Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, GGES, 2016.

ANAND, Jatin; GOSAIN, A. K.; KHOSA, R. Prediction of land use changes based on Land Change Modeler and attribution of changes in the water balance of Ganga basin to land use change using the SWAT model. **Science of the Total Environment**, vol. 644, p. 503–519, 2018. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.07.017. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.017>.

ANDRADE, Carolyne W.L.; MONTENEGRO, Suzana M.G.L.; MONTENEGRO, Abelardo A.A.; LIMA, José R.de S.; SRINIVASAN, Raghavan; JONES, Charles A. Soil moisture and discharge modeling in a representative watershed in northeastern Brazil using SWAT. **Ecohydrology and Hydrobiology**, vol. 19, no. 2, p. 238–251, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.09.002>.

ANDRADE, Carolyne Wanessa Lins de; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima; LIMA,

José Romualdo de Sousa; MONTENEGRO, Abelardo Antônio de Assunção; MAGALHÃES, Adriana Guedes. Modelagem hidrológica sob mudanças na cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica no Nordeste do Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, vol. 2, no. 3, p. 239, 31 Jul. 2017. DOI 10.24221/jeap.2.3.2017.1446.239-248. Available at: <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1446.239-248>. Accessed on: 18 Jan. 2021.

ANDRADE, Márcio A.; MELLO, Carlos R.; BESKOW, Samuel. Hydrological simulation in a watershed with predominance of Oxisol in the upper Grande river region, MG - Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 17, no. 1, p. 69–76, 2012. DOI 10.1590/S1415-43662013000100010. Available at: <http://www.agriambi.com.br>. Accessed on: 18 Feb. 2021.

ANGELOTTI, Francislene; FERNANDES JÚNIOR, Paulo Ivan; SÁ, Iedo Bezerra de. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Medidas de Mitigação e Adaptação (Climate Change in the Brazilian Semiarid: Mitigation and Adaptation Practices). **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 4, no. 6, p. 1097, 2012. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i6.232763>.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Bacia hidrográficas: rio Pajeú**. Disponível em: <<http://200.238.107.184/bacias-hidrograficas/40-bacias-hidrograficas/202-bacia-do-rio-pajeu>>. Acesso em: 22 jan. 2021.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. **Journal of The American Water Resources Association**, v. 34, p. 73 – 89, 1998.

ASHRAF VAGHEFI, S.; MOUSAVI, S. J.; ABBASPOUR, K. C.; SRINIVASAN, R.; YANG, H. Analyses of the impact of climate change on water resources components, drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh River Basin in Iran. **Hydrological Processes**, vol. 28, no. 4, p. 2018–2032, 2014. <https://doi.org/10.1002/hyp.9747>.

BAI, Peng; LIU, Xiaomang; XIE, Jiabin. Simulating runoff under changing climatic conditions: A comparison of the long short-term memory network with two conceptual hydrologic models. **Journal of Hydrology**, vol. 592, p. 125779, 1 Jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125779>.

BENNETT, Neil D.; CROKE, Barry F.W.; GUARISO, Giorgio; GUILLAUME, Joseph H.A.; HAMILTON, Serena H.; JAKEMAN, Anthony J.; MARSILI-LIBELLI, Stefano; NEWHAM, Lachlan T.H.; NORTON, John P.; PERRIN, Charles; PIERCE, Suzanne A.; ROBSON,

Barbara; SEPPELT, Ralf; VOINOV, Alexey A.; FATH, Brian D.; ANDREASSIAN, Vazken. Characterising performance of environmental models. **Environmental Modelling and Software**, vol. 40, p. 1–20, 1 Feb. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.09.011>.

BRASIL. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência. **Diário Oficial da União**, vol. 2005, p. 48, 2017. .

CAVALCANTE, Arnóbio de Mendonça Barreto; VASCONCELOS, Gabriella Carla Leite. COMÉRCIO LEGAL DE CACTOS ORNAMENTAIS: OPORTUNIDADE PARA USO SUSTENTÁVEL NO SEMIÁRIDO DO BRASIL Legal trade of ornamental cacti: opportunity for sustainable use in the Brazil semiarid Arnóbio de Mendonça Barreto Cavalcante. no. 1, p. 2357–9226, 2016. .

CHEN, Huajin; LUO, Yuzhou; POTTER, Christopher; MORAN, Patrick J.; GRIENEISEN, Michael L.; ZHANG, Minghua. Modeling pesticide diuron loading from the San Joaquin watershed into the Sacramento-San Joaquin Delta using SWAT. **Water Research**, vol. 121, p. 374–385, 15 Sep. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.05.032>.

CUNHA, Ana M Paula do Amaral; BRITO, Sheila Santana de Barros; ROSSATO, Luciana; CÉLIA DOS SANTOS ALVALÁ, Regina; CARVALHO, Magog A; ZERI, Marcelo; CUNNINGHAM, Christopher; PAULA DOS REIS MACIEL, Aliana; SOARES ANDRADE, Eliana; MARCIA DA SILVA PINTO VIEIRA, Rita; DOUTOR ALTINO BONDESAN, Estrada. Avaliação de indicador para o monitoramento dos impactos da seca em áreas de pastagens no Semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, vol. 69, no. 1, p. 89–106, 2017. Available at: [www.emdat.be/](http://www.emdat.be/).

D. N. MORIASI; J. G. ARNOLD; M. W. VAN LIEW; R. L. BINGNER; R. D. HARMEL; T. L. VEITH. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. **Transactions of the ASABE**, vol. 50, no. 3, p. 885–900, 2007. DOI 10.13031/2013.23153. Available at: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=23153&CID=t2007&v=50&i=3&T=1>. Accessed on: 18 Feb. 2021.

DASH, Sonam Sandeep; SAHOO, Bhabagrahi; RAGHUWANSHI, Narendra Singh. How reliable are the evapotranspiration estimates by Soil and Water Assessment Tool (SWAT) and Variable Infiltration Capacity (VIC) models for catchment-scale drought assessment and

irrigation planning? **Journal of Hydrology**, vol. 592, p. 125838, 1 Jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125838>.

DAVIS, Jenny; O'GRADY, Anthony P.; DALE, Allan; ARTHINGTON, Angela H.; GELL, Peter A.; DRIVER, Patrick D.; BOND, Nick; CASANOVA, Michelle; FINLAYSON, Max; WATTS, Robyn J.; CAPON, Samantha J.; NAGELKERKEN, Ivan; TINGLEY, Reid; FRY, Brian; PAGE, Timothy J.; SPECHT, Alison. When trends intersect: The challenge of protecting freshwater ecosystems under multiple land use and hydrological intensification scenarios. **Science of the Total Environment**, vol. 534, p. 65–78, 2015. DOI 10.1016/j.scitotenv.2015.03.127. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.127>.

DESAI, Sujeet; SINGH, D. K.; ISLAM, Adul; SARANGI, A. Multi-site calibration of hydrological model and assessment of water balance in a semi-arid river basin of India. **Quaternary International**, vol. 571, p. 136–149, 10 Jan. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.032>.

DOSDOGRU, Furkan; KALIN, Latif; WANG, Ruoyu; YEN, Haw. Potential impacts of land use/cover and climate changes on ecologically relevant flows. **Journal of Hydrology**, vol. 584, p. 124654, 1 May 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124654>.

DU, Xinzhong; SHRESTHA, Narayan Kumar; WANG, Junye. Assessing climate change impacts on stream temperature in the Athabasca River Basin using SWAT equilibrium temperature model and its potential impacts on stream ecosystem. **Science of the Total Environment**, vol. 650, p. 1872–1881, 10 Feb. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.344>.

FEITOSA, Ailton; SANTOS, Bruno dos; ARAÚJO, Maria do Socorro Bezerra de. Caracterização Morfométrica e identificação de Áreas Susceptíveis a Erosão na Bacia do Rio Pajeú, PE: o Estudo de Caso da Bacia do Rio Pajeú/PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 4, no. 4, p. 820–836, 2011. .

GÓMEZ-LIMÓN, José A. Hydrological drought insurance for irrigated agriculture in southern Spain. **Agricultural Water Management**, vol. 240, p. 106271, 1 Oct. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106271>.

GUUG, Samuel S.; ABDUL-GANIYU, Shaibu; KASEI, Raymond A. Application of SWAT hydrological model for assessing water availability at the Sherigu catchment of Ghana and

Southern Burkina Faso. **HydroResearch**, vol. 3, p. 124–133, 1 Jan. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2020.10.002>.

HÜLSMANN, Lisa; GEYER, Tobias; SCHWEITZER, Christian; PRIESS, Jörg; KARTHE, Daniel. The effect of subarctic conditions on water resources: initial results and limitations of the SWAT model applied to the Kharaa River Basin in Northern Mongolia. **Environmental Earth Sciences**, vol. 73, no. 2, p. 581–592, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3173-1>.

JIN, Xin; HE, Chansheng; ZHANG, Lanhui; ZHANG, Baoqing. A Modified Groundwater Module in SWAT for Improved Streamflow Simulation in a Large, Arid Endorheic River Watershed in Northwest China. **Chinese Geographical Science**, vol. 28, no. 1, p. 47–60, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11769-018-0931-0>.

KOCH, Hagen; SILVA, Ana Lígia Chaves; LIERSCH, Stefan; DE AZEVEDO, José Roberto Gonçalves; HATTERMANN, Fred Fokko. Effects of model calibration on hydrological and water resources management simulations under climate change in a semi-arid watershed. **Climatic Change**, vol. 163, no. 3, p. 1247–1266, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02917-w>.

KUNDZEWICZ, Z. W.; SU, Buda; WANG, Yanjun; XIA, Jun; HUANG, Jinlong; JIANG, Tong. Flood risk and its reduction in China. **Advances in Water Resources**, vol. 130, p. 37–45, 1 Aug. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.05.020>.

LACERDA, Francinete Francis; NOBRE, Paulo; SOBRAL, Maria do Carmo Martins; LOPES, Geraldo Majella Bezerra; ASSAD, Eduardo Delgado. TENDÊNCIA DO CLIMA DO SEMIÁRIDO FRENTE AS PERSPECTIVAS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS; O CASO DE ARARIPINA, PERNAMBUCO. **Geography Department University of Sao Paulo**, vol. 31, p. 132, 24 Jul. 2016. DOI 10.11606/rdg.v31i0.114843. Available at: [www.revistas.usp.br/rdgV.31](http://www.revistas.usp.br/rdgV.31). Accessed on: 13 Sep. 2020.

LE, Alyssa; PRICOPE, Narcisa. Increasing the Accuracy of Runoff and Streamflow Simulation in the Nzoia Basin, Western Kenya, through the Incorporation of Satellite-Derived CHIRPS Data. **Water**, vol. 9, no. 2, p. 114, 13 Feb. 2017. DOI 10.3390/w9020114. Available at: <http://www.mdpi.com/2073-4441/9/2/114>. Accessed on: 18 Feb. 2021.

LELIS, Thatiana Aparecida; CALIJURI, Maria Lúcia; DA FONSECA SANTIAGO, Aníbal; DE LIMA, Dario Cardoso; DE OLIVEIRA ROCHA, Everton. Análise de Sensibilidade e Calibração do Modelo Swat Aplicado em Bacia Hidrográfica da Região Sudeste do Brasil.



**Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, vol. 36, no. 2, p. 623–634, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200031>.

LENHART, T.; ECKHARDT, K.; FOHRER, N.; FREDE, H. G. Comparison of two different approaches of sensitivity analysis. **Physics and Chemistry of the Earth**, vol. 27, no. 9–10, p. 645–654, 1 Jan. 2002. [https://doi.org/10.1016/S1474-7065\(02\)00049-9](https://doi.org/10.1016/S1474-7065(02)00049-9).

LI, Chaoyue; FANG, Haiyan. Assessment of climate change impacts on the streamflow for the Mun River in the Mekong Basin, Southeast Asia: Using SWAT model. **Catena**, vol. 201, no. February 2020, p. 105199, 2021. DOI 10.1016/j.catena.2021.105199. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105199>.

LI, Fengping; ZHANG, Guangxin; XU, Y. Jun. Assessing climate change impacts on water resources in the Songhua River Basin. **Water (Switzerland)**, vol. 8, no. 10, 2016. <https://doi.org/10.3390/w8100420>.

LIU, Wei; BAILEY, Ryan T.; ANDERSEN, Hans Estrup; JEPPESEN, Erik; NIELSEN, Anders; PENG, Kai; MOLINA-NAVARRO, Eugenio; PARK, Seonggyu; THODSEN, Hans; TROLLE, Dennis. Quantifying the effects of climate change on hydrological regime and stream biota in a groundwater-dominated catchment: A modelling approach combining SWAT-MODFLOW with flow-biota empirical models. **Science of the Total Environment**, vol. 745, p. 140933, 25 Nov. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140933>.

MARIANO, Denis A.; SANTOS, Carlos A.C.dos; WARDLOW, Brian D.; ANDERSON, Martha C.; SCHILTMAYER, Allie V.; TADESSE, Tsegaye; SVOBODA, Mark D. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, vol. 213, no. September 2017, p. 129–143, 2018. DOI 10.1016/j.rse.2018.04.048. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.048>.

MARIN, Mirabela; CLINCIU, Ioan; TUDOSE, Nicu Constantin; UNGUREAN, Cezar; ADORJANI, Andrei; MIHALACHE, Alin Lucian; DAVIDESCU, Adriana Agafia; DAVIDESCU, Șerban Octavian; DINCA, Lucian; CACOVEAN, Horea. Assessing the vulnerability of water resources in the context of climate changes in a small forested watershed using SWAT: A review. **Environmental Research**, vol. 184, p. 109330, 1 May 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109330>.

MENGISTU, Achamyelch G.; VAN RENSBURG, Leon D.; WOYESSA, Yali E. Techniques

for calibration and validation of SWAT model in data scarce arid and semi-arid catchments in South Africa. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, vol. 25, no. August, p. 100621, 2019. DOI 10.1016/j.ejrh.2019.100621. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100621>.

MOHAMMED, Hadi; TVETEN, Ann Kristin; SEIDU, Razak. Modelling the impact of climate change on flow and E. coli concentration in the catchment of an ungauged drinking water source in Norway. **Journal of Hydrology**, vol. 573, p. 676–687, 1 Jun. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.021>.

MORIASI, D N; ARNOLD, J G; LIEW, M W Van; BINGNER, R L; HARMEL, R D; VEITH, T L. **MODEL EVALUATION GUIDELINES FOR SYSTEMATIC QUANTIFICATION OF ACCURACY IN WATERSHED SIMULATIONS**. [S. l.: s. n.], 1983.

NEITSCH, S L; ARNOLD, J G; KINIRY, J R; WILLIAMS, J R. **Soil and Water Assessment Tool: Theoretical documentation Version 2009**. [S. l.: s. n.], 2011.

NEITSCH, S L; ARNOLD, J G; KINIRY, J R; WILLIAMS, J R; KING, K W. **Soil and Water Assessment Tool: Theoretical documentation Version 2000**. [S. l.: s. n.], 2002.

OLIVEIRA, Sonaly Duarte; SILVA, Madson Tavares; SOUZA, Edicarlos Pereira;; SILVA, Vicente de Paulo Rodrigues. Determinação automática de parâmetros morfométricos da Bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE a partir de MDE. 2013. **I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro** [...]. Campina Grande: [s. n.], 2013. p. 1–5.

PANG, Shujiang; WANG, Xiaoyan; MELCHING, Charles S.; FEGER, Karl Heinz. Development and testing of a modified SWAT model based on slope condition and precipitation intensity. **Journal of Hydrology**, vol. 588, p. 125098, 1 Sep. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125098>.

RIBEIRO, Eberson Pessoa. **Mudanças ambientais e desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú**. 2016. 1–178 f. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

SALGUEIRO, João H.P.B; MONTENEGRO, Suzana M. G. L. Análise da distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico. **Revista Tecnologia**, vol. 29, no. 2, p. 174–185, 2008. Available at: <https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/27>. Accessed on: 25 Sep. 2020.

SANTHI, C.; ARNOLD, J. G.; WILLIAMS, J. R.; DUGAS, W. A.; SRINIVASAN, R.; HAUCK, L. M. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. **Journal of the American Water Resources Association**, vol. 37, no. 5, p. 1169–1188, 1 Oct. 2001. DOI 10.1111/j.1752-1688.2001.tb03630.x. Available at: <https://onlinelibrary-wiley.ez19.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03630.x>. Accessed on: 18 Jan. 2021.

SINGH, Leelambar; SARAVANAN, Subbarayan. Simulation of monthly streamflow using the SWAT model of the Ib River watershed, India. **HydroResearch**, vol. 3, p. 95–105, 1 Jan. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2020.09.001>.

SOARES, Deivide Benicio; NÓBREGA, Ranyére Silva; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. Indicadores climáticos de desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 22, no. 0, 22 May 2018. Available at: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/58557>. Accessed on: 13 Sep. 2020.

SOWAH, Robert A.; BRADSHAW, Kenneth; SNYDER, Blake; SPIDLE, David; MOLINA, Marirosa. Evaluation of the soil and water assessment tool (SWAT) for simulating E. coli concentrations at the watershed-scale. **Science of the Total Environment**, vol. 746, p. 140669, 1 Dec. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140669>.

