



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

LEONEL VITÓRIO ESTEVES

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA MANCHA DE INUNDAÇÃO
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SIRINHAÉM, PERNAMBUCO**

Caruaru

2024

LEONEL VITÓRIO ESTEVES

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA MANCHA DE INUNDAÇÃO
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SIRINHAÉM, PERNAMBUCO**

Trabalho de Pós-Graduação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho.

Caruaru

2024

LEONEL VITÓRIO ESTEVES

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA MANCHA DE INUNDAÇÃO
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SIRINHAÉM, PERNAMBUCO**

Trabalho de Pós-graduação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. Área de concentração: Tecnologia ambiental.

Aprovada em: 15/08/2024.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Artur Paiva Coutinho (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. José Miguel Reichert (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº Dr. Carlos Fabricio Assunção da Silva (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº Dr. Antonio Celso Dantas Antonino (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a Deus que tudo providenciou, à minha esposa Andressa Esteves pelo apoio e companheirismo e aos meus pais por sempre terem acreditado em mim e me incentivado em todo o processo.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos primeiramente a Deus pela Sua condução, ao orientador Dr. Artur Paiva Coutinho pelo incentivo, apoio, ensinamentos e acolhida no grupo de pesquisa, aos docentes do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu de Engenharia Civil e Ambiental (PPGCAM) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), campus Agreste pelos conteúdos lecionados, comprometimento e incentivo à pesquisa, e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) por todo o apoio financeiro.

RESUMO

O Estado de Pernambuco possui diversos registros de inundações, que vêm se intensificando devido a fatores como o aquecimento global, mudanças no uso e cobertura do solo, desmatamento de áreas de matas ciliares, construções em áreas ribeirinhas e outros impactos ambientais. Portanto, a importância de estudos hidrológicos e hidrodinâmicos para analisar riscos de impactos negativos e assim tomar medidas preventivas e corretivas. A pesquisa tem como objetivo analisar a simulação da mancha de inundação da bacia do rio Sirinhaém, Pernambuco, para as condições de uso da terra de 1992, 2002, 2012 e 2022 e tempo de retorno de 20, 50 e 100 anos. Para isso, foram calculadas dez equações de chuvas intensas pelo método de desagregação da chuva da CETESB para cada pluviômetro selecionado da bacia, determinou-se de maneira automatizada utilizando o programa HEC-HMS as sub-bacias e foram calculadas cada *Curver Number* (CN) dessas pelo método de interpolação da pedologia e uso e cobertura do solo. As cidades selecionadas para a verificação da mancha de inundação foram Barra de Guabiraba, Cortês, Gameleira, Rio Formoso (Cucaú) e Sirinhaém. Assim, realizou-se a modelagem hidrológica com o uso do *software* HEC-HMS com avaliação da calibração pela metodologia NSE (*Nash-Sutcliffe*) e Pbias (*Percent bias*), e modelagem hidrodinâmica o HEC-RAS, com entrada de dado dos modelos digitais de elevação e terreno da SRTM e programa tridimensional PE3d. A Bacia Hidrográfica do rio Sirinhaém (BHRS) possuiu 60,91% de solo tipo A predominante no centro-sul e 37,87% solo tipo C predominante no centro-norte da bacia, na qual estes favorecem em maiores valores de CN. A BHRS possui uma predominância em os todos anos observados de agricultura, porém os valores de CN para as bacias mais litorâneas estão maiores, ou seja, mais impermeáveis devido ao avanço da malha urbana e diminuição da agricultura e pastagem. Já as sub-bacias S1 e S2 tiveram aumento do CN potencializado pelo crescimento de áreas com formação florestal. Os meses de maio a julho correspondem cerca de 65% das precipitações do ano, na qual favorece as ocorrências de inundações e dificuldades na gestão da água na bacia. A calibração foi realizada em dois fluviômetros, Engenho Bento de NSE 0,556 e Pbis de 11,78% e Mato Grosso com NSE de 0,607 e Pbias de -13,73%, ambos com calibração satisfatória e validadas. A bacia totaliza em 407 residências em estado de riscos de inundações entre as cidades de Barra de Guabiraba, Cortês, Gameleira e Sirinhaém. Concluiu-se as alterações do uso e cobertura do solo estão favorecendo para aumento da vazão e que a bacia hidrográfica necessita da execução prevista da barragem para combate a inundações, logo para tempo de retorno acima de 20 anos já relata ocorrências.

Palavras-chave: Chuvas intensas; Desastres naturais; HEC-HMS; HEC-RAS; Inundações.

ABSTRACT

The state of Pernambuco has several records of floods, which have been intensifying due to factors such as global warming, changes in land use and coverage, deforestation of riparian forest areas, construction in riverside areas and other environmental impacts. Therefore, hydrological and hydrodynamic studies are important to analyze the risks of negative impacts and thus take preventive and corrective measures. The research aims to analyze the simulation of the flood area of the Sirinhaém river basin, Pernambuco, for the land use conditions of 1992, 2002, 2012 and 2022 and return times of 20, 50 and 100 years. For this purpose, ten equations of intense rainfall were calculated using the CETESB rainfall disaggregation method for each selected rain gauge in the basin. The sub-basins were determined automatically using the HEC-HMS program, and each Curver Number (CN) of these was calculated using the pedology and land use and land cover interpolation method. The cities selected for verification of the flood area were Barra de Guabiraba, Cortês, Gameleira, Cucaú and Sirinhaém. Thus, hydrological modeling was performed using the HEC-HMS software with calibration assessment using the NSE (Nash-Sutcliffe) and Pbias (Percent Bias) methodology, and hydrodynamic modeling using HEC-RAS, with data input from the SRTM digital elevation and terrain models and the PE3d three-dimensional program. The Sirinhaém River Basin (BHRS) had 60.91% of type A soil predominant in the center-south and 37.87% of type C soil predominant in the center-north of the basin, which favor higher CN values. The BHRS has a predominance of agriculture in all observed years, however the CN values for the more coastal basins are higher, that is, more impermeable due to the expansion of the urban network and reduction of agriculture and pasture. The S1 and S2 sub-basins had an increase in CN enhanced by the growth of areas with forest formation. The months of May to July correspond to approximately 65% of the year's rainfall, which favors the occurrence of floods and difficulties in water management in the basin. Calibration was performed on two fluviometers, Engenho Bento with NSE 0.556 and Pbis of 11.78% and Mato Grosso with NSE of 0.607 and Pbias of -13.73%, both with satisfactory calibration and validated. The basin has a total of 407 residences at risk of flooding between the cities of Barra de Guabiraba, Cortês, Gameleira and Sirinhaém. It was concluded that changes in land use and coverage are favoring an increase in flow and that the hydrographic basin requires the planned construction of the dam to combat flooding, therefore, for a return period of over 20 years, occurrences are already being reported.

Keywords: Rainfall intense; Natural disasters; HEC-HMS; HEC-RAS; Floods.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Localização da bacia Hidrográfica do Rio Sirinhaém (BHRS)	17
Figura 2 – Cidades para a realizar a simulação da mancha de inundação	20
Figura 3– Fluxograma resumindo os processos de dados geoespaciais	22
Figura 4 – Batimetria do rio Sirinhaém no trecho da cidade de Barra de Guabiraba.....	24
Figura 5 – Batimetria do rio Sirinhaém no trecho da cidade de Cortes.....	25
Figura 6 – Batimetria do rio Sirinhaém no trecho da cidade de Gameleira	25
Figura 7 – Batimetria do rio Sirinhaém no trecho de Cucaú	26
Figura 8 – Batimetria do rio Sirinhaém no trecho da cidade de Sirinhaém.....	26
Figura 9 – $\ln(Z) \times \ln(Tr)$ para determinação coeficiente “a” e $\ln(K)$ dos pluviômetros.....	29
Figura 10 – Determinação automática das sub-bacias pelo HEC-HMS.....	31
Figura 11 – Distribuição dos grupos hidrológicos do solo da BHRS.....	32
Figura 12 – LULC por sub-bacias nos anos 1992, 2002, 2012 e 2022	34
Figura 13– Precipitações diárias por sub-bacia no ano de 2022.....	39
Figura 14 – Precipitações diárias por sub-bacia no ano de 2022.....	40
Figura 15– Dados de vazão simulada e observada nos fluviômetros.	41
Figura 16 – Mancha de inundação em Barra de Guabiraba.	42
Figura 17 – Mancha de inundação em Cortês	43
Figura 18 – Mancha de inundação em Gameleira	43
Figura 19 – Mancha de inundação em Cucaú.....	44
Figura 20 – Mancha de inundação em Sirinhaém	44
Figura 21 – Cota x área e cota x volume da barragem Barra de Guabiraba.....	45
Figura 22 – Comportamento hidrodinâmico da barragem Barra de Guabiraba	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pluviômetros estudados na BHRS	18
Tabela 2 – Coeficientes de desagregação da chuva de 24 horas e precipitação mínima.....	19
Tabela 3 – Valores de CN com base no LULC e tipo de solo.....	21
Tabela 4 – Discriminação de parâmetros de entrada para o HEC-HMS.	23
Tabela 5 – Precipitação máxima para cada Tr.....	28
Tabela 6 – Ln (Z) e coeficiente c em cada tempo de retorno para maior R ²	29
Tabela 7 – Parâmetros do coeficiente de determinação final e equação da chuva.....	30
Tabela 8 – Tipo de solo por sub-bacia.....	33
Tabela 9 – Valores de CN e abstração inicial por sub-bacia.	35
Tabela 10 – Valores de tempo de concentração e lag-time	37
Tabela 11 – Valores de abstração inicial	38
Tabela 12 – Valores de evapotranspiração em milímetro por sub-bacia.....	39
Tabela 13 – Precipitação de 22 a 31 de maio de 2022	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
BHRS	Bacia hidrográfica do Rio Sirinhaém
CHIRPS	<i>Climate Hazards Center Infrared Precipitation with Station</i>
CN	<i>Curve Number</i>
DOLs	Distúrbio Ondulatório de Leste
HEC-HMS	<i>Hydrologic Modeling System</i>
HEC-RAS	<i>Hydrologic Engineering Centers River Analysis System</i>
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LULC	Uso e cobertura do solo
MDE	Modelos Digitais de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NSE	<i>Nash-Sutcliffe</i>
PE-3D	Pernambuco Tridimensional
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
SCS	Serviços de Conservação dos Solos
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRC	Sistema de Referência de Coordenadas
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle
Tr	Tempo de retorno
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 Geral	13
2.2 Específicos	13
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
3.1 Uso de geotecnologias em cálculos hidrodinâmicos.....	14
3.2 Equação da chuva.....	14
3.3 SCS-CN e hidrograma de projeto	15
4. METODOLOGIA.....	17
4.1 Área de estudo.....	17
4.2 Determinação da equação da chuva.....	18
4.3 Pontos de simulação de inundação.....	20
4.4 Identificação do CN.....	21
4.5 Modelagem hidrológica no HEC-HMS e simulação hidrodinâmica no HEC-RAS	22
5. RESULTADOS	28
5.1 Equação da chuva.....	28
5.2 Definição automática das Sub-bacias e determinação do uso dos pluviômetros	31
5.3 Determinação do CN por Sub-bacias.....	32
5.4 Parâmetros de entrada e validação da modelagem hidrológica no HEC-HMS	37
5.5 Modelagem hidrodinâmica	41
6 CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS	49
ANEXO I	61
APÊNDICE A	62
APÊNDICE B.....	63
APÊNDICE C	65
APÊNDICE D	66

1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais podem ser altamente perigosos à vida e ao meio ambiente. Possuem origem natural ou antropogênica e ocorrem de diversas formas, como terremotos, deslizamentos de terra, incêndios florestais, secas e inundações (Cui *et al.*, 2021; El-Bagoury; Gad, 2024). Segundo Teng *et al.* (2017) e Prama *et al.* (2020), os desastres naturais provocados pela água, seca ou inundações, são responsáveis por 80 a 90% das catástrofes no mundo, principalmente em áreas semiáridas/áridas.

As inundações são os desastres mais comuns observados e com frequência crescente, devido principalmente às alterações climáticas e ao aquecimento global, favorecidos pelas modificações no uso da terra, como desmatamento, expansão da mancha urbana e aumento das áreas impermeáveis (Das; Pardeshi, 2018; Ertan; Özelkan; Karaman, 2021; Ahmad; Afzal, 2022). No Brasil, esses fatores são recorrentes e tendem a intensificar as ocorrências de inundações e assim trazer diversos danos socioambientais e econômicos, influenciados principalmente por ações antrópicas (Mendes *et al.*, 2021).

Segundo pesquisa de Ferraz (2019), foram registradas diversas ocorrências de desastres oriundas de intensas chuvas no Estado de Pernambuco, com destaque para os anos 2000, 2001, 2004, 2010, 2011 e 2017 sobre efeito na bacia do rio Sirinhaém, na qual grande parte das cidades foram inundadas. Silva *et al.* (2023) relatam sobre as chuvas intensas de 2022, as quais geraram alagamentos generalizados. Portanto, estudos hidrodinâmicos com mapa de risco de inundações e impactos negativos são fundamentais para favorecer na eficiência de uma gestão ambiental integrada e sustentável (Buta; Mihai; Stănescu, 2017; Gashu *et al.*, 2023).

O desenvolvimento residencial e urbano nas margens dos rios, favorecem os desastres naturais com possibilidade de mortes e perdas materiais (Romalia *et al.*, 2018). Em Pernambuco, há muitas residências nessas situações, além de desmatamento da mata ciliar para prática de agricultura. Então, estudos hidrológicos e hidráulicos das bacias devem ser realizados para monitorar e gerenciar as bacias hidrográficas para mitigar ou sanar os danos decorrentes de inundações.

O uso de geotecnologias juntamente com os softwares QGIS, HEC-HMS e HEC-RAS trazem respostas estáticas, hidrológicas e hidrodinâmicas, respectivamente, assim possibilitam previsões de áreas de inundações georreferenciadas, as quais servem de alertas para possíveis inundações e desastres naturais causados por certos cenários de chuvas intensas.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a simulação da mancha de inundação da bacia do rio Sirinhaém nos anos de 1992, 2002, 2012 e 2022 para o tempo de retorno de 20, 50 e 100 anos.

2.2 Específicos

- Identificar os pontos a serem estudados para verificação da possibilidade de inundação;
- Calcular a intensidade da chuva para o tempo de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos em cada estação pluviométrica da bacia;
- Determinar as alterações do *curve number* para os anos de 1992, 2002, 2012 e 2022;
- Realizar a calibração da modelagem hidrológica com o uso do HEC-HMS;
- Calcular as vazões de projetos para cada ponto estudado;
- Projetar a mancha de inundação com uso de *software* HEC-RAS.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Uso de geotecnologias em cálculos hidrodinâmicos

O avanço rápido da capacidade computacional, viabilizou as aplicações complexas de simulações de inundações (Feng; Zhang; Bourke, 2021). O uso de geotecnologias, como sensoriamento remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG), auxiliam os trabalhos técnicos e científicos ambientais, na eficiência e eficácia dos resultados, proporcionando diversos estudos e metodologias que auxiliam nas tomadas de decisões pelos poderes públicos e privados responsáveis (Silva; De Oliveira, 2017; Simonetti *et al.*, 2019; Ambarwulan *et al.*, 2021).

Com o uso do SIG, pode-se desenvolver estudos como caracterização morfométrica, pedologia ou tipo de solos, uso e cobertura do solo, declividade e hipsometria que são possíveis com o uso Modelos Digitais de Elevação (MDE) ou banco de dados geográficos de órgão ou estudos científicos (Aires *et al.*, 2021; Sankriti *et al.*, 2021; Chagas *et al.*, 2022). Porém, Pedrosa e Câmara (2007) e Beskow *et al.* (2009), relatam que esses estudos são fenômenos espaciais estáticos que podem variar com o tempo, mas não seriam adequados para análise de modelagem hidrológica e simulações hidrodinâmicas, necessitando de outras ferramentas SIG.

Segundo Mishra e Singh (2003) e Sahu, Shwetha e Dwarakish, (2023), o software HEC-HMS provou ser extremamente útil para modelagem hidrológica, devido à capacidade em simular os escoamentos em eventos de chuva de longa e curta duração, bem como verificar a capacidade de infiltração e evapotranspiração. Esse *software* é usado mundialmente em estudos de modelagem hidrológica (El-Magd; Hermas; Bastawesy, 2010; El-Hakim; El-Baz, 2015; Dukic; Eric, 2021; Hamdan; Almuktar; Scholz, 2021; Hegazy *et al.*, 2023; Boitrago *et al.*, 2023; El-Bagoury; Gad, 2024).

Já o *software* HEC-RAS é o mais utilizado para a simulação ou previsão de manchas de inundação urbanas e rurais. Para isso necessita-se inserir dados georreferenciados de MDE para extração da batimetria da calha transversal do corpo hídrico e dados hidrológicos para a simulação hidrodinâmica, com isso, obtém-se resultados de áreas inundáveis em diversas ocasiões do tempo. (Knebl *et al.*, 2005; Cunha *et al.*, 2012; FENG; Zhang; Bourke, 2021; El-Bagoury; Chad, 2024; Jeong *et al.*, 2023)

3.2 Equação da chuva

O aquecimento global tem potencializado a ocorrência de chuvas intensas (Tabari, 2020; Ashok Kumar *et al.*, 2023), o que fomentou os casos de grandes inundações com maiores frequências, diminuindo a produtividade econômica alimentar e aumentando os casos de

desastres naturais que trazem riscos a vida no meio urbano e rural (Asadieh; Krakauer, 2017; Barbosa *et al.*, 2022).

As informações de chuvas intensas são fundamentais para os estudos de conservação do solo e da água, gestão dos recursos hídricos e prevenção de desastres naturais (Oliveira, 2019). Com isso, modelos matemáticos de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) são aplicados para a determinação da equação da chuva por meio de informações dos dados pluviométricos e assim realizar modelagens hidrológicas para tomadas de decisão (Coutinho *et al.*, 2019; Nunes *et al.*, 2021).

Uma alternativa para a determinação da equação da chuva é por meio dos dados de precipitação máxima fornecidos pelos pluviômetros juntamente com modelagem de desagregação da chuva em séries diárias pelo método de Bell (1969) e relação de duração (CETESB, 1980). Estes modelos são bastante utilizados pelos pesquisadores (Asadieh; Krakauer, 2017; Coutinho, 2019; Back, 2020; Barbosa *et al.*, 2022) e o mais utilizado em pesquisas brasileiras (Aragão *et al.*, 2013). Silva *et al.* (2012) e Coutinho *et al.* (2013) utilizaram esse método para estimar as chuvas intensas em cidades pernambucanas para um tempo de retorno de 2 a 100 anos e durações de 5 a 120 minutos.

Na bacia hidrográfica do Rio Sirinhaém (BHRS) ocorreram diversos registros de inundações que trouxeram estado de emergência para diversas cidades, que aumentaram nos últimos anos pelo fenômeno do distúrbio Ondulatório de Leste (DOLs) com muitos registros de chuvas forte (CEMADEN, 2023; Portela *et al.*, 2023). A Agência Nacional das Águas (ANA) disponibiliza uma série histórica HIDROWEB dos dados de precipitação por pluviômetro, tornando possível a determinação das equações das chuvas.

3.3 SCS-CN e hidrograma de projeto

A metodologia *Curve Number* foi desenvolvida em 1930 pelos Serviços de Conservação dos Solos (SCS) dos EUA para obter conhecimento dos processos hidrológicos, como a capacidade do solo para escoamento superficial e infiltração, na qual se baseia em parâmetros do uso e cobertura da terra, precipitação e tipo de solo (Ajmal *et al.*, 2015; Carvalho; Rodrigues, 2021).

Embora o SCS-CN tenha sido originalmente realizado proposto para bacias de pequeno e médio porte, já tem sido utilizado em diversas áreas de gestão e gerenciamento de conservações de bacias hidrográficas para operação de reservatórios, uso da água, alerta de desastres naturais e hidrologia urbana (Baiamonte, 2019; Durán-Barroso, González; Valdés, 2016; Su *et al.*, 2019; Sangin; Mishra; Patil, 2024). Os valores de CN variam de 0 a 100, na

qual quanto maior o valor, mais a bacia possui características impermeável e quanto menores indicam maior capacidade de retenção (Anjinho *et al.*, 2018).

