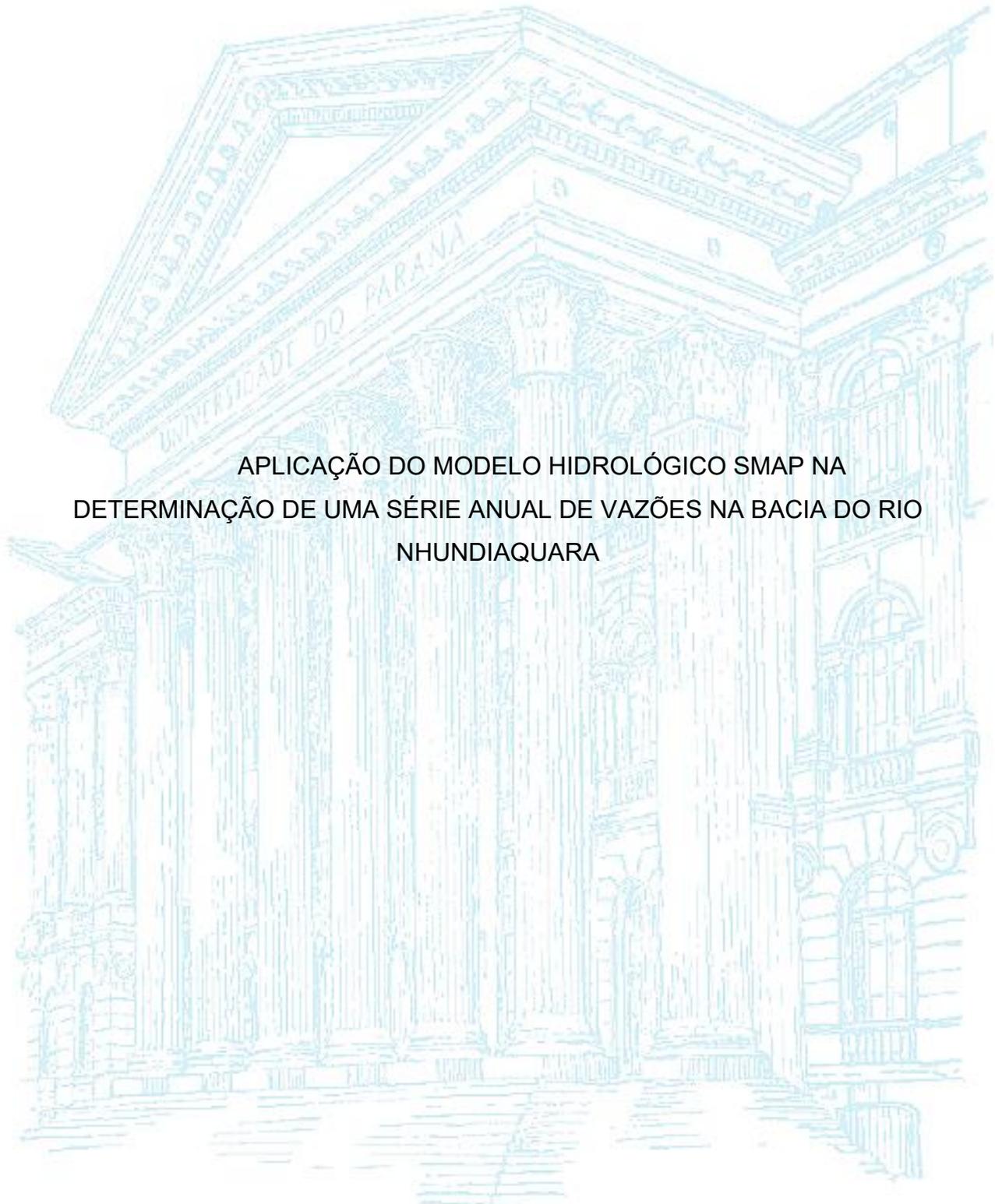


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LAIS MOREIRA MIGUEL



APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO SMAP NA
DETERMINAÇÃO DE UMA SÉRIE ANUAL DE VAZÕES NA BACIA DO RIO
NHUNDIAQUARA

PONTAL DO PARANÁ

2022

LAÍS MOREIRA MIGUEL

APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO SMAP NA
DETERMINAÇÃO DE UMA SÉRIE ANUAL DE VAZÕES NA BACIA DO RIO
NHUNDIAQUARA

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Engenheira, Curso de
Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro de
Estudos do Mar, Universidade Federal do
Paraná.

Orientador: Dr. Fernando Augusto Silveira
Armani.

PONTAL DO PARANÁ

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Avenida Deputado Anibal Khury, 2033, - Bairro Balneário Pontal do Sul, Pontal do Paraná/PR, CEP 83255-976
Telefone: 4135118600 - <http://www.ufpr.br/>

TERMO

TERMO DE APROVAÇÃO

LAIS MOREIRA MIGUEL

“Aplicação de um modelo hidrológico na Bacia do Rio Nhundiaquara - Morretes (PR) para simulação de uma série de vazões”

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal do Paraná, pela Banca formada pelos membros:

Prof^o Dr. Maurício Almeida Noernberg - CPP-CEM/UFPR

Prof^o Dr. Alexandre Bernardino Lopes - CPP-CEM/UFPR

Prof^o Dr. Fernando Augusto Silveira Armani - CPP-CEM/UFPR
Presidente

Pontal do Paraná, 14 de Setembro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **FERNANDO AUGUSTO SILVEIRA ARMANI**,
COORDENADOR(A) DE CURSO DE GRADUAÇÃO (CURSO DE ENGENHARIA
AMBIENTAL E SANITÁRIA) - PP, em 23/09/2022, às 15:09, conforme art. 1º, III, "b", da
Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **MAURICIO ALMEIDA NOERNBERG**,
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em 23/09/2022, às 15:11, conforme art. 1º,
III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ALEXANDRE BERNARDINO LOPES**,
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR, em 23/09/2022, às 15:15, conforme art. 1º,
III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador
4917292 e o código CRC **BBEA3787**.

Rua XV de Novembro, 1299 – Centro – CEP: 80.060-000 – Curitiba-PR
Fone (41) 3360-5187 – E-mail: contratos@ufpr.br

RESUMO

A precipitação é uma das variáveis essenciais do ciclo hidrológico, porém as bacias hidrográficas brasileiras se caracterizam pela baixa cobertura da rede de estações pluviométricas. Outra característica encontrada em tais bacias é o tempo de operação de estações fluviométricas e meteorológicas, o que acaba por gerar séries de variáveis hidrológicas pouco representativas das bacias hidrográficas. Diante das dificuldades impostas para a gestão de recursos hídricos, surgem estudos hidrológicos que visam gerar alternativas para obtenção de informações sobre as bacias, tal como de precipitação e de vazão. Dessa forma, desenvolveu-se este trabalho com o intuito de se analisar a eficiência das estimativas das precipitações do conjunto de dados CHIRPS em produzir vazões simuladas por um modelo hidrológico concentrado de chuva-vazão, na bacia do Rio Nhundiaquara, localizada no município de Morretes, estado do Paraná. Primeiramente comparou-se as precipitações obtidas através do satélite e do pluviômetro, em seguida fez-se a modelagem hidrológica para as duas fontes de dados utilizando o modelo de chuva-vazão SMAP, em sua versão mensal. Foram testadas formas de calibração do modelo com intuito de se obter a melhor parametrização, e conseqüentemente a melhor simulação das vazões. No geral, as estimativas do satélite apresentaram boa correlação com os dados medidos por uma estação meteorológica, porém as simulações das vazões da bacia com os dados da estação produziram resultados melhores do que com os dados do satélite. As vazões obtidas com o modelo SMAP apresentaram as seguintes estatísticas em comparação com as vazões medidas na estação: coeficiente de determinação igual a 0,47, coeficiente de Pearson igual a 0,68 e erro médio quadrático igual a 4,91. A comparação entre as vazões calculadas com as diferentes fontes de dados mostrou ainda ser o pluviômetro o que obtém as melhores respostas de vazão possível.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica. SMAP. sensoriamento remoto. CHIRPS.

