



Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável
Bacharelado em Engenharia de Energias

ANTONIO MARLO DA SILVA

**FREQUÊNCIA E RECORRÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO
E ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE
PENTECOSTE E SUA RELAÇÃO COM AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS:**

REDENÇÃO - CE
2024

ANTONIO MARLO DA SILVA

**FREQUÊNCIA E RECORRÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO
E ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE
PENTECOSTE E SUA RELAÇÃO COM AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS:**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) em formato de monografia apresentado ao Curso de Engenharia de Energias, vinculado ao Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (IEDS), da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Orientador: Prof. Dr. George Leite Mamede

REDENÇÃO
2024

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Silva, Antonio Marlo da.

S586f

Frequência e recorrência de eventos extremos de precipitação e escoamento superficial na bacia hidrográfica do açude pentecoste e sua relação com as mudanças climáticas / Antonio Marlo da Silva. - Redenção, 2024.

48f: il.

Monografia - Curso de Engenharia De Energias, Instituto De Engenharias E Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2024.

Orientador: Prof. Dr. George Leite Mamede.

1. Bacias hidrográficas - Curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência). 2. método SCS-CN (Soil Conservation Service - CN). 3. Sensoriamento remoto. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 333.9100981

ANTONIO MARLO DA SILVA

**FREQUÊNCIA E RECORRÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE
PRECIPITAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO AÇUDE PENTECOSTE E SUA RELAÇÃO COM AS
MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado em formato de monografia ao Curso de Engenharia de Energias, vinculado ao Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (IEDS) da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Aprovado aos, 21 de novembro de 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. George Leite Mamede (Orientador)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
(UNILAB)

Prof. Dr. Alexandre Cunha Costa
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
(UNILAB)

Prof. Dr. Luiz Martins de Araújo Júnior
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
(UNILAB)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho. Em primeiro lugar, agradeço à minha mãe, pois a ela devo tudo, cujo apoio incondicional e amor foram fundamentais durante toda a minha jornada acadêmica, ela foi e é um exemplo de perseverança na minha vida. Sua sabedoria e encorajamento me impulsionaram a seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço também aos meus amigos, em especial à Marisabel França e Bruna Coelho, que sempre estiveram ao meu lado durante todo o período acadêmico, além delas também agradecer à Vitória, Lucas e Guilherme, lembro de todos nós juntos, enfrentamos noites em claro estudando, lidando muitas vezes com conteúdos complexos e maçantes. Os momentos de descontração e as trocas de ideias com vocês foram essenciais para tornar essa experiência mais leve e prazerosa. Também agradecer aos que me deram suporte de outras formas além do âmbito universitário, Efraim, Brito e aos meus colegas de trabalho João Victor e Wenderson, pois com eles aprendi muita coisa da vida prática no campo da Engenharia.

Gostaria de externar minha gratidão a todos os professores da faculdade, que, com seu conhecimento e dedicação, inspiraram e guiaram meu aprendizado, principalmente ao meu orientador George Mamede, aos profs. Drs. Silvia Helena, Alisson Guimarães, Ada Amélia, Maria Cristiane, Artemis Guimarães e Francisco Olímpio, pelo suporte dado ao decorrer do curso e ao aprendizado que levarei comigo para sempre. Agradeço pelas orientações valiosas e pelo estímulo constante à busca pelo conhecimento. Cada um de vocês deixou uma marca significativa em minha formação.

Quero agradecer à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo financiamento à pesquisa (Processo nº UNI-0210-00025.01.00/23) e à PROPPG, pelo apoio financeiro (Bolsa PIBIC-Af) e também porque graças a essa oportunidade eu pude me desenvolver melhor enquanto pesquisador, o que tornou possível a realização desse trabalho.

Por fim, a todos aqueles que não foram citados aqui, mas que também me ajudaram em algum momento ou outro dessa caminhada, meu sincero agradecimento.