Nos últimos anos surgiram as técnicas de interpretação automática e trouxeram abordagens mais convincentes de interpretação lineares e não lineares (Mosavi; Ozturk; Chau, 2018; Singh, 2018). Tradicionalmente o CN da média ponderada por área são usados para os cálculos de escoamento superficial de uma bacia hidrográfica e com auxílio de software como GIS ou ARQGIS tornam os resultados mais precisos e eficazes (Zhan; Huang, 2004; Soares *et al.*, 2017). Sahu, Shwetha e Dwarakish, 2023 afirmam que os métodos SCS-CN está entre os mais utilizados para estudos de modelagem.

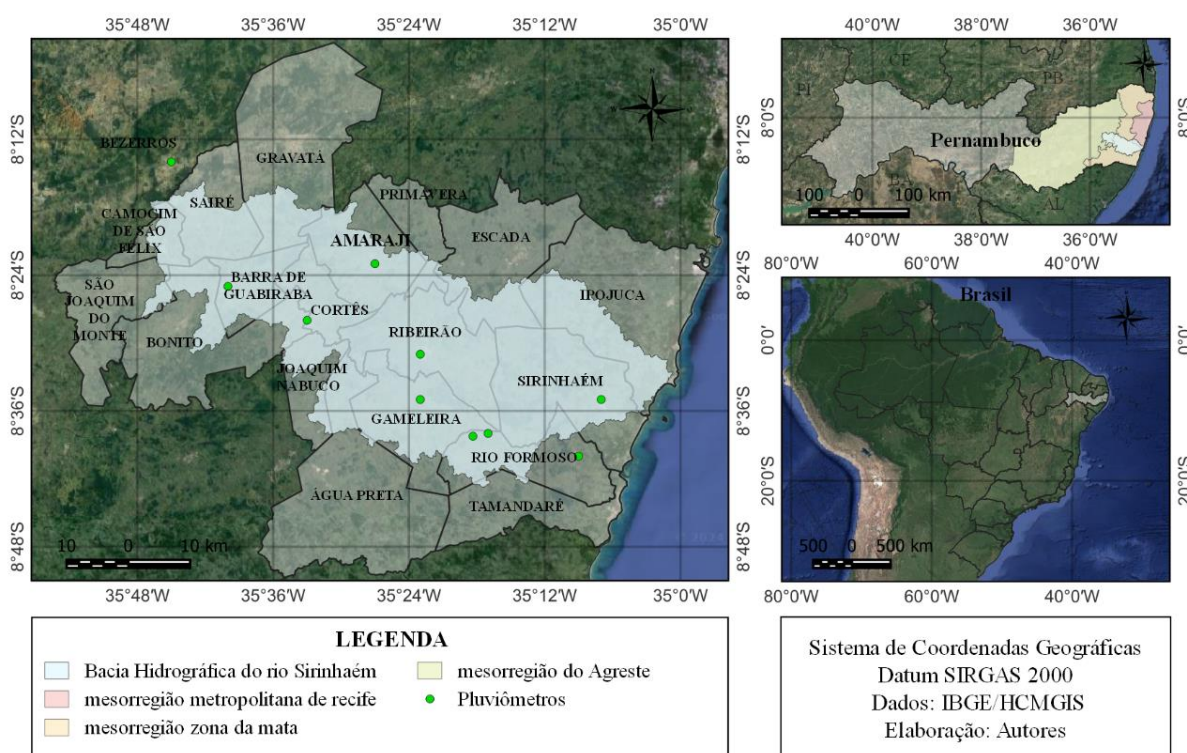
4. METODOLOGIA

O estudo foi dividido em cinco etapas para alcançar seus objetivos: área de estudo; determinação da equação da chuva; pontos de simulação de inundação; identificação do CN; modelagem hidrológica no HEC-HMS e simulação hidrodinâmica no HEC-RAS.

4.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Sirinhaém (BHRS) está inserida integralmente na região da mata atlântica e três mesorregiões pernambucana: metropolitana de Recife, zona da mata e agreste. Envolve dezoito territórios municipais: Água Preta, Amaraji, Barra de Guabiraba, Bonito, Camocim de São Félix, Cortês, Escada, Gameleira, Gravatá, Ipojuca, Joaquim Nabuco, Primavera, Ribeirão, Rio Formoso, Sairé, São Joaquim do Monte, Sirinhaém e Tamandaré, sendo doze cidades inseridas dentro da bacia, a qual se encontra entre as coordenadas geográficas 08° 16' 02" e 08° 42' 47" latitude sul e 35° 47' 52" e 35° 00' 40" longitude oeste, conforme Figura 1.

Figura 1– Localização da bacia Hidrográfica do Rio Sirinhaém (BHRS)



Fonte: autores, 2023.

A BHRS, segundo Ferraz (2019), possui duas classificações climáticas, tropical úmido ou subúmido no litoral e tropical quente e úmido com estação seca no inverno nas demais áreas de acordo com a classificação climática de Köppen (1936). A precipitação média 1900 mm no litoral e 1800 nas

áreas das mesorregiões da mata sul e agreste, com temperaturas médias de 22,5°C e 21°C, respectivamente (Pernambuco, 2020).

A bacia possui uma área de 2.083,773 km, sendo 90,96 % da área classificada em declividade suave a forte ondulado (3 a 45%) e altitudes de até 816 metros, sendo 52,14% no intervalo de 0 a 164 metros, situados na região central até o litoral, na qual preenchem praticamente toda esta área. O rio Sirinhaém possui extensão de 151,527 km e talvegue de 87,777 km, com predominância na 6ª e 5ª ordem pela metodologia de Strahler (1952), respectivamente 46,54% e 44,06%, com característica sinuoso moderado com potencialidade tortuosa e baixa razão de bifurcação entre os rios (Esteves *et al.*, 2023).

4.2 Determinação da equação da chuva

Para a determinação das precipitações máximas anuais foram avaliados os dados fornecidos dos pluviômetros (Tabela 1) fornecidos pelo bando de dados Hidroweb versão v3.3.7529.1 da ANA e excluída a precipitação máxima do ano com menos de 335 dias de informações, além disso, a estação com menos de 20 anos de dados.

Tabela 1 – Pluviômetros estudados na BHRS

N	Código	Nome da estação	Município	X	Y	Altitude (m)	Nº Anos
1	835000	Amaraji	Amaraji	-35,450	-8,383	296	21
2	835002	Barra Do Guabiraba	Barra do Guabiraba	-35,667	-8,417	440	30
3	835007	Bezerros	Bezerros	-35,750	-8,233	471	30
4	835014	Cortes	Cortes	-35,550	-8,467	340	31
5	835043	Ribeirão	Ribeirão	-35,383	-8,517	97	25
6	835026	Gameleira	Gameleira	-35,383	-8,583	101	27
7	835140	Engenho Mato Grosso	Gameleira	-35,306	-8,638	100	35
8	835050	Sirinhaém	Sirinhaém	-35,117	-8,583	49	23
9	835015	Cucau	Rio Formoso	-35,283	-8,633	62	21
10	835044	Rio Formoso	Rio Formoso	-35,150	-8,667	39	42

Fonte: ANA adaptado pelos autores, 2024.

Com as informações de precipitações máximas anuais determinados, calcularam-se a média aritmética ($\bar{X}$) e o desvio padrão (S) para assim obter a variável reduzida (Y_t), fator de

frequência (Kt) e a média da precipitação máxima (Xt) em milímetros para os tempos de retorno (Tr): 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, conforme as equações 1.0, 2.0 a 3.0.

$$Yt = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{Tr} \right) \right] \quad (1.0)$$

$$Kt = -0,45 + [0,7797 (Yt)] \quad (2.0)$$

$$Xt = \bar{X} + [Kt * S] \quad (3.0)$$

Com os valores de precipitação máxima anual para cada tempo de retorno foram aplicados o coeficiente de desagregação sugeridos em CETESB (1980), com isso, obtém-se as alturas de precipitações para chuvas de duração de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 120, 180, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos (Tabela 2).

Tabela 2 – Coeficientes de desagregação da chuva de 24 horas e precipitação mínima

Relações entre alturas pluviométricas	Coeficiente de desagregação	Precipitação mínima (mm)
5 min para 30 min	0,34	7
10 min para 30 min	0,54	10
15 min para 30 min	0,70	15
20 min para 30 min	0,81	15
25 min para 30 min	0,91	20
30 min para 1h	0,74	23
1 h para 24 h	0,42	25
6 h para 24 h	0,72	35
8 h para 24 h	0,78	40
10 h para 24 h	0,82	40
12 h para 24 h	0,85	47
24 h para 1 dia	1,14	55

Fonte: CETESB, 1980.

Portanto, calcula-se a precipitação desagregada (P) de 1 dia (24h) multiplicando o Xt pelo coeficiente de desagregação e este valor encontrado é transformado por seu respectivo coeficiente de chuvas até 1 hora de duração (0,42 a 0,85). A precipitação calculada de 1 hora de chuva é convertida para 30 min (0,74), assim determina-se as demais chuvas, multiplicando os valores da precipitação de 30min pelo coeficiente que a transforma em menor duração (0,34 a 0,91). Esse procedimento se aplica para todos os tempos de retornos. Vale ressaltar que os valores mínimos em milímetros são estabelecidos e devidamente considerados.

Para a determinação da equação da chuva, necessita-se determinar os coeficientes K, a, b e c, equação 4.0. E utilizou-se o software Excel 2019 para auxílio nos gráficos e equações.

$$i = \frac{KTr^a}{(t+b)^c} \quad (4.0)$$

Estimou-se o valor do coeficiente “b”, tempo acrescentado na desagregação, para que o coeficiente de determinação (R^2) se aproxime máximo possível de 1 e assim encontrou-se a equação 5.0 para cada tempo de retorno, com isso obteve-se os coeficientes b e c da equação.

$$\ln(p) = -c * \ln(t + b) + \ln(Z) \quad (5.0)$$

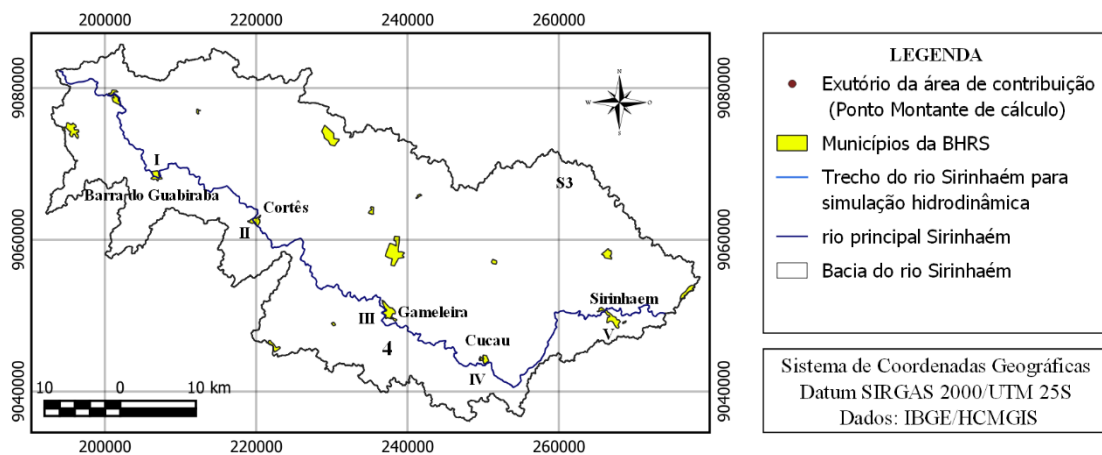
Com os valores $\ln(Z)$ juntamente com o $\ln(Tr)$ de cada tempo de retorno estudado, determinou-se a nova equação 6.0, na qual se pode obter os coeficientes a e K, assim finalizando a equação da chuva para cada estação pluviométrica.

$$\ln(Z) = \ln(K) + a. \ln(Tr) \quad (6.0)$$

4.3 Pontos de simulação de inundação

O rio Sirinhaém permeia ou transita adjacente em seis cidades: I - Barra de Guabiraba, II - Cortês, III - Gameleira, IV- Rio Formoso, V - Sirinhaém, somente Sairé não foi estudada por ser início da drenagem da BHRS. Portanto serão cinco cidades em estudo, conforme a Figura 2. Os pontos para definição da área de contribuição foram levantados em conta para obter informação de vazão a montante do município e assim realizar a simulação hidrodinâmica.

Figura 2 – Cidades para a realizar a simulação da mancha de inundação



Fonte: autores, 2024.

O município Rio Formoso é o único que não possui casas ribeirinhas, porém possui pouca declividade em direção ao corpo hídrico, na qual potencializa a expansão na largura do corpo hídrico, portanto simulou-se a hidrodinâmica para avaliação. As demais cidades possuem

muitas residências em áreas de preservação permanente (APP), na qual deveria ser composta por mata ciliar.

4.4 Identificação do CN

Com os dados gerados de LULC e tipo de solo, pelo método expresso na Figura 3, necessitou-se adaptar os resultados para 8 tipos de uso do solo. Assim definiu-se o valor de CN pelo tipo de solo (A, B, C ou D), definidos na Tabela 3 pelos autores I – Santos e Lollo (2016), II – Soares *et al.* (2017) e III – Rezende *et al.* (2018).

Tabela 3 – Valores de CN com base no LULC e tipo de solo

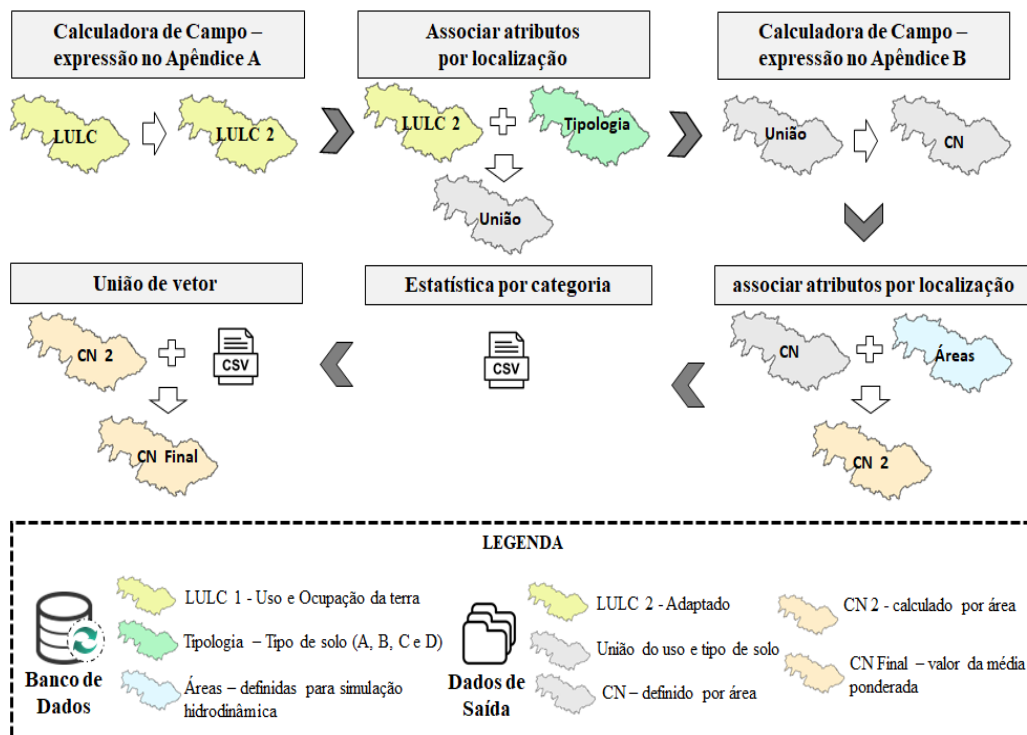
Uso do solo	Tipo de solo				Fonte
	A	B	C	D	
Formação Florestal	26	52	62	69	I
Formação Savânica	45	68	78	84	I
Formação Campestre	56	75	86	91	I
Pastagem	25	59	75	83	II
Agricultura	62	71	78	81	II
Área Urbana	77	85	90	91	II
Água	100				II
Solo Exposto	72	82	87	89	III

Fonte: adaptado de Santos e Lollo (2016), Soares *et al.* (2017) e Rezende *et al.*, 2024.

Para automatizar a geração do LULC adaptado a Tabela 3, utilizou-se a expressão “*case – When* (LULC exportado Mapbiomas) – *then* (LULC adaptado Mapbiomas) – *end*” na calculadora de campo da tabela de atributos do arquivo vetorial de uso do solo. Para obter as informações das áreas de uso do solo, e tipo de solo unificados, aplicou-se o comando “associar atributos por localização”, gerando um novo arquivo *shapefile* de interseção de informação por área. Portanto, definiu-se cada área de uso do solo com seu respectivo tipo de solo. Com isso, determinou-se o CN para cada área com a expressão “*case – When* (LULC adaptado) – *And* – (Tipo de solo) – *then* (Definição do CN) – *end*”.

Com as definições do CN por cada área de uso e cobertura da terra verificado o respectivo tipo de solo, unificaram-se os arquivos vetoriais das áreas de contribuição definidos para cálculos hidrodinâmicos (Figura 4) com o CN definido pelo comando “associar atributos por localização”. Então, utilizou-se o comando “estatística por categoria” definindo o campo CN para cálculos estatísticos, a qual fornece a média ponderada do CN para os anos de 1992, 2002, 2012 e 2022, conforme o fluxograma da Figura 3.

Figura 3— Fluxograma resumindo os processos de dados geoespaciais



Fonte: autores, 2024.

4.5 Modelagem hidrológica no HEC-HMS e simulação hidrodinâmica no HEC-RAS

Para a determinação automática das sub-bacias, calibração da modelagem hidrológica e determinação das vazões de escoamento por tempo de retorno e anos observados, utilizou-se o software HEC-HMS.

Inicialmente configurou-se o programa para coordenadas UTM 25S, na qual a bacia se encontra, utilizando o comando *GIS – Coordinate System*, então inseriu-se o *raster* pelo comando *Terrain Data* o Modelo Digital de Terreno (MDT) do projeto LIDAR Pernambuco Tridimensional - PE3D disponível gratuitamente para todo o Estado de Pernambuco, com resolução de 50 centímetros, através de geração de dados por aerofotogrametria de varredura a laser (Cirilo et al., 2014). E para preenchimento de falhas do terreno, utilizou-se o *GIS – Preprocess Sinks*. Para a definição da rede de drenagem, identificação dos rios e direção de fluxo, usou-se o comando *GIS – Preprocess drainage* e o *Break Point* para identificar ao software o exultório da bacia para assim com o *Delineate Elements* finalizar o procedimento de geração automática das sub-bacias.

Para a realização da modelagem hidrológica, foram necessários alguns parâmetros de entrada a serem calculados: tempo de concentração, intensidade da chuva, precipitação total,

distribuição da chuva, CN, infiltração potencial máxima e *lag-time*, conforme Tabela 4. Esse procedimento utilizou-se o *software* Excel 2019 para geração de dados e gráficos.

Tabela 4 – Descriminação de parâmetros de entrada para o HEC-HMS.

Parâmetro	Fórmula	Descrição	UN
Tempo de concentração	$Tc = 57 * \left(\frac{L^2}{I_p} \right)^{0,385}$	L: Comprimento do fluxo mais longo (m) Δh : Desnível (m/m)	min
Precipitação Total	$P = i \times td$	td: tempo de duração	mm
Distribuição da chuva	-	-	mm
Infiltração Potencial Máxima	$S = \left(\frac{25.400}{CN} - 254 \right)$	CN - Curve number	mm
Lag-time	$lt = 0,6 * tc$	Tc: tempo de concentração	min

Fonte: adaptado pelos autores, 2024.

Com os dados de vazão dos fluviômetros Engenho Bento e Mato Grosso fornecidos pela Hidroweb da série histórica da ANA, pôde-se verificar a calibração do sistema, na qual utilizou-se o coeficiente de *Nash-Sutcliffe* (NSE), na qual precisa obter valor igual ou superior a 0,5 para que valde como eficiente e o Percent bias (Pbias) que avalia a tendência que a média dos valores simulados tem em relação aos observados, e para que o modelo caracterize como satisfatório necessita obter valores de $Pbias \leq \pm 25\%$ (Brighenti; Bonumá; Chaffe, 2016).

Com o sistema calibrado, calculou-se o hidrograma de projeto pelo método SCS pelo diagrama de Huff para o tempo de retorno de 20, 50 e 100 anos, na qual Boitrage *et al.* (2023), afirma que 100 anos é o período usualmente utilizado em dimensionamento hidráulico de grandes obras civis. Com isso, determinou-se as precipitações para cada tr a cada ano observado (1992, 2002, 2012 e 2022), na qual varia o valor de CN, consequentemente o valor de infiltração inicial que modifica os valores da vazão escoada.