SUN, Wenchao; FAN, Jiao; WANG, Guoqiang; ISHIDAIRA, Hiroshi; BASTOLA, Satish; YU, Jingshan; FU, Yongshuo H.; KIEM, Anthony S.; ZUO, Depeng; XU, Zongxue. Calibrating a hydrological model in a regional river of the Qinghai–Tibet plateau using river water width determined from high spatial resolution satellite images. **Remote Sensing of Environment**, vol. 214, p. 100–114, 1 Sep. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.05.020>.

TARAWNEH, Esraa; BRIDGE, Jonathan; MACDONALD, Neil. A pre-calibration approach to select optimum inputs for hydrological models in data-scarce regions. **Hydrology and Earth System Sciences**, vol. 20, no. 10, p. 4391–4407, 2016. <https://doi.org/10.5194/hess-20-4391-2016>.

THAVHANA, M. P.; SAVAGE, M. J.; MOELETSI, M. E. SWAT model uncertainty analysis, calibration and validation for runoff simulation in the Luvuvhu River catchment, South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth**, vol. 105, p. 115–124, 1 Jun. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.03.012>.

THIEMIG, Vera; ROJAS, Rodrigo; ZAMBRANO-BIGIARINI, Mauricio; DE ROO, Ad.

Hydrological evaluation of satellite-based rainfall estimates over the Volta and Baro-Akobo Basin. **Journal of Hydrology**, vol. 499, p. 324–338, 30 Aug. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.012>.

TUCCI, C. E. M. Escoamento Superficial. In: TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre, Brasil: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, p. 391–483, 2009.

USDA-NRCS. **National Engineering Handbook Chapter 9: Hydrologic Soil-Cover Complexes Part 630 Hydrology National Engineering Handbook**. [S. l.: s. n.], 2009.

VAGHEFI, Saeid Ashraf; ABBASPOUR, Karim C.; FARAMARZI, Monireh; SRINIVASAN, Raghavan; ARNOLD, Jeffrey G. Modeling crop water productivity using a coupled SWAT-MODSIM model. **Water (Switzerland)**, vol. 9, no. 3, p. 1–15, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9030157>.

WILLIAMS, J. R. Sediment routing for agricultural watersheds. **Water Resources Bulletin**, v. 11, n. 5, p. 965-974, 1975.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: USDA, 1978. (Agriculture handbook, 537).

WOLDESENBET, Tekalegn Ayele; ELAGIB, Nadir Ahmed; RIBBE, Lars; HEINRICH, Jürgen. Catchment response to climate and land use changes in the Upper Blue Nile sub-basins, Ethiopia. **Science of the Total Environment**, vol. 644, p. 193–206, 2018. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.06.198. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.198>.

YIN, Zhenliang; FENG, Qi; ZOU, Songbing; YANG, Linshan. Assessing variation in water balance components in mountainous Inland River Basin experiencing climate change. **Water (Switzerland)**, vol. 8, no. 10, 2016. <https://doi.org/10.3390/w8100472>.

ZHAO, X.; CHEN, L. L. R.; YANG M. Y.; ZHANG, H.; SHI, Q. Modeling non-point pollution based on interactions between flow path and landscape units. **Acta Scientiae Circumstantiae**, v. 30, n. 3, p. 621-630, 2010.

ZHANG, Hong; WANG, Bin; LIU, De Li; ZHANG, Mingxi; LESLIE, Lance M.; YU, Qiang. Using an improved SWAT model to simulate hydrological responses to land use change: A case study of a catchment in tropical Australia. **Journal of Hydrology**, vol. 585, p. 124822, 1

Jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124822>.

### **CAPÍTULO 3 – MUDANÇAS DO BALANÇO HÍDRICO CLIMÁTICO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: MÉTODOS E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS**

**RESUMO:** Fenômenos atmosféricos podem alterar os padrões da precipitação (P) e da evapotranspiração potencial ( $ET_0$ ) e, por conseguinte, a disponibilidade hídrica de um local apresentando efeitos significativos na atividade agrícola. Neste estudo, analisou-se a tendência do balanço hídrico climático (W) de uma Bacia Hidrográfica do Semiárido brasileiro, a Bacia do Rio Pajeú, em função das mudanças da P e da  $ET_0$ . Dez métodos de estimativa da radiação solar global ( $R_s$ ) e de  $ET_0$  foram testados para preenchimento da série de dados. Tendências de sazonalidade e de evento cíclico de P,  $ET_0$  e W foram avaliadas para dez escalas de tempo (anual, primavera, verão, outono, inverno, período chuvoso, período seco, e estações de plantio de três culturas agrícolas: feijão, milho e palma forrageira), por meio dos testes de Man-Kendall, Sen's Slope, Teste de Pettitt e pelo método STL (Seasonal Trend decomposition using Loess). Correlações da P,  $ET_0$  e W com índices de teleconexão foram estabelecidas para as dez escalas de tempo. Tendências significativas positivas de até 3.71 mm ano<sup>-1</sup> na  $ET_0$  e negativas de até -3.48 mm ano<sup>-1</sup> no W foram observadas. Para a precipitação, não se constatou tendência significativa, mas se detectou um comportamento sazonal e cíclico. Os índices Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO) e El Niño 1+2 (N12) mostraram maior correlação com a P,  $ET_0$  e W. Os resultados sinalizam a necessidade de adequação das atividades agrícolas à variabilidade sazonal e cíclica como estratégia para a segurança hídrica e alimentar, sobretudo por causa do cenário futuro de déficit hídrico mais intenso.

**Palavras-chave:** eventos cíclicos; Rio Pajeú; déficit hídrico; sazonalidade; teleconexões climáticas.

**ABSTRACT:** Atmospheric phenomena can alter the patterns of precipitation (P) and the potential for evapotranspiration ( $ET_0$ ) and, consequently, the water availability of a local, likely effects on agricultural activity. In this study, the trend of the climatic water balance (W) of a Hydrographic Basin of the Brazilian Semi-Arid, the Rio Pajeú Basin, was analyzed in function of the changes in P and  $ET_0$ . Ten methods for estimating global solar radiation ( $R_s$ ) and  $ET_0$  were tested to fill the data series. Trends of seasonality and cyclical event of P,  $ET_0$

and W were evaluated for ten-time scales (annual, spring, summer, autumn, winter, rainy season, dry season, and planting seasons of three agricultural crops: bean, corn and forage palm), using the Man-Kendall, Sen's Slope, Pettitt test and the STL method (Seasonal Trend decomposition using Loess). Correlations of P,  $ET_0$  and W with teleconnection rates were common for ten-time scales. Positive trends of up to  $3.71 \text{ mm year}^{-1}$  in  $ET_0$  and negative trends of up to  $-3.48 \text{ mm year}^{-1}$  in W were observed. For the failure, it was not found normally, but it was detected a seasonal and cyclical behavior. The Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) and El Niño 1 + 2 (N12) indices higher correlation with P,  $ET_0$  and W. The results indicate the need to adapt agricultural activities to seasonal and cyclical variability as a strategy for water security and food, mainly because of the future scenario of more intense water deficit.

**Keywords:** cyclical events; Pajeú River; water deficit; seasonality; climatic teleconnections.

## 1 INTRODUÇÃO

Os fenômenos atmosféricos são contribuintes importantes para as alterações do clima ao longo dos anos (XIAO, ZHANG e SINGH, 2015) e podem influenciar em níveis distintos o ciclo hidrológico. A precipitação (P), a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e o balanço hídrico climático (W) (HÄDER e BARNES, 2019; IPCC, 2014; PRÄVÄLIE *et al.*, 2019) são afetados como consequência das mudanças de duração e, ou, intensidade das chuvas, e o aumento do déficit de pressão de vapor (MARENGO *et al.*, 2011; BYAKATONDA *et al.*, 2018; PRÄVÄLIE *et al.*, 2019) e a ocorrência de eventos extremos (e.g. enchentes, secas severas e o déficit hídrico) (KOUADIO *et al.*, 2012; REBOITA e SANTOS, 2015). Essas mudanças tem impactos significativos na vida da sociedade, sendo imprescindível o seu conhecimento para gestão dos recursos hídricos e para a produção agrícola.

Pesquisas demonstram que os eventos de P possuem oscilações do tipo espaço-temporais e que os seus ciclos podem ser modificados (WANG *et al.*, 2019; PRÄVÄLIE *et al.*, 2019); e quando combinados aos padrões de  $ET_0$  impactam no balanço hídrico e nas estações de crescimento dos cultivos (PRÄVÄLIE *et al.*, 2019). No Brasil, as relações entre os eventos anômalos de P exibem a relação estreita de causa e efeito com as alterações na temperatura da superfície dos oceanos “TSM” (GIOVANNETTONE *et al.*, 2020). O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), por exemplo, têm sido associados aos impactos no

regime pluvial do Norte e Nordeste da América do Sul e também no Nordeste brasileiro (ARAÚJO *et al.*, 2013; MARENGO, 1992; MORAES NETO *et al.*, 2007; GIOVANNETTONE *et al.*, 2020). Além deste fenômeno, outros índices ou padrões de teleconexão podem ser citados por atuarem no Brasil, como: Modo do Pacífico - América do Sul (Pacific-South American Mode - PSA), Modo Anular Sul (MAS), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), Dipolo de Temperatura da Superfície do Mar no Oceano Atlântico Tropical (TSM), Oscilação Madden-Julian (Madden Julian Oscillation - MJO) e a Oscilação Multidecadal do Atlântico (Atlantic Multidecadal Oscillation - AMO) (ALVES, 2012; CARDOZO, REBOITA e GARCIA, 2015; GIOVANNETTONE *et al.*, 2020; KAYANO e CAPISTRANO, 2014; MOLION, 2008).

O Semiárido brasileiro é a região climática de maior suscetibilidade às mudanças do clima (IPCC, 2014). Embora vários estudos tenham sido feitos para o entendimento das variações da P, não se tem registros de análises mais aprofundadas e que busquem analisar as tendências nos processos cíclicos de P,  $ET_0$  e do W em uma bacia hidrográfica com rio intermitente, para diferentes escalas temporais e nas relações entre estas variáveis e os fenômenos atmosféricos. As alterações no W podem aumentar as incertezas relativas a disponibilidade hídrica.

Portanto, neste estudo analisou-se a tendência do W de uma Bacia Hidrográfica do Semiárido brasileiro que possui curso d'água intermitente, a Bacia do Rio Pajeú, em função das mudanças na P e na  $ET_0$ . Para isto, a) dez métodos de estimativa da radiação solar global e dez de evapotranspiração de referência foram testados para a melhoria da compreensão dos componentes da  $ET_0$ ; b) as tendências de sazonalidade e de eventos cíclicos de P,  $ET_0$  e W foram avaliadas para dez escala de tempo (anual, primavera, verão, outono, inverno, período chuvoso, período seco, e estações de plantio de três culturas agrícolas: feijão, milho e palma forrageira); c) e as correlações entre a P,  $ET_0$  e W, e índices de teleconexão foram estabelecidos para essas dez escalas de tempo.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### *2.1 Local do estudo*

A área de estudo foi a Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú - BHRP, que compreende a maior bacia inserida na região semiárida brasileira do estado de Pernambuco (Figura 1). Com uma área aproximada de 16.685,63 km<sup>2</sup>, a BHRP possui grande extensão e uma diferença



altimétrica. Conforme a classificação de Köppen, o clima na bacia é do tipo BSh (semiárido e seco) (ALVARES *et al.*, 2013; SALGUEIRO e MONTENEGRO, 2008). Tendo como a Caatinga como vegetação natural da Bacia, que é um tipo de vegetação sazonalmente seca e com muitas espécies endêmicas.

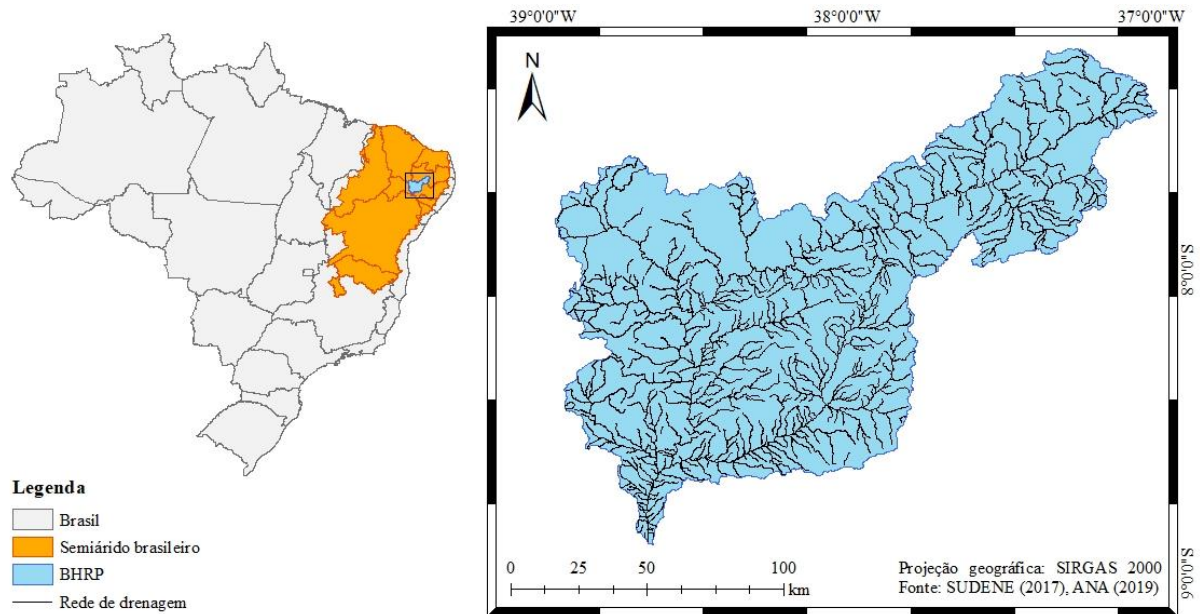


Figura 1. Localização da Bacia Hidrológica do Rio Pajeú e a área Semiárida analisada no estudo.

Este trabalho foi dividido em cinco etapas metodológicas: 1) Obtenção de dados P, estimativa da  $ET_0$  pelo método de Penman Monteith e o preenchimento das séries de dados de radiação solar incidente ( $R_s$ ) e de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) a partir da avaliação de diferentes métodos; 2) o cálculo do W; 3) as análises de tendências sazonais e cíclicas por meio das séries temporais; e, 4) a correlação entre as variáveis climáticas (P,  $ET_0$  e W) e os índices de teleconexões climáticas (Figura 2).

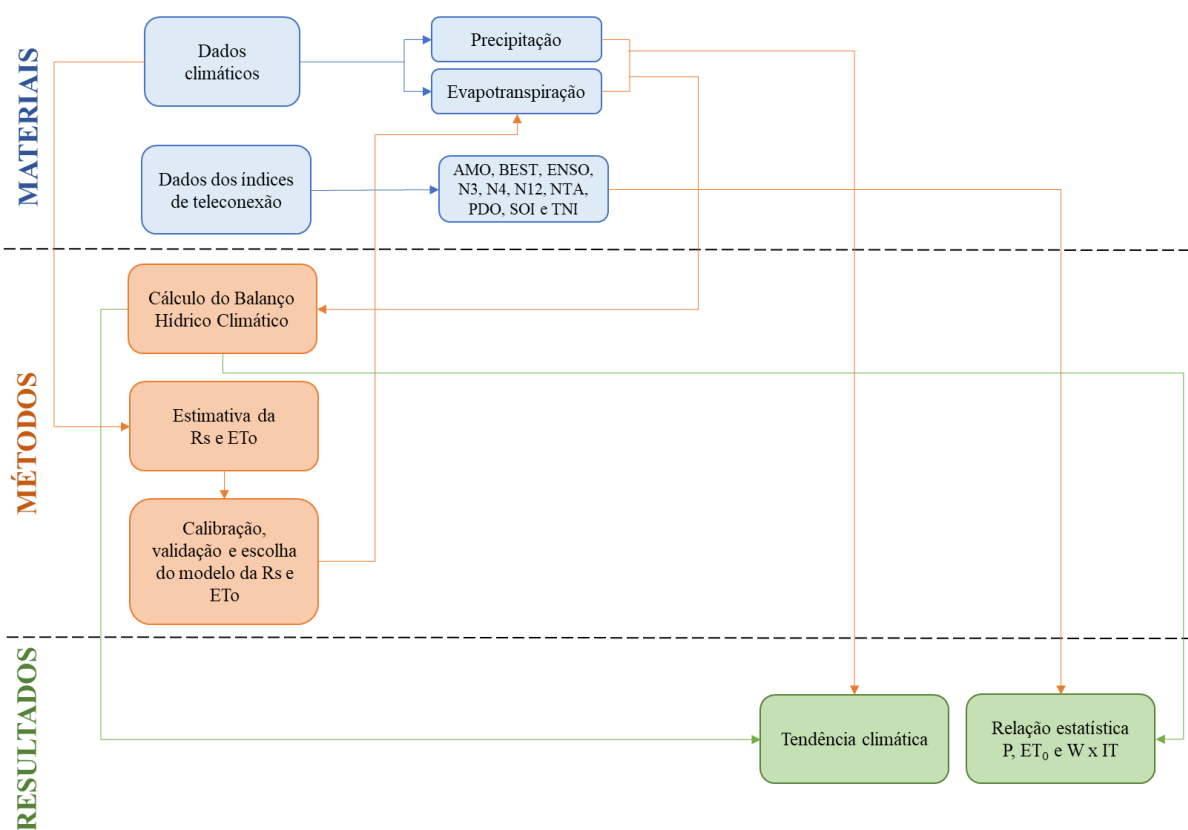


Figura 2. Fluxograma das etapas do trabalho.