RESUMO

A frequência e recorrência de eventos extremos podem estar sendo diretamente afetados pelas mudanças climáticas, que podem ser causadas tanto por fatores naturais como por fatores antrópicos. Este estudo tem como objetivo geral analisar a frequência e recorrência de eventos extremos de precipitação e escoamento superficial na bacia hidrográfica do açude Pentecoste, com área de contribuição de 3230 km² e capacidade de armazenamento de aproximadamente 360 hm³. Para analisar os efeitos das mudanças climáticas na frequência e recorrência de eventos extremos foram selecionados treze postos pluviométricos localizados na bacia hidrográfica do açude Pentecoste e entorno. Os dados foram agrupados em dois períodos de 20 anos (1982-2001 e 2002-2021) e estimaram-se as curvas de intensidade-duração-frequência pelo método de Gumbel. Para estimativa dos eventos máximos de escoamento superficial, utilizou-se o método do SCS-CN. Os valores do Número da Curva (CN) foram extraídos da base de dados da Agência Nacional de Águas, disponibilizado para todo o território nacional, com arquivos raster referentes aos anos de 1985 e 2022. Desta forma, foi possível realizar uma análise comparativa dos eventos máximos de precipitação e escoamento superficial na bacia hidrográfica do açude Pentecoste para os anos de 1985 e 2022, usando técnicas de sensoriamento remoto. Os resultados indicaram que em regiões com elevada precipitação média anual (regiões serranas como no Maciço de Baturité) a frequência de eventos extremos de chuva reduziu no período mais recente, ao passo que na porção mais próxima do açude Pentecoste, com menores precipitações médias anuais, a frequência de eventos extremos aumentou no período mais recente. A análise de eventos extremos de escoamento superficial permitiu identificar também um incremento na frequência e recorrência destes eventos, com máximas na porção centro-norte da bacia, onde as chuvas máximas são mais intensas e as características hidrológicas dos solos são mais modificadas com incrementos positivos no valor do Número da Curva (CN). Alterações positivas na frequência e recorrência de eventos extremos podem potencializar os riscos de cheias e ruptura de pequenas barragens existentes na bacia, muitas delas construídas sem quaisquer critérios técnicos como estudo hidrológico e de estabilidade de talude.

PALAVRAS-CHAVE: Curva IDF; Método SCS-CN; Sensoriamento remoto

ABSTRACT

The frequency and recurrence of extreme rainfall events may be directly affected by climate change, which can be caused by both natural and anthropogenic factors. This study aims to analyze the frequency and recurrence of extreme rainfall and surface runoff events in the Pentecoste catchment, with an area of 3230 km² and a storage capacity of approximately 360 hm³. Thirteen rainfall stations located in and around the catchment were selected for analysis. The data were grouped into two 20-year periods (1982-2001 and 2002-2021), and intensity-duration-frequency curves were estimated using the Gumbel method. For estimating maximum surface runoff events, the SCS-CN method was used. Curve Number (CN) values were extracted from the National Water Agency's database, with raster files for the years 1985 and 2022. A comparative analysis of maximum precipitation and surface runoff events was conducted for 1985 and 2022. The results indicated that in regions with high average annual precipitation (mountainous areas like the Baturité Massif), the frequency of extreme rainfall events decreased in the more recent period, while in areas closer to the Pentecoste reservoir, with lower average annual precipitation, the frequency of extreme events increased in the recent period. The analysis of extreme surface runoff events also revealed an increase in frequency and recurrence, with peaks in the central-northern portion of the basin, where the maximum rainfall is more intense and the soil hydrological characteristics are more altered, with positive increments in the Curve Number (CN). Positive changes in the frequency and recurrence of extreme events may increase the risks of flooding and the rupture of small dams in the basin, many of which were built without technical criteria such as hydrological and slope stability studies.

KEYWORDS: IDF curve; SCS-CN method; Remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica de Pentecoste	30
Figura 2 - Modelo Digital de Elevação	31
Figura 3 - Análise de eficiência do método de Gumbel na estimativa de precipitações máximas para os períodos de 1982-2001 e 2002-2021 nos postos pluviométricos considerados	35
Figura 4 - Análise comparativa da intensidade de chuva para diferentes períodos..	38
Figura 5 - Variação Percentual - Intensidade de Chuvas (1000 anos)	39
Figura 6 - Análise comparativa dos valores do CN para os períodos de 1985 a 2022	40
Figura 7 - Análise comparativa dos eventos extremos de escoamento superficial (precipitação efetiva) para os anos de 1985 e 2022, considerando as chuvas máximas para uma duração de 1h	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetro CN Para Bacias Rurais	28
Tabela 2 - Desvio Padrão e Média da variável reduzida.....	33