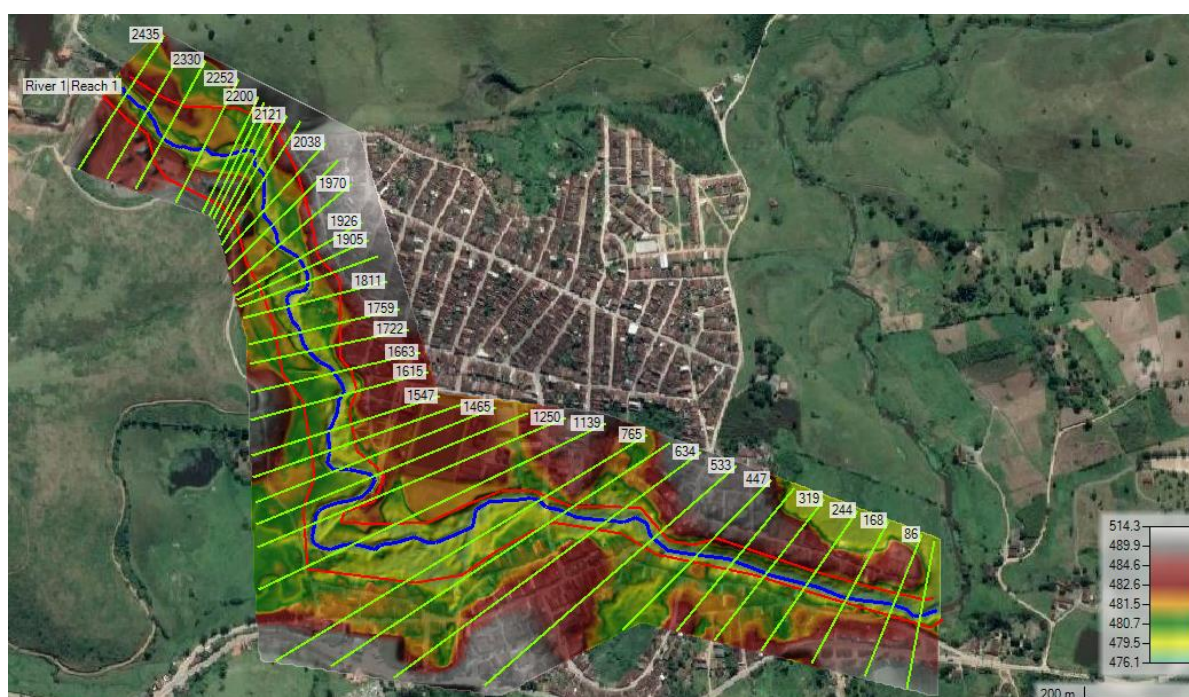
Para a simulação hidrodinâmica, utilizou-se o programa HEC-RAS com imagens do satélite Landsat 8 (USGS/NASA) e MDT do PE-3D para a realização da batimetria, na qual são favoráveis devido à alta precisão de informações.

No HEC-RAS utilizou-se o comando *Unit system* para configurar o programa na unidade do sistema internacional (S.I.) e no RAS Mapper > Project > Set Projection definiu-se a coordenada projetada em 25S. E assim inseriu-se o modelo de terreno e a imagem do satélite pelos comandos *New RAS Terrain* e *Map Layer*, respectivamente. E em *Geometries* realizou-

se 4 procedimentos: definição do eixo central em todo percurso do rio Sirinhaém, margem do rio com modificação da rugosidade, limite para observação da mancha de inundação e definição das seções transversais, pelos comandos respectivamente *Rivers*, *Bank Lines*, *Flow Paths* e *Cross Section*.

O trecho do rio Sirinhaém que transpassa a cidade de Barra de Guabiraba possui uma característica sinuosa, com mata ciliar bastante desmatada e com algumas partes invadidas por construções civis. O MDT favoreceu-se a percepção que a partir da seção 1250, diversas áreas possuem alto potencial de avanço do corpo hídrico à cidade, devido às baixas diferença de cota em relação ao rio (Figura 4).

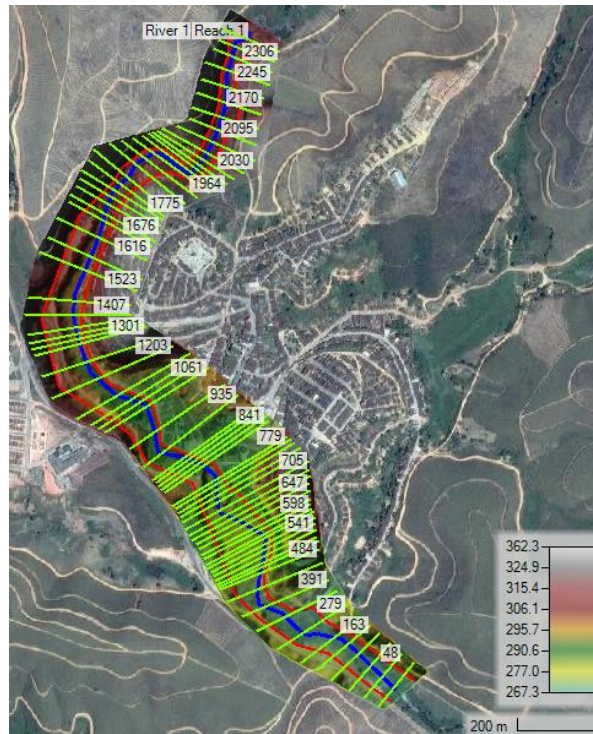
Figura 4 – Batimetria do rio Sirinhaém no trecho da cidade de Barra de Guabiraba



Fonte: autores, 2024.

A cidade de Cortês possui uma avenida ao leste, construída adjacente ao rio em área pertencente à mata ciliar, já o lado oeste, possui uma boa distância a construção da avenida, porém com mais de 40 casas ribeirinhas e com baixa diferença de cota em relação a calha do rio, potencializando a ocorrência de inundação. Além dessa área, na seção 1061 a 841 e 1203 a 779 ao leste possuem baixas cotas que potencializa o avanço do rio na cidade. Alguns trechos tiveram mais seções para melhor definição do comportamento hidrodinâmico como 705 a 508 devido a expansão lateral do rio, 880 a 828 pela presença de uma ponte e demais seções com corpo hídrico em curva (Figura 5).

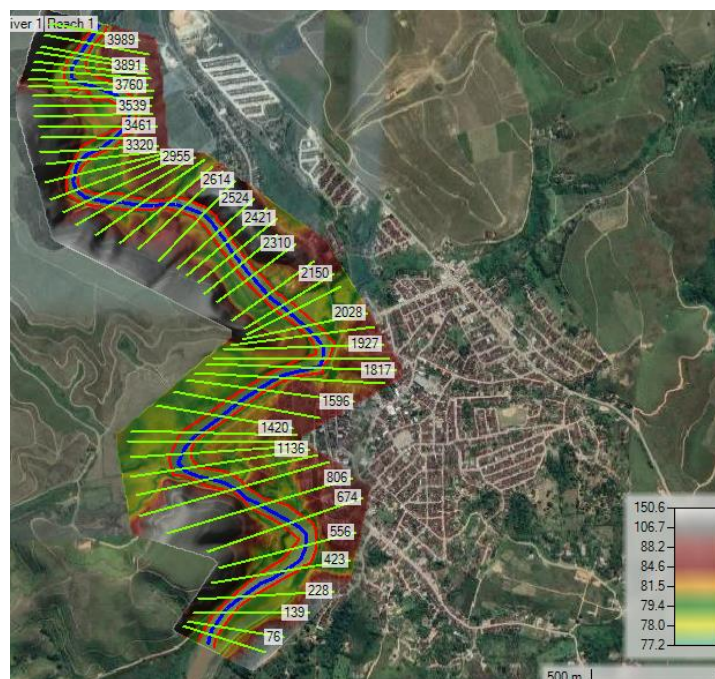
Figura 5 – Batimetria do rio Sirinhaém no trecho da cidade de Cortes



Fonte: autores, 2024.

Na cidade de Gameleira, o rio Sirinhaém dividi-a em duas partes, ao leste região habitada e oeste com práticas de agricultura, com percurso sinuoso por isso a necessidade de várias seções para melhor definição da calha do rio. Notou-se que entre as seções 2310 a 2150 e 1927 a 806 possuem diversas residências ribeirinhas (Figura 6)

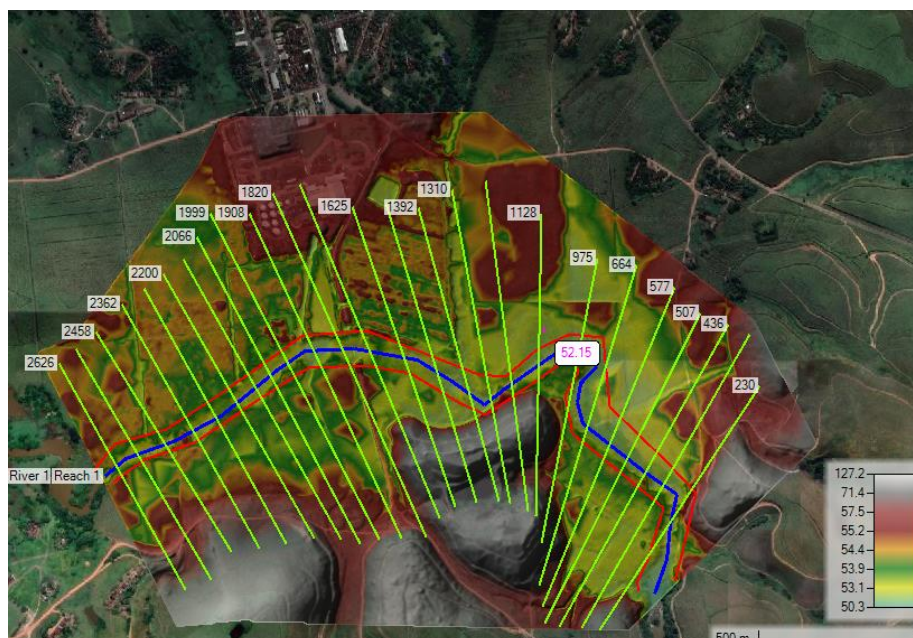
Figura 6 – Batimetria do rio Sirinhaém no trecho da cidade de Gameleira



Fonte: autores, 2024.

Em Cucaú, dentre as observadas é a que possui moradias mais distantes do rio Sirinhaém, porém entre a mancha urbana e o corpo hídrico possuem baixa declividade, por isso a importância em observar o comportamento hidrodinâmico (Figura 7)

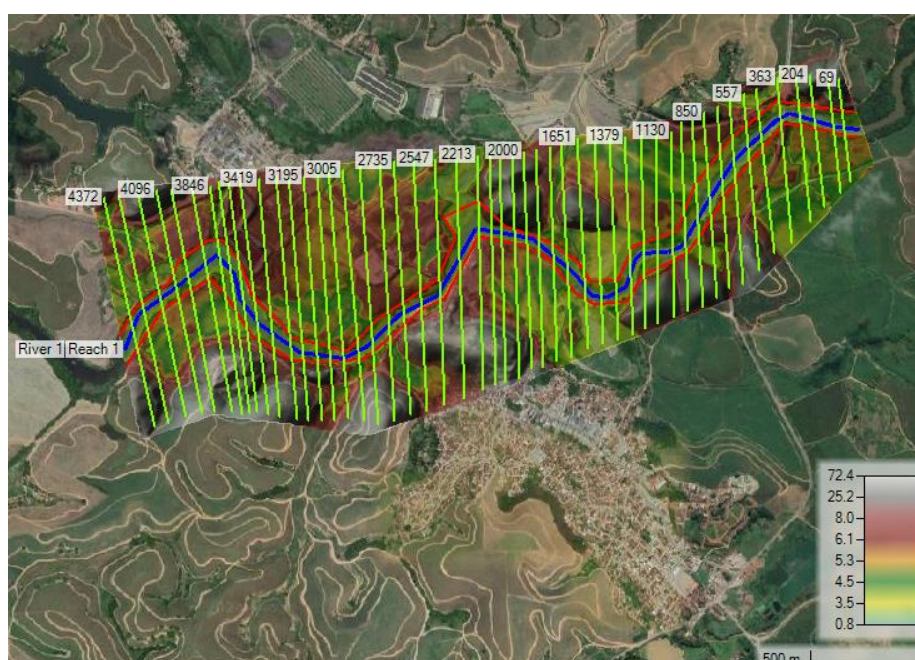
Figura 7 – Batimetria do rio Sirinhaém no trecho de Cucaú



Fonte: autores, 2024.

A cidade de Sirinhaém é a mais à jusante das observadas, com uma mata ciliar florestal e bem definida, com poucas residências ribeirinhas e mancha urbana com cotas acima de 3,6 metros do rio. A parte mais baixa encontra-se práticas de agricultura (Figura 8).

Figura 8 – Batimetria do rio Sirinhaém no trecho da cidade de Sirinhaém



Fonte: autores, 2024.

Com as determinações das seções transversais estudadas, transfere-se as informações do *RAS Mapper* para o *Geometric data* e inseriu-se os valores de Manning's para o eixo central e as margens, sendo a constante de 0,025 e 0,030 os valores definidos. E o comando *Steady Flow Data* para inserir as condições hidrológicas. Neste momento, retira-se as informações obtidas de vazão para cada tempo de retorno e ano estudado do HEC-HMS e insere-se para que o HEC-RAS realize a simulação da mancha de inundação pelo comando *Steady flow simulation* e os resultados podem ser observados pelo *RAS Mapper*.

5. RESULTADOS

5.1 Equação da chuva

A ANA disponibiliza a série histórica de dezoito pluviômetros inseridos na bacia do rio Sirinhaém, no entanto somente dez destes possuem a quantidade mínima necessária de dados conforme definido para a determinação da equação da chuva. Então, com as precipitações máximas anuais foram calculados a média aritmética e desvio-padrão e encontrados a precipitação máxima para cada Tr, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Precipitação máxima para cada Tr.

Estação Pluviométrica	$\bar{X}$	S	Xt					
			Tr2	Tr5	Tr10	Tr20	Tr50	Tr100
Amaraji	88,50	28,26	83,85	108,83	125,36	141,22	161,76	177,14
Barra Do Guabiraba	82,57	47,28	74,81	116,59	144,25	170,78	205,13	230,87
Bezerros	62,21	24,94	58,11	80,15	94,74	108,73	126,85	140,43
Cortes	90,53	26,80	86,13	109,82	125,50	140,54	160,01	174,60
Ribeirão	72,34	22,62	68,62	88,61	101,84	114,53	130,96	143,27
Gameleira	93,92	30,57	88,90	115,91	133,80	150,95	173,16	189,80
Engenho Mato Grosso	101,73	37,98	95,49	129,06	151,28	172,60	200,19	220,86
Sirinhaém	111,98	32,81	106,59	135,59	154,78	173,20	197,03	214,90
Cucau	99,58	30,22	94,62	121,32	139,00	155,96	177,92	194,37
Rio Formoso	79,62	48,95	71,58	114,84	143,48	170,95	206,51	233,16

Fonte: autores, 2024.

As maiores médias de precipitação estão nas estações pluviométricas das cidades de Sirinhaém e Gameleira, porém devido ao alto desvio padrão, o posto do Rio Formoso e Barra do Guabiraba apresentarão as maiores precipitações máximas. Já Bezerros, uma estação próxima à nascente da bacia BHRS, apresentou os menores valores.

Com a determinação do coeficiente “b”, tempo acrescentado à desagregação, estimado obtenção de melhores resultados R^2 , foram determinados os $\ln(Z)$ de cada pluviômetro a cada tempo de retorno (Tabela 6). Os resultados foram satisfatórios com somente dois pluviômetros inferiores a 99,99%, sendo o menor em Gameleira, porém com valores ainda eficaz de 98,95%, fomentando obter os melhores resultados de R^2 final e assim calcular com maior precisão as equações das chuvas intensas.

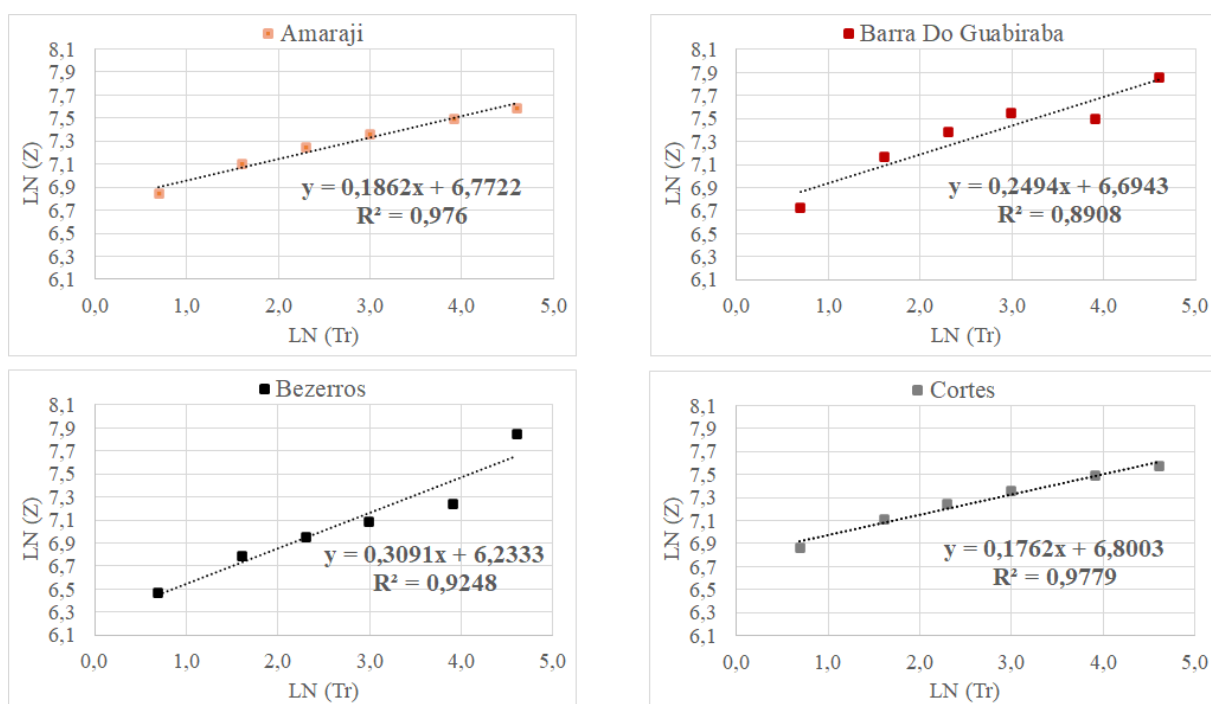
Tabela 6 – Ln (Z) e coeficiente c em cada tempo de retorno para maior R².