ABSTRACT

Precipitation is one of the essential variables of the hydrological cycle. However, the Brazilian hydrographic basins are characterized by the low coverage of the network of pluviometric stations. Another characteristic found in such basins is the operating time of fluviometric and meteorological stations, which generates a series of hydrological variables that are not very representative of the hydrographic basins. Faced with the difficulties imposed on the management of water resources, hydrological studies have emerged that aim to generate alternatives for obtaining information about the basins, such as precipitation and flow. Thus, this work was developed to analyze the efficiency of the estimates of precipitation from the CHIRPS satellite in producing flows simulated by a concentrated hydrological model of rain-flow, in the Nhundiaquara River basin, located in the municipality of Morretes, state from Paraná. First, the rainfall obtained through the satellite and the rain gauge was compared, then the hydrological modeling was carried out for the two data sources using the SMAP rainfall-runoff model in its monthly version. Ways of calibrating the model were tested to obtain the best parameterization and, consequently, the best simulation of flows. Overall, satellite estimates correlated well with data measured by a meteorological station, but basin flow simulations with station data produced better results than with satellite data. The flows obtained with the SMAP model presented the following statistics with the flows measured at the station: coefficient of determination equal to 0.47, Pearson's coefficient equal to 0.68, and mean square error equal to 4.91. Comparing the flows calculated with the different data sources showed that the rain gauge still obtains the best possible flow response.

Keywords: Hydrological modeling. SMAP remote sensing. CHIRPS Satellite.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
1.1	OBJETIVOS	7
1.1.1.	Objetivos gerais.....	7
1.1.2.	Objetivos específicos.....	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1	O MODELO SMAP	11
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	14
3.2	MODELAGEM HIDROLÓGICA	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

Vista como uma ciência consideravelmente ampla, a hidrologia pode ser definida como o estudo da água na Terra, que leva em consideração a sua ocorrência, distribuição e circulação, juntamente com as propriedades físicas e químicas. Analisa também a sua relação com o meio ambiente, compreendendo a sua relação com as diferentes formas de vida (Definição do U.S. Federal Council of Service and Technology, citada por Chow, 1959, apud Tucci, 2004).

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise do ciclo hidrológico, principalmente na sua fase terrestre que engloba a infiltração e o escoamento superficial. Compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no exutório (Tucci, 1993).

Deste modo, a bacia hidrográfica ainda pode ser considerada um regulador temporal dos componentes terrestres do ciclo hidrológico, onde a ocorrência da água em seus diversos compartimentos influencia significativamente na disponibilidade hídrica, na ocorrência de inundações, e na dinâmica de elementos como poluentes e nutrientes (MORAES et al., 2003).

Diante disso, a hidrologia é uma ciência essencial para o entendimento dos processos naturais que dão base aos projetos de engenharia, avaliando como, quando e quanto o ciclo hidrológico pode ser alterado pelas atividades humanas (STUDART; CAMPOS, 2004).

Para avaliar as modificações do ciclo hidrológico, tem-se os modelos hidrológicos, que são uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes, sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre (RENNÓ; SOARES, 2000).

Os estudos hidrológicos exigem informações de entrada para a modelagem hidrológica, ou seja, informações das bacias hidrográficas que geralmente são obtidas em campo por meio de estações fluviométricas e meteorológicas (CARVALHO et al., 2007). Neste contexto, surge a necessidade de metodologias alternativas para suprir e melhorar os dados hidrológicos, sendo a tecnologia de sensoriamento remoto uma alternativa que tem sido muito utilizada na complementação do monitoramento existente.

Os modelos tipo chuva vazão permitem simular as vazões nas bacias hidrográficas principalmente os dados de chuva e evapotranspiração, podendo os mesmos serem obtidos através do sensoriamento remoto comparados a dados coletados em campo.

Diante do exposto, torna-se importante avaliar, comparar e estudar as alternativas de obtenção de precipitação das bacias. Dessa forma, com intuito de avaliar o desempenho de uma modelagem hidrológica utilizando dados de precipitação do conjunto de dados CHIRPS e de uma estação operada pelo Instituto Água e Terra (IAT), este trabalho apresenta uma aplicação do modelo hidrológico SMAP na determinação da vazão da bacia do rio Nhundinhaquara no município de Morretes, Estado do Paraná.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVOS GERAIS

O objetivo deste trabalho é avaliar as simulações da série de vazões com o modelo hidrológico SMAP do tipo chuva-vazão, utilizando dados de precipitação do conjunto de dados CHIRPS e da estação pluviométrica operada pelo Instituto Água e Terra (IAT) na bacia do rio Nhundiaquara, em Morretes PR.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar o modelo de chuva vazão SMAP na bacia do rio Nhundiaquara;
- Comparar o desempenho do modelo ao se utilizar dados de satélite e dados de uma estação fluviométrica;
- Definir as melhores condições para simulação de um ano de vazões com o modelo SMAP.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma das técnicas mais usadas na hidrologia para avaliação das mudanças ocorridas e seus respectivos impactos, consiste na aplicação de modelos hidrológicos. Tucci (1998) conceitua um modelo hidrológico como uma ferramenta utilizada para representar os processos que ocorrem na bacia hidrográfica e prever as consequências das diferentes ocorrências em relação às informações disponíveis.

Santos (2009) ressalta a importância da compreensão da estrutura do modelo e suas limitações, para que o mesmo seja utilizado de forma adequada. Além disso, muitos modelos necessitam de calibração para que reproduza o mais próximo possível o fenômeno a ser modelado. Alguns parâmetros relacionados aos métodos matemáticos de cada modelo descrevem as características e os processos físicos de uma bacia. Em suma, há três grupos de parâmetros:

- Parâmetros obtidos através de ensaios em uma área experimental, em laboratórios ou de acordo com as características geométricas dos elementos;
- Parâmetros obtidos através da literatura, com base em trabalhos efetuados na bacia em estudo ou em áreas semelhantes;
- Parâmetros que precisam de calibração.

Na calibração dos modelos hidrológicos, existem mais de um conjunto de parâmetros capazes de representar os processos hidrológicos, devido às incertezas inerentes aos dados, das simplificações do modelo e da representatividade dos parâmetros. Por isso, o ajuste dos parâmetros se torna uma etapa que envolve o maior empenho para o usuário, necessitando de melhor entendimento do comportamento do modelo e dos parâmetros e aos problemas com a qualidade e representatividade dos dados hidrológicos (COLLISCHONN; TUCCI, 2003).

Além disso, existe uma limitação no uso de modelos hidrológicos que se baseiam na qualidade dos dados de entrada e na sua quantidade. As simplificações utilizadas nas fórmulas matemáticas precisam ser analisadas com cuidado.

O modelo hidrológico SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*) vem sendo aplicado pela comunidade científica em diferentes regiões do Brasil, com diferentes características e obtendo bons resultados.

Pereira (2017) utilizou o modelo para obter as vazões diárias para bacias hidrográficas do semiárido cearense. O modelo foi calibrado e validado para as bacias de 3 postos fluviométricos. Em seu estudo, ele concluiu que o modelo é eficiente e eficaz para a modelagem concentrada de bacias no Ceará, e recomendou que a indisponibilidade de dados pode ser suprida através da regionalização de parâmetros.

O modelo também foi utilizado por Campos et. al. (2018) na bacia hidrográfica do rio Almada – BA. Nessa bacia, a calibração do SMAP foi realizada com os dados mensais de precipitação, vazão e evapotranspiração, de seis estações pluviométricas obtidas através do HidroWeb, da bacia em questão. As vazões obtidas foram validadas, com correlação linear de 0,90, coeficiente de determinação 0,78 e o coeficiente de Nash 0,90. Logo, o modelo revelou ter uma boa aplicabilidade.

A garantia de modelagens de qualidade depende da qualidade das informações inseridas nos modelos, onde uma rede de monitoramento de precipitação pluviométrica de confiável pode servir como base para validar informações provenientes de radares e outros sensores (BERNARDI, 2016).

Atualmente há ferramentas e tecnologias disponíveis para obtenção de informações precisas sobre as bacias hidrográficas, e que podem ser obtidas remotamente, tal como as advindas de sensoriamento remoto. Com o Sistema de Informações Geográficas (SIG) é possível se obter a área de bacias hidrográficas e informações específicas sobre os recursos hídricos, tal como precipitação e evapotranspiração.