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CN	<i>Curve Number</i>
DAS	Dipolo do Atlântico Sul
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
EUA	Estado Unidos da América
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GCM	Global Circulation Model
GEV	<i>Generalized Extreme Values</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
IDW	<i>Inverse Distance Weight</i>
OAN	Oscilação do Atlântico Norte
RCM	<i>Regional Climate Models</i>
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.2 HIPÓTESE	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 O semiárido e as mudanças climáticas	15
2.2 Eventos extremos de chuva.....	16
2.3 Curvas de intensidade-duração-frequência	17
2.4 Fatores que influenciam a geração de escoamento superficial.....	18
2.4.1 Uso do solo e cobertura vegetal.....	19
2.4.2 Topografia	20
2.5 Clima e suas relações com as curvas IDF	22
2.5.1 Variações sazonais e climáticas.....	22
2.5.2 Alterações na Circulação Atmosférica	24
2.6 Mudanças climáticas e seus efeitos na curva IDF.....	26
2.7 Escoamento superficial em bacias hidrográficas.....	27
3. METODOLOGIA	29
3.1 Caracterização da área de estudo	29
3.2 Estudo de eventos extremos de precipitação.....	31
3.3 Caracterização do escoamento superficial	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Análise de frequência e recorrência de eventos extremos	38
4.2 Análise de evolução comportamental hidrológica da bacia com base no CN	39

5. CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

O estado do Ceará é caracterizado por possuir na maior parte do seu território clima semiárido, implicando assim, o registro de secas periódicas. Enquanto o período chuvoso dura de três a cinco meses (geralmente de fevereiro a abril), a seca pode se estender por até nove meses no estado.

Diante dessa situação, a solução para o suprimento hídrico tem sido a construção de reservatórios superficiais através do barramento de cursos d'água. No entanto, a prática de reservar água em açudes se propagou no meio rural, conduzindo à construção de milhares de pequenas barragens também pela população rural, o que produziu uma densa rede de reservatórios superficiais. Essas estruturas, muitas vezes, são construídas sem o adequado dimensionamento (Mamede *et al.*, 2024), o que pode resultar em ruptura do maciço de terra. Os Relatórios de Segurança de Barragens da Agência Nacional de Água (ANA - 2019, 2020 e 2021) apontam 83 casos de rompimento de barragens e outros 207 incidentes com barragens no território brasileiro. No Estado do Ceará, o Relatório Estadual de Segurança de Barragens (CEARÁ, 2023) registrou seis incidentes com comprometimento parcial da estrutura e 11 acidentes caracterizados pelo colapso total dos barramentos só em 2023. Em 2024, também há registros de ruptura de barragens no Estado do Ceará, como no caso da barragem do Olho D'água do Canto, no Cedro.

Essa elevada frequência e recorrência de desastres em barragens pode também ter relação com mudanças climáticas. De acordo com estudos de projeções climáticas, o aumento da temperatura média global causará grandes mudanças no regime de precipitação média anual do planeta (Allan e Soden, 2008; Phillip, 2011; Guimarães *et al.*, 2016).

A equação de intensidade-duração-frequência (IDF), ou curva IDF, é de fundamental importância para o cálculo da chuva de projeto a ser utilizada no dimensionamento de obras hidráulicas, tais como: bueiros, galerias, canais e vertedores de barragens (Silva, 2013). Com o aumento na frequência de eventos extremos, é provável que ocorram mudanças nas curvas IDF, fazendo com que as mesmas tenham que ser atualizadas (Schardong *et al.*, 2014b). Para tal fim, podem ser utilizados dados de precipitação provenientes de Global Circulation Models (GCMs). O aumento da frequência e intensidade de eventos extremos que vem

ocorrendo ao longo dos últimos anos está relacionado a mudanças climáticas, que podem ser causadas tanto por fatores naturais como por fatores antrópicos.

Segundo Silva *et al.* (2003), uma das maiores dificuldades para obtenção de curvas IDF está na baixa densidade das redes pluviométricas, bem como o tamanho das séries de dados, que de uma maneira geral são inferiores a 30 anos (quantidade recomendada pela Organização Mundial de Meteorologia).

Neste contexto, o estudo sobre alterações das curvas IDF se mostra importante e necessário, para tentar explicar a maior frequência e recorrência de eventos extremos que podem resultar em desastres naturais com impactos diretos para a sociedade, como vem sendo reportado nas últimas décadas, bem como estudar maneiras para prevenção e mitigação dos problemas acarretados por tais eventos extremos, sendo fundamentais para promover a resiliência socioambiental no Semiárido brasileiro.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Este subprojeto tem como objetivo geral analisar a frequência e recorrência de eventos extremos de precipitação e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Curu e sua relação com as mudanças climáticas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar séries históricas de dados pluviométricos na área de estudo;
- Gerar e estudar evolução de curvas de intensidade-duração-frequência na área de estudo;
- Analisar alterações hidrológicas na área de estudo ao longo do tempo.