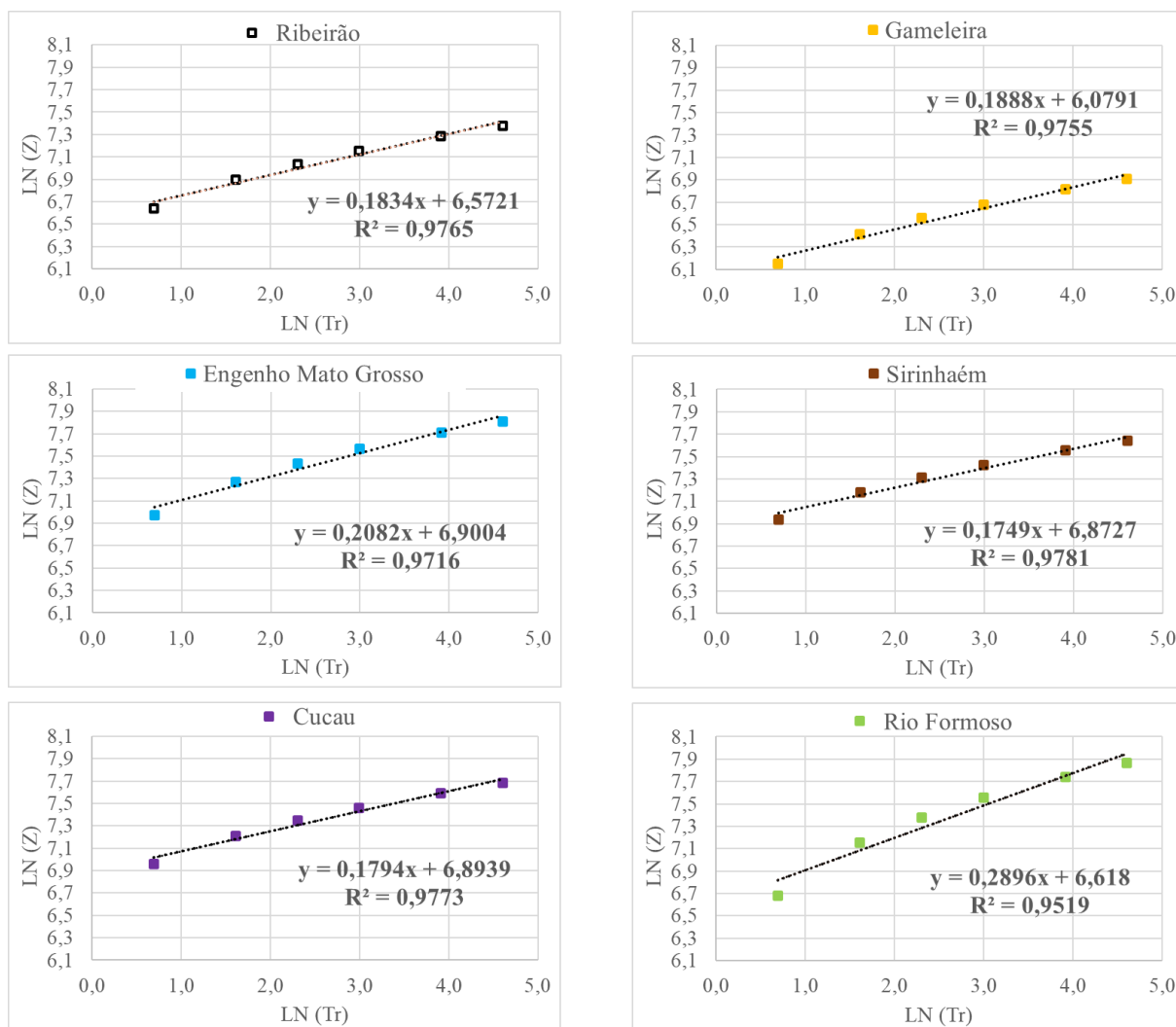
Estação Pluviométrica	b	R ²	c	LN (Z)					
				Tr2	Tr5	Tr10	Tr20	Tr50	Tr100
Amaraji	10,503	0,9999	0,7463	6,841	7,102	7,243	7,362	7,498	7,589
Barra Do Guabiraba	10,503	0,9999	0,7463	6,727	7,171	7,384	7,552	7,498	7,854
Bezerros	10,287	0,9999	0,7452	6,464	6,786	6,953	7,091	7,245	7,844
Cortes	10,503	0,9999	0,7463	6,868	7,111	7,244	7,357	7,487	7,574
Ribeirão	10,503	0,9999	0,7463	6,641	6,896	7,035	7,153	7,287	7,377
Gameleira	0,100	0,9895	0,6272	6,148	6,414	6,557	6,678	6,815	6,907
Engenho Mato Grosso	10,503	0,9999	0,7463	6,971	7,272	7,431	7,563	7,711	7,810
Sirinhaém	8,364	0,9997	0,7258	6,940	7,181	7,313	7,426	7,554	7,641
Cucau	10,503	0,9999	0,7463	6,962	7,210	7,346	7,462	7,593	7,682
Rio Formoso	10,503	0,9999	0,7463	6,683	7,156	7,378	7,553	7,742	7,864

Fonte: autores, 2024.

A relação entre o ln (Z) e ln (Tr) calculados forneceram os valores de “a” e o ln (K), potencialmente definindo os valores de K para cada pluviômetro, conforme Figura 9.

Figura 9 – ln (Z) x ln (Tr) para determinação coeficiente “a” e ln (K) dos pluviômetros





Fonte: autores, 2024

A Tabela 7 apresenta as equações das chuvas intensas e seu respectivo coeficiente de determinação que apresentaram bons resultados com 7 delas maiores que 97% de precisão e somente na cidade de Barra do Guabiraba, na qual o R^2 foi bastante inferior aos demais com 89,08%, em função das discrepâncias pontuais das precipitações máximas como em 1977 chegando a 200,8 mm, bem acima da média da região.

Tabela 7 – Parâmetros do coeficiente de determinação final e equação da chuva

N	Nome da estação	R^2	Equação
1	Amaraji	0,9760	$i = \frac{873,231 \times Tr^{0,1862}}{(t + 10,503)^{0,7463}}$
2	Barra Do Guabiraba	0,8908	$i = \frac{807,788 \times Tr^{0,2494}}{(t + 10,503)^{0,7463}}$
3	Bezerros	0,9248	$i = \frac{509,434 \times Tr^{0,3091}}{(t + 10,287)^{0,7452}}$

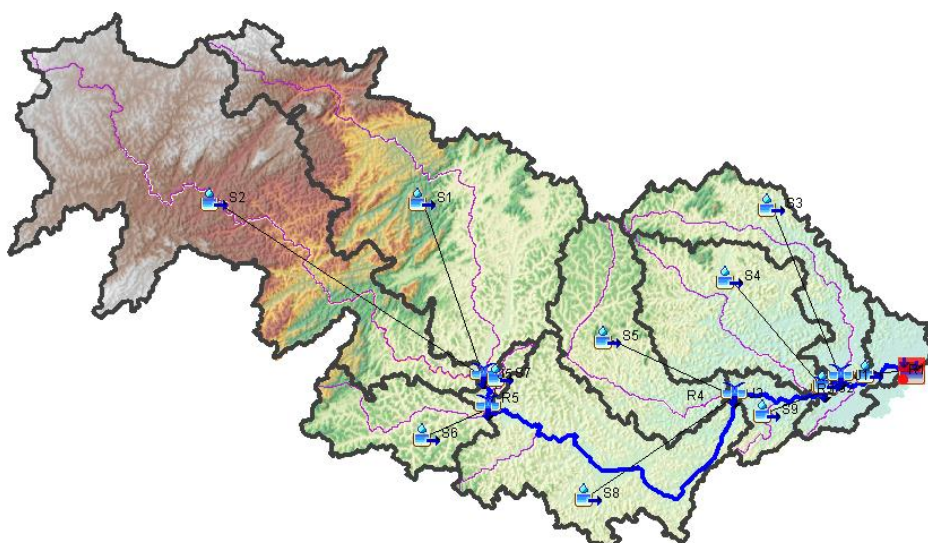
4	Cortes	0,9779	$i = \frac{898,117 \times Tr^{0,1762}}{(t + 10,503)^{0,7463}}$
5	Ribeirão	0,9765	$i = \frac{714,869 \times Tr^{0,1834}}{(t + 10,503)^{0,7463}}$
6	Gameleira	0,9755	$i = \frac{436,636 \times Tr^{0,1888}}{(t + 0,1)^{0,6272}}$
7	Engenho Mato Grosso	0,9716	$i = \frac{992,672 \times Tr^{0,2082}}{(t + 10,503)^{0,7463}}$
8	Sirinhaém	0,9781	$i = \frac{965,552 \times Tr^{0,1749}}{(t + 8,364)^{0,7258}}$
9	Cucau	0,9773	$i = \frac{986,240 \times Tr^{0,1794}}{(t + 10,503)^{0,7463}}$
10	Rio Formoso	0,9519	$i = \frac{748,447 \times Tr^{0,2896}}{(t + 10,503)^{0,7463}}$

Fonte: autores, 2024.

5.2 Definição automática das Sub-bacias e determinação do uso dos pluviômetros

Com auxílio do *software* HEC-HMS foram definidas automaticamente 11 sub-bacias, conforme Figura 10, assim determinadas as respectivas áreas S1 (479,914 km²), S2 (616,575 km²), S3 (150,866 km²), S4 (190,396 km²), S5 (167,382 km²), S6 (105,475 km²), S7 (15,672 km²), S8 (254,749 km²), S9 (42,364 km²), S10 (2,759 km²), S11 (57,621 km²). E com georreferenciamento da bacia e estações pluviométricas foram definidas as equações a serem estudadas para cálculos de intensidade da chuva intensas.

Figura 10 – Determinação automática das sub-bacias pelo HEC-HMS.



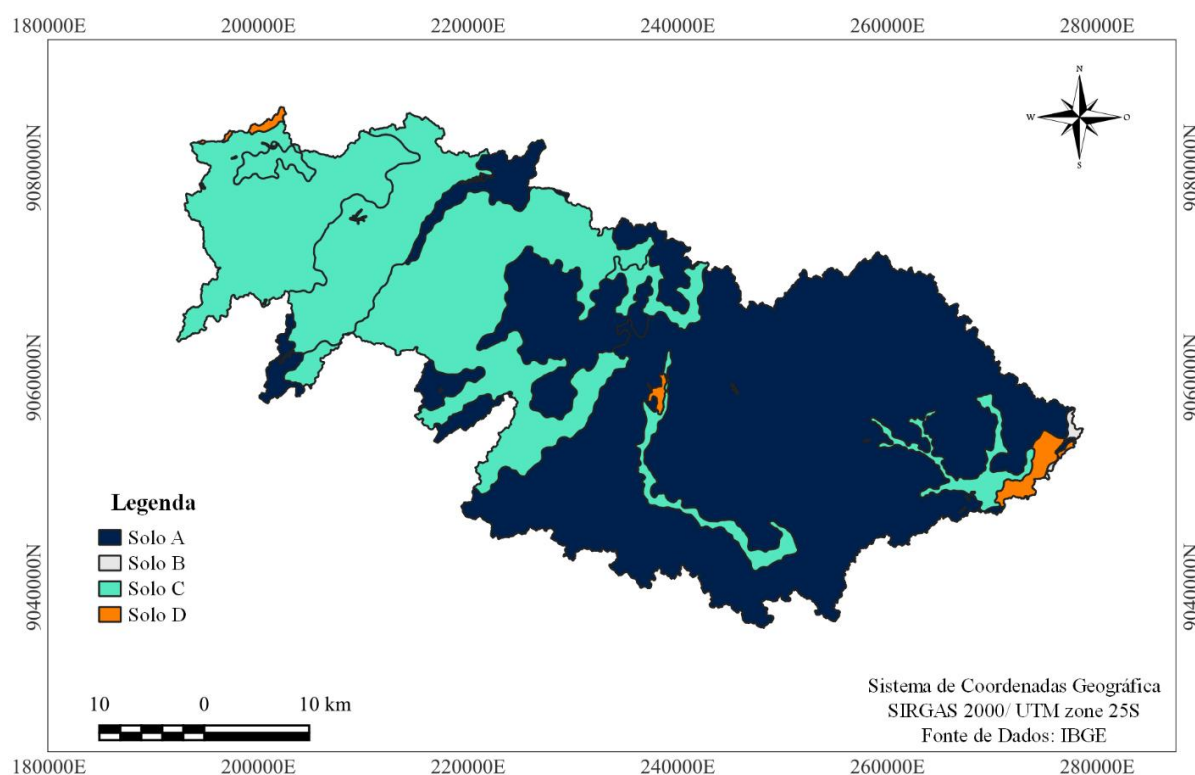
Fonte: autores, 2024

As sub-bacias com suas respectivas estações pluviométricas foram: S1 (Ribeirão), S3 e S4 (Sirinhaém), S5 (Cucaú), S6 e S7 (Gameleira), S8 (Engenho Mato Grosso), S2 (Barra de Guabiraba) e S9, S10 e S11 (Sirinhaém).

5.3 Determinação do CN por Sub-bacias

Para a determinação do CN é imprescindível a determinação da tipologia do solo e o uso e cobertura do solo e interpolar as áreas para a definição dos valores. A BHRS possui 7 classes e 4 tipos hidrológico dos solos: Latossolo Amarelo Distrófico típico A moderada textura argilosa (A), Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico A moderada textura argilosa (A), Neossolo Quartzarênico Órtico típico A fraco (B), Neossolo Flúvico (C), Argissolo Vermelho-Amarelo (C), Gleissolo Sálico Sódico típico (D) e Neossolo Litólico (D) (SARTORI; NETO; GENOVEZ, 2005). Portanto, os solos dos grupos hidrológicos da BHRS A, B, C e D, respectivamente correspondem a 60,91%, 0,14%, 37,87% e 1,08% da área da bacia. Logo, podemos afirmar que a BHRS possui um alto potencial de infiltração na parte inferior e favorável ao escoamento na parte superior devido ao tipo de solo (Figura 11).

Figura 11 – Distribuição dos grupos hidrológicos do solo da BHRS



Fonte: autores, 2023.

Para melhor precisão hidrológica os valores de CN foram definidos por sub-bacias, portanto, com a Tabela 8 podemos identificar a predominância da classe tipo A em quase todas as sub-bacias.

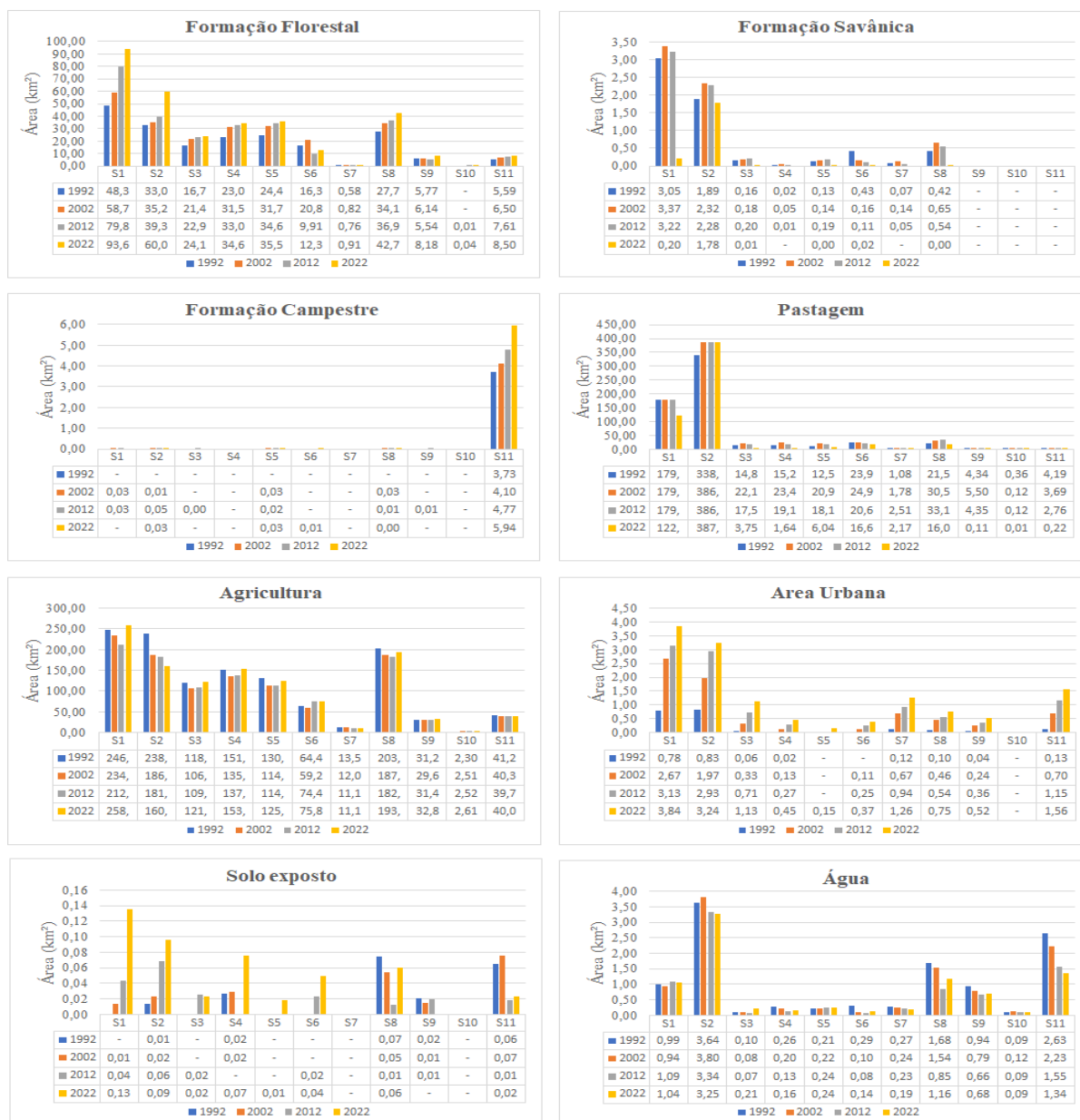
Tabela 8 – Tipo de solo por sub-bacia

Sub-bacias	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
A	269,36	92,07	143,84	181,64	167,38	96,39	13,49	233,25	38,26	2,58	30,96
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,92
C	206,41	520,04	7,02	8,75	-	9,09	2,19	21,50	4,10	0,18	9,85
D	4,15	4,47	-	-	-	-	-	-	-	-	13,89

Fonte: autores, 2024.

Com os dados fornecidos pelo Mapbiomas, foram obtidos os arquivos do uso e cobertura do solo dos anos 1992 e 2022 adaptados para o cálculo do CN conforme a Tabela 4 e gerou o gráfico das modificações das áreas por sub-bacias (Figura 12).

Figura 12 – LULC por sub-bacias nos anos 1992, 2002, 2012 e 2022



Fonte: autores, 2024

O uso mais característico da bacia é a agricultura abrange 59,61% em 1992 e 56,45% em 2022 de ocupação da área da bacia) e grande parte encontra-se em Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderada textura argilosa, ou seja, solos tipo A. Portanto, a combinação traz um valor em torno de CN 62 na bacia, conforme Tabela 4. Além disso, a formação florestal e área urbana tiveram um crescimento na bacia como todo, fator crucial para redução e aumento do valor, respectivamente, sendo importante averiguar a magnitude das variações na área da sub-bacia, cuja estas possuem características particulares.

A agricultura teve um decréscimo inicial nos primeiros anos após 1992 e volta aos altos valores posteriormente em quase todas as sub-bacias. Nas sub-bacias S3, S4, S5, S6 e S9, a área sob agricultura começa a aumentar em 2012 e S1, S8 e S11 em 2022. Já S2 e S7 teve

redução entres os anos estudados, chegando a reduzir 32,55% e 17,73% da área, respectivamente. E S10 com crescimento de 83,62% para 94,71% da área total da sub-bacia, por se tratar se um pequena sub-bacia, a variação tem um fator crucial no cálculo, com aumento da área no tipo de solo C fará obter um potencial aumento no valor do CN.

A pastagem teve geralmente um crescimento inicial nos primeiros anos. Tal situação ocorreu em S2 a S10, sendo S1 e S11 com caimento de 32,01% e 94,68% da área respectivamente, a pastagem em S11 teve um expressivo desuso passando de 7,28% para 0,39% da área da sub-bacia. O S3, S4, S5, S6 e S9 tiveram crescimento até 2002 e S7, S8 e S10 até 2012, já a S2 manteve a crescente. Em geral a bacia teve uma queda de 9,78% do uso da pastagem, o que potencializa no aumento do valor do CN.

O uso do solo exposto e água possuíram pequenas variações de áreas e juntamente com formação savânica e campestre resultaram em baixa expressão de ocupação, porém foram analisados para eficácia dos resultados do CN. Portanto, com a interpolação dos dados de LULC e tipo de solo por sub-bacia foram obtidos os valores de CN, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Valores de CN e abstração inicial por sub-bacia.

Sub-bacias	CN			
	1992	2002	2012	2022
S1	62,72	64,53	64,82	64,45
S2	75,26	73,36	73,40	74,69
S3	50,07	49,97	52,10	56,30
S4	50,91	50,54	52,34	57,91
S5	53,55	50,41	50,59	52,85
S6	54,94	54,62	62,39	63,28
S7	56,48	56,84	59,08	59,40
S8	52,58	54,70	55,42	57,22
S9	56,21	55,61	56,43	62,77
S10	52,43	58,89	60,24	61,36
S11	61,13	62,42	64,15	69,30

Fonte: autores, 2024.

A sub-bacias S1 e S2, respectivamente, tiveram 43,01% e 84,34% de solo do tipo C, assim como S11 com 17,10% de solo C e 24,11% do tipo D, que resultaram em valores mais altos do CN comparados as demais sub-bacias, que possuem mais de 90% do solo tipo A.

A sub-bacias S1 e S8 de 1992 para 2012 tiveram uma queda da predominância da agricultura e aumento da formação florestal e área urbana, resultando ainda no aumento do CN por ser alterações em solo do tipo C. Em 2022, o plantio de cana-de-açúcar voltou a expandir no lugar da pastagem, juntamente com o aumento da macha urbana em solo do tipo C, assim proporcionando maior CN entre os anos analisados. Já a S2 possuiu uma queda (1992 a 2012) do CN devido à troca de práticas de agricultura por pastagem e formação florestal no lugar em solo tipo C e pequeno aumento para 2022 devido à ampliação da pastagem em solo tipo D, porém não superando o valor inicial observado. Percebeu-se que as modificações do uso e tipo do solo propiciaram em pequenas alterações no CN nessas sub-bacias.