Tais técnicas em SIG estão sendo incorporadas em modelos hidrológicos com a finalidade de extrair e formatar dados distribuídos de bacias hidrográficas. Usado em conjunto com modelos digitais de elevação, a representação fisiográfica e hidrológica completa das bacias pode ser facilmente realizada. O sensoriamento remoto é uma das tecnologias emergentes que vem sendo amplamente utilizadas na obtenção de dados hidrológicos.

O sensoriamento remoto pode ser definido como um registro de informações das regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e micro-ondas do

espectro eletromagnético, sem haver contato, sendo obtidos através de satélites, e a análise da informação adquirida é realizada por meio visual ou processamento digital e imagens (JENSEN, 2009).

Através de softwares dedicados exclusivamente para processamento digital, é possível gerar diversos produtos, como mapas temáticos, que são usados para estudos de geologia, vegetação, uso do solo, relevo, agricultura, rede de drenagem, inundações, entre outros.

Nos últimos anos, um novo modo de aquisição de dados de sensoriamento remoto foi disponibilizado através da plataforma Google Earth Engine (GEE). O GEE fornece de forma fácil e pronta para análise, um extenso catálogo de imagens de satélite e outros dados geoespaciais. O conjunto de dados fornecidos inclui todo o catálogo Landsat (USGS/NASA), vários conjuntos de dados MODIS, dados de precipitação, dados de temperatura da superfície do mar, dados climáticos CHIRPS, dados de elevação, entre outras coisas. (GEE, 2020).

A plataforma vem ganhando notoriedade científica, sendo utilizada em diversas áreas como na hidrologia mapeando interceptação de chuva (FARIAS, et al., 2021), validando modelo hidrossedimentológico (MANARA, et al., 2020), mapeando de inundações (Alonso et al., 2020), em análises ambientais de mapeamento do uso e cobertura do solo (CARVALHO et al., 2021), e também na agricultura (Saraiva et al., 2020).

Santana (2019) utilizou o SMAP em sua versão mensal para avaliar a qualidade das estimativas do satélite comparando-as com dados de pluviômetro disponíveis na Bacia do Rio Mundaú. Os parâmetros calibráveis do modelo SMAP demonstraram que as duas fontes de dados resultam em características divergentes para a bacia, sendo que os dados de pluviômetro obtiveram melhores resultados para a modelagem e representaram melhor as condições da bacia; já o produto do sensoriamento remoto até mostrou-se capaz de representar a vazão para a bacia, entretanto os parâmetros resultantes da modelagem mostraram que tais dados ainda possuem deficiências para representar a bacia.

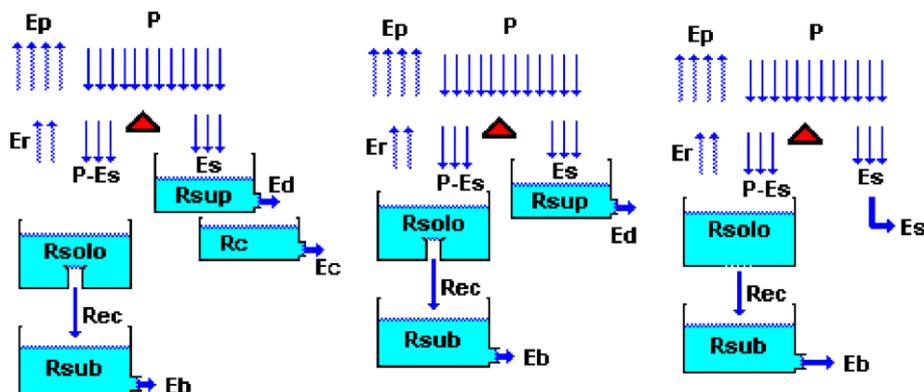
2.1 O MODELO SMAP

O modelo conceitual de simulação hidrológica SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*) é do tipo chuva-vazão, foi desenvolvido por Lopes, J.E.G., Braga, B.P.F. e Conejo, J.G.L, em 1981. Criado baseado na aplicação do modelo Stanford Watershed IV e do modelo Mero pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo (DAEE). O SMAP foi originalmente desenvolvido para intervalo de tempo diário e, posteriormente, apresentado em versão horária e mensal (ANNEL, 2017), possuindo então versão mensal, diária e horária, apresentadas na Figura 1.

Sendo elas:

- R_{SOLO} - reservatório do solo (zona aerada)
- R_{SUP} - reservatório da superfície da bacia
- R_{SUB} - reservatório subterrâneo (zona saturada)
- R_C - reservatório do canal
- P - chuva
- E_S - Escoamento superficial
- E_D - Escoamento direto
- E_C - Escoamento do canal
- E_P - Evaporação potencial
- E_R - Evapotranspiração real
- R_{EC} - Recarga subterrânea
- E_b - Escoamento básico.

Figura 1 - Versões SMAP: horário, diário e mensal.



Dados: Lopes (1999).

A versão mensal do modelo utiliza três parâmetros característicos da bacia, a constante de recessão (Kkt), o teor de umidade inicial (TU_{in}) e vazão básica inicial (E_{bin}). Os três parâmetros foram determinados empiricamente, onde um valor inicial foi definido e aferido manualmente

Tal versão é formada por dois reservatórios matemáticos, o do solo (R_{SOLO}) que representa o reservatório de água da zona aerada e o subterrâneo (R_{SUB}) simula o reservatório de água da zona saturada. Suas variáveis de estado são atualizadas mensalmente pelas Equações 1 e 2.

Os reservatórios são calculados para cada dia da seguinte forma:

$$R_{SOLO(i+1)} = R_{SOLO} + P - E_S - E_R - R_{EC} \quad (1)$$

$$R_{sub(i+1)} = R_{sub(i)} + R_{EC} - E_B \quad (2)$$

A inicialização é calculada por meio de:

$$R_{SOLO(1)} = TU_i \times Str \quad (3)$$

$$R_{SOLO(1)} = \frac{\frac{E_{bin}}{1-Kkt}}{Ad \times 2630} \quad (4)$$

O modelo SMAP utiliza quatro funções de transferência, em sua versão mensal, determinadas por: escoamento superficial (E_S), evapotranspiração real (E_R), recarga subterrânea (R_{EC}), e escoamento básico (E_B). Uma parte da água é transferida como escoamento superficial quando o evento de precipitação (P) acontece, que é calculada utilizando a equação do método SCS (Soil Conservation Service do U.S. Department of Agriculture).

Na sequência são apresentadas as equações das quatro funções de transferência do modelo.

1. Função de transferência do escoamento superficial (E_S)

$$\begin{aligned} E_S &= f1 \times P \\ f1 &= T_U^{Pes} \\ T_U &= \frac{R_{SOLO}}{Str} \end{aligned} \quad (5)$$

2. Função de transferência da evapotranspiração real (E_R)

$$\begin{aligned} E_S &= f2 \times E_p \\ f1 &= T_U \\ T_U &= \frac{R_{SOLO}}{Str} \end{aligned} \quad (6)$$

3. Função de transferência da recarga subterrânea (R_{REC})

$$R_{REC} = f3 \times R_{SOLO}$$

$$f3 = C_{REC} \times T_U^4 \quad (7)$$

$$T_U = \frac{R_{SOLO}}{Str}$$

4. Função de transferência do escoamento básico (E_B)

$$E_B = f4 \times R_{SUB}$$

$$f4 = 1 - Kk \quad (8)$$

Para isso é necessário definir que:

- $Kk = 0,5 \left(\frac{1}{Kkt} \right)$
- C_{REC} e T_U – são multiplicados por 100

Por fim a vazão pode ser calculada através da Equação 9.

A Equação (9) é utilizada para calcular a vazão prevista, quando o transbordamento do reservatório do solo é transformado em escoamento superficial. Depois de inicializados os reservatórios, podem ser calculados os valores da vazão. A constante do denominador “2630” corresponde a 1/1000 do número de segundos em um mês.

$$Q_{prev} = \frac{(E_S + E_B) \times AD}{2630} \quad (12)$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O litoral brasileiro possui aproximadamente 7.500 km de extensão e 17 estados litorâneos com inúmeras características geográficas como ilhas, recifes e baías, do qual o litoral paranaense é um dos menos extensos, com 98 km. O litoral do Paraná se encontra na mesorregião metropolitana de Curitiba, especificamente na microrregião de Paranaguá. O mesmo é composto por sete municípios, são eles: Antonina, Guaraqueçaba, Guaratuba, Matinhos, Morretes, Paranaguá e Pontal do Paraná.