1.2 HIPÓTESE

Tem-se como hipótese que a frequência e recorrência de eventos extremos tenha aumentado com o passar dos anos, devido às mudanças climáticas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O semiárido e as mudanças climáticas

O Semiárido brasileiro é uma região caracterizada por condições climáticas áridas e semiáridas, abrangendo partes do Nordeste do Brasil, além de áreas do norte de Minas Gerais e Espírito Santo. Essa região é marcada por chuvas escassas e irregulares, altas temperaturas e uma vegetação adaptada à seca, como a caatinga, que apresenta grande diversidade estrutural e florística, refletindo os desafios ecológicos impostos pela irregularidade climática (Passos, 2020).

A população do Semiárido enfrenta desafios significativos relacionados à escassez de água e recursos naturais, que afetam diretamente a economia, a agricultura e o modo de vida das comunidades locais. Além disso, a região é historicamente marcada por problemas sociais, como pobreza, desigualdade e migração em busca de melhores condições de vida. Apesar disso, o Semiárido possui grande relevância cultural e ambiental, com uma biodiversidade adaptada às condições extremas.

As mudanças climáticas agravam ainda mais os desafios enfrentados na região. O aumento da temperatura global intensifica o calor no Semiárido, elevando a evaporação dos recursos hídricos e exacerbando a escassez hídrica. As alterações nos padrões de chuva, como a redução da quantidade e a maior irregularidade na distribuição, têm o potencial de prolongar períodos de seca e ampliar os impactos socioeconômicos e ambientais, como a insegurança alimentar e os conflitos por recursos hídricos. Tais mudanças podem, ainda, acelerar processos como a desertificação, agravando a degradação do solo e ameaçando a biodiversidade local (Tavares et al., 2019).

Os eventos extremos de seca, frequentes na região, desempenham um papel crucial na sociedade devido à sua intensidade e aos impactos na vulnerabilidade socioambiental. Entender a dinâmica desses eventos é essencial para a gestão de riscos climáticos e a formulação de estratégias de mitigação (Silva, 2022). Tecnologias de captação, armazenamento e conservação de água da chuva, como as barragens subterrâneas, são apontadas como soluções eficazes para garantir a produtividade e a sustentabilidade dos agroecossistemas do Semiárido, promovendo estabilidade e resiliência (Vasconcelos e Dias, 2019).

No caso específico do Ceará, eventos climáticos extremos, como secas severas e chuvas intensas, têm causado impactos significativos, agravando desafios já existentes em áreas urbanas e rurais e aumentando os riscos econômicos e sociais (INMET, 2019).

2.2 Eventos extremos de chuva

Um fenômeno muito relevante de ser abordado quando se fala em clima no semiárido é o chamado evento extremo de chuva, que refere-se a um episódio de precipitação intensa que ocorre em um curto período de tempo e que excede os padrões normais de precipitação para a região em questão. Esse tipo de evento é caracterizado por uma alta quantidade de chuva em um curto espaço de tempo, resultando em condições meteorológicas extremas que podem levar a inundações, deslizamentos de terra, erosão e outros impactos significativos.

Os eventos extremos de chuva podem variar em intensidade, duração e frequência, mas geralmente são definidos com base em critérios específicos que levam em consideração a magnitude da precipitação em relação à média histórica da região. Por exemplo, um evento de chuva pode ser considerado extremo se a quantidade de chuva observada exceder um determinado limite, como o percentil 95 ou 99 da distribuição histórica de precipitação para aquela área em particular.

Donat *et al.* (2016) afirmam que esses eventos extremos de chuva estão se tornando mais frequentes e intensos em muitas partes do mundo devido às mudanças climáticas, o que aumenta os riscos de inundações e outros impactos relacionados à água. Não é de hoje que há uma preocupação com os efeitos que tais eventos podem causar à sociedade, como inundações e alagamentos, ou até mesmo rompimento de barragens, para contornar essa problemática faz-se necessário o uso de métodos probabilísticos aplicados a eventos extremos para prever o comportamento dos mesmos no futuro, como os dados coletados desses eventos é de 40, 50 anos em muitas das vezes, os métodos estatísticos mostram-se bastante promissores, visto que através deles pode-se estimar eventos de 100, 1.000 e até 10.000 anos no futuro. Existem muitos métodos estatísticos que podem ser usados para prever eventos extremos, tais como, *Gumbel*, *Frechet*, *Weibull*, Distribuição de Valores Extremos Generalizada (GEV), etc.