## 2.2 Série de dados e métodos de estimativa da radiação solar global e $ET_0$

Os dados meteorológicos foram coletados a partir das plataformas da Agência Pernambucana de Águas e Clima e do Instituto Nacional de Meteorologia, conforme Tabela 1. Estas informações foram analisadas por meio de diferentes subperíodos: anual (janeiro-dezembro), verão (janeiro-março), outono (abril-junho), inverno (julho-setembro), primavera (outubro-dezembro), período chuvoso (janeiro-maio), período seco (junho-dezembro), assim como nas épocas de semeadura das culturas de apelo regional: feijão-caupi (janeiro-fevereiro), milho (janeiro) e palma forrageira (dezembro-março).

Tabela 1. Locais das estações climáticas e as informações dos dados climáticos utilizados no estudo.

Localização	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Período dos dados	Análise realizada	Fonte
Barbalha	7,30°	39,3°	409	2007 – 2019	Estimativa $R_s$ e $ET_0$ e Tendência da $ET_0$	INMET
Patos	7,07°	39,3°	264	2007 – 2019	Estimativa $R_s$ e $ET_0$ e Tendência da $ET_0$	INMET
Monteiro	7,89°	37,1°	606	2007 – 2019	Estimativa $R_s$ e $ET_0$ e	INMET

					Tendência da ET <sub>0</sub>	
Arcoverde	8,43°	31,1°	684	2004 – 2019	Estimativa R <sub>s</sub> e ET <sub>0</sub> e Tendência da ET <sub>0</sub>	INMET
Cabrobó	8,50°	39,1°	343	2007 – 2019	Estimativa R <sub>s</sub> e ET <sub>0</sub> e Tendência da ET <sub>0</sub>	INMET
Ibimirim	8,50°	37,7°	434	2008 – 2019	Estimativa R <sub>s</sub> e ET <sub>0</sub> e Tendência da ET <sub>0</sub>	INMET
Serra Talhada	7,95°	38,3°	499	2008 – 2019	Estimativa R <sub>s</sub> e ET <sub>0</sub> e Tendência da ET <sub>0</sub>	INMET
Floresta	7,95°	38,2°	499	2008 – 2019	Estimativa R <sub>s</sub> e ET <sub>0</sub> e Tendência da P e ET <sub>0</sub>	INMET e APAC
Afogados da Ingazeira	7,75°	37,6°	522	1996 – 2019	Tendência da P	APAC
Belém de S. Francisco	8,75°	38,9°	321	1993 – 2019	Tendência da P	APAC
Betânia	8,27°	38,0°	470	1936 – 2019	Tendência da P	APAC
Brejinho	7,34°	37,3°	781	2000 – 2019	Tendência da P	APAC
Calumbi	7,94°	38,1°	464	1994 – 2019	Tendência da P	APAC
Carnaíba	7,81°	37,8°	486	1965 – 2019	Tendência da P	APAC
Carnaubeira da Penha	8,32°	38,7°	574	2002 – 2019	Tendência da P	APAC
Flores	7,87°	37,9°	487	1994 – 2019	Tendência da P	APAC
Floresta	8,60°	38,6°	340	1994 – 2019	Tendência da P	APAC
Ibimirim	8,54°	37,6°	440	1993 – 2019	Tendência da P	APAC
Iguaraci	7,83°	37,5°	570	1993 – 2019	Tendência da P	APAC
Itapetim	7,37°	37,2°	674	1963 – 2019	Tendência da P	APAC
Mirandiba	8,11°	38,7°	449	1963 – 2019	Tendência da P	APAC
Quixaba	7,74°	37,8°	523	1963 – 2019	Tendência da P	APAC
Salgueiro	8,07°	39,1°	442	1912 – 2019	Tendência da P	APAC
Santa Terezinha	7,38°	37,4°	796	2002 – 2019	Tendência da P	APAC
São José do Egito	7,44°	37,3°	624	2003 – 2019	Tendência da P	APAC
Serra Talhada	7,93°	38,2°	525	1912 – 2019	Tendência da P	APAC
Solidão	7,60°	37,6°	565	2002 – 2019	Tendência da P	APAC
Triunfo	7,84°	38,1°	985	1912 – 2019	Tendência da P	APAC
Tuparetama	7,68°	37,2°	609	2002 – 2019	Tendência da P	APAC

Para a estimativa da evapotranspiração de referência adotou-se o método de Penman Monteith (FAO56, ALLEN *et al.*, 1998). Nos períodos em que houveram lacunas nos dados, foram preenchidas as séries de radiação para a determinação da evapotranspiração de referência por meio de um método alternativo. A estimativa da radiação foi feita pelo uso de modelos baseados na temperatura previamente calibrados e validados. Para isso, os dados climáticos diários foram obtidos das estações automáticas do INMET, de 2007 a 2019. A série de dados foi subdividida em duas: anos pares, meses ímpares (APARES) e anos ímpares, meses pares (AÍMPARES), com a primeira sendo utilizada para a calibração e a segunda na validação. Foram utilizados os seguintes modelos: Chen (CH), Mah-Hubb (MH), Ertekin-Yaldiz (EY), Brist-Camp (BC), Hargreaves-Samani, 2000 (HS00), Hargreaves-Samani, 1982

(HS82), Hargreaves-Samani-Allen, 1995 (HS95), Annandale (AN), Brist-Camp-Gondin (BCG) e Hassan (HA), onde aquele que produziu os menores erros foi utilizado para estimativa a  $ET_0$  (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos de estimativa para a Radiação solar ( $R_s$ ) utilizados nas etapas de calibração e validação.

Modelo	Equação	Variáveis utilizadas	Fonte
CH	$R_s = (a \ln \Delta T_1 + b) R_a$	a = 0,2438 b = 0	Chen et al., 2004
MH	$R_s = 0.182 \times DR^{0.69} \times ICKSY^{0.91}$	0,2807 0,6247 0,7812	Mahmood & Hubbard, 2002
EY	$R_s = -4.46 + 0.477R_a + 0.226T$	0 0,3125 0,3731	Ertekin & Yaldiz, 1999
BC	$R_s = a (1 - \exp(-b \Delta T_2^c)) \times R_a$	a = 0,7404 b = 0,0459 c = 1,4699 1,5435E <sup>-05</sup>	Bristow & Campbell, 1984
HS00	$R_s = a (T_x - T_n)^{0.5} R_a$ $a = 0.00185(T_x - T_n)^2 - 0.0433(T_x - T_n) + 0.4023$	0 0,1716 0,5	Hargreaves & Samani, 1982; Samani, 2000
HS82	$R_s = a (T_x - T_n)^{0.5} R_a$	0,1744 0,5	Hargreaves & Samani, 1982
HS95	$R_s = a (T_x - T_n)^{0.5} R_a$ $a = a_i (P_{atm} / P_o)^{0.5}$	0,1738 5,26 0,5 9,9547E <sup>-05</sup> 4,5327E <sup>-05</sup>	Hargreaves & Samani, 1982; Allen, 1995
AN	$R_s = kR_s (1 + 0.000027 \text{ Alt}) (T_x - T_n)^{0.5} R_a$	0,3494 0,4697 1,7449E <sup>-05</sup> 0,5	Annandale et al., 2002
BCG	$R_s = a \left(1 - \exp\left(-b \frac{\Delta T^c}{R_n}\right)\right) R_a$	a = 0,7185 b = 1,0306 c = 1,7044	Bristow & Campbell, 1984; Goodin et al., 1999
HA	$R_s = (a + bT) (\Delta T)^c R_a$	a = 0,1091 b = 0,0012 c = 0,5795	Hassan et al., 2016

Em que:  $R_a$  = radiação extraterrestre,  $\Delta T_1$  = diferença entre a temperatura máxima e mínima do dia, DR = faixa de temperatura diária do ar (temperatura máxima menos a temperatura mínima), ICKSY = radiação solar em céu claro,  $P_{atm}$  = pressão atmosférica local,  $P_o$  = pressão atmosférica média no nível do mar, T = temperatura média do ar,  $T_x$  = temperatura máxima do ar,  $T_n$  = temperatura mínima do ar, kRs = coeficiente de adaptação para o interior ou regiões costeiras e Alt = altitude.

A mesma série de dados climáticos foi utilizada na estimativa da  $ET_0$ . Nesta análise, foram considerados os modelos: Bennevides-Lopes (BL), Hargreaves-Samani (HS), Valiantzas1 (V1), Turc (TU), Jensen-Haise (JH), Irmak (IR), Tabari (TA), Romanenko (RO), Schendel (SC) e Souza-Silva's (SS) (Tabela 3). Posteriormente, a fim de obter a viabilidade de utilização dos modelos de  $R_s$  e de  $ET_0$ , foram considerados os seguintes parâmetros

estatísticos: Coeficiente de Correlação de Pearson (r), Índice de Concordância de Willmott (d), coeficiente de desempenho (c):  $c \leq 0,40$  = péssimo (P);  $0,41 \leq c \leq 0,50$  = Mau (MA);  $0,51 \leq c \leq 0,60$  = Sofrível (SO);  $0,61 \leq c \leq 0,65$  = Mediano (MED);  $0,66 \leq c \leq 0,75$  = Bom (BO);  $0,76 \leq c \leq 0,85$  = Muito Bom (MBO);  $c > 0,85$  = Ótimo (OT) (Camargo; Sentelhas, 1997), Erro Absoluto Médio (EAM), Erro Padrão de Estimativa (EPE), Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio Normalizada (NRMSE) e o Teste-t.

Após estas etapas de preenchimento e ajustes das séries, estes dados foram utilizados na estimativa do Balanço Hídrico Climático (W), a partir da diferença entre a precipitação e a evapotranspiração de referência ( $W = P - ET_0$ ).

Tabela 3. Modelos de estimativa para a Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ).

Modelo	Equação	Variáveis utilizadas	Fonte
BL	$ET_0 = a10^{\left[\frac{7,5T}{237,5+T}\right]}(1-0,01U_R)+bTc$	a = 1,3041 b = 0 c = 1,99	Benevides & Lopes, 1970
HS	$ET_0 = 0,0023Q_0(T_x - T_n)^{0,5}(17,8+T)$	0,0038 17,8 0,5	Hargreaves & Samani, 1985
V1	$ET_0 = 0,0118\left(1 - \frac{U_R}{100}\right)^{0,2}(T_x - T_n)^{0,3}$ $(Q_0\sqrt{T+10}-40)+0,1(T+20)\left(1 - \frac{U_R}{100}\right)$	0,0075 0,1617 0,3972 0,1094 40 20 10 0,5	Valiantzas, 2018
TU	$ET_0 = aT 0,013\left(\frac{T}{T+15}\right) \times \left(\frac{23,8856R_s + 50}{\lambda}\right)$	0,0148 15 50	Turc, 1961
JH	$ET_0 = Q_{\text{mm/dia}}(0,025T+0,078)$	0,0194 0,0808	Jensen & Haise, 1963
IR	$ET_0 = -0,611+0,149Q_g+0,079T$	0 0,1880 0,0501	Irmak et al., 2003
TA	$ET_0 = -0,478+0,156Q_g-0,0112T_x+0,0773T_n$	0 0,1849 0,0328 0,0160	Tabari & Talaei, 2011
RO	$ET_0 = 4,5\left(1 + \frac{T}{25}\right)^2 \times \left(1 - \frac{e_a}{e_s}\right)$	2,7802 1 2	Oudin et al., 2005
SC	$ET_0 = 16 \times \left(\frac{T}{U_{R,m}}\right)$	10,6989	Schendel, 1967
SS	$ET_0 = -0,00728+1,356325DPV+0,174658Q_g$	0,1794 1,3906 0,1402	Souza & Silva, 2020

Em que:  $U_R$  = umidade relativa do ar,  $T$  = temperatura média do ar,  $Q_0$  = radiação global extraterrestre,  $T_x$  = temperatura máxima do ar,  $T_n$  = temperatura mínima do ar,  $R_s$  = radiação solar,  $R_a$  = radiação extraterrestre,  $\lambda$  = calor latente de vaporização,  $Q_g$  = radiação solar global,  $e_a$  =

pressão atual de vapor,  $e_s$  = pressão média de saturação de vapor, URm = umidade relativa do ar média mensal e DPV = Déficit de pressão de vapor.

### 2.3 Tendência das variáveis climáticas – $P$ , $ET_0$ e $W$

Para analisar a tendência média da precipitação, na área de estudo, bem como em cada local, foram selecionados os dados pluviométricos de 27 postos (estações). E para a tendência da evapotranspiração de referência foram utilizados 6 postos (Tabela 1). O Teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975), foi o escolhido para avaliar a tendência climática da área, após aplicação do teste de normalidade Shapiro-Wilk ficou constatado a violação de normalidade dos dados. Trata-se de um teste não paramétrico que se baseia na estatística  $S$ , em que, valores positivos de  $S$  representa tendência positiva, já aqueles negativos representam tendência de diminuição, para maiores detalhes a respeito da estatística do teste, consultar BOUGARA *et al.* (2020) e MOREIRA e NAGHETTINI (2016).

O método de Sen's Slope (SEN, 1968) foi usado para averiguar a magnitude da tendência. E por fim, para detectar em qual ano/ponto ocorreu uma mudança abrupta na média da série temporal, foi utilizado o Teste de Pettitt (PETTITT, 1979). Em todos os casos utilizou-se o pacote do *Software R Development Core Team* (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

### 2.4. Análise de séries temporais

Para obtenção de respostas quanto à sazonalidade e ciclicidade dos dados climáticos ao longo do tempo da região estudada, foi realizada a análise da série temporal a partir método STL (*Seasonal Trend decomposition using Loess*). A série temporal é um conjunto de dados ou observações de uma determinada variável ao longo do tempo, com ela é possível efetuar previsões sobre a variável escolhida (DANTAS, 2016). Estas análises também foram feitas com *Software R Development Core Team* (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

### 2.5 Dados dos índices de teleconexão

Para esta pesquisa foram utilizados dados referentes aos índices de teleconexão (1950 – 2019) do Oceano Atlântico (a Oscilação Multidecadal do Atlântico - AMO) e o Índice Atlântico Tropical Norte - NTA) e do Oceano Pacífico (Série temporal do ENSO bivariada - BEST, o El Niño-Oscilação do Sul - ENSO, as Regiões do El Niño 3, 4 e 1+2 - N3, N4, N12, respectivamente, a Oscilação Decadal do Pacífico - PDO, o Índice de Oscilação Sul - SOI e o Índice Trans-Niño – TNI), ambos coletados junto ao Climate Prediction Center – National

Oceanic and Atmospheric Administration. Para a etapa de análise de correlação, os dados mensais foram convertidos em anuais.

### 2.6 Correlação entre os índices de teleconexão e o balanço hídrico climático

Para entender as relações entre o balanço hídrico climático e os índices atmosféricos foi utilizada a análise de correlação por meio do Coeficiente de Correlação de Spearman, que mede o grau de relação entre variáveis. De acordo, com a sua classificação o valor encontrado entre 0,1 a 0,3 foi considerado como uma correlação fraca, de 0,4 a 0,6 é considerado uma correlação moderada, de 0,7 a 0,99 a correlação é forte e 1,0 a correlação é ideal. O coeficiente de Spearman foi testado ao nível de 5% de probabilidade, através do programa estatístico R, sendo considerada a correlação significativa moderada ou forte (de 0,4 a 0,99).

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Calibração e validação dos modelos de radiação solar ( $R_s$ ) e evapotranspiração de referência ( $ET_0$ )

Destaca-se que apenas o modelo Ertekin-Yaldiz (EY) obteve o desempenho péssimo em todos os índices estatísticos. Os modelos de: Chen (CH), Hargreaves-Samani, 2000 (HS00), Hargreaves-Samani, 1982 (HS82), Hargreaves-Samani-Allen, 1995 (HS95) e Annandale (AN) foram classificados como “mediano”. Enquanto que, as abordagens de Mah-Hubb (MH), Bristow-Campbell (BC), Brist-Camp-Gondin (BCG) e Hassan (HA) foram as de melhor desempenho (“bom”) para a região (Tabela 4).

Tabela 4. Resultados dos índices estatísticos obtidos durante a calibração dos modelos de estimativa da  $R_s$ .

Modelo	r	d	c	EAM	SEE	NRMSE	teste-t	Classificação
CH	0,76	0,83	0,63	0,11	3,13	14,9	0,00	Mediano
MH	0,77	0,86	0,66	0,05	3,06	14,5	0,05	Bom
EY	0,56	0,51	0,29	0,11	4,11	19,5	0,00	Péssimo
BC	0,78	0,87	0,68	-0,01	3,04	14,4	0,61	Bom
HS00	0,76	0,85	0,65	0,02	3,10	14,7	0,31	Mediano
HS82	0,76	0,84	0,64	0,08	3,11	14,8	0,00	Mediano
HS95	0,76	0,84	0,64	0,08	3,11	14,8	0,00	Mediano
AN	0,76	0,85	0,65	0,07	3,13	14,9	0,01	Mediano
BCG	0,78	0,86	0,67	0,02	3,01	14,3	0,44	Bom

HA	0,77	0,86	0,67	0,00	3,07	14,6	0,92	Bom
----	------	------	------	------	------	------	------	-----

Com relação aos modelos da evapotranspiração de referência (Tabelas 4 e 5) observou-se que a maioria (80%) apresentaram “bom” desempenho, que foi o caso de: Bennevides-Lopes (BL), Hargreaves-Samani (HS), Valiantzas1 (V1), Turc (TU), Jensen-Haise (JH), Irmak (IR), Tabari (TA) e Romanenko (RO). Modelos que utilizaram dados combinados de temperatura e umidade: Schendel (SC) e Souza-Silva’s (SS), apresentaram desempenho “bom” e “ótimo”, respectivamente. Neste último caso, constataram-se elevadas precisão e exatidão ( $p < 0,05$ ). Além disso, demonstraram baixos valores de erros tanto para intervalos de tempo curto (NRMSE = 8,8) quanto em tempos longos (EAM = -0,01).