As sub-bacias S3 e S4 tiveram bastante semelhanças na proporção do tipo e uso do solo, na qual de 1992 para 2002 tiveram uma diminuição do valor do CN devido ao aumento da formação florestal e pastagem no lugar da agricultura em solos tipo A. Para 2012, o fator redução de pastagem para aumentar a área da agricultura e área urbana fizeram aumentar o valor do CN, porém pouca alteração por serem pequenas variações em relação à área total da sub-bacia. Já 2022, teve um aumento considerável da agricultura e redução da pastagem e grande parte em solos tipo C, resultando maior valor do CN. A expansão territorial da área urbana não fez tanta diferença, pois toda ampliação foi em solos tipo A.

A S5 só possui solo tipo A e praticamente interferência do resultado do CN em três LULC: agricultura, formação florestal e pastagem. Entre 1992 a 2002, houve aumento na formação florestal e pastagem no lugar da agricultura, fazendo com que reduzisse o valor do CN. Entre 2002 e 2012, houve sutil troca de pastagem para formação florestal e praticamente manteve a área de cultivo agrícola, fazendo com o que tivesse um leve aumento do CN. E por fim, a agricultura volta a se expandir no lugar da pastagem que fez ter um maior potencial final do valor do *curve number*.

As sub-bacias S6, S7 e S9 tiveram uma queda no CN de 1992 para 2002 e depois aumento até 2022, seguindo as características de ocupação da agricultura, grande predominante desta região, na S7 a mancha urbana nos anos de 2012 e 2022 tiveram bastante relevância, porém quase toda em solo do tipo A, por isso não resultaram em grande diferença no CN. Vale salientar que a S9 em 2002 teve uma queda quase de extinção de formação florestal por agricultura em solos tipo C, resultando no maior valor do CN. Já na sub-bacia S10, o valor foi crescente acompanhando a expansão da agricultura e quase extinção da pastagem, chegando próximo do valor de 62 da agricultura tipo A, esta tipologia abrange 93,61% da sub-bacia.

A sub-bacia S11 teve um aumento do CN ao longo dos anos devido ao crescimento da área campestre em solos tipo A e D, além disso, a substituição de agricultura na parte litorânea

por zona urbana em solos tipo C propiciaram em aumentar o valor ao longo dos anos. Porém também teve a expansão de regiões com formação florestal no lugar de pastagem em solo tipo C que fizeram baixar um pouco o valor final CN.

5.4 Parâmetros de entrada e validação da modelagem hidrológica no HEC-HMS

O software HEC-HMS forneceu o comprimento e declividade do percurso mais longo nas bacias e rio, estes nomeados e inseridos, com isso calcularam-se o t_c e *lag-time*, conforme Tabela 10.

Tabela 10 – Valores de tempo de concentração e lag-time

Sub-bacia	Sub-bacia Jusante	<i>Longest flowpath length</i> (km)	<i>Longest flowpath slope</i> (m/m)	Tc (min)	Lag- time (min)
S1	S7	62,93	0,01065	555,43	333,26
S2a	S7	28,93	0,01143	297,11	178,26
S2b	S2a	71,93	0,01029	623,84	374,30
S3	S10	39,98	0,00482	531,43	318,86
S4	S10	30,38	0,00788	356,00	213,60
S5	S9	37,50	0,00492	501,95	301,17
S6	S7	23,68	0,01103	258,20	154,92
S7	S8	10,54	0,00922	148,31	88,98
S8	S9	42,59	0,00502	549,32	329,59
S9	S10	16,35	0,00796	220,05	132,03
S10	S11	3,40	0,01140	57,15	34,29
S11	oceano	15,81	0,00603	238,64	143,18
Trecho Sirinhaém	Inserida na Sub-bacia	<i>Longest flowpath length</i> (km)	<i>Longest flowpath slope</i> (m/m)	Tc (min)	Lag- time (min)
R6	S2a	56,29	0,00709	596,20	357,72
R5	S7	3,97	0,00121	153,00	91,80
R4	S8	38,18	0,00182	746,25	447,75
R3	S9	10,39	0,00023	607,59	364,55
R2	S10	2,16	0,00070	117,99	70,80
R1	S11	9,17	0,00016	634,50	380,70

Fonte: autores, 2024

A abstração inicial (Tabela 11) ou infiltração potencial máxima depende do CN da sub-bacia para cada ano estudado, na qual são inversamente proporcionais, portanto, foram calculadas e inseridas para que o programa possa realizar a modelagem hidrológica.

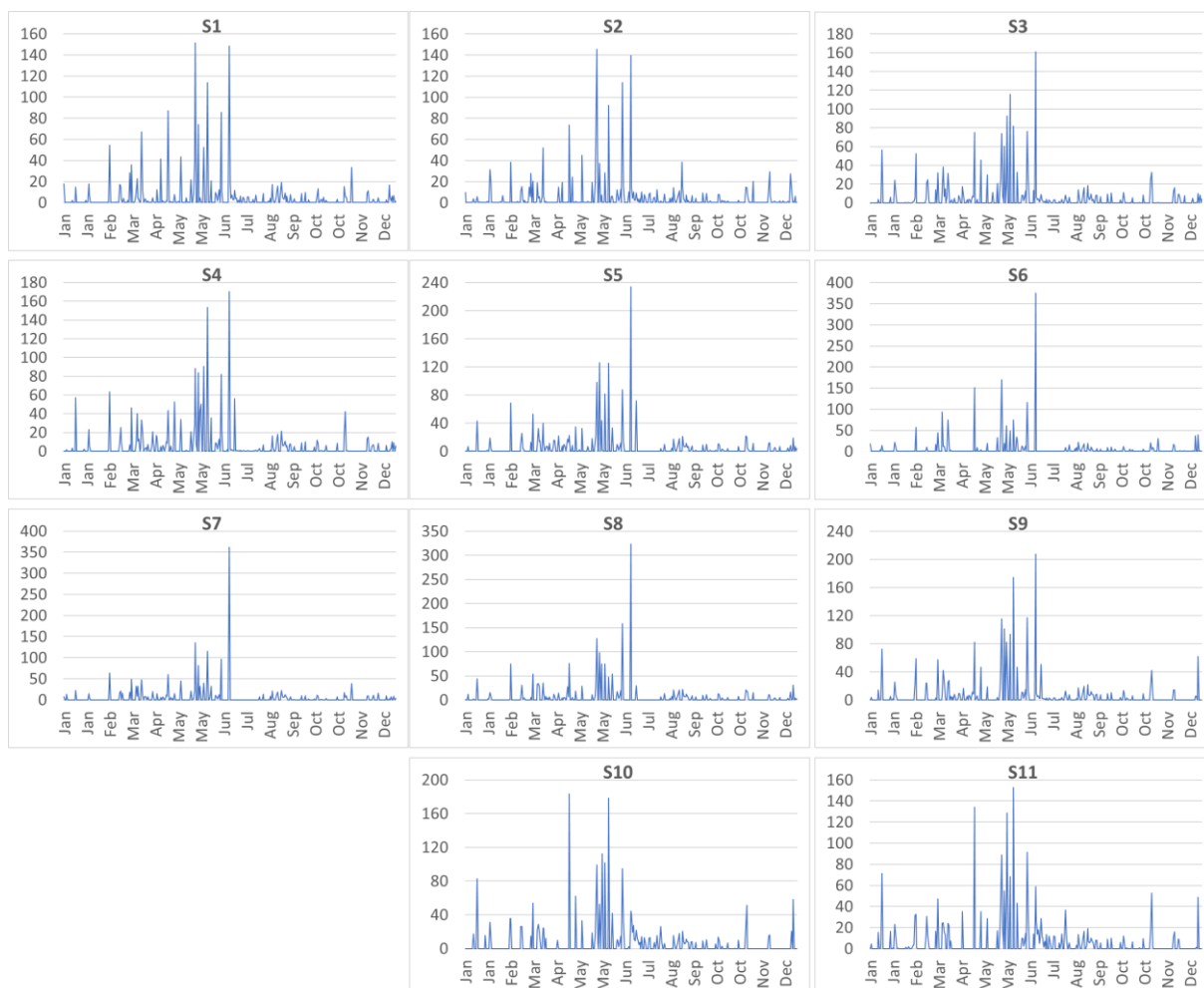
Tabela 11 – Valores de abstração inicial

Sub-bacia	1992 (mm)	2002 (mm)	2012 (mm)	2022 (mm)
S1	30,19	27,92	27,57	28,02
S2	16,70	18,45	18,41	17,22
S3	50,65	50,87	46,71	39,43
S4	48,98	49,72	46,26	36,92
S5	44,06	49,97	49,62	45,32
S6	41,67	42,21	30,63	29,47
S7	39,15	38,58	35,19	34,72
S8	45,81	42,06	40,86	37,98
S9	39,57	40,55	39,23	30,13
S10	46,09	35,46	33,53	31,99
S11	32,30	30,58	28,39	22,51

Fonte: autores, 2024

As precipitações foram exportadas da Universidade da Califórnia em San Diego UCSB/CHG pelo banco de dados *CHIRPS Daily: Climate Hazards Center Infrared Precipitation with Station Data* e a evapotranspiração pela NASA (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço) em parceria com a USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos) pelo conjunto de dados *MOD16A2.061: Terra Net Evapotranspiration 8-Day Global 500m*, ambos utilizando o *Google Earth Engine*, por meio do *script* discriminado no apêndice C e D, respectivamente, gerando os gráficos de precipitações diárias (Figura 13) e evapotranspiração mensal (Tabela 12).

Figura 13– Precipitações diárias por sub-bacia no ano de 2022.



Fonte: autores, 2024

O período mais chuvoso na bacia está em maio (S1, S2, S3, S4, S5, S10 e S11), junho (S8 e S9) e julho (S6 e S7), esses meses correspondem 64,60% a 67,15% das precipitações por sub-bacia, portanto, há alta possibilidade de ocorrências de cheias nesses períodos e de chuvas intensas. As maiores precipitações em S1 e S2 foram em maio, sendo S3 a S9 o mês de julho, S10 em abril e S11 em junho.

Tabela 12 – Valores de evapotranspiração em milímetro por sub-bacia

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
jan	193,6	185,3	206,4	207,5	203,2	150,1	152,6	191,3	229,6	184,5	237,8
fev	197,1	178,7	204,7	208,3	204,0	155,2	141,2	192,9	221,8	193,0	223,6
mar	236,3	224,9	284,2	282,1	266,8	197,0	190,9	255,8	290,4	283,0	292,8
abr	239,2	240,0	279,5	276,4	258,2	207,4	183,6	248,2	280,4	283,9	280,4
mai	273,1	271,5	291,5	295,9	281,8	244,3	233,6	278,0	290,3	288,1	287,1
jun	270,1	268,4	276,3	281,0	276,8	248,7	247,6	268,3	273,0	270,0	271,9
jul	277,5	277,1	279,3	282,7	283,5	260,6	255,8	277,2	275,1	255,9	273,0

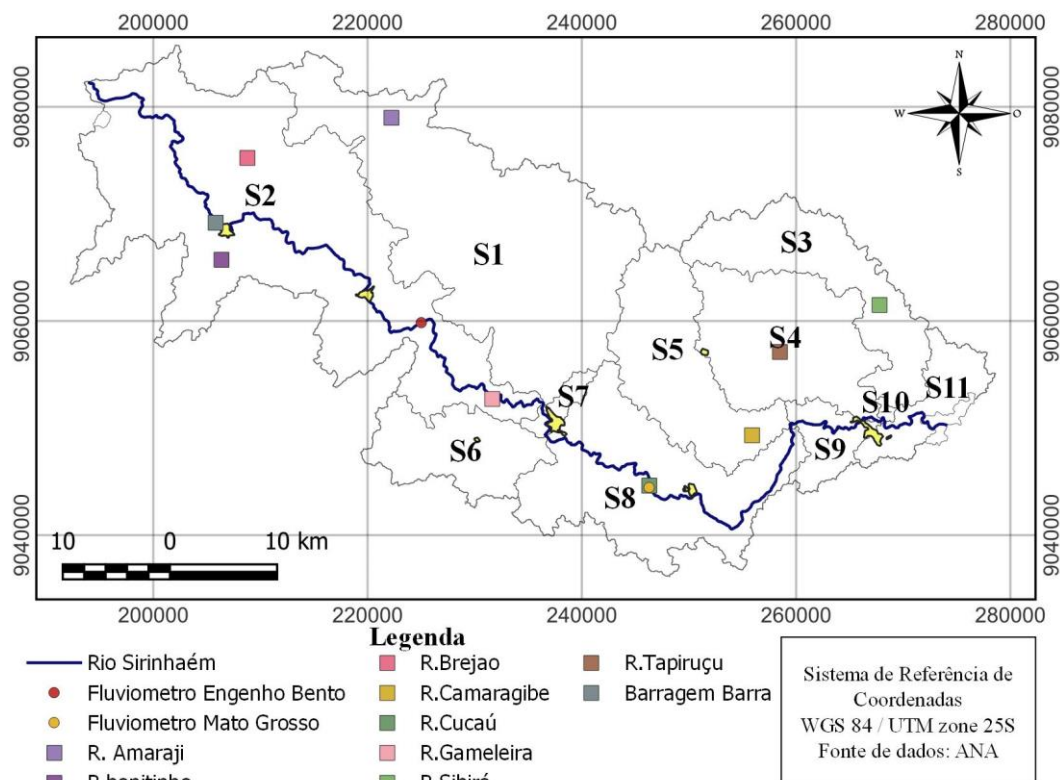
ago	273,7	279,6	258,8	264,5	268,3	256,6	249,6	263,9	260,9	250,7	262,9
set	255,9	255,0	239,8	250,8	249,8	231,2	226,7	248,1	243,9	231,1	244,9
out	226,3	224,7	233,6	240,8	229,9	186,4	177,7	223,5	251,1	217,8	245,7
nov	190,9	187,6	210,9	218,6	214,8	153,5	148,8	198,1	229,2	205,0	227,9
dez	184,6	180,5	186,5	192,4	192,2	141,0	131,6	169,8	200,6	165,1	210,5

Fonte: autores, 2024

A precipitação, juntamente com a camada vegetal favorecem a obtenção de maiores valores de evapotranspiração, de tal modo, os meses com maiores valores são de maio a agosto. As sub-bacias S9 e S11 são os mais chuvosos e obtêm os maiores volumes de evapotranspiração anual.

Para o dimensionamento foi necessário inserir os reservatórios da bacia devidamente georreferenciado pelas informações do hidroweb da ANA (Figura 14) e os gráficos cotaxvolume (anexo I), disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). O reservatório Cucaú e fluviômetro Mato Grosso encontram-se na mesma localização inseridos na bacia S8, já o Engenho Bento na bacia S2 a jusante das cidades de Barra de Guabiraba e Cortês.

Figura 14 – Precipitações diárias por sub-bacia no ano de 2022.

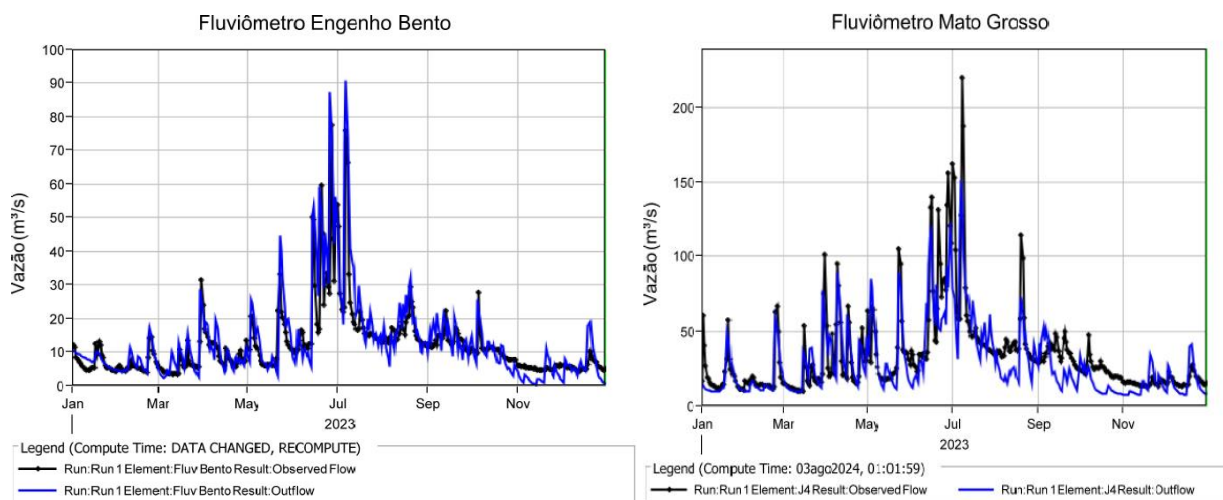


Fonte: autores, 2024

Com as informações inseridas de cotaxvolume dos reservatórios e CN, abstração, tc, lag-time, precipitação e evapotranspiração por sub-bacias no HEC-HMS, foi gerado a

modelagem hidrológica integrada da BHRS e com as informações dos fluviômetros Engenho Bento e Mato Grosso, pode-se validar os dados (Figura 15).

Figura 15– Dados de vazão simulada e observada nos fluviômetros.



Fonte: autores, 2024

Segundo Moriasi *et al.* (2007) e Brighenti, Bonumá e Chaffe (2016), para a validação da modelagem hidrológica deve atender: $NSE \geq 0,5$ e $Pbias \leq \pm 25\%$, e no fluviômetro engenho bento 0,556 e 11,78% e mato grosso 0,607 e -13,73%, portanto apresentando resultados satisfatório de calibração, assim podendo recalcular para valores extremos de precipitação.

5.5 Modelagem hidrodinâmica

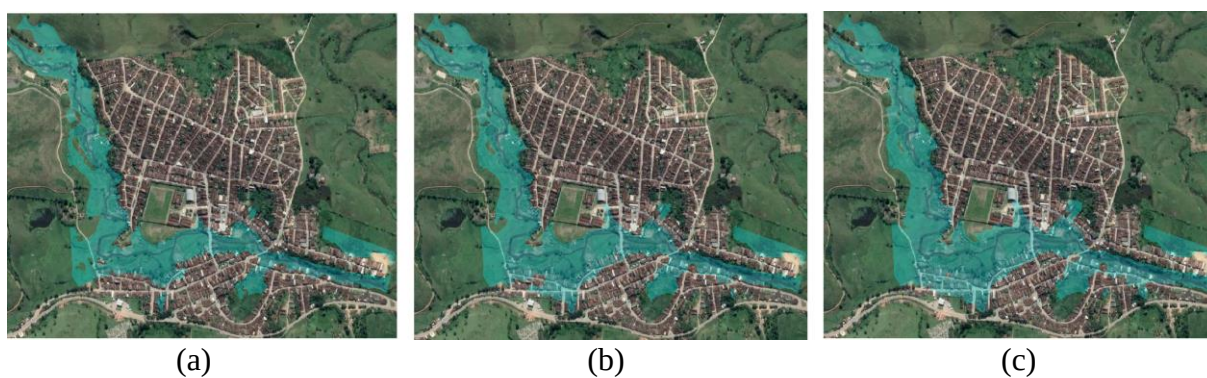
O comportamento hidrodinâmico é condicionado pelo fluxo do rio, que por sua vez tem interferência hidrológicas das sub-bacias a montante dos pontos observados, portanto a cidade de Barra de Guabiraba e Cortês com parte da S2, Gameleira com S1, S2, S6 e S7, Cucaú acrescenta-se uma parte da S8 e em Sirinhaém S1, S2, S5, S6, S7 e S8. Não necessariamente quanto mais a jusante maior será a vazão, embora tendencia a esta ocorrência, no entanto, diversos fatores como CN, retenção de reservatórios e uso do corpo hídrico são fatores que alteraram os resultados, por isso, tão fundamental a calibração do sistema antes de realizar os cálculos de eventos extremos. Já quanto maior o tempo de retorno, maior será os valores de precipitação e vazões, portanto Tr 100 para o estudo são os casos mais críticos de inundações.

A cidade de Barra de Guabiraba e Cortês tiveram resultados de vazões diretamente proporcional ao comportamento do CN na sub-bacia S2, sendo maior valor em 1992 e praticamente mesmas vazões para os anos de 2002, 2012 e 2022 por terem CN próximos, 191,4 m³/s; 191,6 m³/s e 191,4 m³/s, respectivamente.