Esses modelos são frequentemente utilizados na geração de curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência), que descrevem a relação entre a intensidade da precipitação, sua duração e a frequência de ocorrência ao longo do tempo. *Gumbel*, *Frechet* e *Weibull* são comumente utilizadas para modelar a distribuição de valores extremos de precipitação em diferentes durações e frequências de retorno. Os parâmetros dessas distribuições são estimados a partir dos dados históricos de precipitação para uma determinada região, e as curvas IDF são então geradas com base nesses parâmetros estimados. Já a Distribuição de Valores Extremos Generalizada (GEV) é uma distribuição mais flexível que engloba as Distribuições de *Gumbel*, *Frechet* e *Weibull* como casos especiais. Ela é frequentemente utilizada na modelagem de eventos extremos de precipitação para gerar curvas IDF mais precisas, especialmente quando os dados extremos não se ajustam perfeitamente a uma das distribuições clássicas.

Com o aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como tempestades intensas e prolongadas, inundações e secas severas, o estudo e a análise das curvas IDF desempenham um papel crucial na adaptação e mitigação dos impactos desses eventos.

2.3 Curvas de intensidade-duração-frequência

As curvas de intensidade-duração-frequência (IDF), às vezes também chamadas de estimativas de frequência de precipitação (Bonnin *et al.*, 2011a), são usadas para projetar sistemas de drenagem urbana para o controle das águas pluviais e, quando combinadas com modelagem hidrológica, são usadas para projetar infra estruturas de controle de enchentes e outras estruturas. (Schlef *et al.*, 2022).

Além disso, as curvas IDF são importantes para avaliar e atualizar os padrões de precipitação utilizados em modelos hidrológicos e estudos de vulnerabilidade climática, também são indispensáveis para entender e lidar com os impactos das mudanças climáticas sobre os padrões de precipitação, ao fornecer informações precisas sobre a intensidade, duração e frequência das chuvas, essas curvas desempenham um papel fundamental na adaptação e mitigação dos riscos climáticos, contribuindo para a construção de comunidades mais resilientes e sustentáveis, portanto, ao entender quais fatores podem influenciar nas mudanças de

características dessas curvas, tem-se por consequência uma melhor compreensão do cenário em questão, alguns exemplos de fatores determinantes para tais alterações são: as próprias mudanças climáticas, o uso do solo e alterações na cobertura vegetal, a topografia, variações sazonais e climáticas e até alterações na circulação atmosférica.

2.4 Fatores que influenciam a geração de escoamento superficial

O escoamento superficial, é um processo hidrológico fundamental para entender a dinâmica das águas superficiais, especialmente em contextos de uso da terra e planejamento ambiental. Diversos autores (Bertol *et al.*, 1989; Silva *et al.*, 2001; Tucci, 2002) descrevem os fatores que influenciam o escoamento superficial, como fatores climáticos (intensidade da chuva, duração da chuva, chuva antecedente) e fatores fisiográficos (área da bacia, forma da bacia, permeabilidade do solo, topografia). A vegetação influencia diretamente no escoamento superficial. Quanto menor a cobertura vegetal, maior o escoamento (Bruijnzeel, 1996).

A precipitação é o fator inicial e determinante para o escoamento, uma vez que sua intensidade e duração afetam diretamente o volume de água que atinge a superfície (Chow *et al.*, 1988). O tipo de solo é igualmente relevante, pois suas propriedades físicas, como a porosidade e a capacidade de infiltração, influenciam a quantidade de água que se infiltra e, conseqüentemente, a quantidade que escoar na superfície (Rawls *et al.*, 1982). A cobertura vegetal desempenha um papel essencial na retenção de água e na redução da velocidade do escoamento, conforme discutido por Bertoni e Lombardi Neto (2014). Além disso, a topografia influencia a direção e a velocidade do escoamento, pois áreas com maior declividade tendem a gerar escoamento mais rápido e volumoso (Maidment, 1993). Por fim, o uso e a ocupação do solo, como a urbanização e a agricultura, alteram as características naturais da superfície, aumentando ou reduzindo o escoamento dependendo das práticas adotadas (Tucci, 2001).

Esses fatores interagem de maneira complexa e dinâmica, e sua compreensão é fundamental para a gestão de recursos hídricos e a prevenção de eventos extremos, como enchentes e inundações.