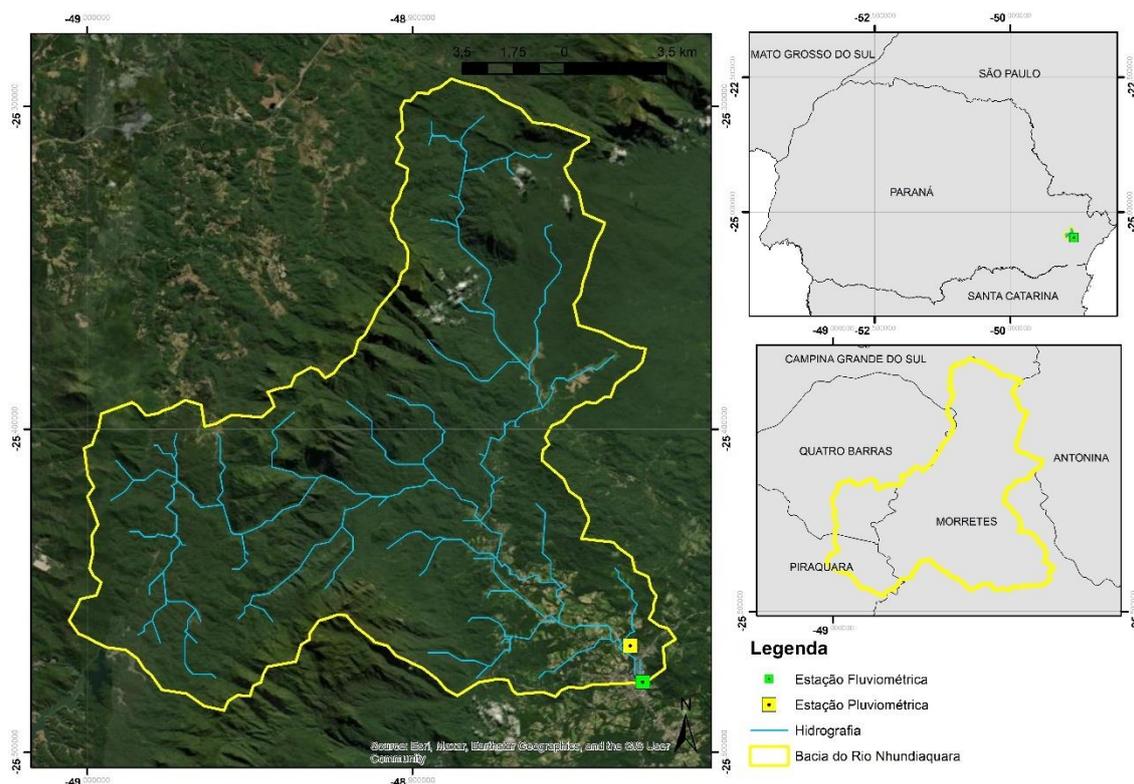
Ângulo (1992) define a Planície Litorânea como desde o pé da Serra até o oceano, com um pouco mais de 90 km de comprimento e largura de cerca de 55 km na região de Paranaguá. O mesmo autor ainda divide a região litorânea do Paraná em duas bacias hidrográficas: a de Paranaguá e a de Guaratuba, com 3.882 km² e 1.886 km², respectivamente.

O litoral paranaense possui expressivo fluxo turístico nos meses de temporada (verão), onde a Secretaria de Estado do Turismo (Setu) informa que a média de turistas que visita o litoral é em torno de 1.500.000 pessoas, onde Morretes atrai cerca de 8% desse total. Esse indicador revela o fato de que o turismo de tipo histórico cultural que ali se configura não consegue um desempenho equivalente ao do turismo de “sol e praia” dos municípios costeiros do litoral sul (Pierri *et al*, 2006).

Cerca de 82% da área da bacia do Rio Nhundiaquara fica dentro do território do município de Morretes, tornando-o muito importante no estudo. Morretes se localiza a cerca de 65 km da capital do estado, Curitiba, e tem uma população estimada de 16.485 habitantes, com uma área de 684,580 km² (IBGE, 2021).

A bacia estudada neste trabalho contempla o Rio Nhundiaquara (Figura 2), ocupando a porção Leste do Estado do Paraná, entre a Serra do Mar e o Litoral, com seus cursos d'água desaguando na Baía de Paranaguá (SILVA, 2001). Localiza-se entre as coordenadas 25°17'08" 01 e 25°16'48",35 Latitude S e entre as longitudes 48°40' 34",37 e 48°40 '09",37 W.

Figura 2- Perímetro que define a bacia do Rio Nhundiaquara.



Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com o IPARDES (2001), o clima predominante de Morretes (onde se localiza a maior porção da bacia do Nhundiaquara), está inserido na faixa de Encosta, e segundo a classificação Koeppen é do tipo Cfa - Subtropical Úmido Mesotérmico, podendo ser definido por verões quentes e geadas menos frequentes, sem estação seca definida. Já nas altitudes situadas acima de 700 a 1532 metros, segundo o IPARDES (1995) na Serra do Mar, o tipo é o Cfb, que possui precipitações regulares todos os meses, geadas severas e não apresenta estação seca.

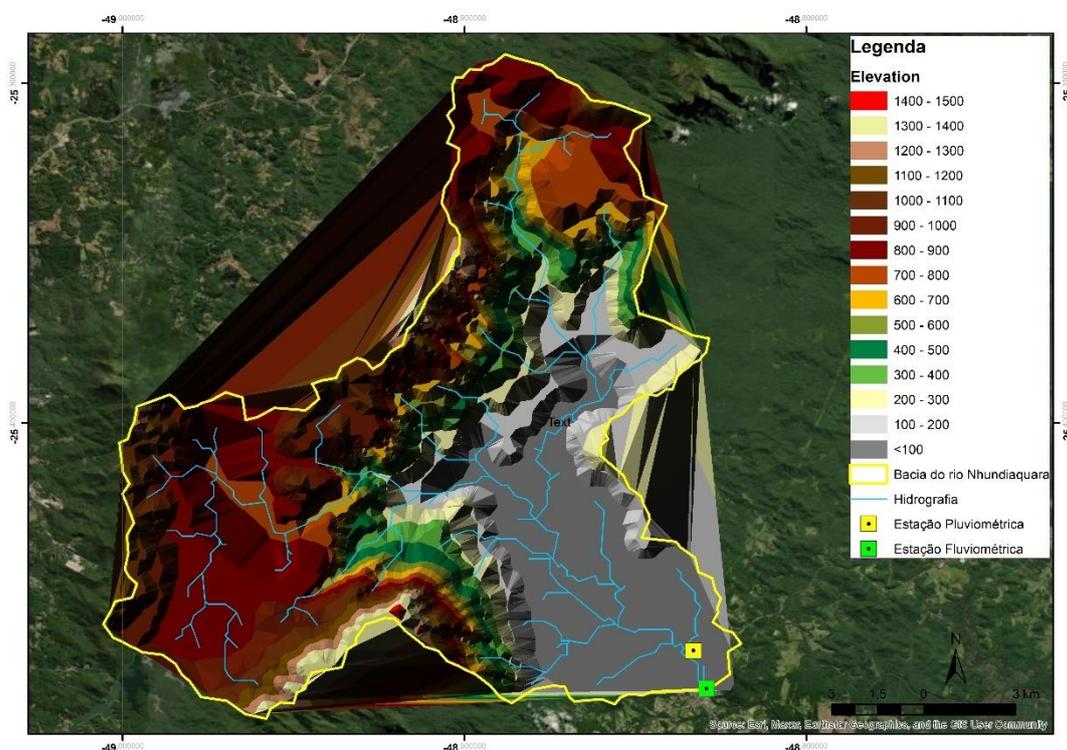
A estação meteorológica de Morretes (Figura 2) mostra temperatura média anual de 20,7°C, máxima de 26,2°C e mínima de 16,9°C, valendo ressaltar que a estação que está localizada em baixa altitude, não refletindo a realidade de toda a bacia do rio Nhundiaquara IPARDES (2001).

Os índices anuais de chuva dos trinta e três últimos anos evidenciam a elevada incidência de chuvas, relativamente bem distribuídas em todos os anos, com aumento significativo de volume no verão quando comparado às outras estações (IAPAR, 2019). Na faixa de baixada, as médias indicam uma precipitação próxima de 1989mm anuais, com 203 dias chuvosos durante o ano.