A partir dos resultados, foram escolhidos os modelos de Bristow-Campbell (BC) para radiação solar e de Souza-Silva’s (SS), para a evapotranspiração de referência, por apresentarem menores erros na calibração e conseqüentemente os melhores desempenhos.

Tabela 5. Resultados dos índices estatísticos obtidos durante a calibração dos modelos de estimativa da  $ET_0$ .

Modelo	r	d	c	EAM	SEE	NRMSE	Teste-t	Classificação
BL	0,84	0,90	0,76	-0,01	0,72	13,7	0,09	Muito bom
HS	0,84	0,91	0,77	-0,01	0,71	13,5	0,34	Muito bom
V1	0,89	0,94	0,84	0,00	0,59	11,3	0,76	Muito bom
TU	0,86	0,92	0,79	-0,01	0,68	13,0	0,01	Muito bom
JH	0,88	0,93	0,82	-0,07	0,67	12,7	0,00	Muito bom
IR	0,85	0,90	0,76	0,03	0,71	13,5	0,00	Muito bom
TA	0,85	0,90	0,76	0,03	0,71	13,5	0,00	Muito bom
RO	0,84	0,90	0,76	-0,15	0,86	16,3	0,00	Muito bom
SC	0,80	0,89	0,72	-0,08	0,84	15,9	0,00	Bom
SS	0,94	0,97	0,90	-0,01	0,46	8,8	0,00	Ótimo

### 3.2 Caracterização da P, $ET_0$ e W da região

Observa-se que no subperíodo anual (1912 a 2019), houve em média uma precipitação anual de aproximadamente 650 mm. O comportamento irregular das chuvas ficou evidente, e, os picos mínimo e máximo foram observados nos anos de 1993 (152 mm) e 1985 (1500 mm), respectivamente. Este padrão também foi observado nos demais períodos analisados, com destaque para os valores no período de safras em média de 85 mm/período para o milho, 95 mm/período para o feijão e 93 mm/período para a palma (Figura 3A).



A evapotranspiração, demonstrou menor variação ao longo do período analisado (Figura 3B), para todos os subperíodos, com média anual de 1604 mm/ano. A relação entre a P e  $ET_0$  indica a alta demanda atmosférica da região, o que provoca déficit hídrico elevado (Figura 3C). Durante a estação chuvosa, apenas 16% dos anos avaliados, apresentaram excedente hídrico (média de 200 mm/período) e cerca de 66% do conjunto de dados foram inferiores à -100mm/período.



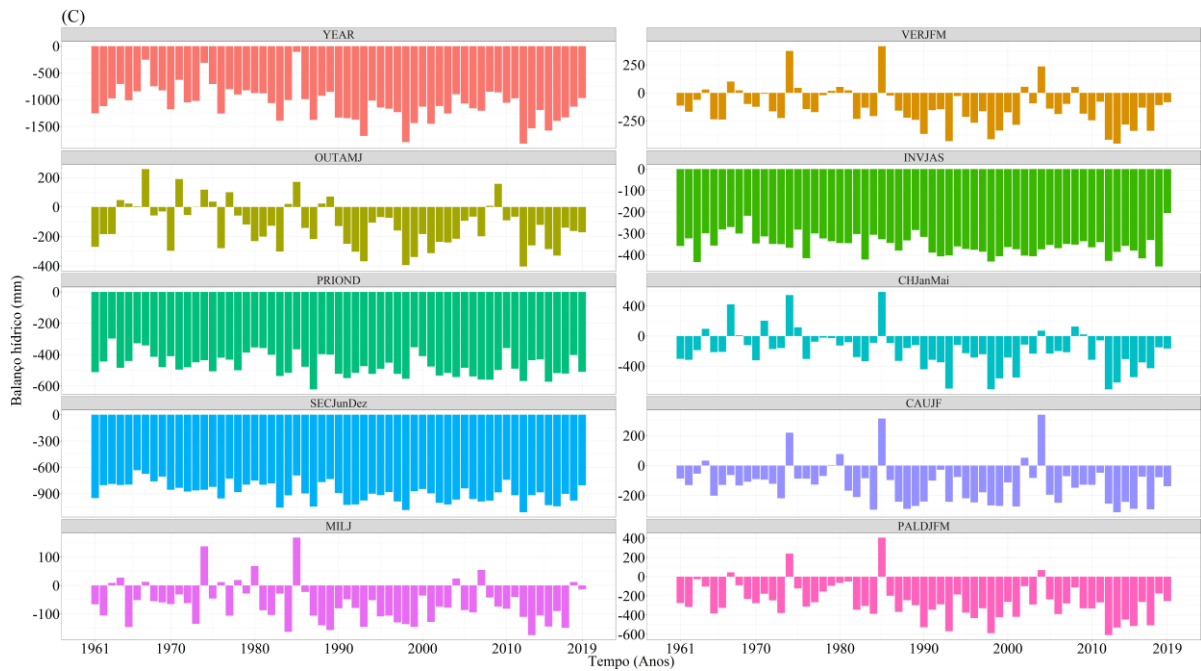
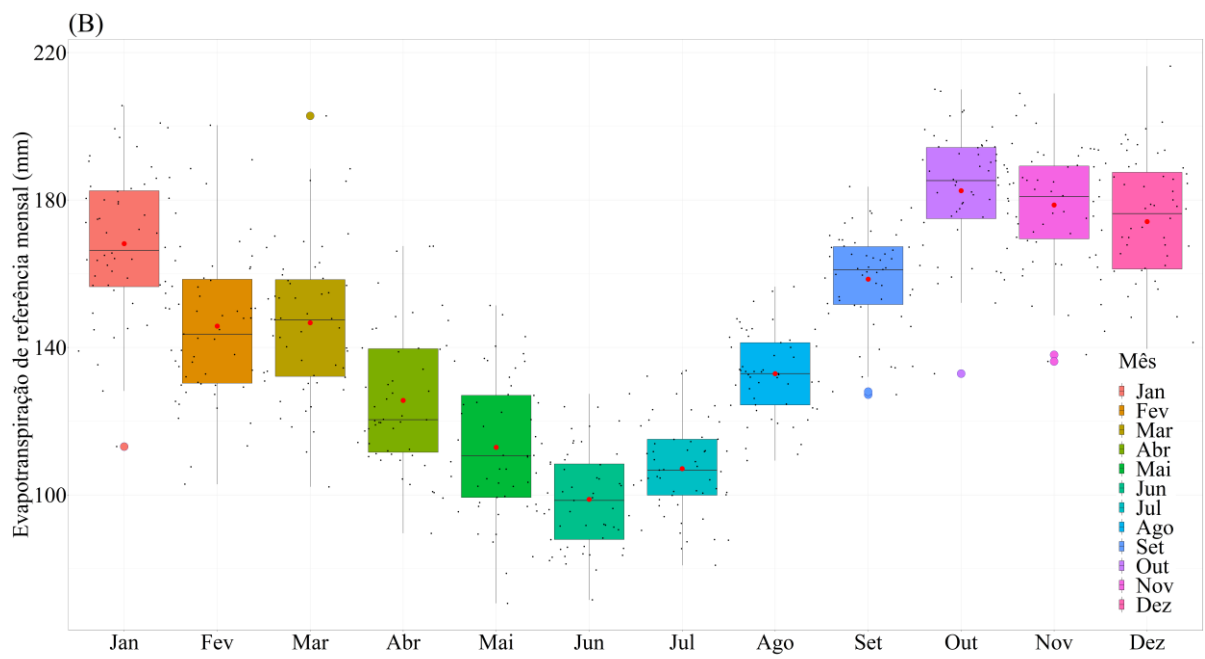
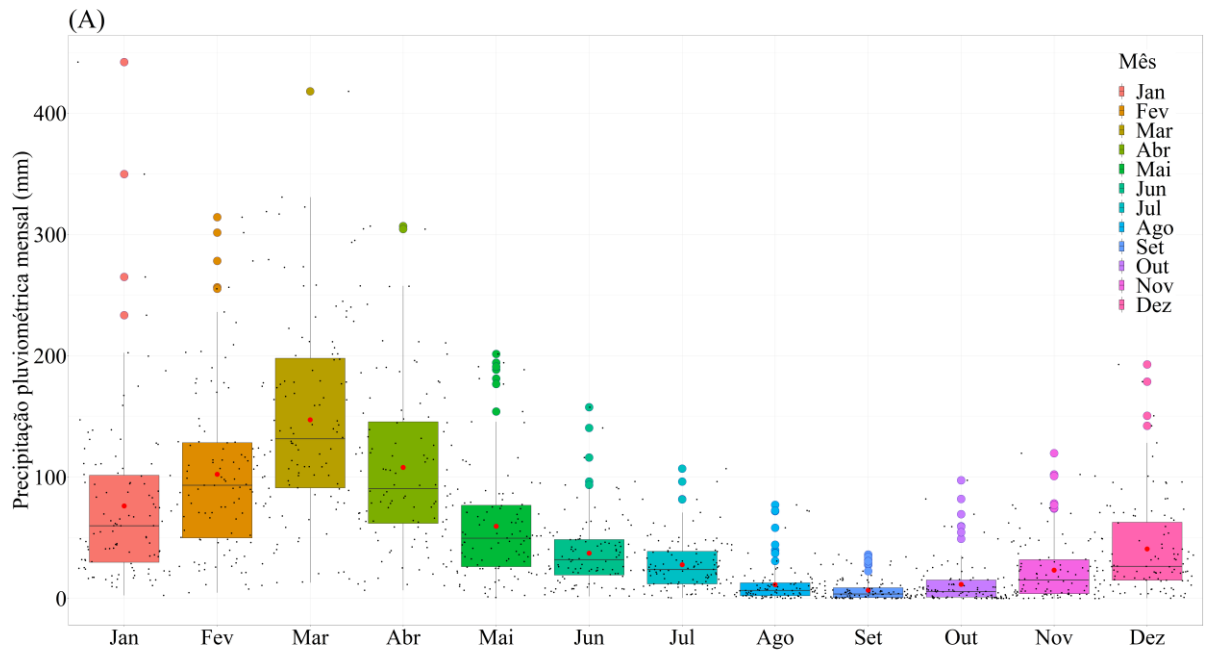


Figura 3. Comportamento da precipitação l (A), da evapotranspiração de referência (B) e do balanço hídrico climático (C) para os subperíodos: anual, verão, outono, inverno, primavera, período chuvoso, período seco, plantio caupi, plantio milho e plantio palma, de 1912 a 2019 (A) e de 1961 a 2019 (B e C).

Com relação a distribuição mensal da chuva, para a área em estudo, ocorreu entre os meses de janeiro a maio, com cerca de 492 mm, representando uma contribuição para o total anual de 76%. Sendo o mês de março, o mais chuvoso (147,3 mm) e o mês de setembro o mais seco (6,7 mm). No geral, os dados de chuva da região são assimétricos, decorrente dos baixos valores de precipitação nos dados observados. Onde nota-se também uma maior amplitude dos dados no mês mais chuvoso e uma menor amplitude nos meses de agosto, setembro e outubro (Figura 4A).



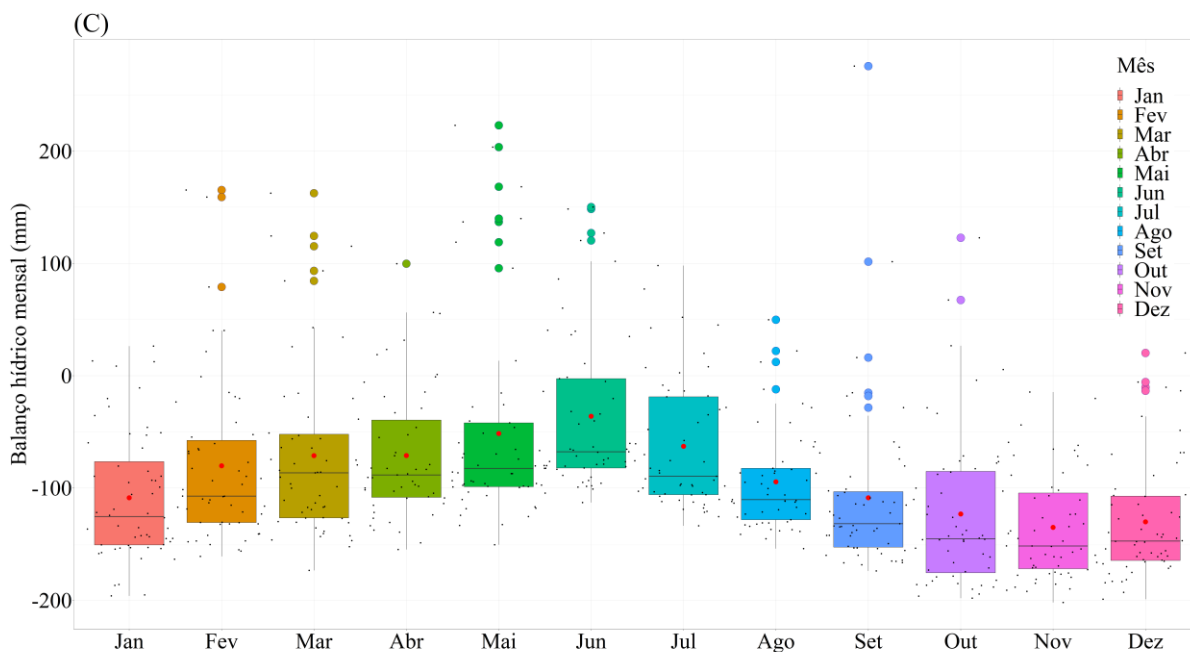


Figura 4. Boxplot da precipitação (A), da evapotranspiração de referência (B) e do balanço hídrico climático (mm/mês) para o período de 1912 a 2019 (A) e de 1961 a 2019 (B e C).

Quanto aos resultados da distribuição ao longo do ano da evapotranspiração de referência (Figura 4 B), há o destaque para os meses da transição, entre o outono e o inverno, que apresentaram os menores valores (MAI=111,9, JUN=98,7 e JUL=107,1 mm/mês). Por outro lado, os maiores valores deste parâmetro foram observados para a primavera (SET=160,2, OUT=184,2 e NOV=180,7 mm/mês). O mês de julho foi o que apresentou menor amplitude no conjunto de dados ( $\Delta \approx 32,9$  mm/mês), e por outro lado, o mês de dezembro ocorreram as há maiores amplitudes. Como consequência da relação entre as duas variáveis acima, a disponibilidade hídrica da região embora negativa ao longo do ano (Figura 4C) é menos pronunciada no início em relação ao segundo semestre. Comportamento similar foi observado quando realizada a análise por posto de medição (Figura 5 A e B).