2.4.1 Uso do solo e cobertura vegetal

De acordo com Silva (2019), a vegetação afeta a infiltração da água no solo, o escoamento superficial e a evaporação, fatores que determinam a intensidade e a frequência das chuvas em uma área específica. Além disso, estudos de Souza *et al.* (2020) destacam que a cobertura vegetal pode modificar a intensidade das precipitações e a sua distribuição temporal, impactando as curvas IDF. Alguns aspectos são:

- **Infiltração e escoamento:** A vegetação ajuda a regular o ciclo hidrológico, influenciando a quantidade de água que se infiltra no solo e a quantidade que escoam superficialmente. Quando há uma cobertura vegetal densa e saudável, a água tende a infiltrar mais no solo, reduzindo o escoamento superficial. Isso pode levar a uma menor intensidade de precipitação, resultando em curvas IDF que mostram precipitações menos intensas para determinadas durações e frequências.
- **Evapotranspiração:** As plantas realizam o processo de evapotranspiração, absorvendo água pelo solo e liberando-a na atmosfera na forma de vapor d'água. Esse processo ajuda a resfriar o ambiente local e contribui para a formação de nuvens. Em regiões com vegetação abundante, a umidade atmosférica tende a aumentar, favorecendo chuvas mais frequentes, porém menos intensas. Isso pode influenciar as curvas IDF, ajustando a frequência e a intensidade das precipitações.
- **Interceptação de chuva:** A cobertura vegetal tem a capacidade de interceptar a chuva que cai, segurando-a temporariamente antes de liberá-la para o solo ou para a evaporação. Esse fenômeno pode diminuir a quantidade de água que chega imediatamente ao solo, alterando os padrões de escoamento superficial e a intensidade das chuvas. Em áreas com vegetação densa e frondosa, as curvas IDF podem apresentar uma menor intensidade de precipitação.
- **Estabilidade do solo:** A presença de vegetação contribui para a estabilidade do solo, reduzindo a erosão e o transporte de sedimentos durante eventos de chuva. Isso, indiretamente, afeta os padrões de escoamento superficial e a intensidade das chuvas ao longo do tempo, influenciando assim as curvas IDF.

O estudo sobre os impactos da alteração da vegetação nas características das curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) destaca a importância da interação entre processos hidrológicos e a cobertura vegetal na modelagem e previsão de eventos extremos de precipitação. A cobertura vegetal atua diretamente na infiltração, interceptação e escoamento superficial, alterando os padrões de escoamento e a dinâmica das bacias hidrográficas. Quando há mudanças significativas na vegetação, os efeitos sobre as curvas IDF podem ser observados na forma de alterações na frequência e na intensidade de chuvas críticas projetadas para determinadas regiões.

Pesquisas mostram que a degradação da vegetação nativa, especialmente em áreas vulneráveis, aumenta o escoamento superficial, diminuindo a capacidade de infiltração e impactando os recursos hídricos locais. Por outro lado, práticas de manejo e reflorestamento podem melhorar a resiliência hídrica, ajustando as curvas IDF a condições mais sustentáveis e equilibradas (Atlas Pluviométrico, SGB, 2023; Silva, 2020). Além disso, mudanças na vegetação frequentemente refletem em processos como desertificação, o que intensifica a irregularidade na distribuição das chuvas e agrava a vulnerabilidade climática em áreas críticas.

2.4.2 Topografia

Assim como a vegetação, a topografia de uma região influencia os processos meteorológicos e hidrológicos. A presença de montanhas, colinas e vales interfere na circulação atmosférica e na formação de nuvens. Montanhas, em particular, agem como barreiras físicas, forçando a ascensão de ar úmido proveniente de áreas marítimas ou de outras regiões, o que favorece a condensação e a precipitação. Esse fenômeno contribui para padrões de precipitação mais intensos em áreas montanhosas, impactando as curvas IDF ao aumentar a intensidade das chuvas em determinados períodos e frequências (CHUVA OROGRÁFICA, 2024). A Serra do Mar, no Brasil, é um exemplo notável, conhecida pelas significativas precipitações orográficas que apresenta.

A orografia, ou configuração do terreno, desempenha um papel fundamental na ocorrência de chuvas orográficas, que surgem quando o ar úmido é forçado a ascender ao encontrar barreiras físicas, como montanhas. Durante esse processo, o ar resfria e a umidade condensa, resultando em precipitação. Esse fenômeno pode

provocar chuvas intensas e concentradas em áreas específicas, o que impacta diretamente as curvas IDF, aumentando a intensidade das precipitações para determinadas durações e frequências, como explicado por Oliveira (2020). Um exemplo clássico desse fenômeno ocorre nas encostas voltadas para o vento das montanhas, onde as chuvas são particularmente intensas.