No tempo de retorno de 20 anos a cidade de Barra de guabiraba teve vazão de 201 m³/s para as condições de uso e cobertura do solo de 1992 que reduziu em média 9,6 m³/s para os

demaís anos devido à variação do CN da sub-bacia 2, assim como Tr50 uma vazão de 277,2 m³/s e redução de 10,7 m³/s e Tr 100 com 349,1 m³/s reduzindo 11,4 m³/s. As modificações do uso da terra estão favorecendo em menores vazões na cidade, trouxe uma redução de 5 cm do nível crítico do corpo para TR20, porém 121 residências inseridas na mancha de inundação. Para Tr50, aumentou 38 centímetros do nível crítico em relação ao Tr20 e reduziu 6 centímetros de 1992 a 2022, com 193 residências em situação de inundação. E Tr100, aumentou 76 centímetros do nível da água em relação ao Tr20 e reduziu 6 centímetros de 1992 a 2022, com 215 residências em situação de inundação, a Figura 16 mostra a mancha de inundação de 1992, sendo (a) Tr20, (b) Tr50 e (c) Tr100, demais imagens encontra-se no apêndice E.

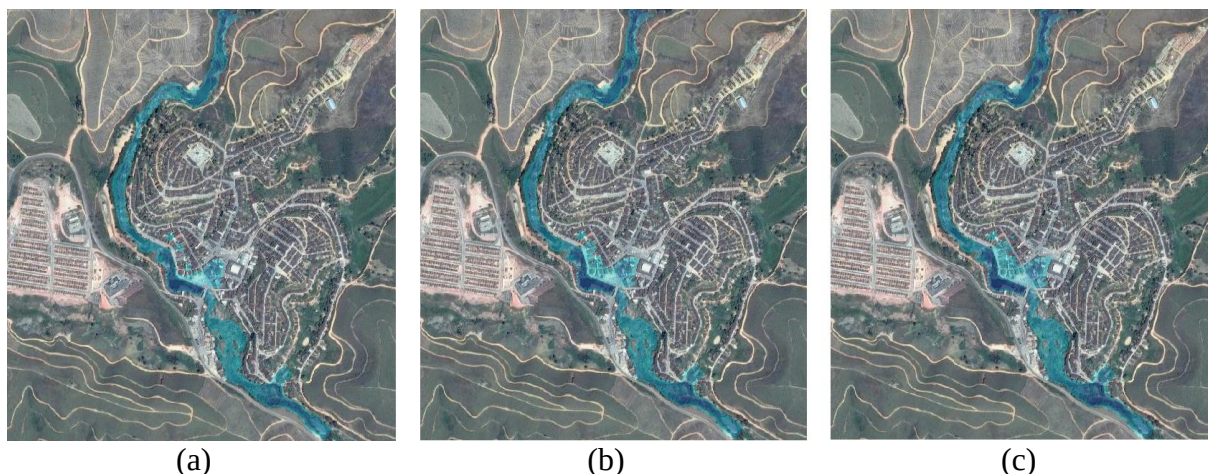
Figura 16 – Mancha de inundação em Barra de Guabiraba.



Fonte: autores, 2024

A cidade de cortês tem contribuição somente da sub-bacia S2, portanto possui comportamentos hidrológicos semelhantes a cidade de Barra de Guabiraba, devido à diminuição do CN com o tempo, favoreceu na redução da vazão, porém intensidades diferentes. Para o Tr20, o trecho apresentou vazão de 238,2 m³/s, reduzindo cerca de 12 m³/s e 6 cm da altura crítica nos demais anos. Para Tr 50, o trecho apresentou vazão de 324,2 m³/s, reduzindo cerca de 13 m³/s e 4 cm da altura crítica nos demais anos, esta altura aumentou 30 cm comparado ao Tr20. Para o T100, o trecho apresentou vazão de 403,3 m³/s, reduzindo cerca de 13,80 m³/s e 45 cm da altura crítica nos demais anos, esta altura aumentou 30 cm comparado ao Tr20. A simulação permite observar que mancha de inundação para Tr 20, 50 e 100, na qual abrangeu 41, 73 e 81 residências principalmente em uma região baixa próxima a ponte. Embora o aumento considerável da altura crítica do nível da água, acrescentou poucas residências, logo as demais construções ocupam maiores altitudes, mas vale salientar que houve uma maior magnitude dos danos pois a altura da água que invade a cidade chega a 2,28 metros, a Figura 17 mostra a mancha de inundação de 1992, sendo (a) Tr20, (b) Tr50 e (c) Tr100, demais imagens encontra-se no apêndice E.

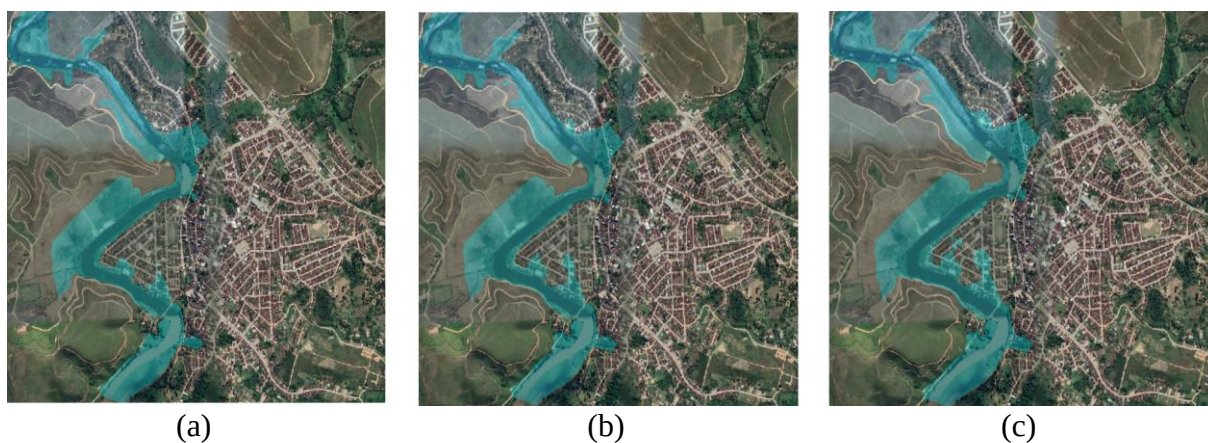
Figura 17 – Mancha de inundação em Cortês



Fonte: autores, 2024

A vazão está aumentando em Gameleira, cerca de $16 \text{ m}^3/\text{s}$ nos últimos 20 anos devido as alterações do uso da terra, chegando a $636,2 \text{ m}^3/\text{s}$ para Tr 100, $492,2 \text{ m}^3/\text{s}$ em Tr50 e $336,8 \text{ m}^3$ no Tr20, porém pouca diferença de altura do nível do corpo hídrico devido as cotas altas em boa parte do percurso do rio, no entanto nas curvas as cotas favorecem o avanço do corpo hídrico para adentrar a cidade, tal fator potencializado pela redução da velocidade nestas curvas. A mancha de inundação atingiu 38 casas em Tr20, 75 em Tr50 e 98 casas em Tr100. A Figura 18 mostra a mancha de inundação de 2022, sendo (a) Tr20, (b) Tr50 e (c) Tr100, demais imagens encontra-se no apêndice E.

Figura 18 – Mancha de inundação em Gameleira

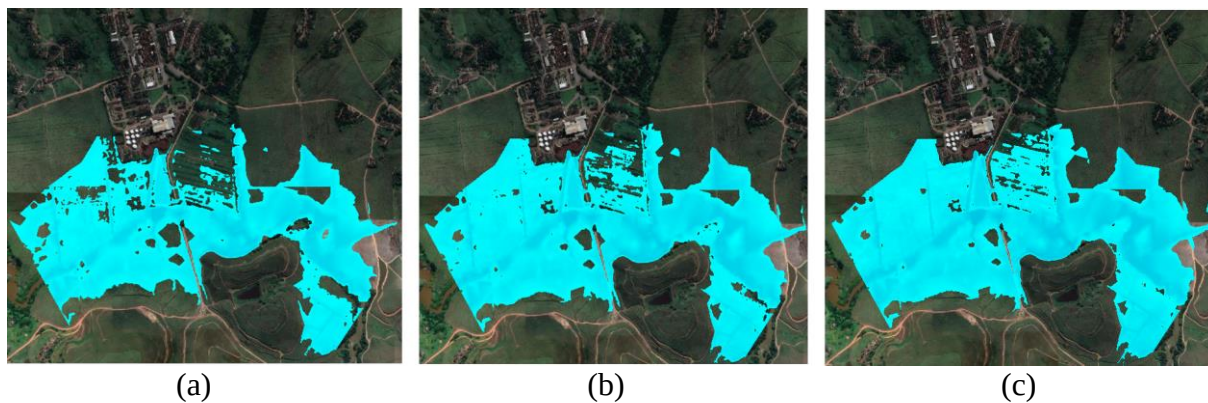


Fonte: autores, 2024

A região de Cucaú está arrodeada de agricultura e na entrada dela possui uma usina de processamento de cana-de-açúcar, porém a mancha do corpo hídrico não chega a adentrar a cidade, mas a inundação abrange uma vasta área da agricultura. As alterações do CN, a vazão está aumentando gradativamente já sendo $12,6 \text{ m}^3/\text{s}$ de acréscimo em 30 anos. A Figura 19

mostra a mancha de inundação de 2022, sendo (a) Tr20, (b) Tr50 e (c) Tr100, demais imagens encontra-se no apêndice E.

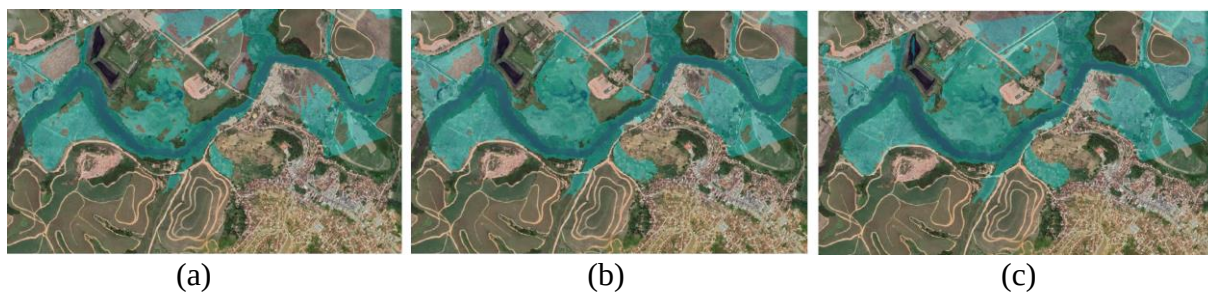
Figura 19 – Mancha de inundação em Cucaú



Fonte: autores, 2024

A cidade de Sirinhaém para chuvas extremas de Tr100 aumentou $27,3\text{m}^3/\text{s}$ em 30 anos devido ao uso e cobertura do solo, chegando a $667,3\text{ m}^3/\text{s}$ para este evento extremo. Assim como Cucaú, uma vasta área é inundada nas proximidades do rio Sirinhaém, na qual não deve se ter construções civis, na cidade principalmente a parte superior direita que tende a acumular água chegando a 3,4 metros no ponto mais crítico. Para o Tr20 não há residências atingidas, porém T50 com 13 casas e T100 chegando a 23, devido algumas casas ribeirinhas. A Figura 20 mostra a mancha de inundação de 2022, sendo (a) Tr20, (b) Tr50 e (c) Tr100, demais imagens encontra-se no apêndice E.

Figura 20 – Mancha de inundação em Sirinhaém

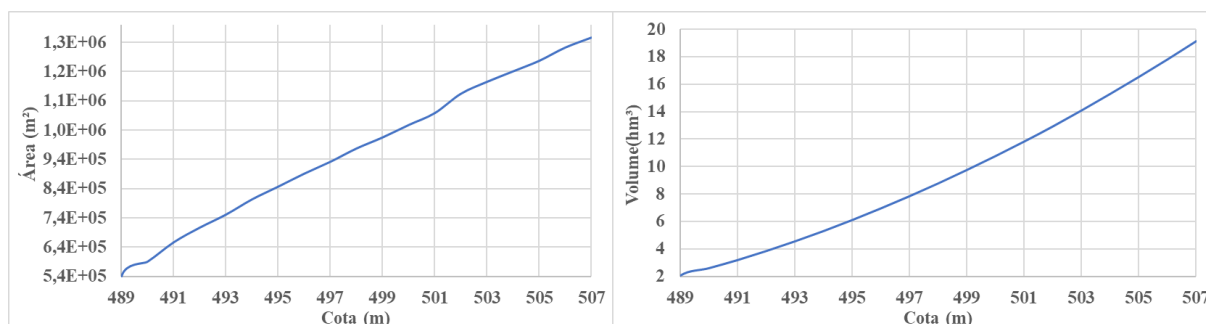


Fonte: autores, 2024

Existe uma barragem para combate a inundações prevista para execução em 2025, localizada na S2, montante a cidade de Barra de Guabiraba. O reservatório que possuirá o nome da cidade e sua execução pretende sanar as ocorrências de desastres naturais nas cidades da bacia. A água armazenada atinge uma cota de coroamento, gerando uma área e volume de armazenamento, e segundo o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) da barragem, os valores respectivamente são: 509 m, $1,3\text{ km}^2$ e $19.000.000\text{ m}^3$ (ITEP, 2011). A diferença geométrica da

pesquisa para os dados fornecidos foi de 2 metros, portanto a cota para análise foi de 507 metros, com isso gerou-se os gráficos de cota x área e cota x volume, conforme Figura 21.

Figura 21 – Cota x área e cota x volume da barragem Barra de Guabiraba



Fonte: autores, 2024.

O resultado permitiu a precisão dos dados por cota, na qual foram inseridos no software HEC-HMS para análise no reservatório. A área total de armazenamento é 1.357.158,474 m² e volume de 19.153,43 m³. Para atingir a cota máxima, necessita-se de chuvas intensas ou chuvas recorrentes, assim para melhor visualizar o comportamento hidrológico nesta situação na barragem, observou-se o mês mais chuvoso da bacia S2 e com mais chuvas, sendo assim 22 a 31 de maio (Tabela 13).

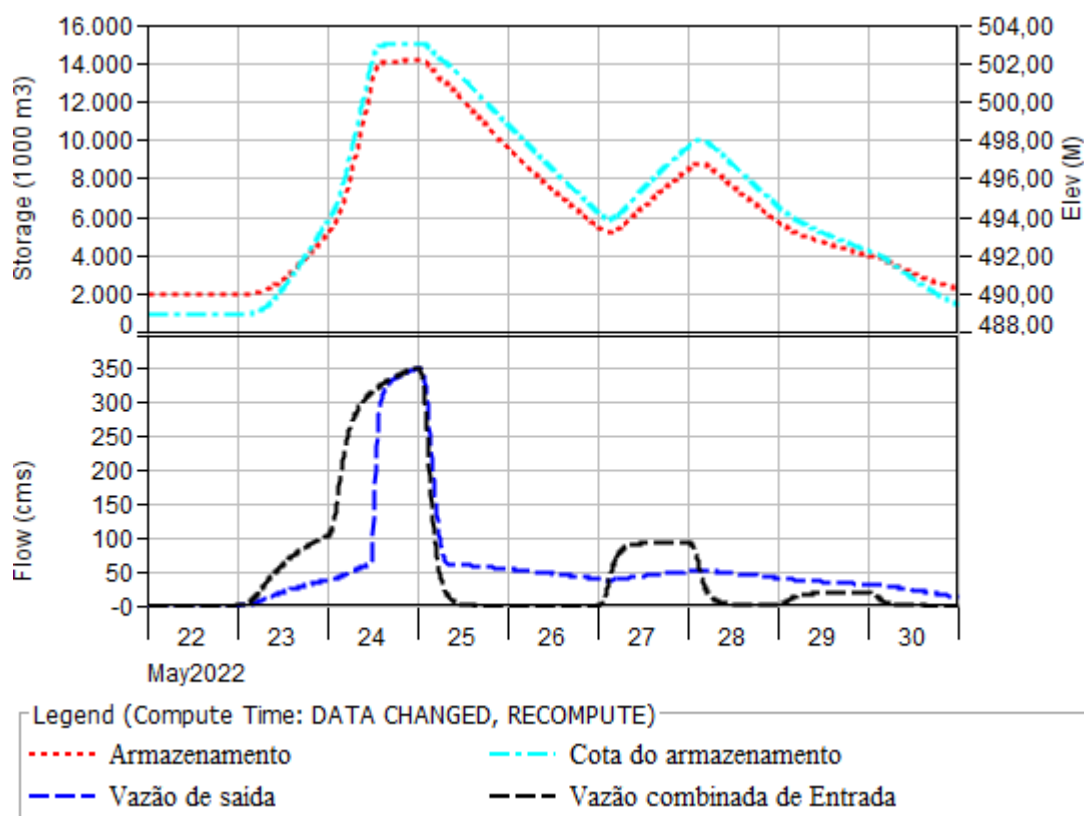
Tabela 13 – Precipitação de 22 a 31 de maio de 2022

Dia	Precipitação (mm)	Dia	Precipitação (mm)
22/maio	-	27/maio	-
23/maio	17,62	28/maio	37,23
24/maio	62,51	29/maio	0,80
25 /maio	145,47	30/ maio	7,20
26/ maio	-	31/ maio	-

Fonte: autores, 2024.

Com os valores de precipitação, informação da cota x volume e dados de modelagem hidrológica da bacia, foi possível simular com o HEC-HMS os resultados da propagação de cheia no período de 22 a 31 de maio de 2022 (Figura 22), porém não há possibilidade de calibração devido a não operação do mesmo.

Figura 22 – Comportamento hidrodinâmico da barragem Barra de Guabiraba



Fonte: autores, 2024.

O gráfico cota x volume (Figura 21) tem características de 1º ordem, tendência linear, que mostra o quanto o armazenamento e sua respectiva cota da superfície irão aumentar de maneira praticamente simétrica (Figura 22). Além disso, chuva de 145,47mm, somados com outras inferiores precipitações não foram suficientes para atingir a cota de cheia da barragem, no caso simulado, obteve uma cota de 503 m e volume de 14.154,2 hm³, portanto ainda com folga de operação.

A vazão de entrada tem dois picos, dia 25 e 28, que sem a barragem rapidamente escoaria esta água para o restante da bacia e potencializaria cheias a jusante. No gráfico mostra que desde o dia 23 com a primeira chuva, houve um amortecimento, aumento do volume e cota de armazenamento mais lento, porém dia 24 e 25 mudou o cenário, e menos tempo ocupa boa parte da barragem e a vazão de entrada necessitou-se ser mais rapidamente liberada, no caso pelo vertedouro, que está na cota 502. Por isso, reduziu a vazão de 351,4m³/s (equivalente a Tr100) para 73,09 m³/s, que após este processo, a cota e volume baixam de maneira gradativa juntamente com a vazão. No dia 28 adiante devido novas ocorrências de chuva, tem uma leve alteração, porém ainda com comportamento de esvaziamento do reservatório. O processo de

controle da vazão favorecerá bastante no combate a inundação e a BHRS necessita urgentemente dessa obra que traz resultados bastante eficaz.

6 CONCLUSÃO

A BHRS possui 8 reservatórios sendo nenhuma barragem para funcionalidade ao combate a inundações. Em 2025 está previsto a execução da barragem Barra de Guabiraba considerada de médio porte que terá segundo a APAC (2019) a função de combater as inundações na bacia. A pesquisa apontou diversas ocorrências de desastres socioambientais provocados pela inundação, possível devido a modelagem hidrológica e calibração do sistema pelo HEC-HMS e simulação com o HEC-RAS. A cidade de Barra de Guabiraba, Gameleira e Cortês são sequencialmente as mais atingidas na bacia. A simulação mostra que a BHRS pode sofrer com 417 residências atingidas pela mancha de inundação para eventos extremos de 100 anos e 200 para TR20, sendo cerca de 60% somente em Barra de Guabiraba. Portanto, medidas devem ser tomadas urgentemente para combater as inundações. Todas as cidades menos a região de Cucaú tiveram desastres civis, porém esta, apresentou uma vasta área de agricultura tomada pela mancha de inundação.

Caso ocorra a execução da barragem de Barra de Guabiraba como previsto, seria importante realizar novamente a modelagem hidrológica e hidrodinâmica, porém com dados de fluviômetros para novas calibrações. Outro fator que o mundo está passando é o aquecimento global e mudanças climáticas, portanto este trabalho pode servir de comparação com as alterações de eventos extremos de precipitações que potencializa em maiores vazões.