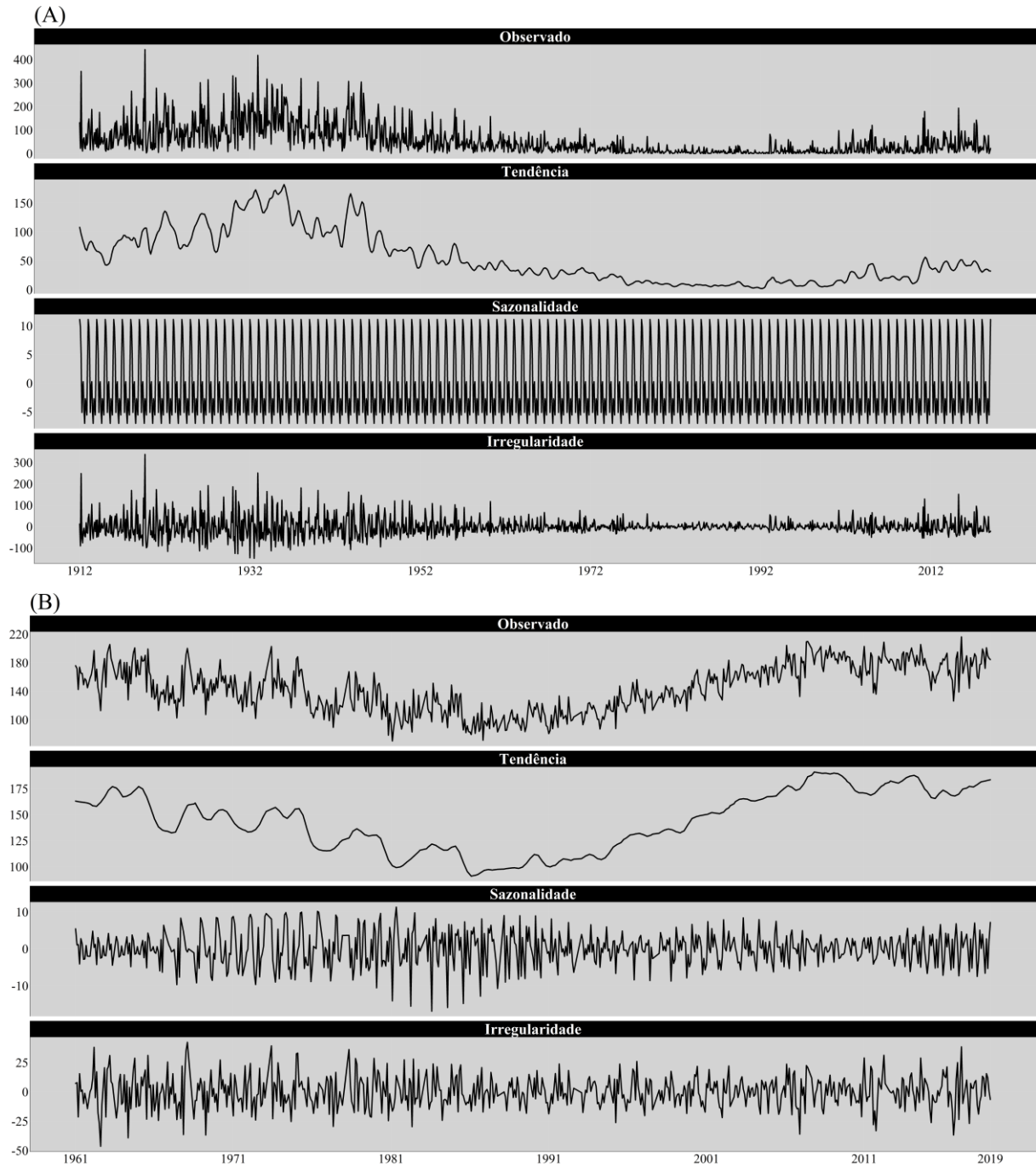


Figura 5. Boxplot da precipitação (A) e da evapotranspiração de referência (B) por estação utilizada para o período de 1912 a 2019 (A) e de 1961 a 2019 (B) e nos subperíodos: anual, verão, outono, inverno, primavera, período chuvoso, período seco, plantio feijão, milho e palma.

### 3.3 Análises de séries temporais

Por meio da análise das séries temporais, foi possível fazer a decomposição dos dados para o entendimento da sazonalidade e dos eventos cíclicos relativos à cada parâmetro. As

maiores magnitudes da precipitação foram observadas no início da série, com posterior redução, seguida de um leve aumento. Para esta variável, constatou-se uma sazonalidade de 12 meses, além da observância de ciclos, cujo tempo de recorrência dos eventos parece ter apresentado um estreitamento ao longo do tempo, com maior frequência de períodos secos (Figura 6A). No entanto, a  $ET_0$  e o  $W$  não apresentaram influências relevantes nos padrões sazonais e na ciclicidade dos eventos (Figura 6B e C).



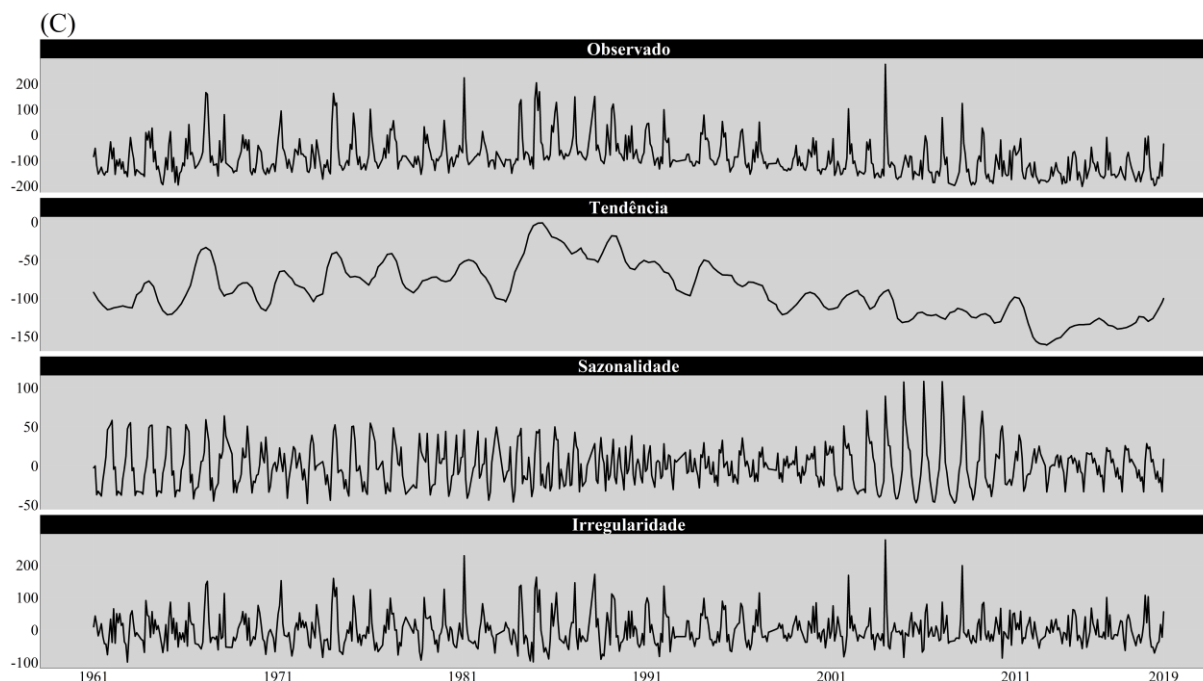


Figura 6. Decomposição da série temporal da precipitação de 1912-2019 (A), da evapotranspiração de referência de 1961-2019 (B) e do balanço hídrico climático de 1961-2019 (C) em uma região do Semiárido brasileiro.

### 3.4 Tendências nas séries de dados climáticos

Tendências significativas ( $p < 0,05$  e  $0,01$ ) foram observadas em apenas seis estações alocadas próximas à porção Sul (Belém de São Francisco (IPA), Carnaubeira da Penha, Mirandiba) e Norte (Quixaba, São José do Egito (PCD e Faz. Muquén) e Serra Talhada (IPA)) da bacia com valores iguais a  $-5.39$ ,  $-18.9$ ,  $-4.66$ ,  $-5.84$ ,  $-32.5$ ,  $3.12$  e  $-5.33$  mm/ano, respectivamente. Com mudanças ocorridas nos anos de 2008, 2010, 1990, 1978, 2011, 1960 e 1942 (Tabela 6).

Tabela 6. Tendências, magnitudes e os pontos de mudanças das tendências de precipitação em diferentes locais de uma região do Semiárido brasileiro para 5 escalas temporais (anual, verão, outono, inverno e primavera).

Estação meteorológica	Anual			Verão			Outono			Inverno			Primavera		
	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P
Afogados da Ingazeira	0,89	9,3	4	0,03	0,3	4	<b>2,17*</b>	8,3	8	1,61	1,21	5	0,98	0,7	12
Belém de São Francisco (CHESF)	-0,83	-3,46	19	-0,46	-1,62	19	-0,54	-0,67	19	-0,04	-0,04	4	-1,02	-0,48	10
Belém de São Francisco (Ibó - CHESF)	-1,94	-9,72	15	-0,54	-2,39	14	-1	-2,63	16	0,68	0,18	14	-0,87	-1,41	20

Belém de São Francisco (IPA)	<b>-2,42*</b>	-5,39	15	-1,82	-2,54	36	<b>-2,49*</b>	-2,03	17	0,72	0,11	23	-1,08	-0,66	28
Betânia	0,89	9,3	4	0,03	0,3	4	2,17	8,3	8	1,61	1,2	5	0,98	0,7	12
Brejinho	-0,23	-2,39	12	-0,09	-2,57	12	0,16	1,34	12	0,13	0,71	1	-0,13	-0,16	15
Calumbi	0,62	2,22	23	-0,93	-3,4	14	0,75	2,5	14	0,18	0,1	19	1,28	1,36	15
Carnaíba	-1,23	-3,76	28	-0,79	-1,4	28	-1,16	-2,29	29	-0,78	-0,15	16	0,12	0,05	25
Carnaubeira da Penha	<b>-1,98*</b>	-18,9	8	-0,89	-12,9	7	-0,59	-4,37	8	1,29	2,15	7	0,09	0,33	10
Flores	-0,31	-2,71	18	0,09	0,68	8	0,18	0,58	11	-2,62	-1,8	12	-0,42	-0,49	8
Floresta (CHESF)	-0,37	-2,27	18	-0,75	-3,1	17	-0,37	0,72	18	1,54	0,41	7	-0,37	-0,16	2
Floresta (IPA)	0,58	2,77	5	-1,27	-5,65	12	0,89	1,35	7	2,17	1,38	9	0,66	0,94	2
Ibimirim (IPA)	-0,38	-3,3	18	-0,29	-1,83	16	0,29	0,78	12	-0,12	-0,12	17	-0,06	-0,12	10
Iguaraci	0,92	6,81	9	0,33	1,5	9	0,54	1,18	11	0,37	0,26	6	-0,44	-0,36	10
Itapetim	-1,25	-3,28	16	-0,28	-0,42	25	-1,68	-2,43	16	-0,93	-0,21	27	-0,90	0	17
Mirandiba	<b>-2,24*</b>	-4,66	27	-0,71	-1	30	<b>-2,29*</b>	-2,08	27	-0,35	0	28	-1,58	-0,94	28
Quixaba	<b>-2,03*</b>	-5,84	15	-1,05	-1,88	24	-1,25	-2,34	13	-0,84	-0,31	28	-1,88	-0,87	27
Salgueiro	-1,22	-0,82	77	-1,49	-0,76	76	0,96	0,23	51	-0,67	-0,01	57	-1,93	-0,45	77
Santa Terezinha	-0,23	-3,31	10	-0,15	-0,31	8	0,38	3,22	10	1,40	2,45	5	-1,29	-2,13	13
São José do Egito (PCD)	<b>-2,26*</b>	-32,5	8	<b>-2,43*</b>	-19,4	8	-1,61	-16,2	9	-0,86	-1,13	12	-1,98	-3,70	8
São José do Egito (Faz. Muquén)	<b>2,93**</b>	3,12	48	<b>2,51*</b>	1,45	46	<b>2,52*</b>	1,11	49	1,64	0,06	49	0,76	0	48
Serra Talhada	0,44	0,35	54	0,25	0,13	55	1,13	0,38	52	1,32	0,07	52	-1,11	-0,21	66
Serra Talhada (Açude Cachoeira)	-1,36	-14,1	10	-2,43*	-21,3	10	0,53	1,65	6	-0,91	-1,35	14	0,86	1,59	7
Serra Talhada (IPA)	<b>-2,68**</b>	-5,33	30	<b>-2,84**</b>	-3,09	30	-1,58	-2,13	36	-1,57	-0,41	41	-0,54	-0,24	40
Solidão	-1,59	-23,7	10	-1,29	-17,4	5	-1,36	-4,23	10	0,98	1,53	11	0	0	4
Triunfo	-1,01	-1,35	36	-1,01	-0,74	35	-0,01	-0,01	19	0,34	0,11	25	-1,06	-0,23	42
Tuparetama (Fazenda Riacho)	-1,30	-26,0	10	-2,21*	-24,4	10	-0,49	-5,14	10	0,04	0,17	10	0,81	1,41	3

Estatisticamente significativo em  $\alpha = 0,05$  \*tendências significativas; Estatisticamente significativo em  $\alpha = 0,01$  \*\* tendências significativas (valores sem esses símbolos mostram falta de significância estatística). Valores em negrito representam significância estatística.

As estações do verão e da primavera, apresentaram tendência decrescente de -0.59 mm/período e -0.38 mm/período da chuva nos postos avaliados, respectivamente, no qual 18.5% dos postos mostraram significância durante o verão, enquanto que na primavera não foi observada significância estatística. Por outro lado, no outono e no inverno, observou-se incrementos de chuva em 78% e 52% das estações analisadas, respectivamente (Tabela 6).

Durante o período chuvoso da BHRP, ou seja, de janeiro a maio, verificou-se nos resultados da tendência da precipitação obtidos pelo teste de Man Kendall que apenas quatro estações (i.e. Belém de São Francisco (IPA), Mirandiba, São José do Egito (Faz. Muquén) e Serra Talhada (IPA)) apresentaram tendência significativa, com magnitude de -4.61, -3.83, +2.48 e -4.13 mm/período chuvoso (Tabela 7). Assim como foi verificado para as demais



escalas de tempo, para as épocas de plantio de feijão-caupi, milho e palma, obtendo-se apenas em 4 postos tendência significativa, mas praticamente mais da metade dos dados observados obtiveram uma tendência decrescente das chuvas na região, no entanto sem significância estatística.

Tabela 7. Tendências, magnitudes e os pontos de mudanças das tendências da precipitação em diferentes locais de uma região do Semiárido brasileiro para 5 escalas temporais (período chuvoso, período seco, plantio caupi, plantio milho e plantio palma).

Estação meteorológica	Chuvoso			Seco			Caupi			Milho			Palma		
	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P
Afogados da Ingazeira	0,79	5,86	5	0,89	1,8	4	0,26	1,23	5	0,84	2	6	-0,16	-1,37	4
Belém de São Francisco (CHESF)	-0,04	-1,48	19	-0,54	-0,64	9	0,77	1,02	9	2,02	1,76	11	-0,5	-1,93	19
Belém de São Francisco (Ibó - CHESF)	-1,61	-7,19	15	-0,72	-1,45	8	-0,63	-1,79	17	-0,02	-0,09	17	-1,05	-4,24	15
Belém de São Francisco (IPA)	<b>-2,42*</b>	-4,61	15	-1,66	-1,36	28	-1,12	-0,9	15	-0,22	-0,1	13	-1,94	-3,34	37
Betânia	0,79	5,86	5	0,89	1,8	4	0,26	1,23	5	0,84	2	6	-0,16	-1,37	4
Brejinho	0	0,47	12	-0,95	-2,7	15	-0,42	-2,28	12	0	-0,05	8	-0,55	-4,24	12
Calumbi	0,13	0,4	4	1,49	3,1	16	0	0,12	6	0	0	14	-0,75	-2,75	14
Carnaíba	-0,57	-1,4	28	-1,79	-1,29	14	-0,49	-0,72	28	-0,61	-0,59	29	-0,93	-1,71	28
Carnaubeira da Penha	-1,48	-20,2	8	1,09	4,17	7	-1,29	-12,2	7	-0,69	-2,49	-	-0,54	-5,1	-
Flores	0,39	1,63	10	-1,63	-3,37	12	0,22	0,77	8	0,86	1,63	9	0,19	0,85	24
Floresta (CHESF)	-0,67	-3,29	18	0,42	0,64	2	0,62	1,44	9	1,35	1,56	11	-0,12	-1,15	18
Floresta (IPA)	-0,58	-2,7	14	1,74	3,39	8	-0,42	-0,95	5	0,79	1,49	6	-0,47	-2,4	14
Ibimirim (IPA)	-0,33	-0,73	19	-0,67	-1,37	18	-0,33	-0,5	19	0,29	0,27	6	-0,5	-3,32	16
Iguaraci	0,92	6,6	9	-0,17	-0,18	14	1,58	4,02	9	1,96	2,92	10	0,87	1,83	9
Itapetim	-0,83	-1,94	31	-1,20	-0,78	15	-0,25	-0,33	31	-0,49	-0,26	25	-0,03	-0,02	46
Mirandiba	<b>-2,06*</b>	-3,83	35	-1,63	-1,17	28	-1,18	-1,21	18	-1,59	-0,85	18	-0,56	-1,49	30
Quixaba	-1,34	-3,48	27	<b>-2,34*</b>	-1,71	16	-1,43	-1,78	18	-1,00	-0,91	24	-1,54	-3	27
Salgueiro	-0,66	-0,42	82	-1,34	-0,37	77	-0,82	-0,31	26	-0,68	-0,17	26	-1,61	-0,87	76
Santa Terezinha	-0,23	-1,7	8	-0,15	-0,4	13	-0,30	-1,93	3	0,91	2,77	16	-0,68	-5,7	9
São José do Egito (PCD)	-1,69	-23,7	7	<b>-2,10*</b>	-11,7	8	-1,61	-12,7	9	-1,19	-4,71	9	<b>-2,18*</b>	-21,9	8
São José do Egito (Faz. Muquén)	<b>2,69**</b>	2,48	48	<b>2,09*</b>	0,46	48	<b>3,11**</b>	1,07	48	1,56	0,32	51	<b>2,36*</b>	1,48	46
Serra Talhada	1,17	0,64	55	0,78	-0,21	66	0,45	0,16	49	0,16	0,03	49	-0,39	-0,17	18
Serra Talhada (Açude Cachoeira)	-1,36	-18,3	10	0,86	2,41	7	<b>-2,43*</b>	-12,5	10	-1,44	-8,57	11	<b>-2,10*</b>	-17,8	10
Serra Talhada (IPA)	<b>-2,44*</b>	-4,13	30	-1,62	-1,23	40	<b>-2,25*</b>	-1,66	33	-1,64	-0,78	28	<b>-2,41*</b>	-2,94	30
Solidão	-1,59	-18,6	10	-0,61	-1,83	4	-1,13	-13,9	3	-0,91	-4,13	5	-1,21	-14,8	5
Triunfo	-0,76	-1,04	37	-0,62	-0,33	53	0,48	0,24	47	0,27	0,08	49	-1,20	-1,06	35

Tuparetama (Fazenda Riacho)	-1,84	-27,6	10	-0,76	-5,29	10	-1,93	-13,8	10	-1,39	-5,34	6	<b>-2,38*</b>	-25,5	10
-----------------------------------	-------	-------	----	-------	-------	----	-------	-------	----	-------	-------	---	---------------	-------	----

Estatisticamente significativo em  $\alpha = 0,05$  \*tendências significativas; Estatisticamente significativo em  $\alpha = 0,01$  \*\* tendências significativas (valores sem esses símbolos mostram falta de significância estatística). Valores em negrito representam significância estatística.