Montanhas podem gerar um efeito de "sombra pluviométrica" no lado oposto à direção do vento, fenômeno que ocorre quando o ar seco desce do outro lado da montanha, inibindo a formação de nuvens e a ocorrência de precipitação. Esse processo resulta em padrões de precipitação mais baixos nas áreas protegidas pela sombra pluviométrica, o que impacta as curvas IDF ao reduzir a intensidade das chuvas para uma determinada duração e frequência (CARVALHO, 2020). Um exemplo clássico desse fenômeno é o deserto de Atacama, no Chile, um dos locais mais áridos do mundo, devido à sombra pluviométrica criada pela Cordilheira dos Andes.

Ferreira (2021) afirma que a topografia pode gerar microclimas distintos dentro de uma mesma região, afetando os padrões de precipitação de maneira local. Por exemplo, vales tendem a concentrar maior umidade, favorecendo a formação de nevoeiros e chuvas mais frequentes, enquanto áreas expostas, como os cumes de montanhas, são mais secas e ventosas. Essas variações topográficas resultam em alterações nas curvas IDF dentro de uma mesma região, de acordo com a elevação e o relevo local. Em regiões montanhosas, é comum que os vales apresentem climas mais úmidos, enquanto os topos das montanhas são mais secos.

A topografia influencia diretamente as características das curvas IDF, pois modifica os padrões de precipitação e os processos de escoamento superficial. De acordo com a análise realizada por Ramos (2010) e adaptada em modelos de simulação de chuvas intensas, a topografia de uma região afeta a distribuição e a intensidade das chuvas, alterando a dinâmica do escoamento e, conseqüentemente, as curvas IDF para diferentes tempos de retorno.

A elevação e a forma do terreno podem gerar variações significativas na intensidade das chuvas observadas, principalmente em áreas montanhosas, onde o fenômeno da orografia pode causar um aumento nas precipitações. As mudanças no relevo também podem afetar a infiltração da água no solo e o escoamento superficial,

alterando a resposta hidrológica da bacia, o que, por sua vez, impacta as estimativas das curvas IDF para determinadas áreas.

Em estudos sobre a dinâmica das precipitações e suas relações com a topografia, é importante considerar as características geográficas de cada região para aprimorar as estimativas dos eventos climáticos e melhorar a gestão de recursos hídricos. A integração de modelos geomorfológicos e hidrológicos em regiões montanhosas ou de alta declividade, como demonstrado por estudos aplicados a áreas urbanas e rurais, pode fornecer informações mais precisas sobre as características das curvas IDF para o planejamento e construção de infraestruturas hidráulicas.

2.5 Clima e suas relações com as curvas IDF

2.5.1 Variações sazonais e climáticas

As variações sazonais e climáticas de um lugar possuem influência significativa nas curvas IDF devido aos efeitos que exercem sobre os padrões de precipitação ao longo do tempo, tais como estações do ano, eventos climáticos de curto prazo, climas regionais e globais e tendências de longo prazo.

As estações do ano e suas variações sazonais impactam diretamente os padrões de precipitação em diferentes regiões. Durante determinadas estações, como o verão ou a estação chuvosa, as chuvas tendem a ser mais intensas, enquanto em outras estações, como o inverno ou a estação seca, a precipitação pode ser mais escassa. Essas mudanças sazonais afetam as curvas IDF, refletindo variações na intensidade da precipitação para diferentes durações e frequências ao longo do ano (SILVA; COSTA, 2020). Esse comportamento sazonal é crucial para a modelagem hidrológica, especialmente em áreas com forte variação climática.

Além das variações sazonais, eventos climáticos de curto prazo, como tempestades tropicais, frentes frias e sistemas de baixa pressão, podem ter um impacto significativo nos padrões de precipitação de uma região. Esses fenômenos geram chuvas intensas e localizadas em períodos curtos de tempo, alterando temporariamente as curvas IDF para refletir essas condições extremas. Por exemplo, uma frente fria pode provocar chuvas rápidas e intensas, modificando temporariamente os padrões locais de precipitação (PEREIRA; SANTOS, 2020).

Esses eventos de curto prazo são cruciais para o entendimento dos padrões climáticos regionais e para o planejamento de medidas de gestão de recursos hídricos.

As variações climáticas de longo prazo, como os fenômenos de *El Niño* e *La Niña*, a Oscilação do Atlântico Norte (OAN) e outros padrões climáticos regionais e globais, também desempenham um papel fundamental na modulação dos padrões de precipitação ao longo do tempo. Durante um evento de *El Niño*, algumas regiões podem experimentar chuvas mais intensas, enquanto durante a *La Niña*, as chuvas podem ser mais escassas. Essas flutuações climáticas são refletidas nas curvas IDF, que apresentam variações na intensidade da precipitação para diferentes durações e frequências ao longo dos anos (SILVA; CUNHA, 2021).