Os dados de umidade relativa do ar, na Estação de Morretes, demonstram que há um elevado percentual de umidade, variando na ordem de 81% a 87%. A evapotranspiração potencial anual é na faixa de 800 a 900mm, provocando excedentes hídricos anuais superiores a 1.200mm (SILVA, 2001).

A bacia Rio Nhundiaquara possui grande elevação de altitude (Figura 3), variando de 50 metros a mais de 1000 metros na altitude na Serra, e por isso, pode ser dividida em três regiões: os planaltos, as altas serras e a região litorânea.

Figura 3 - Mapa hipsométrico da bacia do Nhundiaquara e arredores.



Fonte: Autoria própria (2022).

3.2 MODELAGEM HIDROLÓGICA

A vazão do Rio Nhundiaquara será estimada com o modelo de chuva-vazão de simulação hidrológica SMAP usando dados mensais da estação meteorológica “Morretes”, e informações de satélite extraídas através do Google Engine.

As variáveis de entrada e saída do modelo estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis de entrada e saída.

Sigla	Descrição da Variável	Tipo
<i>P</i>	Chuva média mensal na bacia [mm]	Entrada
<i>EP</i>	Evapotranspiração potencial [mm]	Entrada
<i>AD</i>	Área de drenagem [km ²]	Entrada
<i>Ai</i>	Abstração Inicial [mm]	Entrada
<i>Capc</i>	Capacidade de campo [%]	Entrada
<i>TU_i</i>	Teor de umidade inicial [adimensional]	Entrada
<i>Ebin</i>	Vazão básica inicial [m ³ /s]	Entrada
<i>Q_{obs}</i>	Vazão observada no dia i [m ³ /s]	Entrada
<i>Q_{prev}</i>	Vazão prevista no dia i [m ³ /s]	Saída

O modelo utiliza parâmetros de entrada que podem ser calibrados, vide Tabela 2. Os parâmetros *Capc* e *Kkt* são valores estimados baseados em processos físicos. Os parâmetros *Str*, *K2t* e *Crec* são calculados com base nas séries históricas de precipitação e vazão (LOPES, 1982).

Tabela 2 - Parâmetros de entrada.

Sigla	Descrição do Parâmetro	Calibração
<i>Str</i>	Capacidade de saturação do solo [mm]	Automática ou Manual
<i>Ecoef</i>	Coefficiente de ajuste da evapotranspiração	Automática ou Manual
<i>Crec</i>	Parâmetro de recarga subterrânea [%]	Automática ou Manual
<i>K2t</i>	Constante de recessão do escoamento superficial [dias]	Automática ou Manual
<i>Kkt</i>	Constante de recessão do escoamento básico [dias]	Automática ou Manual

Na Tabela 3 são apresentados os limites referentes aos valores dos seis parâmetros de entrada do SMAP. Estes limites foram propostos e definidos a partir da experiência com a aplicação do modelo em bacias de diversas regiões do Brasil (LOPES, 1982).

Tabela 3 - Limite dos parâmetros.

Limites do Parâmetros	Unidade de Medida
$400 \leq Str \leq 5000$	mm
$0,1 < Pes < 10$	Adm
$0 < Crec < 70$	%
$1 < Kkt < 6$	Meses

Os valores dos parâmetros de entrada do modelo SMAP são estimados baseados em processos físicos. O parâmetro Ai retrata as perdas antes do escoamento superficial iniciar e é determinado de acordo com as características da cobertura vegetal. A capacidade de campo é o limite superior de umidade que determinado solo apresenta de acordo com a interação da água com características físicas e químicas do solo. Lopes (1999) sugeriu valores para esses dois parâmetros em bacias hidrográficas brasileiras, e os mesmos estão expressos na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores da abstração inicial (Ai) e capacidade de campo ($Capc$).

Parâmetro	Valor	Característica
Ai	2,5	Campo
	3,7	Mata
	5,0	Floresta densa
$Capc$	30	Solo arenoso
	40	Solo misto
	50	Solo argiloso

Os dados de vazão e precipitação da estação hidrológica foram obtidos através do site *Hidroweb*, ferramenta integrante do Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNIRH). A estação fluviométrica (código 82170000) e pluviométrica (código 2548000), denominadas “Morretes”, são de responsabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e operadas pelo Instituto Água e Terra (IAT).

Os dados de entrada de evapotranspiração e precipitação foram obtidos através de dados de satélite, com o software *Google Earth Engine*, somente para a área da bacia.

A série de precipitações foram geradas do satélite CHIRPS (*Climate Hazards Group Infra-Red Precipitation with Station*), um conjunto de dados de precipitação com cobertura espacial quase global, iniciado em 1981, possui resolução espacial de 0,05° interpolados com dados da estação reais para criar séries temporais de precipitação em grade para análise de tendências e monitoramento precipitações (GEE, 2020). A série foi gerada de forma diária, de janeiro de 2001 até dezembro de 2019, e acumuladas mensalmente.

Por sua vez, as evapotranspirações utilizadas foram produto de sensoriamento remoto MOD16A2 de evapotranspiração global, geradas a partir do registro de informações pelo sensor MODIS dos satélites Aqua/Terra. Esse é um produto composto de 8 dias produzido com resolução de pixel de 500 metros. O algoritmo usado para a coleta do produto de dados MOD16 é baseado na lógica da equação de Penman-Monteith, que inclui entradas de dados diários de reanálise meteorológica junto com produtos de dados de sensoriamento remoto MODIS, como dinâmica de propriedades da vegetação, albedo e cobertura da terra (GEE, 2020). A série foi gerada de 8 em 8 dias, de janeiro de 2001 até dezembro de 2019, e somadas para acumuladas mensalmente.

Sendo assim, todo conjunto de dados obtidos para delimitação da bacia e obtenção dos dados de satélite estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Conjunto de dados utilizados nesse estudo.

Dados	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Formato de Dados	Cobertura Temporal	Uso
MODIS	500 m	8 dias	GeoTiff	2001-2019	Evapotranspiração
CHIRPS	5566 m	diário	GeoTiff	2001-2019	Precipitação
ANA	Pontual	diário	CSV	1938-2020	Precipitação
ANA	Pontual	Diário	CSV	1938-2020	Vazão
SRTM	90 m	-	GeoTiff	2009	Dados de Altitude e drenagem
Hidrográfica Ottocodificada	1:250.000	-	Shapefile	2020	Limites das bacias hidrográficas
Limite Administrativo	1:250.000	-	Shapefile	2020	Limites estaduais e municipais

Os resultados das simulações com os dados de chuva medidos na estação e obtidos por meio de satélites foram comparados para determinar a

melhor fonte de dados para simulação. Além disso, com a melhor fonte de dados de precipitação avaliou-se qual período de calibração produz as vazões simuladas mais próximas das vazões medidas na estação. Para isso, foram realizadas as simulações dispostas na Tabela 6.

Tabela 6 - Período de calibração.

Calibração	Período de Calibração	Período de Simulação
1	2015-2018	2019
2	2016-2018	2019
3	2017-2018	2019
4	2018	2019

Utilizou-se as seguintes estatísticas de comparação das séries de vazões simuladas e medidas: coeficiente de correlação linear de Pearson (r), aferindo-se assim o grau de aproximação entre as variáveis em uma escala, em módulo, de 0 a 1, sendo o limite inferior classificatório como baixa a relação e o superior como alta.

O coeficiente de Nash-Sutcliffe também foi utilizado comparar as medições e as simulações. O coeficiente varia de $-\infty$ a 1; quanto mais próximo de 1 mais próximos estão as vazões.