Na escala anual mais de 50% das estações obtiveram significância estatística de 5% (Cabrobó e Paulo Afonso) e 1% (Monteiro e Triunfo) de probabilidade. Ambas com tendência positiva de até 9.03 mm/ano e com ponto de mudança em 14 anos (para cidade de Monteiro), sendo os municípios de Cabrobó e Paulo Afonso localizados na parte sul, enquanto que Monteiro e Triunfo estão situadas na porção mais à norte da bacia. Para o período sazonal, observou-se também tendência positiva significativa no verão, outono e primavera, e com aumento previsto, pelo Sen's Slope, de até 6.01 mm na primavera para a cidade de Cabrobó. No período chuvoso, as estações localizadas em Cabrobó, Monteiro, Paulo Afonso e Petrolândia obtiveram tendência crescente da evapotranspiração. No período seco a região obteve a mesma tendência significativa, com exceção de Petrolândia (Tabela 8). Por fim, observou-se que as tendências negativas em P e positivas em  $ET_0$  culminaram com menor média na disponibilidade hídrica da região (Tabela 9).

Tabela 8. Tendências, magnitudes e os pontos de mudanças das tendências da evapotranspiração de referência em diferentes locais de uma região do Semiárido brasileiro em 10 escalas temporais.

Estação meteorológica	Anual			Verão			Outono			Inverno			Primavera		
	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P
Cabrobó	<b>2,55*</b>	20,0	11	<b>2,31*</b>	5,45	14	<b>2,45*</b>	5,56	15	1,91	3,45	16	<b>2,31*</b>	6,01	14
Floresta	-1,19	-6,48	7	1,12	-2,47	4	0	0,16	7	1,12	-1,25	4	0,98	-1	9
Monteiro	<b>3,81**</b>	9,03	14	<b>3,47**</b>	3,14	15	<b>3,02**</b>	2,43	14	1,93	1,2	14	<b>3,47**</b>	2,42	14
Paulo Afonso	<b>2,43*</b>	6,17	11	<b>2,25*</b>	2,29	13	1,36	1,54	12	1,51	1,08	8	<b>2,62**</b>	2,3	10
Petrolândia	0,32	0,59	8	1,94	1,69	9	1,31	1,38	8	-1,32	-0,84	5	-0,25	-0,22	8
Triunfo	<b>2,76**</b>	4,89	19	<b>2,78**</b>	1,37	19	1,45	1,08	19	1,82	1,11	19	<b>2,37*</b>	1,14	24
Estação meteorológica	Chuvoso			Seco			Caupi			Milho			Palma		
	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P	MK-Z	SS	P
Cabrobó	<b>2,60**</b>	9,29	14	<b>2,11*</b>	10,8	16	<b>2,21*</b>	3,31	14	1,79	1,92	14	<b>2,36*</b>	7,24	14
Floresta	-0,98	-3,6	7	-1,26	-2,73	10	-1,08	-0,95	7	-0,38	-0,36	10	-1,33	-2,36	10
Monteiro	<b>3,93**</b>	5,61	14	<b>3,14**</b>	3,66	14	<b>3,05**</b>	1,93	15	<b>2,79**</b>	1,04	14	<b>3,68**</b>	3,22	14
Paulo Afonso	<b>2,04*</b>	2,88	13	<b>2,43*</b>	3,65	11	<b>2,89**</b>	2,06	14	<b>2,87**</b>	1,13	13	<b>3,65**</b>	3,24	11
Petrolândia	<b>1,97*</b>	2,83	9	-0,84	-1,05	23	1,31	0,92	9	0,91	0,36	20	-0,17	-0,15	8
Triunfo	<b>2,38*</b>	2,34	20	<b>3,02**</b>	2,45	19	2,00*	0,76	20	1,19	0,28	27	<b>2,44*</b>	1,57	25

Estatisticamente significativo em  $\alpha = 0,05$  \*tendências significativas; Estatisticamente significativo em  $\alpha = 0,01$  \*\* tendências significativas (valores sem esses símbolos mostram falta de significância estatística). Valores em negrito representam significância estatística.

Tabela 9. Tendências médias da precipitação, da evapotranspiração de referência e do balanço hídrico climático (mm/ano) para as dez escalas temporais em uma região do Semiárido brasileiro.

Teste de Man-Kendall										
#	A	Ve	Ou	In	Pr	C	S	F	M	P
<b>P</b>	-1,61	-0,75	-0,33	-1,66	<b>-2,16*</b>	-0,42	<b>-3,23**</b>	-0,25	-1,02	-1,05
<b>ET<sub>0</sub></b>	<b>3,71**</b>	<b>2,41*</b>	<b>3,87**</b>	<b>2,51*</b>	<b>3,79**</b>	<b>3,21**</b>	<b>3,71**</b>	<b>2,60**</b>	<b>2,04*</b>	<b>2,66**</b>
<b>W</b>	<b>-3,48**</b>	<b>-2,38*</b>	<b>-2,60**</b>	<b>-3,03**</b>	<b>-3,03**</b>	<b>-2,51*</b>	<b>-3,88**</b>	<b>-2,16*</b>	<b>-1,72</b>	<b>-2,63**</b>
Sen's Slope										
<b>P</b>	-1,02	-0,28	-0,12	-0,13	-0,3	-0,22	-0,73	-0,09	-0,18	-0,43
<b>ET<sub>0</sub></b>	3,58	0,98	1,43	0,67	1,06	2,02	1,92	0,70	0,30	1,27
<b>W</b>	-7,84	-2,93	-3,08	-1,17	-1,61	-4,35	-3,29	-1,63	-0,88	-3,55
Teste de Pettitt										
<b>P</b>	78	77	79	79	45	78	67	49	26	78
<b>ET<sub>0</sub></b>	22	25	29	31	26	22	22	25	25	25
<b>W</b>	29	26	29	30	29	26	29	20	26	26

Nota: 1) A: anual; C: período chuvoso; S: período seco; Ve: verão; Ou: outono; In: inverno; Pr: primavera; F: feijão-caupi; M: milho e P: palma forrageira. 2) "\*" e "\*\*" indicam significância no nível  $\alpha = 0,05$  e  $0,01$  (valores sem esses símbolos mostram falta de significância estatística). Valores em negrito representam significância estatística.

### 3.5 Correlação entre os dados atmosféricos e os índices de teleconexões

Durante a precipitação média anual da região, observou-se uma correlação negativa significativa em 7 dos 10 padrões de teleconexão: AMO (-0,42\*\*\*), BEST (-0,35\*\*), ENSO (-0,32\*\*), N3 (-0,39\*\*), N4 (-0,36\*\*), N12 (-0,45\*\*\*), e NTA (-0,41\*\*), Resultado semelhante foi obtido para o período chuvoso, demonstrando que as anomalias na TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico resultaram em sistemas atmosféricos importantes para a precipitação da região. Os índices PDO e TNI não apresentaram correlação, com os totais anuais. Para as estações do ano, observou-se uma correlação decrescente moderada e com alta significância apenas no outono e para o índice N3 (-0,49\*\*\*). No segundo semestre (época seca) apenas os índices N4 (-0,26), N12 (-0,36) e PDO (-0,28) demonstraram algum nível de correlação (Figura 7).

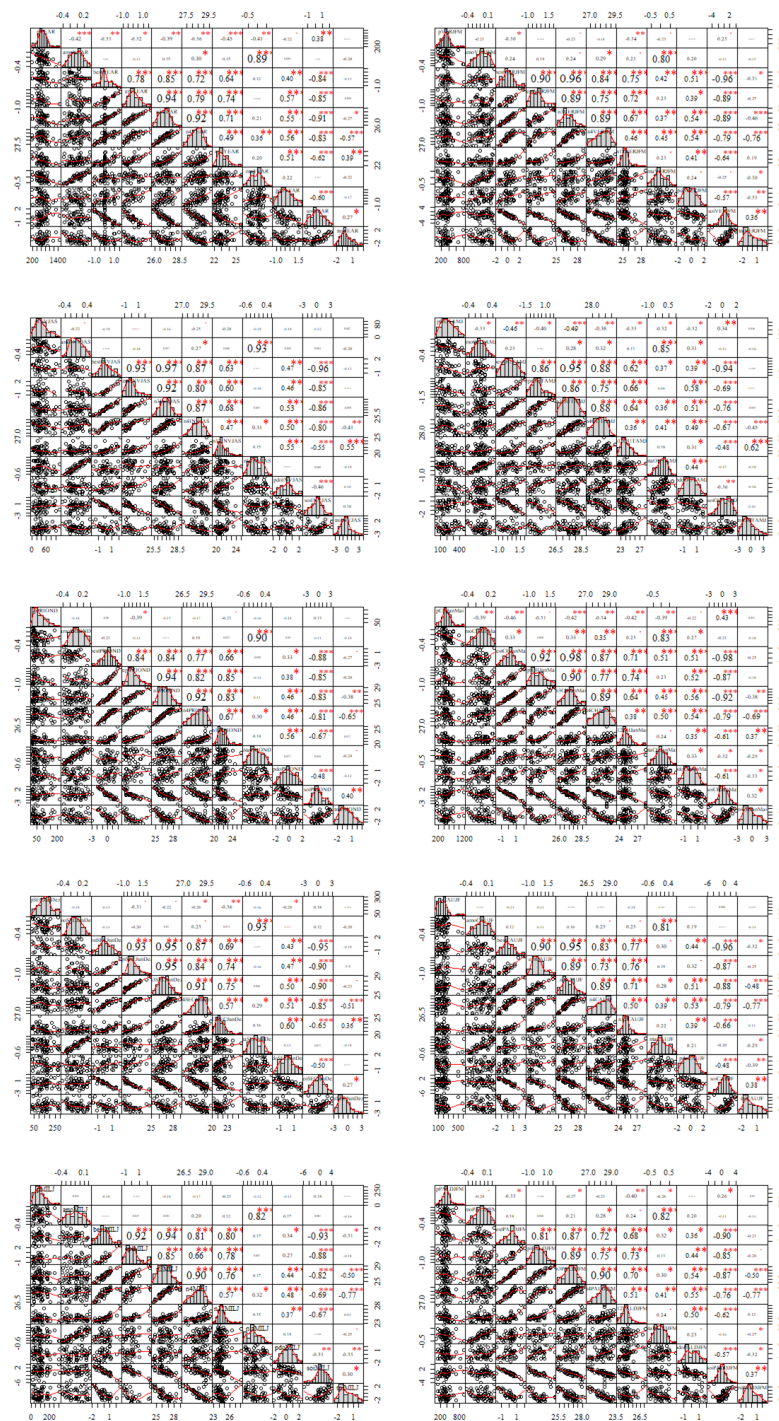


Figura 7. Influências das precipitações e dos índices de teleconexão (AMO, BEST, ENSO, N3, N4, N12, NTA, PDO, SOI e TNI) para as escalas temporais (ANUAL, VERÃO, OUTONO, INVERNO, PRIMAVERA, CHUVOSO, SECO, FEIÇÃO, MILHO e PALMA) em uma região do Semiárido brasileiro.

Já para a evapotranspiração de referência anual, notou-se que apenas três índices obtiveram correlação positiva a 5% (AMO = 0,41\*\*, N12 = 0,41\*\* e NTA = 0,36\*\*),

destacando-se neste caso a relação com o Oceano Atlântico. O comportamento do período sazonal foi equivalente ao da precipitação, em que apenas a estação do outono apresentou correlação positiva moderada e com alta significância (0,42\*\*\*), porém para o fenômeno AMO (Figura 8).

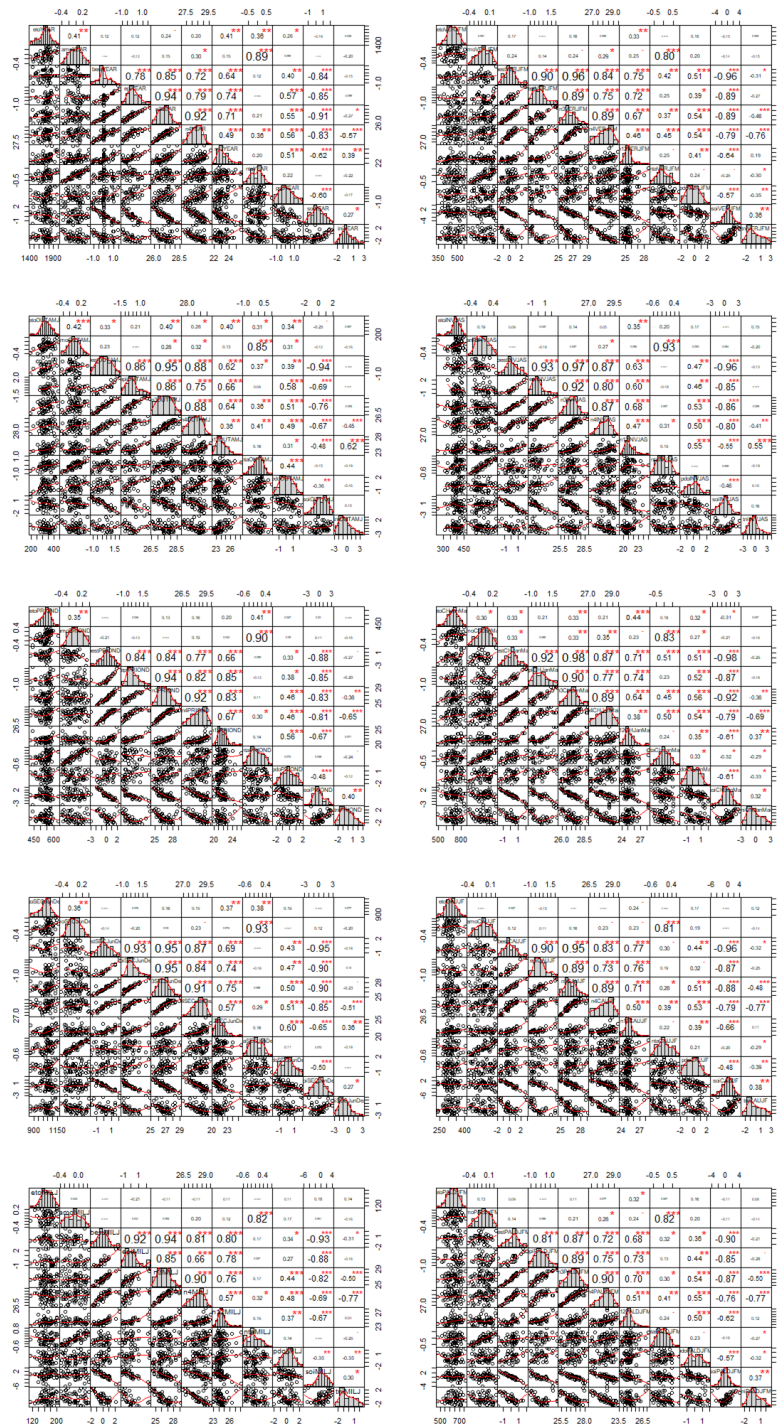


Figura 8. Influências da evapotranspiração de referência e dos índices de teleconexão (AMO, BEST, ENSO, N3, N4, N12, NTA, PDO, SOI e TNI) para as escalas temporais (ANUAL,

VERÃO, OUTONO, INVERNO, PRIMAVERA, CHUVOSO, SECO, FEIJÃO, MILHO e PALMA) em uma região do Semiárido brasileiro.

No balanço hídrico anual, as maiores influências observadas foram nos índices AMO (-0,47\*\*\*), NTA (-0,49\*\*\*) e N12 (0,45\*\*\*), ambos com alta significância ( $P < 0.01$ ). Apenas para o outono foi notada significância estatística e uma correlação negativa moderada (-0,49\*\*\*) para o índice N3. No período chuvoso, 80% dos índices apresentaram alguma influência, com altas significâncias para o N3 (-0,44\*\*\*), N12 (-0,46\*\*\*) e o SOI (0,43\*\*\*) e durante a época seca apenas o índice N12 (-0,46\*\*\*) apresentou moderada correlação (Figura 9).