A bacia possui somente 2 fluviômetros ativos que dificulta na calibração, além deste fator, alguns dados sem informações nos pluviômetros e fluviômetros e o desencontro de dados de mesmo ano desfavorece a calibração para vários anos do sistema. Tais aparelhos instalados e operando devidamente com resultados trariam uma melhor precisão. Porém, foi possível realizar os estudos com eficiência aceitável pelo NSE 0,556 no fluviômetro Engenho Bento e 0,607 no Mato Grosso e Pbias com 11,78% e -13,73%, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, D.; AFZAL, M. Flood hazards and livelihood vulnerability of flood-prone farm-dependent Bait households in Punjab, Pakistan. **Environmental science and pollution research international**, v. 29, n. 8, p. 11553–11573, 2022. DOI 10.1007/s11356-021-16443-4. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-16443-4>.
- AIRES, A. D., COSTA, J. D., BEZERRA, J. M., RÊGO, A.T., 2021. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica da barragem de Pau dos Ferros/RN. *Revista GEAMA - Ciências Ambientais e Biotecnologia*, 67-76.
- AJMAL, M.; WASEEM, M.; AHN, J.-H.; KIM, T.-W. Improved runoff estimation using event-based rainfall-runoff models. **Water resources management**, v. 29, n. 6, p. 1995–2010, 2015. DOI 10.1007/s11269-015-0924-z. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-015-0924-z>.
- ALVES, A. (n.d.). APAC - Agência Pernambucana de Águas e Climas - Início. APAC - Agência Pernambucana de Águas E Climas. <https://www.apac.pe.gov.br/>
- ALVES, W. dos S.; MARTINS, A. P.; MORAIS, W. A.; PÔSSA, É. M.; DE MOURA, D. M. B.; DOS SANTOS, L. N. S.; FERREIRA, R. S.; NUNES, N. da C.; PEREIRA, M. A. B.; MOREIRA, E. P. Morfometria da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, sudoeste de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 07, p. 3636–3658, 2020. DOI 10.26848/rbgf.v13.07.p3636-3658. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3636-3658>.
- AMBARWULAN, W.; NAHIB, I.; WIDIATMAKA, W.; SURYANTA, J.; MUNAJATI, S. L.; SUWARNO, Y.; TURMUDI, T.; DARMAWAN, M.; SUTRISNO, D. Using geographic information systems and the analytical hierarchy process for delineating erosion-induced land degradation in the middle Citarum sub-watershed, Indonesia. **Frontiers in environmental science**, v. 9, 2021. DOI 10.3389/fenvs.2021.710570. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fenvs.2021.710570>.
- ANJINHO, P. da S.; BARBOSA, M. A. G. A.; COSTA, C. W.; MAUAD, F. F. Environmental fragility analysis in reservoir drainage basin land use planning: A Brazilian basin case study. **Land use policy**, v. 100, n. 104946, p. 104946, 2021. DOI 10.1016/j.landusepol.2020.104946. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104946>.
- ANJINHO, P. S.; BARBOSA, M.A.G.A.; SANTOS, A.R.; MAUAD, F.F. (2018). Espacialização do Parâmetro Curve Number (CN) na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lobo para o período de 1985 e 2017. In: XVI Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Ciências Da Engenharia Ambiental, 2018, São Carlos. Anais [...]. São Paulo: PPG-SEA, 2009. 12 p.
- ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; COSTA, C. E. F. F.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(3), 243-252, 2013. Doi: 10.1590/S1415-43662013000300001

ARAÚJO, D. C. dos S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CORBARI, C.; VIANA, J. F. de S. Calibration of FEST-EWB hydrological model using remote sensing data in a climate transition region in Brazil. **Journal des sciences hydrologiques [Hydrological sciences journal]**, v. 66, n. 3, p. 513–524, 2021. DOI 10.1080/02626667.2021.1881100. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2021.1881100>.

ASADIEH, B.; KRAKAUER, N. Y. Global change in streamflow extremes under climate change over the 21st century. **Hydrology and earth system sciences**, v. 21, n. 11, p. 5863–5874, 2017. DOI 10.5194/hess-21-5863-2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/hess-21-5863-2017>.

ASFAW, D.; WORKINEH, G. Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation. **International soil and water conservation research**, v. 7, n. 2, p. 150–157, 2019. DOI 10.1016/j.iswcr.2019.02.003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.02.003>.

ASHOK KUMAR, K.; SUDHEER, K. V. S.; PAVANI, K.; UMADEVI, G. D.; REDDY, C. V. C. M.; SAHADEVA REDDY, B. Extreme rainfall analysis for development of rainfall intensity duration frequency curves for semiarid region of Andhra pradesh in India. **National Academy science letters. National Academy of Sciences, India**, 2023. DOI 10.1007/s40009-023-01360-6. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s40009-023-01360-6>.

BACK, Á. J. Alternative model of intense rainfall equation obtained from daily rainfall disaggregation. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**, v. 25, 2020. DOI 10.1590/2318-0331.252020190031. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.252020190031>.

BAIAMONTE, G. SCS curve number and green-ampt infiltration models. **Journal of hydrologic engineering**, v. 24, n. 10, 2019. DOI 10.1061/(asce)he.1943-5584.0001838. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0001838](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0001838).

BARBOSA, A. de G.; SOUZA NETO, I. R. de; COSTA, V. A. F.; MENDES, L. A. Assessing intensity-duration-frequency equations and spatialization techniques across the Grande River Basin in the state of Bahia, Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**, v. 27, 2022. DOI 10.1590/2318-0331.272220220083. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.272220220083>.

BELL, F.C. Generalized rainfall-duration-frequency relationships, *Journal of the Hydraulics, Division –ASCE*, v. 95, p. 311-327. 1969.

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; COELHO, G.; SILVA, A.M e VIOLA, M.R. Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 169–178, fev. 2009.

BOITRAGO, S. A.; LIMA, L. F. A.; LIMA, F. A.; LEITE, M. E.; COSTA, L. R. F. D. A. Aplicação do Modelo HEC-HMS para Simulação do Escoamento Superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Vieiras. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 4, p. 2091–2102, 2023. DOI 10.26848/rbgf.v16.4.p2091-2102. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v16.4.p2091-2102>.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989, Diário Oficial da União. Brasília, 1997.

BRASIL. Lei 12984, de 02 de junho de 2014. Define o crime de discriminação aos portadores do vírus da imunodeficiência humana (HIV) e doentes de AIDS. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2014.

BRIGHENTI, T.; BONUMÁ, N.; CHAFFE, P. Calibração hierárquica do modelo swat em uma bacia hidrográfica Catarinense. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**, v. 21, n. 1, p. 53–64, 2016. DOI 10.21168/rbrh.v21n1.p53-64. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p53-64>.

BROWN, A. G.; LESPEZ, L.; SEAR, D. A.; MACAIRE, J.-J.; HOUBEN, P.; KLIMEK, K.; BRAZIER, R. E.; VAN OOST, K.; PEARS, B. Natural vs anthropogenic streams in Europe: History, ecology and implications for restoration, river-rewilding and riverine ecosystem services. **Earth-science reviews**, v. 180, p. 185–205, 2018. DOI 10.1016/j.earscirev.2018.02.001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.02.001>.

BUTA, C.; MIHAI, G.; STĂNESCU, M. Flash floods simulation in a small drainage basin using HEC-RAS hydraulic model. **Ovidius University Annals of Constanta - Series Civil Engineering**, v. 19, n. 1, p. 101–118, 2017. DOI 10.1515/ouacsce-2017-0009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1515/ouacsce-2017-0009>.

CARVALHO, F.; RODRIGUES, S. C. Método Curve Number – pesquisas e discussões dos parâmetros valor CN e abstração inicial. *Geografia Ensino & Pesquisa*, p. e31–e31, 2 dez. 2021. DOI: 105902/14146509447861

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Disponível em <http://www2.cemaden.gov.br/o-alerta/>. Acesso 10 de Dezembro de 2023.

CETESB. Drenagem urbana: Manual de projeto. São Paulo, 466p. 1980.

CHAGAS, A. M. S. das; MONTENEGRO, A. A. de; FARIAS, C. W. L. de A.; LINS, F. A. C.; SILVA, J. R. I. Use of geotechnologies for morphometric analysis of experimental basin in the semiarid region to support hydrological simulation. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 30, p. 19–35, 2022. DOI 10.13083/reveng.v30i1.12629. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v30i1.12629>.

CORREIA FILHO, W. L. F.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. de; SANTOS, C. T. B. dos; BATISTA, B. A.; SANTIAGO, D. de B.; SILVA JUNIOR, C. A. da; TEODORO, P. E.; COSTA, C. E. S. da; SILVA, E. B. da; FREIRE, F. M. The influence of urban expansion in the socio-economic, demographic, and environmental indicators in the City of Arapiraca-Alagoas, Brazil. **Remote Sensing Applications Society and Environment**, v. 25, n. 100662, p. 100662, 2022. DOI 10.1016/j.rsase.2021.100662. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100662>.

COSTA, A. A. D. da; GALVANIN, E. A. dos S.; NEVES, S. M. A. da S. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Paraguai/Jauquara, Mato Grosso - Brasil. **Geosul**, v. 35, n. 74, p. 483–500, 2020. DOI 10.5007/1982-5153.2020v35n74p483. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n74p483>.

COUTINHO, A. P.; RIBAS, L. V.; LEITE, L. L. L.; ANTONINO, A. C. D.; CABRAL, J. J. S. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MELO, T. A. T. 2013. Determinação de equações de chuvas intensas para municípios das mesorregiões do estado de Pernambuco através do método de Bell. XX Simpósio brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves/RS, pp. 1-8.

COUTINHO, A. P.; DE ALCÂNTARA, L. R. P.; COSTA, I. R. de A.; BARROS, V. H. de O.; COSTA, L. F.; RIBAS, L. V. da S.; ALVES, E. M.; ANTONINO, A. C. D. O efeito do método de desagregação de chuva no hidrograma de projeto para uma bacia hidrográfica rural no semiárido nordestino. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, , p. 146–156, 2019. DOI 10.24221/jeap.4.2.2019.2376.146-156. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.4.2.2019.2376.146-156>.

CUI, P.; PENG, J.; SHI, P.; TANG, H.; OUYANG, C.; ZOU, Q.; LIU, L.; LI, C.; LEI, Y. Scientific challenges of research on natural hazards and disaster risk. **Geography and Sustainability**, v. 2, n. 3, p. 216–223, 2021. DOI 10.1016/j.geosus.2021.09.001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geosus.2021.09.001>.

CUNHA, L.; LEAL, C.; TAVARES, A.; SANTOS, P. Risco de inundação no município de Torres Novas (Portugal). **Revista Geonorte**, v. 1, n. 4, p. 961-973, 2012.

DAS, S.; PARDESHI, S. D. Comparative analysis of lineaments extracted from Cartosat, SRTM and ASTER DEM: a study based on four watersheds in Konkan region, India. *Spatial information research*, v. 26, n. 1, p. 47–57, 2018. DOI 10.1007/s41324-017-0155-x. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s41324-017-0155-x>.

DE LIMA, F. J.; MENEZES, L. D. S.; DA SILVA, O. G.; MONTEIRO, K. D. A. Parâmetros morfométricos aplicados à bacia do rio da Batateira (Ceará- Brasil) para identificar suscetibilidade a enchentes. **Revista de Geografia**, v. 39, n. 1, p. 19, 2022. DOI 10.51359/2238-6211.2022.247770. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.51359/2238-6211.2022.247770>.

ALVES, W. dos S.; MARTINS, A. P.; MORAIS, W. A.; PÔSSA, É. M.; DE MOURA, D. M. B.; DOS SANTOS, L. N. S.; FERREIRA, R. S.; NUNES, N. da C.; PEREIRA, M. A. B.; MOREIRA, E. P. Morfometria da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, sudoeste de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 07, p. 3636–3658, 2020. DOI 10.26848/rbgf.v13.07.p3636-3658. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3636-3658>.

ĐUKIĆ, V.; ERIĆ, R. SHETRAN and HEC HMS model evaluation for runoff and soil moisture simulation in the Jičinka River catchment (Czech Republic). **Water**, v. 13, n. 6, p. 872, 2021. DOI 10.3390/w13060872. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/w13060872>.

DURÁN-BARROSO, P.; GONZÁLEZ, J.; VALDÉS, J. B. Improvement of the integration of Soil Moisture Accounting into the NRCS-CN model. **Journal of hydrology**, v. 542, p. 809–

819, 2016. DOI 10.1016/j.jhydrol.2016.09.053. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.09.053>.

EL-BAGOURY, H.; GAD, A. Integrated Hydrological Modeling for Watershed Analysis, Flood Prediction, and Mitigation Using Meteorological and Morphometric Data, SCS-CN, HEC-HMS/RAS, and QGIS. *Water* 2024, 16, 356. <https://doi.org/10.3390/w16020356>

EL-HAKIM, M.H.; EL-BAZ, F. Flash flood hazard assessment in the Eastern Desert of Egypt using remote sensing and GIS *Nat. Hazards*, 77 (3), pp. 1875-1890, 2015. DOI 10.1007/s11069-015-1700-5

EL-MAGD, I. A.; HERMAS, E.; BASTAWESY, M. E. GIS-modelling of the spatial variability of flash flood hazard in Abu Dabbab catchment, Red Sea Region, Egypt. **Egyptian journal of remote sensing and space sciences**, v. 13, n. 1, p. 81–88, 2010. DOI 10.1016/j.ejrs.2010.07.010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2010.07.010>.

EMBRAPA- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro (2013)

ERTAN, A.; ÖZELKAN, E.; KARAMAN, M. Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri Ortamında Sel ve Taşkın Alanlarının Belirlenmesi: Çanakkale-Karamenderes Havzası Örneği. **Journal of Research in Atmospheric Science (JRAS)**, v. 2, n. 2, p. 1–9, 2021. DOI 10.29228/resatmsci.56883. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.29228/resatmsci.56883>.

ESTEVEZ, L. V.; ESTEVES, A. M. S. L.; MOURA, T. C. C.; DE OLIVEIRA, C. S.; ALVES, E. M.; DA PAZ, D. H. F. Caracterização morfométrica da sub-bacia do Riacho Camaçari, pernambuco, com uso do software QGIS e complementos de processamento GRASS e GDAL. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 1, p. 703–714, 2023. DOI 10.34117/bjdv9n1-051. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv9n1-051>.

FENG, B.; ZHANG, Y.; BOURKE, R. Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. **Natural hazards (Dordrecht, Netherlands)**, v. 106, n. 1, p. 613–627, 2021. DOI 10.1007/s11069-020-04480-0. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-020-04480-0>.

FERRAZ, F. G., 2019. Simulação hidrológica e hidrodinâmica do impacto de enchentes na bacia do rio Sirinhaém e avaliação de sistema de controle proposto. Dissertação (Mestrado). Recife, Universidade Federal de Pernambuco.

FRANÇA, G. V. Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. 1968. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP.

GENOVEZ, A.; NETO, F.; SARTORI, A. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **RBRH**, v. 10, n. 4, p. 5–18, 2005. DOI 10.21168/rbrh.v10n4.p5-18. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v10n4.p5-18>.

HAMDAN, A. N. A.; ALMUKTAR, S.; SCHOLZ, M. Rainfall-runoff modeling using the HEC-HMS model for the Al-Adhaim River catchment, northern Iraq. **Hydrology**, v. 8, n. 2, p. 58, 2021. DOI 10.3390/hydrology8020058. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/hydrology8020058>.

HARSHA, J.; RAVIKUMAR, A. S.; SHIVAKUMAR, B. L. Evaluation of morphometric parameters and hypsometric curve of Arkavathy river basin using RS and GIS techniques. **Applied water science**, v. 10, n. 3, 2020. DOI 10.1007/s13201-020-1164-9. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-020-1164-9>.

ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco. RIMA – Relatório de Impactos Ambientais, Sistema de Controle de Cheias da Bacia do Rio Sirinhaém- Barragem Barra de Guabiraba; Unidade Gestora de Projetos Barragens da Mata Sul. – Recife, 2011.

JEONG, C.; KIM, D.-H.; YOO, H.-J.; LEE, S.-O. Selection of elevation models for flood inundation map generation in small urban stream: Case study of Anyang stream. **Advances in technology innovation**, v. 9, n. 1, p. 28–41, 2023. DOI 10.46604/aiti.2023.12000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.46604/aiti.2023.12000>.

KIRPICH, Z. P., 1940. Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, Reston 10, 6, 362.

KNEBL, M. R.; YANG, Z.-L.; HUTCHISON, K.; MAIDMENT, D. R. Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event. **Journal of environmental management**, v. 75, n. 4, p. 325–336, 2005. DOI 10.1016/j.jenvman.2004.11.024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.11.024>.

LIMA, A. S.; DA SILVA PIMENTEL, M. A.; BARBOSA VALE, J. R. Análise Morfométrica da bacia hidrográfica do rio Marapanim, Pará: estudo aplicado ao planejamento ambiental e análise integrada da paisagem. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 2071–2086, 2021. DOI 10.26848/rbgf.v14.4.p2071-2086. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2071-2086>.

LOPES, J. R. A.; BEZERRA, J. M.; ALMEIDA, N. M. D. P.; COSTA, H. C. G.; FERNANDES, G. S. T.; GONÇALVES, G. L.; MENDONÇA, S. de S. C.; JÚNIOR, M. E. de O. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Açude Grande no semiárido do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 1, p. 429–442, 2022. DOI 10.26848/rbgf.v15.1.p429-442. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p429-442>.

MAHALA, A. The significance of morphometric analysis to understand the hydrological and morphological characteristics in two different morpho-climatic settings. **Applied water science**, v. 10, n. 1, 2020. DOI 10.1007/s13201-019-1118-2. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-019-1118-2>.

MARTH, J. D.; MOURA, N. S. V.; KOESTER, E. Estudo da suscetibilidade à inundação com base em análise geomorfológica, bacia hidrográfica do Arroio Santa Isabel, região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, v. 37, n. 1, p. 13–28,

2016. DOI 10.5935/0100-929x.20160002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/0100-929x.20160002>.

MARTINS, C. F. V.; BAHIA, D. dos S. G.; DOLL, K. M.; SILVA, D. T. da. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga, SE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 7, n. 2, p. 117–126, 2022. DOI 10.24221/jeap.7.2.2022.4247.117-126. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.7.2.2022.4247.117-126>.

MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. SCS-CN Method. In Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology; Water Science and Technology Library; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2003; Volume 42, pp. 84–146.

HEGAZY, M. N.; EL-FAKHARANY, M. A. A.; ABDO, A. M.; MANSOUR, N. M. Estimation of expected peak discharge and flood volume of the Heliopolis basin, East Cairo, Egypt, using RS and WMS program. **Egyptian journal of remote sensing and space sciences**, v. 26, n. 3, p. 676–690, 2023. DOI 10.1016/j.ejrs.2023.07.010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.07.010>.

MORBIDELLI, R.; SALTALIPPI, C.; FLAMMINI, A.; GOVINDARAJU, R. S. Role of slope on infiltration: A review. **Journal of hydrology**, v. 557, p. 878–886, 2018. DOI 10.1016/j.jhydrol.2018.01.019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.019>.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 885–900, 2007. DOI 10.13031/2013.23153. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.23153>.

MOSAVI, A.; OZTURK, P.; CHAU, K.-W. Flood prediction using machine learning models: Literature review. **Water**, v. 10, n. 11, p. 1536, 2018. DOI 10.3390/w10111536. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/w10111536>.

NILSSON, C.; RIIS, T.; SARNEEL, J. M.; SVAVARSDÓTTIR, K. Ecological restoration as a means of managing inland flood hazards. **Bioscience**, v. 68, n. 2, p. 89–99, 2018. DOI 10.1093/biosci/bix148. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/biosci/bix148>.

NUNES, A. de A.; PINTO, E. J. de A.; BAPTISTA, M. B.; PAULA, M. H. de; XAVIER, M. O. Intensity-duration-frequency curves in the municipality of Belo Horizonte from the perspective of non-stationarity. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**, v. 26, 2021. DOI 10.1590/2318-0331.262120210017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.262120210017>.

OLABODE, O. F.; OLUWANIYI, O. E.; ADEBAYO, Q. A.; ASIWAJU-BELLO, Y. A. Morpho-lithostructural analysis of Ala River basin for flood risk assessment: geospatial techniques intervention. **Earth science informatics**, v. 13, n. 3, p. 773–794, 2020. DOI 10.1007/s12145-020-00457-6. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12145-020-00457-6>.

OLIVEIRA, L. F. C. Extreme rainfall in Brazil: models and applications. Lavras: Ed. UFLA, 2019.