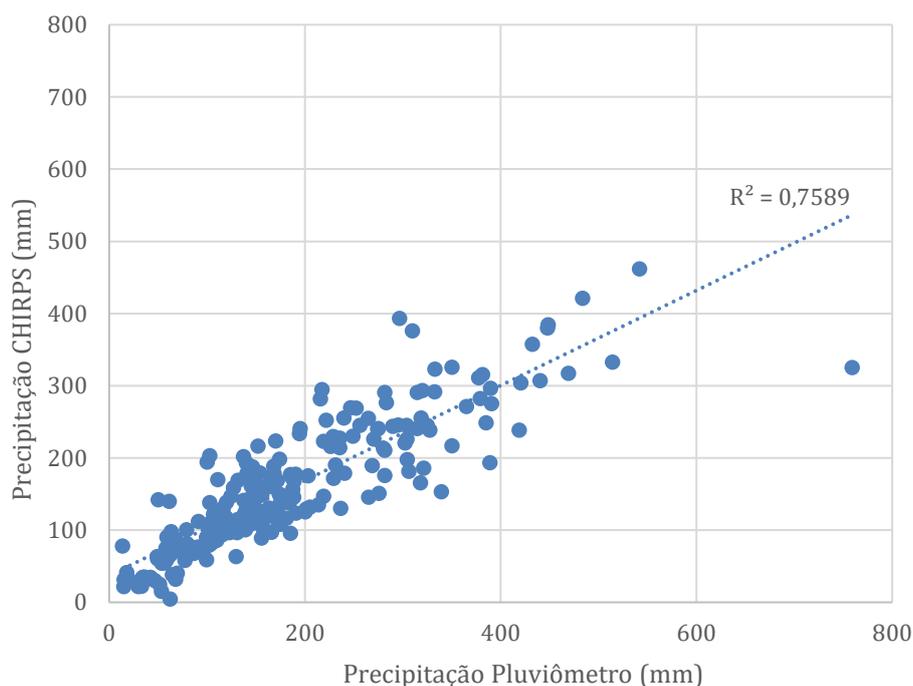
Também se fez uso do Erro Quadrático Médio (EQM), que indica a raiz quadrada da média das diferenças quadráticas entre as medições e as simulações. Quanto mais próximo de zero menor é a diferença.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente foi delimitado o período de estudo com base na disponibilidade dos dados das estações pluviométricas, fluviométrica e dos satélites MODIS e CHIRPS, limitando aos anos de 2015 a 2019.

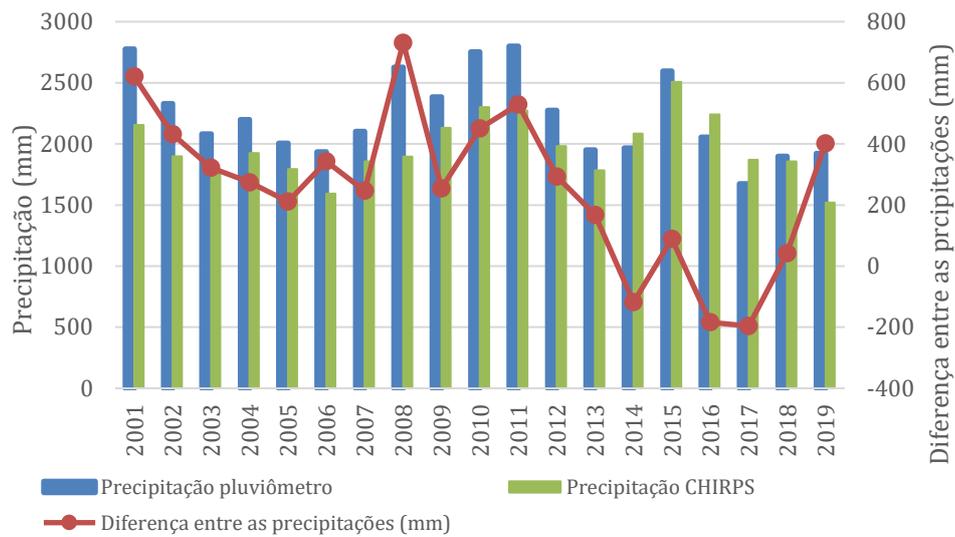
A série histórica mensal de precipitação, obtida através do conjunto de dados CHIRPS e do pluviômetro, entre os anos de 2001 e 2019 foi plotada na Figura 4, que a dispersão dos dados obtidos pelos dois modos. O coeficiente de determinação (R^2) da reta estabelecida foi de aproximadamente 0,76 e o coeficiente de Pearson de 0,87. Nota-se nessa figura, que os dados estimados por satélite acompanham o comportamento das precipitações observadas, porém são em geral menores do que as precipitações da estação pluviométrica.

Figura 4 - Relação entre precipitação de pluviômetro e do conjunto de dados CHIRPS, de 2001 a 2019.



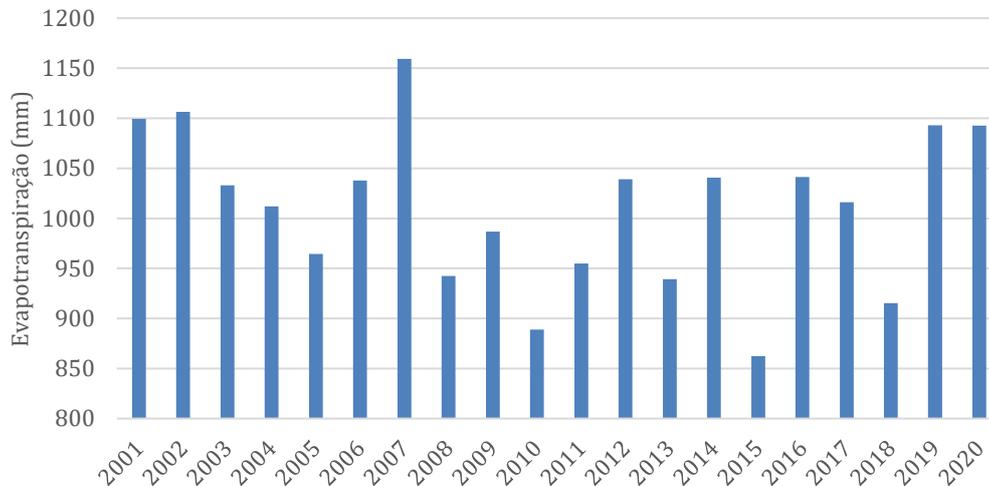
A Figura 5 mostra o comparativo em escala anual de precipitação acumulada. Percebe-se que o dados do produto CHIRPS apresentaram valores menores de precipitação em 16 dos 19 anos de dados disponíveis. Não foi possível perceber um padrão na diferença entre os dados observados e estimados por satélite, pois variaram ano a ano.

Figura 5 - Precipitação anual acumulada.



A evapotranspiração anual obtida através do satélite MODIS, pode ser observada na Figura 6.

Figura 6 - Evapotranspiração anual.



A fim de se identificar qual precipitação obtém vazões mais próximas das vazões medidas na estação fluviométrica, foram realizadas duas simulações, uma com os dados de precipitação do CHIRPS e outra com os dados medidos no pluviômetro. A partir de agora o intuito é simular as vazões do ano mais recente de dados que estão à disposição, o ano de 2019, fazendo uso dos últimos quatro anos de medição para calibração do modelo, período de 2015 à 2018.

As variáveis de entrada foram definidas com base nas características da bacia e podem ser observadas na Tabela 7. A abstração inicial bem como a capacidade de campo foram escolhidas com base nos valores sugeridos por Lopes (1999) para bacias hidrográficas brasileiras, porém na simulação das vazões mensais, a abstração inicial e a capacidade de campo não mostraram mudanças significativas nas vazões calculadas. Essas variáveis foram alteradas dentro do intervalo disposto na Tabela 3, mas a diferença entre as vazões simuladas e observadas não variaram, evidenciando pouca influência das mesmas no cálculo das vazões mensais.

Tabela 7 - Variáveis de entrada do modelo SMAP.

Descrição da Variável	Valor de entrada
Área de drenagem [km ²]	236
Abstração Inicial [mm]	4
Capacidade de campo [%]	40
Teor de umidade inicial [adm]	80
Vazão básica inicial [m ³ /s]	1

A Tabela 8 apresenta os valores encontrados para as estatísticas de comparação para as calibrações propostas com os diferentes dados de precipitação, e a Figura 7 os gráficos de dispersão que mostram os melhores resultados encontrados para as vazões de 2019. A melhor resposta encontrada para o período de simulação foi utilizando dois anos de dados de pluviômetro para calibrar o modelo.