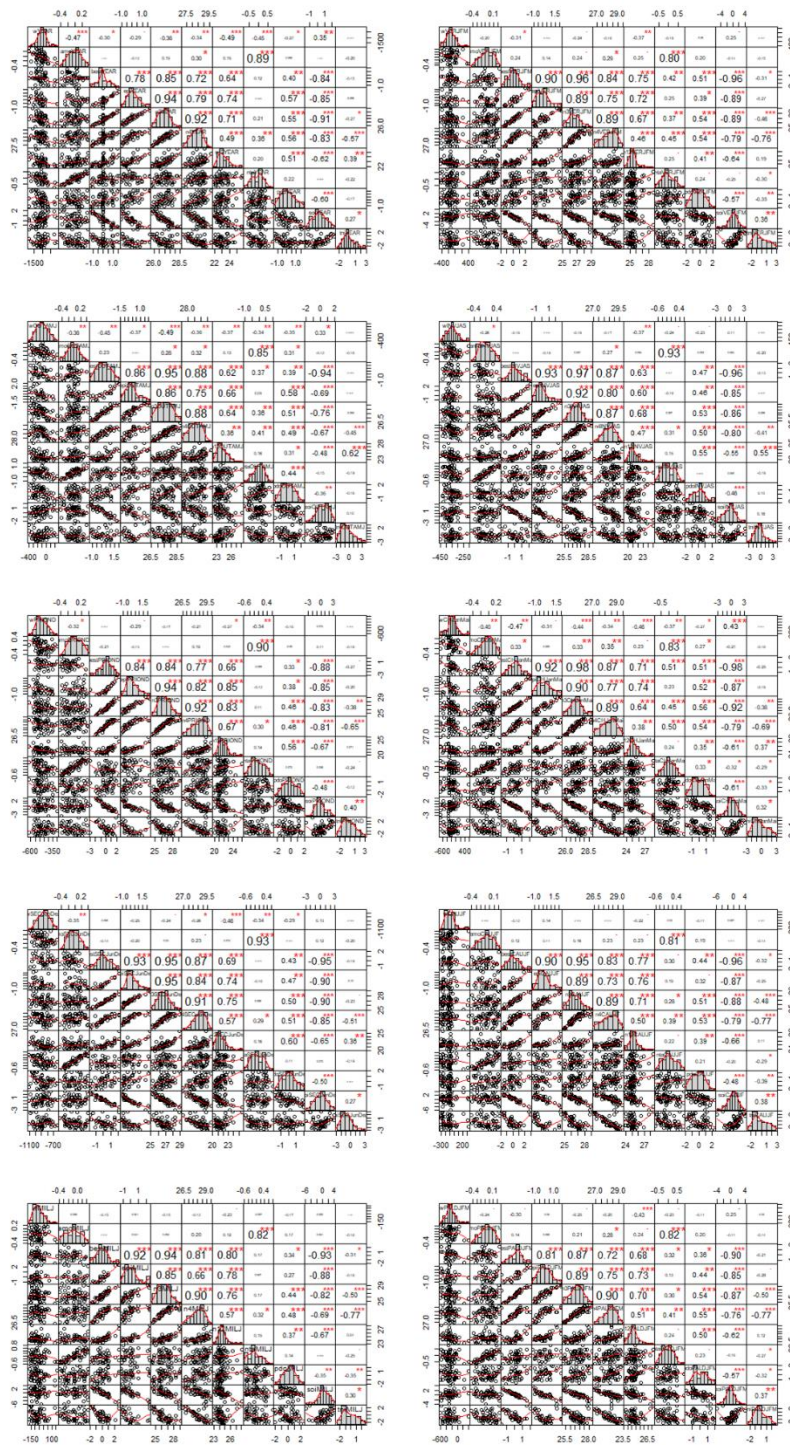


Figura 9. Influências do balanço hídrico climático e dos índices de teleconexão (AMO, BEST, ENSO, N3, N4, N12, NTA, PDO, SOI e TNI) para as escalas temporais (ANUAL, VERÃO, OUTONO, INVERNO, PRIMAVERA, CHUVOSO, SECO, FEIJÃO, MILHO e PALMA) em uma região do Semiárido brasileiro.

Não foram observadas correlações entre as variáveis climáticas e os índices para a escala temporal de plantio do feijão-caupi e do milho. Para palma houveram correlações entre

os subperíodos: precipitação pluviométrica x BEST (-0,33\*), N3 (-0,27\*), N12 (-0,4\*\*), NTA (-0,26\*) e SOI (0,26\*); evapotranspiração x N12 (0,32\*) e balanço hídrico x N12 (-0,43\*\*\*\*) (Figura 7, 8 e 9).

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Calibração dos modelos de radiação solar ( $R_s$ ) e evapotranspiração de referência ( $ET_0$ )

A escolha de métodos alternativos de estimativa da radiação solar, bem como da evapotranspiração de referência é bem utilizado na literatura, sendo recomendada a avaliação destes métodos principalmente em locais com baixa disponibilidade de variáveis climáticas ou onde se dispõe de conjuntos de dados meteorológicos incompletos (GAO *et al.*, 2017; GURSKI, JERSZURKI e SOUZA, de, 2018; SOUZA *et al.*, 2014).

Os resultados confirmam um bom desempenho para alguns modelos (MH, BC, BCG e HA), portanto sendo recomendados para estimar a radiação solar na bacia (Tabela 3), e nestes estudos foi utilizado o modelo de Bristow & Campbell (BC) que apresentou resultados similares em outras regiões áridas e semiáridas. Nas regiões semiáridas, este modelo tem sido utilizado, conforme os trabalhos de LIU *et al.* (2009) e YU *et al.*, (2020). YU *et al.* (2020) afirma que o modelo empírico de BC (1984) que é baseado na temperatura e o mesmo pode ser utilizado quando as áreas de estudos não possuem equipamentos ou até mesmo na existência falhas nos dados medidos. Em seu estudo os parâmetros utilizados para estimativa da radiação solar demonstraram alta correlação com os fatores geográficos e meteorológicos da região semiárida da China, indicando que este modelo seja uma escolha sábia para a estimativa da radiação solar em áreas que tenham a mesma similaridade com a região estudada pelos autores.

Já para a escolha do melhor modelo de  $ET_0$  para a região e posteriormente calcular o W, foi escolhido o modelo que mais se adequou, e portanto, o modelo que obteve um índice estatístico “ótimo”, que foi o modelo Souza-Silva’s (SS), enquanto que os demais modelos obtiveram um desempenho “muito bom” (Tabela 4). JERSZURKI *et al.* (2019) também utilizaram a combinação das variáveis de temperatura, umidade relativa do ar e o déficit de pressão de valor para estimar a evapotranspiração de referência, e afirmam que esta escolha quantifica muito melhor a evapotranspiração nas regiões áridas e semiáridas do globo.

Os modelos de Turc (TU) e de Hargreaves-Samani (HS) obtiveram ótimos resultados em regiões áridas e semiáridas da China e EUA (GAO *et al.*, 2017). Isto se deve



provavelmente porque estes foram desenvolvidos para as áreas áridas do globo. No geral, BERENGENA e GAVILÁN (2005) afirmam que algumas condições climáticas das regiões áridas e semiáridas podem se tornar uma fonte de erro na estimativa da evapotranspiração de referência, como por exemplo a advecção de calor sensível em plantios irrigados.

#### *4.2 Caracterização da P, $ET_0$ e W da região*

A precipitação demonstrou aleatoriedade e maior concentração entre os meses de janeiro-maio (Figura 4A) o que está associado à presença de massas de ar nesta região e especialmente à atuação da Zona de Convergência Intertropical-ZCIT (FERREIRA, GIOVANNI e MELLO, 2005). No que concerne à variação espacial da precipitação, foi observada uma forte dependência com a altimetria da região, as quais podem ter possibilitado à ocorrência de chuvas do tipo orográficas (SALGUEIRO e MONTENEGRO, 2008). Neste caso, os maiores volumes foram observados ao norte da região em estudo, e já os menores valores de precipitação ocorreram no sul.

Comparado aos outros trimestres, a estação da primavera (set, out, nov) apresenta o menor quantitativo pluviométrico (Figura 4 A), a partir destes resultados é provável que esta estação se torne mais seca com o passar dos anos, tornando a bacia menos capaz de produzir alimentos durante esta época do ano, além de ser uma ameaça tanto à população quanto aos recursos hídricos da bacia. É o que comprovaram os pesquisadores FENG e FU (2013) ao analisar a expansão global das áreas áridas sob efeitos do aquecimento global, no qual os modelos climáticos sugerem uma expansão gradativa da evapotranspiração, e com isto, um aumento no déficit hídrico nestas regiões. Além deste acontecimento, concluem que até o final do século XXI, haverá uma maior expansão das regiões semiáridas no leste da América do Sul.

Quanto aos valores observados de evapotranspiração de referência média (Figura 4), é notável que os menores valores ocorreram nos meses de maio a julho, estando associados as características atmosféricas (e.g. menor radiação, maior nebulosidade, etc.). Uma vez que a ocorrência de chuva na região é escassa e a demanda atmosférica é alta, ocorrendo uma diminuição da disponibilidade hídrica, em que é possível observar a predominância de valores negativos do balanço hídrico durante todo o ano e em outras escalas temporais (Figura 5). Estes resultados são de grande importância, visto que a partir do conhecimento do balanço hídrico de uma região é possível encontrar o tipo de atividade agrícola mais viável para cada

local, sendo ideal para o planejamento do período do ano mais adequado para o plantio de determinadas espécies.

Ainda avaliando o comportamento das variáveis nas Figuras 3, 4 e 6, tomamos conhecimento da importância da determinação da época correta do plantio do feijão-caupi, milho e palma. De acordo com a Série Histórica dos Grãos, divulgado pelo CONAB (2020), a produção de milho e feijão obtiveram correlação com a precipitação anual (0,63\*\*\* para o milho e de 0,48\*\* para o feijão), ou seja, em anos com maior produção dos grãos houve maior precipitação e vice-versa. Uma vez que a correlação observada não foi tão forte (0,7 a 0,99) podemos destacar outra ocasião provável, ou seja, além da redução da precipitação, a queda da produtividade destes grãos pode ser relacionado ao fato de que antigamente os produtores não efetuavam o plantio na época recomendada pelo zoneamento agrícola.

Para a palma não foi possível verificar esta associação por ausência de dados de produção. No entanto, é bom ressaltar que a palma é uma espécie forrageira com metabolismo de carbono do tipo MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas) em que se diferencia das C3 (feijão-caupi) e C4 (milho), caracterizado por possuir maior eficiência no uso da água (TAIZ et al., 2017). Neste caso, sendo a palma altamente recomendada para plantio nesta região, enquanto que a semeadura do feijão e do milho sigam sempre as recomendações do zoneamento agrícola de risco climático.

#### *4.3 Análises de séries temporais*

De modo geral, percebeu-se uma sazonalidade em períodos de chuva e de estiagem e que são bastante evidentes na área em estudo (Figura 7 A). SILVA et al. (2011) demonstraram que alguns municípios paraibanos apresentam comportamento aleatório nas chuvas ao longo do período estudado e período chuvoso definido no ano. No nosso estudo, observou-se também uma ciclicidade dos fenômenos, com uma redução dos volumes de chuva durante um certo período. GUIMARÃES et al. (2016) em seu estudo sobre modelagem climática, evidenciou uma redução de até 1,6% da precipitação média anual no nordeste brasileiro, e sugeriu este impacto climático ocorre devido às perturbações humanas, como por exemplo o aumento substancial da concentração do gás carbônico nas últimas décadas. WANG et al. (2019) em sua pesquisa feita na região semiárida chinesa, relata que há uma tendência decrescente e a mudança no ciclo de precipitação, onde ocorreu um declínio acentuado na precipitação temporal e espacial e oscilação periódica do ciclo chuvoso, confirmando também

que toda esta alteração foi influenciada pelas mudanças climáticas locais e interação com os fenômenos climatológicos.

Ademais, o período dos ciclos estão se achatando, tornando-se mais frequentes e com menores magnitudes, possivelmente devido às alterações climáticas. MARENGO et al. (2018) mostram que a magnitude dos eventos de precipitação na região semiárida do nordeste brasileiro está diminuindo ao longo do tempo. Os autores compararam a década de 50 com as mais recentes e constataram uma redução aproximadamente 150% no valor mensal. Esta diminuição pode estar associada a uma migração do período chuvoso, pois, ocorreu uma menor quantidade de chuva onde tradicionalmente era mais chuvoso, no entanto o período chuvoso se estendeu por mais tempo ao longo do ano, mas em menor quantidade, tal fato deve ser refletido em estudos posteriores.

#### *4.4 Tendências nas séries de dados climáticos*

Nyikadzino *et al.* (2020) confirmaram uma tendência negativa de diminuição na atividade de precipitação, entre 1951 a 2015, em algumas partes da Bacia Hidrográfica de Mzingwane, região árida africana. No entanto, assim como mostrado em nossos resultados, PENEREIRO e ORLANDO (2013) não mostraram tendências significativas na maioria dos postos avaliados da Bacia do Rio Parnaíba, região semiárida do nordeste brasileiro. As mudanças não significativas observadas pelo teste de Man Kendall, podem ter ocorrido pela simples aleatoriedade do conjunto de dados, não sendo possível destacar algum motivo para o ocorrido (SANCHES, VERDUM e FISCH, 2013) ou pela flutuação natural da precipitação (Back, 2001) e até mesmo decorrente da influência de fenômenos atmosféricos (BYAKATONDA *et al.*, 2018; PRĀVĀLIE *et al.*, 2019).

#### *4.5 Correlação entre os dados atmosféricos e os índices de teleconexões*

Apenas os índices AMO e N1+2 demonstraram as maiores correlações e elevada significância para média anual da precipitação, evapotranspiração de referência e balanço hídrico da região. Santos *et al.* (2016) objetivaram em seu estudo para a correlação entre os dois índices de teleconexão (Oscilação Multidecadal do Atlântico e Oscilação do Atlântico Norte) e constataram também em seus resultados uma forte correlação entre a AMO e a precipitação na América do Sul, com uma relação inversa entre os dois, ou seja, quando a AMO estava em seu modo negativo, a precipitação aumentou e quando estava positiva ocorreu a redução da precipitação. Este resultado está em concordância com os obtidos neste

estudo, sendo observada uma correlação negativa para a precipitação anual da bacia. SANTOS et al. (2016) ainda afirma que o índice AMO interfere na precipitação em toda a América do Sul, bem como o índice PDO, sendo provável que este fato seja possível devido a interação entre a temperatura da superfície dos oceanos atlântico e pacífico.

O índice N1+2, uma das regiões do ENSO, foi desenvolvido para monitorar as variações da temperatura da superfície do mar. Este influencia a porção mais à direita da costa do Oceano Pacífico, mais próximo do oeste da América do Sul, quando ao índice AMO possui efeito direto e indireto na variabilidade hidroclimática da temperatura da superfície do mar do Oceano Atlântico Norte (0° a 70° N) (ABIY *et al.*, 2019). RAHIMI (2004) e ERFANIAN *et al.* (2013) também utilizaram o índice N1+2 em suas pesquisas. O primeiro mostrou uma correlação entre a precipitação da primavera e o índice N1+2, enquanto que o segundo afirma que este índice é mais eficaz para avaliar as respostas da temperatura, ambos localizados na região árida do Irã.

A variabilidade anual da precipitação em toda a América do Sul está associada com o padrão anômalo das células de circulação de Walker e de Hadley, além disto os oceanos pacífico e atlântico atuam de modo individual ou em agrupados nesta conjuntura (KAYANO e CAPISTRANO, 2014). A ponte existente entre o Atlântico Equatorial e o Pacífico Tropical e sua associação com a temperatura dos oceanos fortalecem o índice ENSO, este por sua vez também é afetado pela atuação da AMO, como foi visto por KAYANO e CAPISTRANO (2014), no qual isto explica como a AMO modifica a influência da ENSO na precipitação da América do Sul.

A maior influência no período chuvoso anual da bacia foi observada pelo índice BEST (Figura 6), para o período seco, já o fenômeno que demonstrou maior correlação foi o PDO, em ambos os casos as correlações foram negativas. SILVA *et al.* (2018) também não destacaram a influência do índice ENSO na precipitação para uma bacia localizada no Nordeste brasileiro, assim como no estudo de REBOITA e SANTOS (2015) que relatam que nem sempre a ocorrência de seca do nordeste brasileiro é provocada pela presença do El Niño. Porém, HASTENRATH (2006) aponta que o ENSO exerce um papel fundamental na variabilidade climática do nordeste brasileiro, no qual deduz que o agravamento das secas ocorre devido ao mecanismo que envolve o El Niño e a Zona de Convergência Intertropical. O índice ENSO também é citado por AHMADI *et al.* (2019) como aquele que influencia as variações temporais e espaciais da precipitação em todas as regiões áridas e semiáridas do Irã,

principalmente quando a sua fase fria se combina com os ventos oriundos da parte noroeste do Oceano Índico resultou em uma seca generalizada em todo o Oriente Médio.

Quanto ao índice PDO, é citado como semelhante ao ENSO em alguns aspectos, como por exemplo, correlacionados positivamente com o índice de teleconexão PNA (Pacific-North American), porém seus efeitos climáticos geralmente acontecem no norte e no noroeste do Pacífico, Alasca e Flórida (GHANBARI e BRAVO, 2008). Adicionalmente, o impacto das mudanças do regime do PDO está relacionado também com as alterações da temperatura e da precipitação no mundo (ABIY *et al.*, 2019). Contudo, MARENGO *et al.* (2018) mostram que a condição de seca instalada no nordeste brasileiro entre 2010 a 2016, ocorreu devido às influências do índice TNA, afirmando que o aumento anormal da temperatura no oceano atlântico norte favoreceu a alteração da posição da ZCIT, o que proporcionou o menor índice pluviométrico no ano de 2012. Toda esta questão se intensificou, pois em 2013 ano de La Niña para região não compensou toda a perda hídrica e o El Niño, em 2015, intensificou ainda mais a seca no nordeste brasileiro.