PANDE, C. B.; MOHARIR, K. GIS based quantitative morphometric analysis and its consequences: a case study from Shanur River Basin, Maharashtra India. **Applied water science**, v. 7, n. 2, p. 861–871, 2017. DOI 10.1007/s13201-015-0298-7. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-015-0298-7>.

PE3D – Pernambuco tridimensional. Disponível em: <<http://www.pe3d.pe.gov.br/>>. Acesso em: 26/06/2024.

PEDROSA, B. M. e CÂMARA, G. Modelagem dinâmica e sistemas de informações geográficas. *Geomática: Modelos e aplicações ambientais*. Brasília, Embrapa, 2007. p.235-280.

PEREIRA, L. C. F.; BRITO, G. H. M.; VESPUCCI, I. L.; ROCHA, I. J. de F. ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOS PATOS, GO. **Ipê Agronomic Journal**, v. 3, n. 1, p. 4–13, 2019. DOI 10.37951/2595-6906.2019v3i1.4319. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.37951/2595-6906.2019v3i1.4319>.

PERNAMBUCO. Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos, Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco – Produto 3 – Relatório Técnico Parcial 1 – Tomo I. Recife, Pernambuco, 2020.

PIEIDADE, G. C. R. Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP. 1980. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP, Botucatu/SP.

PORTELA, B. de M.; ALVES, G. B.; DA SILVA, S. R.; LAFAYETTE, K. P. V. Análise da Vulnerabilidade à Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Sirinhaém, utilizando o Método de Análise Hierárquica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1247–1262, 2023. DOI 10.26848/rbgf.v16.3.p1247-1262. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1247-1262>.

PRAMA, M.; OMRAN, A.; SCHRÖDER, D.; ABOUELMAGD, A. Vulnerability assessment of flash floods in Wadi Dahab Basin, Egypt. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, n. 5, 2020. DOI 10.1007/s12665-020-8860-5. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-020-8860-5>.

RAIOL, L. L.; FERREIRA, M. T.; SANTOS, D. C. R.; HAYASHI, S. N. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Caripi, Zona Costeira Amazônica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 5, p. 2354–2370, 2022. DOI 10.26848/rbgf.v15.5.p2354-2370. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2354-2370>.

RAJASEKHAR, M.; RAJU, G. S.; RAJU, R. S. Morphometric analysis of the Jilledubanderu River Basin, Anantapur District, Andhra Pradesh, India, using geospatial technologies. **Groundwater for sustainable development**, v. 11, n. 100434, p. 100434, 2020. DOI 10.1016/j.gsd.2020.100434. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100434>.

REZENDE, V. S.; RIBEIRO, V. de O.; MENDES, Y. S. DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE NÚMERO DE DEFLÚVIO (CN) PARA O PERÍMETRO URBANO DE

DOURADOS-MS. **Pantanal: O Espaço Geográfico e as Tecnologias em Análise**. [S. l.]: Antonella Carvalho de Oliveira, 2019. p. 83–93.

RODRIGUES, A. A.; SIQUEIRA, T. M.; BESKOW, T. L. C.; BESKOW, S.; MELLO, C. R. de. Intensity-Duration-Frequency equations for Rio Grande do Sul - Brazil, based on stationary rainfall series. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 18, p. 1–17, 2023. DOI 10.4136/ambi-agua.2878. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2878>.

SAHU, M. K.; SHWETHA, H. R.; DWARAKISH, G. S. State-of-the-art hydrological models and application of the HEC-HMS model: a review. **Modeling earth systems and environment**, v. 9, n. 3, p. 3029–3051, 2023. DOI 10.1007/s40808-023-01704-7. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s40808-023-01704-7>.

SAMPAIO, A. C. P.; CORDEIRO, A. M. N.; BASTOS, F. de H. Susceptibilidade à erosão relacionada ao escoamento superficial na sub-bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil (susceptibility to erosion related to Surface Runoff in the sub-basin of the upper course of the Mundaú, Ceará, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 125–143, 2016. DOI 10.26848/rbgf.v9.1.p125-143. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v9.1.p125-143>.

SANGIN, E.; MISHRA, S. K.; PATIL, P. R. Analogy between SCS-CN and muskingum methods. **Water resources management**, v. 38, n. 1, p. 153–171, 2024. DOI 10.1007/s11269-023-03660-4. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-023-03660-4>.

SANKRITI, R.; SUBBARAYAN, S.; ALURU, M.; DEVANANTHAM, A.; REDDY, N.; AYYAKKANNU, S. Morphometric analysis and prioritization of sub-watersheds of Himayatsagar catchment, Ranga Reddy District, Telangana, India using remote sensing and GIS techniques. **International journal of system assurance engineering and management**, 2021. DOI 10.1007/s13198-021-01187-8. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13198-021-01187-8>.

SANTANA, T. C.; GUISELINI, C.; CAVALCANTI, S. D. L.; SILVA, M. V. da; VIGODERIS, R. B.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MORAES, A. S.; JARDIM, A. M. da R. F. Quality of rainwater drained by a green roof in the metropolitan region of Recife, Brazil. **Journal of water process engineering**, v. 49, n. 102953, p. 102953, 2022. DOI 10.1016/j.jwpe.2022.102953. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102953>.

SCHUMM, S.A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of perth amboy. Geol. Soc. America Bulletin, 67. 597-646.

SHARPE, R. G.; BROOKS, A.; OLLEY, J.; KEMP, J. Quantifying hydraulic roughness in a riparian forest using a drag force-based method. **Journal of flood risk management**, v. 16, n. 2, 2023. DOI 10.1111/jfr3.12892. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/jfr3.12892>.

SILVA, A. F.; FARIAS, C. W. L. de A. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Mundaú utilizando o modelo SWAT. **Revista Semiárido De Visu**, v. 9, n. 2, p. 76–86, 2021. DOI 10.31416/rsdv.v9i2.216. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31416/rsdv.v9i2.216>.

SILVA, B. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, F. B.; FILHO, P. F. A. Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, v17, n3, p.135-147, jul, 2012.

SILVA, C. B.; DE OLIVEIRA, L. F. C. Relação Intensidade-Duração-Frequência de Chuvas Extremas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, 2017. DOI 10.5380/abclima.v20i0.49286

SILVA, D. P.; LIMA, E. C. Impactos Ambientais no Alto Curso da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Batateiras na Região Sul do Estado do Ceará. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 21, n. 2, p. 1091–1103, 2019. DOI 10.35701/rcgs.v21n2.491. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.35701/rcgs.v21n2.491>.

SILVA, G.; ALMEIDA, F.; ALMEIDA, R.; MESQUITA, M.; ALVES JUNIOR, J. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Riacho Rangel-Piauí, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, p. 244–258, 2018. DOI 10.18677/encibio_2018b22. Disponível em: http://dx.doi.org/10.18677/encibio_2018b22.

SILVA, G. C. da; FERREIRA, V. de O. Uso e Ocupação do Solo e Cenário Tendencial de Vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, p. 139–159, 2019. DOI 10.26848/rbgf.v12.1.p139-159. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p139-159>.

SILVA, J. R. I.; MONTENEGRO, A. A. de A.; FARIAS, C. W. L. de A.; JARDIM, A. M. da R. F.; SILVA, T. G. F. da; MONTENEGRO, S. M. G. L. Morphometric characterization and land use of the Pajeú river basin in the Brazilian semi-arid region. **Journal of South American earth sciences**, v. 118, n. 103939, p. 103939, 2022. DOI 10.1016/j.jsames.2022.103939. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103939>.

INÁCIO SILVA, J. R.; SOARES DE SOUZA, E.; SOUZA, R.; SILVA DOS SANTOS, E.; DANTAS ANTONINO, A. C. Efeito de Diferentes Usos do Solo na Erosão Hídrica em Região Semiárida. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 27, n. 3, p. 272–283, 2019. DOI 10.13083/reveng.v27i3.867. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v27i3.867>.

SILVA, T. C. M.; VIEIRA, I. C. G.; THALÊS, M. C. Spatial-temporal evolution of landscape degradation on the Guamá River Basin, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 56, n. 3, p. 480–490, 2021. DOI 10.5327/z21769478942. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5327/z21769478942>.

SILVA, T. L. do V.; LOPES, Z.; FERREIRA, R.; GUEDES, R.; PEREIRA, R.; PRESTRELO, F.; FERREIRA, A.; GOMES, J.; WANDERLEY, C.; SANTOS, E.; OLIVEIRA, P.; GOMES, V.; DIAS, H. Previsão de extremos de chuva em Pernambuco: os eventos de maio de 2022. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 1, p. 646–671, 2023. DOI 10.26848/rbgf.v16.1.p646-671. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v16.1.p646-671>.

SILVEIRA, A. (2005). Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 10(1), 5–29. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v10n1.p5-29>

SIMONETTI, V. C.; FRASCARELI, D.; GONTIJO, E. S. J.; MELO, D. S.; FRIESE, K.; SILVA, D. C. C.; ROSA, A. H. Water quality indices as a tool for evaluating water quality and effects of land use in a tropical catchment. **International journal of river basin management**, v. 19, n. 2, p. 157–168, 2019. DOI 10.1080/15715124.2019.1672706. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/15715124.2019.1672706>.

SINGH, V. P. Hydrologic modeling: progress and future directions. **Geoscience letters**, v. 5, n. 1, 2018. DOI 10.1186/s40562-018-0113-z. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1186/s40562-018-0113-z>.

SOARES, M. R. G. J.; FIORI, C. O.; SILVEIRA, C. T. da; KAVISKI, E. Efficiency of the curve number method of rainwater retention. **Mercator**, v. 16, n. 01, 2017. DOI 10.4215/rm2017.e16001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4215/rm2017.e16001>.

SOUZA, C. M., Jr; Z. SHIMBO, J.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; A. ALENCAR, A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; G. FERREIRA, L.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; DE OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; ... AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and earth engine. **Remote sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. DOI 10.3390/rs12172735. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/rs12172735>.

SOUZA, Ê. G. F.; NASCIMENTO, A. H. C. do; CRUZ, E. A. da; PEREIRA, D. D. F.; SILVA, R. S. da; SILVA, T. P. da; FREIRE, W. A. Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1530, 2021. DOI 10.26848/rbgf.v14.3.p1530-1540. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1530-1540>.

STRAHLER, A. N. DYNAMIC BASIS OF GEOMORPHOLOGY. **Geological Society of America bulletin**, v. 63, n. 9, p. 923, 1952. DOI 10.1130/0016-7606(1952)63[923:dbog]2.0.co;2. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[923:dbog\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[923:dbog]2.0.co;2).

SU, Q.; YUAN, D.; ZHANG, H.; MANOPKAWEE, P.; ZHAN, Y.; ZHANG, P.; XIE, H. Geomorphic evidence for northeastward expansion of the eastern Qilian Shan, northeastern Tibetan Plateau. **Journal of Asian earth sciences**, v. 177, p. 314–323, 2019. DOI 10.1016/j.jseas.2019.04.003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseas.2019.04.003>.

TABARI, H. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, 2020. DOI 10.1038/s41598-020-70816-2. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>.

TENG, J.; JAKEMAN, A.J.; VAZE, J.; CROKE, B.F.; DUTTA, D.; KIM, S. Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environ. Model. Softw.* 2017, 90, 201–216.

TURINI, L. R.; CÂNDIDO, E. da S.; DE ABREU, V. H. S. Determinação dos parâmetros fisiográficos da microbacia do Córrego Buritizinho. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 2, p. 767–782, 2022. DOI 10.26848/rbgf.v15.2.p767-782. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p767-782>.

ULLOA, H.; MAZZORANA, B.; BATALLA, R. J.; JULLIAN, C.; IRIBARREN-ANACONA, P.; BARRIENTOS, G.; REID, B.; OYARZUN, C.; SCHAEFER, M.; IROUMÉ, A. Morphological characterization of a highly-dynamic fluvial landscape: The River Baker (Chilean Patagonia). **Journal of South American earth sciences**, v. 86, p. 1–14, 2018. DOI 10.1016/j.jsames.2018.06.002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2018.06.002>.

VALE, J. R. B.; COSTA, L. S. da; PIMENTEL, M. A. da S. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Mocajuba, zona costeira Amazônica. **Geosul**, v. 36, n. 78, p. 537–557, 2021. DOI 10.5007/2177-5230.2021.e72705. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e72705>.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A., 1975. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 245 p.

WAIYASUSRI, K.; CHOTPANTARAT, S. Watershed prioritization of Kaeng Lawa sub-watershed, Khon Kaen Province using the morphometric and land-use analysis: A case study of heavy flooding caused by tropical storm Podul. **Water**, v. 12, n. 6, p. 1570, 2020. DOI 10.3390/w12061570. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/w12061570>.

YKEIZUMI, L. Y. F.; VIEIRA, I. C. B.; KROTH, G. A. B. Estudos do crescimento urbano no município de Ihota – SC no período de 1999 – 2019. **Metodologias e Aprendizado**, v. 2, p. 10–14, 2020. DOI 10.21166/metapre.v2i0.1010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21166/metapre.v2i0.1010>.

ZHAN, X.; HUANG, M.-L. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. **Environmental modelling & software: with environment data news**, v. 19, n. 10, p. 875–879, 2004. DOI 10.1016/j.envsoft.2004.03.001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.03.001>.

ANEXO I

Cota (m)	Area (m ²)	Volume (m ³)		Cota (m)	Area (m ²)	Volume (m ³)
Reservatório Sibiró				Reservatório Bonitinho		
16	-	-		599	-	-
20	932.275,32	1.864,55		600	1.000,00	1.220,00
30	4.655.890,07	29.805,38		601	22.600,00	13.060,00
40	7.652.115,74	91.345,41		602	53.160,00	50.280,00
Reservatório Tapiruçu				603	93.000,00	124.060,00
18	-	-		604	158.240,00	249.680,00
20	141.876,87	1.418,77		605	238.840,00	448.220,00
30	1.504.071,12	9.648,51		606	319.900,00	727.590,00
40	278.112,97	31.074,43		607	350.240,00	1.062.660,00
50	4.371.194,77	66.835,97		608	380.560,00	1.428.060,00
60	7.222.245,05	124.803.166,95		609	436.100,00	1.836.390,00
Reservatório Camaragibe				610	481.640,00	2.295.260,00
18	-	-		611	538.680,00	2.805.420,00
20	473.054,58	473,05		612	617.320,00	3.383.420,00
30	2.255.703,21	14.116,84		613	711.600,00	4.047.880,00
40	4.521.820,31	48.004,46		614	726.820,00	4.802.090,00
50	8.832.521,04	114.776,17		Reservatório Brejão		
Reservatório Cucaú				587	2.320,00	0
Cota	Area	Volume (m ³)		589	17.480,00	19.060,00
50	-	-		591	58.480,00	106.120,00
60	3.309.835,06	16.549,18		593	118.240,00	288.240,00
70	14.224.024,13	104.218,47		595	164.200,00	570.100,00
80	24.124.867,45	295.962,93		599	254.520,00	1.415.180,00
Reservatório Gameleira				601	301.480,00	1.971.780,00
95	-	-		603	351.440,00	2.626.560,00
100	893.989,23	2.234,97		605	402.560,00	3.377.960,00
110	2.030.799,47	16.858,92				
120	6.072.916,70	57.377,50				
130	11.554.690,40	145.515,53				

APÊNDICE A**Case**

When "value" = '3' **then** 'Formacao Florestal'
When "value" = '4' **then** 'Formacao Savanica'
When "value" = '5' **then** 'Formacao Florestal'
When "value" = '11' **then** 'Formacao Campestre'
When "value" = '13' **then** 'Formacao Savanica'
When "value" = '15' **then** 'Pastagens'
When "value" = '20' **then** 'Agricultura'
When "value" = '21' **then** 'Agricultura'
When "value" = '23' **then** 'Solo exposto'
When "value" = '24' **then** 'area urbana'
When "value" = '25' **then** 'Solo exposto'
When "value" = '33' **then** 'agua'
When "value" = '41' **then** 'Agricultura'
end

APÊNDICE B

Case

When "Uso" = 'Formacao Florestal' **AND** "Grupo" = 'A' **then** '26'

When "Uso" = 'Formacao Florestal' **AND** "Grupo" = 'B' **then** '55'

When "Uso" = 'Formacao Florestal' **AND** "Grupo" = 'C' **then** '70'

When "Uso" = 'Formacao Florestal' **AND** "Grupo" = 'D' **then** '77'

When "Uso" = 'Formacao Savanica' **AND** "Grupo" = 'A' **then** '42'

When "Uso" = 'Formacao Savanica' **AND** "Grupo" = 'B' **then** '66'

When "Uso" = 'Formacao Savanica' **AND** "Grupo" = 'C' **then** '79'

When "Uso" = 'Formacao Savanica' **AND** "Grupo" = 'D' **then** '85'

When "Uso" = 'Formacao Campestre' **AND** "Grupo" = 'A' **then** '56'

When "Uso" = 'Formacao Campestre' **AND** "Grupo" = 'B' **then** '75'

When "Uso" = 'Formacao Campestre' **AND** "Grupo" = 'C' **then** '86'

When "Uso" = 'Formacao Campestre' **AND** "Grupo" = 'D' **then** '91'

When "Uso" = 'Pastagens' **AND** "Grupo" = 'A' **then** '25'

When "Uso" = 'Pastagens' **AND** "Grupo" = 'B' **then** '59'

When "Uso" = 'Pastagens' **AND** "Grupo" = 'C' **then** '75'

When "Uso" = 'Pastagens' **AND** "Grupo" = 'D' **then** '83'

When "Uso" = 'Agricultura' **AND** "Grupo" = 'A' **then** '67'

When "Uso" = 'Agricultura' **AND** "Grupo" = 'B' **then** '78'

When "Uso" = 'Agricultura' **AND** "Grupo" = 'C' **then** '85'

When "Uso" = 'Agricultura' **AND** "Grupo" = 'D' **then** '89'

When "Uso" = 'Solo exposto' **AND** "Grupo" = 'A' **then** '72'

When "Uso" = 'Solo exposto' **AND** "Grupo" = 'B' **then** '82'

When "Uso" = 'Solo exposto' **AND** "Grupo" = 'C' **then** '87'

When "Uso" = 'Solo exposto' **AND** "Grupo" = 'D' **then** '89'

When "Uso" = 'area urbana' **AND** "Grupo" = 'A' **then** '77'

When "Uso" = 'area urbana' **AND** "Grupo" = 'B' **then** '85'

When "Uso" = 'area urbana' **AND** "Grupo" = 'C' **then** '90'

When "Uso" = 'area urbana' **AND** "Grupo" = 'D' **then** '92'

When "Uso" = 'agua' **AND** "Grupo" = 'A' **then** '100'

When "Uso" = 'agua' **AND** "Grupo" = 'B' **then** '100'

When "Uso" = 'agua' **AND** "Grupo" = 'C' **then** '100'

When "Uso" = 'agua' **AND** "Grupo" = 'D' **then** '100'

End

APÊNDICE C

```

var S1 = ee.FeatureCollection ('projects/leonelesteves/assets/S1')
var I1= ee.ImageCollection("UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY")
      .select ('precipitation')
      .filterDate('2022-01-01', '2022-12-31')

var S1grafico = ui.Chart.image.seriesByRegion({
  imageCollection: I1,
  regions: S1,
  reducer: ee.Reducer.mean(),
  band: 'precipitation',
  scale: 5566,
});

print(S1grafico)
Map.addLayer(S1, {}, 'S1')

```

APÊNDICE D

```

var dataset = ee.ImageCollection('MODIS/061/MOD16A2')
    .filter(ee.Filter.date('2022-01-01', '2022-12-31'));
var evapotranspiration = dataset.select('ET');
var evapotranspirationVis = {
  min: 0,
  max: 300,
  palette: [
    'ffffff', 'fcd163', '99b718', '66a000', '3e8601', '207401', '056201',
    '004c00', '011301'
  ],
};
Map.setCenter(0, 0, 2);

var Sir = ee.FeatureCollection ('projects/ee-leonelmestrado/fpe/assets/Sir')
Map.addLayer(Sir)

Map.addLayer(evapotranspiration.mean().clip(Sir), evapotranspirationVis,
'Evapotranspiration')

Export.image.toDrive({
  image:evapotranspiration .mean().clip(Sir),
  description:'evapotranspiration',
  folder: 'GEE',
  region: Sir,
  scale: 500 })

ui.Chart.image.seriesByRegion({
  imageCollection: dataset,
  regions: Sir,
  reducer: ee.Reducer.mean(),
  band: 'ET',
  scale: 500 })

```

```
var grafico = ui.Chart.image.seriesByRegion({  
  imageCollection:dataset,  
  regions:Sir,  
  reducer:ee.Reducer.mean(),  
  band:'ET',  
  scale: 500 })  
  
print(grafico)
```