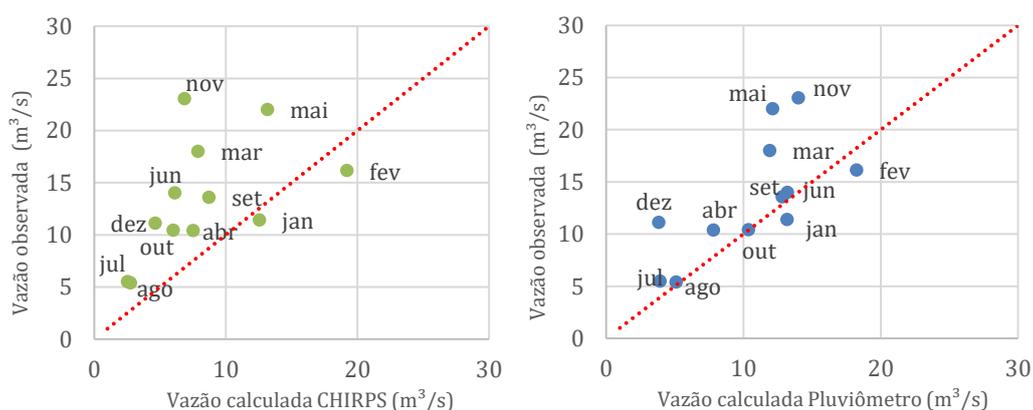
Tabela 8 – Estatísticas de comparação das resultado encontrados.

Dados	Calibração	r ²	r	NS	EQM
Pluviômetro	1	0,21	0,46	-0,373	6,72
	2	0,20	0,45	-0,663	6,96
	3	0,47	0,68	0,172	4,91
	4	0,25	0,50	-0,409	6,41
CHIRPS	1	0,23	0,48	-0,671	6,16
	2	0,23	0,49	-0,528	6,49
	3	0,26	0,51	-0,361	6,15
	4	0,27	0,58	-0,794	6,99

Os resultados obtidos com dados do satélite CHIRPS, no geral, não resultaram em boas correlações em nenhuma das 4 calibrações, sendo a melhor

calibração a que foi realizada com um ano anterior de dados, a simulação 4, obtendo coeficiente de determinação igual a 0,27, coeficiente de Pearson igual a 0,51 e EQM igual a 6,99. Já com os dados do pluviômetro, a Calibração 4 com dois anos de dados. Obteve simulações melhores em relação às outras apresentando coeficiente de determinação igual a 0,47, coeficiente de Pearson igual a 0,68 e EQM igual a 4,91.

Figura 7 - Gráficos de dispersão: à direita está a simulação com os dados de chuva obtidos pelo pluviômetro e à esquerda pelo satélite CHIRPS.



Nota-se que na maior parte do tempo as vazões simuladas com dados de satélite são menores do que as concentrações observadas, e que as simulações com os dados do pluviômetro de fato produziram resultados melhores.

No processo de calibração do modelo geraram-se quatro parâmetros, sendo eles: capacidade de saturação do solo (Str), parâmetro de escoamento superficial (Pes) e coeficiente de recarga (Crec). Os coeficientes calibrados para o ano de estudo são apresentados na Tabela 9, conforme a fonte de dados de precipitação.

Tabela 9 - Parâmetros calibrados para o modelo SMAP.

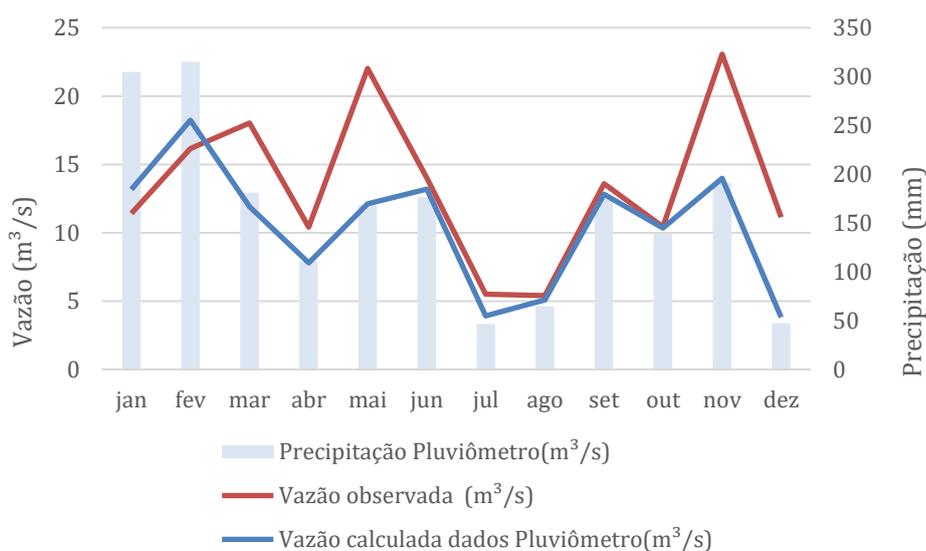
Precipitação	Str (mm)	Crec (%)	Pes (ad.)
CHIRPS	400	1,1	3
Pluviômetro	1778	0,5	4,2

Ao analisar os parâmetros apresentados, pode-se observar que as modelagens apresentaram características divergentes para a bacia: Em relação

aos limites definidos por Lopes (1999) para a variável de saturação (400 a 5000 mm), ambos os modelos geraram um cenário de baixa saturação; quanto ao parâmetro Crec, que representa a capacidade de recarga do solo, apresentou as maiores diferenças entre as duas simulações. Já o parâmetro de escoamento superficial (PES) não apresentou grande diferença para as duas modelagens.

Com as análises anteriores foi possível identificar a melhor fonte de dados e período de calibração do modelo. A Figura 8 exibe o hidrograma das vazões mensais e a precipitação acumulada mensal, onde é possível notar a resposta das vazões dada a precipitação. Graficamente é possível perceber que em alguns meses o regime de vazões responde instensamente à contribuição de precipitação. Porém, nota-se um pequeno atraso da vazão quando esse aumento acontece após um regime de decrescimento.

Figura 8 – Pluviograma mensal acumulado e fluviograma médio mensal em 2019.



Os erros percentuais das vazões mensais simuladas em relação às vazões mensais observadas foram dispostos na Tabela 10. Os erros percentuais foram obtidos pelo módulo da fração entre a diferença das concentrações mensais apresentadas na Figura 8 e as concentrações observadas. Nota-se que os meses de junho, agosto, setembro e outubro apresentaram os melhores resultados, com erro variando entre 1 e 6%. Tais estatísticas demonstram que o

modelo possui períodos em que as simulações conseguem chegar em valores bem próximos aos observados.

Tabela 10 - Erro percentual.

Mês	Vazão Observada (m³/s)	Vazão Calculada (m³/s)	Erro percentual (%)
Jan	11,43	13,17	15
Fev	16,16	18,24	13
Mar	18,02	11,9	34
Abr	10,4	7,81	25
Mai	22,02	12,12	45
Jun	14,02	13,19	6
Jul	5,52	3,91	29
Ago	5,4	5,09	6
Set	13,59	12,82	6
Out	10,45	10,36	1
Nov	23,07	13,99	39
Dez	11,14	3,82	66

Maciel (2017) relata em seu estudo que tal dispersão encontrada em alguns meses pode ser explicada por uma possível interferência de outros fatores extrínsecos, que resultam também em uma variabilidade no regime de vazões e na própria quantidade de chuva precipitada, justificando assim a dificuldade de estabelecer os parâmetros.

Marcon (2019) descreve sobre as séries de dados de precipitação e vazão serem causadoras de erros, tendo em vista que foram obtidas de um único posto pluviométrico e fluviométrico, ou seja, a intensidade e distribuição da chuva foi considerada a mesma para toda a área da sub-bacia. Tal consideração acaba gerando divergências nos volumes de precipitação que realmente contribuíram para as vazões medidas no exutório da região estudada. Somado ao fato da obtenção de chuva em um único posto pluviométrico deve-se considerar o retardamento do fluxo d'água por armazenamento, em função das altas declividades da bacia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou de avaliar o desempenho de uma modelagem hidrológica utilizando dados de precipitação obtidos através de satélites comparados aos dados obtidos em estação pluviométrica para cálculo de uma série de um ano de vazões. A precipitação oriunda do conjunto de dados CHIRPS apresentou a capacidade de representar a bacia do rio Nhundiaquara, obtendo uma boa correlação com os dados observado, mesmo subestimando-os na maior parte do tempo.