Com relação ao índice climático BEST é conhecido por ser um melhor descritor da influência do El Niño (SHIRASAGO-GERMÁN *et al.*, 2015), porém até o momento não existem pesquisas que o correlacionem com as chuvas do nordeste brasileiro. De modo geral, apenas o índice TNI não demonstrou correlação entre os índices avaliados para as dez escalas temporais. Este índice é o resultado da diferença normalizada da temperatura da superfície do mar entre os índices Niño Região 1+2 (N12) e 4 (N4) (GHANBARI e BRAVO, 2008). O índice de teleconexão TNI é pouco mencionado, porém é utilizado em estudos distintos, como no de GHANBARI e BRAVO (2008), no qual estudaram os efeitos dos fenômenos atmosféricos, incluindo o TNI, na altura do nível da água na região dos Grande Lagos da América do Norte. Enquanto que SILIO-CALZADA *et al.* (2017) buscaram entender a variabilidade hidrológica em lagos de várzea na região do Pantanal, Brasil.

## **5 CONCLUSÃO**

Esta pesquisa teve como foco principal compreender as variáveis climáticas precipitação, evapotranspiração de referência e balanço hídrico, assim como suas tendências ao longo do tempo e as relações entre estas com os índices de teleconexão na região em torno de uma importante bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. De modo geral foram constatadas tendências positiva na evapotranspiração de referência e negativa no balanço

hídrico climático, a sazonalidade é perceptível e marcada pelos períodos de chuva e estiagem e por fim, os períodos dos ciclos de chuva são menores e mais frequentes. Adicionalmente, quando se há erros ou falta de dados ou até mesmo na ausência de equipamentos, recomendam-se o uso dos modelos de Bristow & Campbell e de Souza & Silva, para estimativa da radiação solar e evapotranspiração de referência, respectivamente.

Nossos resultados revelam que os comportamentos da precipitação, da evapotranspiração de referência e do balanço hídrico climático podem exercer um impacto no ciclo hidrológico e conseqüentemente na agricultura na região, evidenciado pelas tendências destes índices climáticos. Fica claro que há existência de eventos cíclicos de precipitação, caracterizando a área com períodos chuvosos e de estiagem. Tais eventos tiveram maiores correlações com os índices BEST e PDO, o primeiro responsável pela época chuvosa e o último pela seca.

Com a tendência de aumento da evapotranspiração, e conseqüentemente do maior déficit hídrico climático, será provável que aconteça uma expansão das áreas áridas e semiáridas globais, fazendo com que toda a população seja afetada pela escassez hídrica. Tudo isto mostra importância da determinação dos períodos de plantio e a semeadura das principais culturas de importância agrônômica, cultural e econômica da bacia.

## REFERÊNCIAS

ABIY, A. Z.; MELESSE, A. M.; SEYOUM, W. M.; ABTEW, W. **Drought and climate teleconnection and drought monitoring**. 1. ed. Londres: Elsevier Inc., 2019. DOI 10.1016/B978-0-12-815998-9.00022-1.

AHMADI, M.; SALIMI, S.; HOSSEINI, S. A.; POORANTIYOSH, H.; BAYAT, A. Iran's precipitation analysis using synoptic modeling of major teleconnection forces (MTF). **Dynamics of Atmospheres and Oceans**, v. 85, p. 41–56, 2019. DOI 10.1016/j.dynatmoce.2018.12.001.

ALLEN, R.G. **Evaluation of procedures for estimating mean monthly solar radiation from air temperature**. 1995. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2001396989>. Acesso em: 8 Ago. de 2020.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ALVES, J. M. B. Recentes variações climáticas no Nordeste do Brasil com ênfase a precipitação: relações com o ENOS, Dipolo de Temperatura da Superfície do Mar no Atlântico Tropical e a Oscilação Decadal do Pacífico. **Revista de Geografia**, v. 29, n. 3, p. 147–166, 2012.

ANNANDALE, J.; JOVANOVIĆ, N.; BENADÉ, N.; ALLEN, R. Software for missing data error analysis of Penman-Monteith reference evapotranspiration. **Irrigation Science**, v. 21, n. 2, p. 57–67, 2002. <https://doi.org/10.1007/s002710100047>.

ARAÚJO, R. G.; ANDREOLI, R. V.; CANDIDO, L. A.; KAYANO, M. T.; SOUZA, R. A. F. A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, p. 469–480, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000400009>.

BACK, Á. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717–726, 2001. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2001000500001>.

BENEVIDES, J. G.; LOPEZ, D. Formula para el caculo de la evapotranspiracion potencial adaptada al tropico (15° N - 15° S). **Agronomia Tropical**, v. 20, n. 5, p. 335-345, 1970.

BERENGENA, J.; GAVILÁN, P. Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, n. 2, p. 147–163, 2005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2005\)131:2\(147\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:2(147)).

BOUGARA, H.; HAMED, K. B.; BORGEMEISTER, C.; TISCHBEIN, B.; KUMAR, N. Analyzing trend and variability of rainfall in the Tafna Basin (Northwestern Algeria). **Atmosphere**, v. 11, n. 4, p. 1–24, 2020. <https://doi.org/10.3390/atmos11040347>.

BRISTOW, K. L.; CAMPBELL, G. S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 31, n. 2, p. 159–166, 1984. DOI 10.1016/0168-1923(84)90017-0. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0168192384900170>. Acesso em: 28 Jul. 2020.

BYAKATONDA, J.; PARIDA, B. P.; KENABATHO, P. K.; MOALAFHI, D. B. Analysis of rainfall and temperature time series to detect long-term climatic trends and variability over

semi-arid Botswana. **Journal of Earth System Science**, v. 127, n. 2, p. 1–20, 2018. DOI 10.1007/s12040-018-0926-3.

CARDOZO, A. B.; REBOITA, M. S.; GARCIA, S. R. Climatologia de frentes frias na América do Sul e sua relação com o Modo Anular Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 11, p. 2237–8642, 2015.

CHEN, R.; ERSI, K.; YANG, J.; LU, S.; ZHAO, W. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. **Energy Conversion and Management**, v. 45, n. 11–12, p. 1759–1769, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.09.019>.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção Agrícola e série histórica dos grãos: milho e feijão**. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 20 de nov. de 2020.

DANTAS, L. G. **Modelagem Box-Jenkins para prognósticos de precipitação sob o Estado da Paraíba**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, 2016.

ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Estimation of monthly average daily global radiation on horizontal surface for Antalya (Turkey). **Renewable Energy**, v. 17, n. 1, p. 95–102, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00109-8](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00109-8).

FENG, S.; FU, Q. Expansion of global drylands under a warming climate. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 13, n. 19, p. 10081–10094, 2013. <https://doi.org/10.5194/acp-13-10081-2013>.

FERREIRA, A. G.; GIOVANNI, N.; MELLO, S. **Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região**. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25215>.

GAO, F.; FENG, G.; OUYANG, Y.; WANG, H.; FISHER, D.; ADELI, A.; JENKINS, J. Evaluation of Reference Evapotranspiration Methods in Arid, Semiarid, and Humid Regions. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 53, n. 4, p. 791–808, 2017. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12530>.



- GHANBARI, R. N.; BRAVO, H. R. Coherence between atmospheric teleconnections, Great Lakes water levels, and regional climate. **Advances in Water Resources**, v. 31, n. 10, p. 1284–1298, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2008.05.002>.
- GIOVANNETTONE, J.; PAREDES-TREJO, F.; BARBOSA, H.; SANTOS, C. A. C.; KUMAR, T. V. L. Characterization of links between hydro-climate indices and long-term precipitation in Brazil using correlation analysis. **Int J Climatol**. v. 40, p. 5527– 5541, 2020. <https://doi.org/10.1002/joc.6533>.
- GOODIN, D. G.; HUTCHINSON, J. M. S.; VANDERLIP, R. L.; KNAPP, M. C. Estimating Solar Irradiance for Crop Modeling Using Daily Air Temperature Data. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 5, p. 845–851, 1999. DOI 10.2134/agronj1999.915845x.
- GUIMARÃES, S. O.; COSTA, A. A.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C.; SILVA, E. M.; SALES, D. C.; ARAÚJO JÚNIOR, L. M.; SOUZA, S. G. Projeções de mudanças climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos modelos do CMIP5 e do CORDEX. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 3, p. 337–365, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-778631320150150>.
- GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M. Alternative methods of reference evapotranspiration for Brazilian climate types. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 567–578, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-7786333015>.
- HÄDER, D. P.; BARNES, P. W. Comparing the impacts of climate change on the responses and linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. **Science of the Total Environment**, v. 682, p. 239–246, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.024>.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Transactions of the ASAE**, v. 1, n. 2, p. 96–99, 1985.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z.A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 108, p. 225-230, 1982.
- HASSAN, G. E.; YOUSSEF, M. E.; MOHAMED, Z. E.; ALI, M. A.; HANAFY, A. A. New Temperature-based Models for Predicting Global Solar Radiation. **Applied Energy**, v. 179, p. 437–450, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.006>.

IPCC. **Climate Change 2014 Part A: Global and Sectoral Aspects**. 2014. Disponível em: [papers2://publication/uuid/B8BF5043-C873-4AFD-97F9-A630782E590D](https://publications2://publication/uuid/B8BF5043-C873-4AFD-97F9-A630782E590D).

IRMAK, S.; IRMAK, A.; ALLEN, R. G.; JONES, J. W. Solar and net radiation-based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 129, n. 5, p. 336–347, 2003. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2003\)129:5\(336\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:5(336)).

JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 89, n. 4, p. 15-41, 1963.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; SILVA, L. C. R. Sensitivity of ASCE-Penman–Monteith reference evapotranspiration under different climate types in Brazil. **Climate Dynamics**, v. 53, n. 1–2, p. 943–956, 2019. <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-019-04619-1>.

KAYANO, M. T.; CAPISTRANO, V. B. How the Atlantic multidecadal oscillation (AMO) modifies the ENSO influence on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 1, p. 162–178, 2014. <https://doi.org/10.1002/joc.3674>.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**, 4 ed. Londres: Charles Griffin, 1975.

KOUADIO, Y. K.; SERVAIN, J.; MACHADO, L. A. T.; LENTINI, C. A. D. Heavy rainfall episodes in the eastern northeast Brazil linked to large-scale ocean-atmosphere conditions in the tropical Atlantic. **Advances in Meteorology**, v. 2012, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/369567>.

LIU, X.; MEI, X.; LI, Y.; WANG, Q.; JENSEN, J. R.; ZHANG, Y.; PORTER, J. R. Evaluation of temperature-based global solar radiation models in China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 9, p. 1433–1446, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.03.012>.

MAHMOOD, R.; HUBBARD, K. G. Effect of Time of Temperature Observation and Estimation of Daily Solar Radiation for the Northern Great Plains, USA. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 4, p. 723, 2002. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.0723>.

MANN, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245, 1945. <https://doi.org/10.2307/1907187>.

MARENGO, J. A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology**, v. 12, p. 853–863, 1992.

MARENGO J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**, em: MEDEIROS, S. S; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. Recursos Hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande: INSA, p. 383-416, 2011.

MARENGO O. J. A.; ALVES, L. M.; ALVALA, R. C. S.; CUNHA, A. P.; BRITO, S.; MORAES, O. L. L. **Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid northeast Brazil region**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 90, n. 2, p. 1973–1985, 2018. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>.

MOLION, L. C. B. Perspectivas Climáticas Para Os Próximos 20 Anos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, 2008. <https://doi.org/10.5380/abclima.v3i0.25438>.

MORAES NETO, J. M.; BARBOSA, M. P.; ARAÚJO, A. E. Efeito dos eventos ENOS e das TSM na variação pluviométrica do semi-árido paraiban. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 61–66, 2007. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662007000100008>.

MOREIRA, J. G. V.; NAGHETTINI, M. Detecção de Tendências Monotônicas Temporais e Relação com Erros dos Tipos I e II: Estudo de Caso em Séries de Precipitações Diárias Máximas Anuais do Estado do Acre. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 394–402, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-778631231420140155>.

NOAA. **Climate Indices**: Monthly Atmospheric and Ocean Time Series: NOAA Physical Sciences Laboratory. Disponível em: <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>. Acesso em: 03 abr. 2020.

NYIKADZINO, B.; CHITAKIRA, M.; MUCHURU, S. Rainfall and runoff trend analysis in the Limpopo river basin using the Mann Kendall statistic. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 117, p. 102870, 1 Jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102870>.

LOUDIN, L.; HERVIEU, F.; MICHEL, C.; PERRIN, C.; ANDRÉASSIAN, V.; ANCTIL, F.; LOUMAGNE, C. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model Part 2 - Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-

runoff modelling. **Journal of Hydrology**, v. 303, n. 1–4, p. 290–306, 1 Mar. 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.026>.

PENEREIRO, J. C.; ORLANDO, D. V. Análises De Tendências Em Séries Temporais Anuais De Dados Climáticos E Hidrológicos Na Bacia Do Rio Parnaíba Entre Os Estados Do Maranhão E Piauí/Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 2, p. 5, 2013. <https://doi.org/10.18227/1678-7226rga.v7i2.2988>.

PETTITT, A N. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979. <https://doi.org/10.2307/2346729>.

PRĂVĂLIE, R.; PITICAR, A.; ROȘCA, B.; SFÎCĂ, L.; BANDOC, G.; TISCOVSCHI, A.; PATRICHE, C. Spatio-temporal changes of the climatic water balance in Romania as a response to precipitation and reference evapotranspiration trends during 1961–2013. **Catena**, v. 172, p. 295–312, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.028>.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, ISBN 3- 900051-07-0. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 05 nov. 2020.

REBOITA, M. S.; SANTOS, I. Influência De Alguns Padrões De Teleconexão Na Precipitação No Norte E Nordeste Do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, n. 1935, p. 28–48, 2015. <https://doi.org/10.5380/abclima.v15i0.37686>.

SALGUEIRO, J. H. P. B; MONTENEGRO, S. M. G. L. Análise da distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico. **Revista Tecnologia**, v. 29, n. 2, 2008.

SAMANI, Z. Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 126, n. 4, p. 265–267, 2000. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2000\)126:4\(265\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2000)126:4(265)).

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Ambiente & Água**, v. 8, n. 3, p. 214–228, 2013.

SANTOS, N. A.; SIQUEIRA, A. H. B.; MELO, M. L. D. Precipitação sobre a América do Sul e suas relações com a Oscilação Multidecadal do Atlântico e a Oscilação do Atlântico Norte. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, n. 12, p. 207–218, 2016.

SCHENDEL, U. **Vegetations Wasserverbrauch und Wasserbedarf**. Habilitation, Kiel, 1967.

SEN, K. P. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, v.63, n. 324, p. 1379-1389, 1968. DOI: 10.1080/01621459.1968.10480934.

SHIRASAGO-GERMÁN, B.; PÉREZ-LEZAMA, E. L.; CHÁVEZ, E. A.; GARCÍA-MORALES, R. Influence of El Niño-Southern Oscillation on the population structure of a sea lion breeding colony in the Gulf of California. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 154, p. 69–76, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.12.024>.

SILIO-CALZADA, A.; BARQUÍN, J.; HUSZAR, V. L. M.; MAZZEO, N.; MÉNDEZ, F.; ÁLVAREZ-MARTÍNEZ, J. M. Long-term dynamics of a floodplain shallow lake in the Pantanal wetland: Is it all about climate? **Science of the Total Environment**, v. 605–606, p. 527–540, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.183>

SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131–138, 2011. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662011000200004>.

SOUZA, J. M.; PEREIRA, L. R.; RAFAEL, A. M.; SILVA, L. D.; REIS, E. F.; BONOMO, R. Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration in two locations of Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 2, p. 114–126, 2014. <https://doi.org/10.7127/rbai.v8n200225>.

TABARI, H.; TALAEE, P. H. Local Calibration of the Hargreaves and Priestley-Taylor Equations for Estimating Reference Evapotranspiration in Arid and Cold Climates of Iran Based on the Penman-Monteith Model. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 16, n. 10, p. 837–845, 2011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000366](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000366).

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fotossíntese: Reações de Carboxilação**, em: TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegeral*, 6 ed. Porto Alegre: Artmed, p. 204-230, 2017.

TURC, L. Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle, formule climatique simpliffee et misea jour. **Annales Agronmique**, v. 12, n. 1, p. 13–49, 1961.

VALIANTZAS, J. D. **Temperature-and humidity-based simplified Penman's ET 0 formulae**. Comparisons with temperature-based Hargreaves-Samani and other methodologies. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.028>.

WANG, X.; WANG, B.; XU, X. Effects of large-scale climate anomalies on trends in seasonal precipitation over the Loess Plateau of China from 1961 to 2016. **Ecological Indicators**, v. 107, p. 105643, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105643>.

XIAO, M.; ZHANG, Q.; SINGH, V. P. Influences of ENSO, NAO, IOD and PDO on seasonal precipitation regimes in the Yangtze River basin, China. **International Journal of Climatology**, v. 35, n. 12, p. 3556–3567, 2015. <https://doi.org/10.1002/joc.4228>.

YU, L.; ZHANG, M.; WANG, L.; QIN, W.; LU, Y.; LI, J. Clear-sky solar radiation changes over arid and semi-arid areas in China and their determining factors during 2001–2015. **Atmospheric Environment**, v. 223, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117198>.