A utilização das precipitações do conjunto de dados CHIRPS não obtiveram resultado satisfatório na obtenção de vazões pelo modelo hidrológico SMAP, sendo ainda o pluviômetro melhor alternativa na obtenção de precipitação para cálculo de vazão.

Tanto o coeficiente de Pearson, quanto o coeficiente de determinação, indicaram que existe moderada correlação entre os dados de vazão observados e calculados pelo modelo SMAP com dados de pluviômetro. As simulações demonstraram ainda que existem períodos em que as simulações conseguem alcançar valores bem próximos aos observados.

As inconsistências encontradas ao longo da modelagem hidrológica podem estar relacionadas à várias questões como a escassez de dados (precipitação e evapotranspiração), fator determinante para uma eficaz modelagem, tendo em vista que para esse estudo a chuva foi retirada de um posto pluviométrico e a evapotranspiração de dados de satélite.

Enfim, sugere-se que novos projetos abordem a relação chuva-vazão na bacia do rio Nhundiaquara, aplicando métodos e análises diversas, englobando quantidade, intensidade das chuvas, período de retardo, estações, e demais fatores influenciadores neste processo extrínsecos à dinâmica da pluviosidade.

Tendo em as dificuldades encontradas durante a calibração e parametrização do modelo, para conseguir melhor proximidade com a realidade, abaixo são listadas recomendações para trabalhos futuros:

- Estudar diferentes períodos tanto para calibração quanto para simulação;
- Explorar diferente metodologias de calibração para o modelo;
- Avaliar o desempenho do modelo em vazões de referência extraídas a partir da curva de permanência dos dados de vazão.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, A., MUÑOZ-CARPENA, R., KAPLAN, D. Coupling high-resolution field monitoring and MODIS for reconstructing wetland historical hydroperiod at a high temporal frequency. **Remote Sensing of Environment**, v. 247, p. 111807, Set. 2020.

ANNEL. **Nota Técnica nº 089**. 2017. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/NT%20089%20-%20modelo%20SMAP%20-%20rev2.pdf. Acesso em: 01 de agosto de 2021.

ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. São Paulo, 1992. 334 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.

BERNARDI, E. C. S. **Qualidade das estimativas de precipitação do satélite TRMM no estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS. 2016.

CAMPOS, D; SANTOS, J.; SILVA, E.; CALASANS, N. **Zoneamento geohidroecológico da bacia do rio Almada: análise da capacidade de produção de água**. In: MORAES, MEB., and LORANDI, R., orgs. Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas [online], Editus, Ilhéus, BA: 2016, pp. 81-101. Disponível em: <<http://books.scielo.org>>. Acesso em: 28 de jul. de 2020.

CARVALHO, D. F.; MELLO J. L. P.; SILVA L. D. B. Capítulo 1. **Introdução à hidrologia**. IT 115 – Irrigação e Drenagem. 2007. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/jorge/downloads/APOSTILA/LICA%20Parte%201.pdf>>. Acesso: 25 set. 2020.

CARVALHO, W. S.; MAGALHÃES FILHO; F.J.C.; SANTOS, T. L. Uso e cobertura do solo utilizando a Plataforma Google Earth Engine (GEE): Estudo de caso em uma Unidade de Conservação. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 2, p.11678, Feb. 2021. Disponível em: <<https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/24622>>. Acesso em: 05 ago. 2022.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Ajuste Multiobjetivo dos Parâmetros de um Modelo Hidrológico. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n.3, p. 27-39, Jul./Set. 2003. Disponível em: <<https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=35&SUMARIO=513>>. Acesso em: 23 de jun. de 2020.

FARIAS, A. F. S.; JOSÉ, F. V.; LEITE, K. N.; DAMASCENO, M.; AMARAL, M. A. C. M.; SILVA, S. S. Mapeamento da interceptação de chuva na bacia hidrográfica do Alto Juruá, Acre. **Research Society and Development**, v. 10, n.6, e15510615218, 2021.

GEE. Google Earth Engine. **What is Earth Engine? 2020**. Disponível em: <<https://earthengine.google.com/faq/>>, Acesso em: 23 de ago. de 2022.

GEE. Google Earth Engine. **CHIRPS Daily: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data (Version 2.0 Final)**. Disponível em: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UCSB-CHG_CHIRPS_DAILY#description>. Acesso em: 03 set. 2022.

GEE. Google Earth Engine. **MOD16A2.006: Terra Net Evapotranspiration 8-Day Global 500m**. Disponível em: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_006_MOD16A2>. Acesso em: 03 set. 2022.

IBGE. **Cidades e Estados: Morretes**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/morretes.html>>. Acesso em: 25 ago. 2022.

IPARDES. **Diagnóstico Ambiental - APA DE GUARAQUEÇABA**. IPARDES, Curitiba, 1995. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/diag_apa_guaraquecaba_texto_2_9_5.pdf>. Acesso em: 10 de jul. de 2022.

IPARDES. Zoneamento da Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba. Curitiba, 2001. 150p. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/zoneamento_apa.pdf>. Acesso em: 28 de jul. de 2022.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente - Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução da 2ª edição. ed. [S.l.]: Parêntese Editora, 2009.

MACIEL, S. A. **Análise da relação chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, Brasil**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

MANARA, E. N.; FAN, F. M.; SCOTTA, F. C. **Sensoriamento remoto e google earth engine como auxílio na validação do modelo hidrossedimentológico MGB-SED sedimentos em suspensão na bacia do Rio Paraíba do Sul**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 14., Campinas, 2020. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/220787>>. Acesso em: 20 jul. 2022.

MORAES, J. M.; SCHULER, A. E.; GUANDIQUE, M. E. G.; MILDE, L. C.; GROppo, J. D.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. **Propriedades Físicas dos Solos na Parametrização de um Modelo Hidrológico**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n.1, 61-70 p., jan/mar 2003. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=37&SUMARIO=573&ST=propriedades_fisicas_dos_solos_na_parametrizacao_de_um_modelo_hidrologico>. Acesso em: 23 jul. 2022.

NITSCHKE, P.R.; CARAMORI, P.H.; RICCE, W.S.; PINTO, L.F.D. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Instituto Agrônômico do Paraná, 2019. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>. Acesso em: 31 de jul. de 2022.

PIERRI, N.; ÂNGULO, R.J.; SOUZA, M.C.; KIM, M.K. **A ocupação e o uso do solo no litoral paranaense: condicionantes, conflitos e tendências**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 13, p. 137-167, jan./jun. 2006. Editora UFPR. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/made/article/view/9849/6749>>. Acesso em: 20 jul. 2022.

PEREIRA, W. J. X. **Calibração de um modelo hidrológico de escala diária para bacias hidrográficas do semiárido cearense**. 2017. 87 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental**. Relatório Técnico Parcial. São José dos Campos, 2000. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf>. Acesso: 28 set. 2020.

SANTANA, R. S. P. **Avaliação da modelagem hidrológica via SMAP da bacia do Rio Múndau, utilizando dados do satélite TRMM e de pluviômetro**. 2019. 73f. Monografia (Graduação em Engenharia de Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia – AL, 2019.

SANTOS, L. L. MODELOS HIDRÁULICOS-HIDROLÓGICOS: Conceitos e Aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.2, n.03, p.01-19, set./dez, 2009.

SARAIVA, M., PROTAS, É., SALGADO, M., SOUZA, C. Automatic Mapping of Center Pivot Irrigation Systems from Satellite Images Using Deep Learning. **Remote Sens**, n. 12, v. 558, 2020. Disponível em < <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/3/558>>. Acesso em: 20 de jul. de 2022.

SILVA, M. C. B. **Avaliação da fragilidade ambiental da bacia do Rio Nhundiaquara - PR**. 207 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/34670>. Acesso em: 15 ago. 2022.

STUDART, T. M. C.; CAMPOS, J. N. B. **Hidrologia Aplicada**. 2004. Disponível em: <http://www.deha.ufc.br/ticiania/Arquivos/Graduacao/Apostila_Hidrologia_grad/Cap_1_Introducao_2004.pdf>. Acesso: 27 set. 2019.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3ª edição. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH, 2004. 943p.

TUCCI, C.E.M. (Org.). 1993. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ª ed., Editora da Universidade, 943p.

TUCCI, C. E. M. (1998). **Modelos hidrológicos**. Ed. /UFRGS/Associação Universidade Brasileira Recursos Hídricos, Porto Alegre, 668p.