O impacto dos fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña* sobre a região Nordeste do Brasil, particularmente no que se refere a variações nas precipitações e nas características das curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência), tem sido um tema recorrente em diversos estudos. Esses fenômenos têm uma forte influência nos padrões climáticos da região, afetando diretamente as chuvas e os padrões de escoamento hidrológico.

Estudos como os de Neto e Stein (2003) analisam a variação das precipitações durante eventos de *El Niño* e *La Niña* e mostram que, durante episódios de *El Niño*, as precipitações na região Nordeste podem ser significativamente reduzidas, enquanto no caso de *La Niña*, os efeitos podem ser opostos, com precipitações mais intensas e concentradas, o que altera diretamente as curvas IDF, que são usadas para projetar eventos extremos de precipitação. Esses fenômenos demonstram como eventos climáticos de grande escala influenciam diretamente as características temporais e espaciais das precipitações, afetando a modelagem das curvas IDF.

Mudanças climáticas de longo prazo, como o aquecimento global, também influenciam os padrões de precipitação em uma escala temporal mais ampla. Tais mudanças podem resultar em alterações graduais nos padrões de precipitação ao longo das décadas, impactando as curvas IDF e exigindo atualizações periódicas para refletir as condições climáticas em evolução. O aquecimento global, por exemplo, pode intensificar a frequência de eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e secas prolongadas, que, por sua vez, afetam as curvas IDF ao longo do tempo (ALMEIDA; PEREIRA, 2021). Isso destaca a necessidade de monitoramento contínuo

e ajustes nas modelagens hidrológicas para garantir que as estimativas de precipitação permaneçam precisas frente às mudanças climáticas.

2.5.2 Alterações na Circulação Atmosférica

As alterações na circulação atmosférica de um lugar podem influenciar nas curvas IDF de diversas maneiras, principalmente devido aos efeitos que exercem sobre os padrões de precipitação e distribuição de chuvas na região.

Mudanças nos padrões de vento e na umidade atmosférica podem influenciar a origem e o transporte de massas de ar úmidas, fundamentais para a formação de precipitação. Essas alterações podem levar a variações na disponibilidade de umidade e na distribuição espacial das chuvas, afetando as curvas IDF ao modificar a intensidade da precipitação para diferentes durações e frequências. Por exemplo, uma alteração nos ventos alísios pode alterar a quantidade de umidade trazida para uma região costeira, resultando em mudanças nos padrões de precipitação locais (GOMES *et al.*, 2021). Isso evidencia como a dinâmica atmosférica e os fluxos de umidade podem impactar a distribuição temporal e espacial da precipitação.

A circulação atmosférica é responsável pela formação e pelo movimento de sistemas meteorológicos, como chuvas convectivas (tempestades) e frontais (frentes frias). Alterações nos padrões de circulação podem afetar a ocorrência e a intensidade desses sistemas, modificando os padrões de precipitação na região e, conseqüentemente, as curvas IDF. Por exemplo, um sistema frontal mais ativo pode resultar em chuvas mais intensas e frequentes para uma área específica (SCHLEF *et al.*, 2022). Esse efeito pode ser observado em diversas regiões, onde sistemas de frentes frias alteram significativamente a precipitação em curto espaço de tempo, influenciando diretamente as modelagens hidrológicas.

Além dos eventos climáticos globais, fenômenos regionais, como o Dipolo do Atlântico Sul (DAS) e a Oscilação do Atlântico Norte (OAN), também influenciam os padrões de circulação atmosférica e, conseqüentemente, os padrões de precipitação em regiões específicas. Alterações na circulação atmosférica associadas a esses fenômenos podem impactar as curvas IDF, influenciando a distribuição espacial e temporal das chuvas na região. A OAN, por exemplo, pode modificar a rota das

tempestades no Atlântico Norte, alterando a precipitação na Europa e na América do Norte, conforme apontado por Sousa e Almeida (2021).

Estudos sobre a relação entre mudanças não estacionárias, mudanças climáticas e curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) abordam a necessidade de adaptar essas curvas devido às alterações nos regimes pluviométricos provocados pelo aquecimento global. Especificamente, mudanças climáticas têm intensificado eventos extremos, como chuvas torrenciais ou estiagens prolongadas, o que compromete a confiabilidade das curvas IDF tradicionais.

O trabalho de Oliveira et al. (2020) examina o impacto de mudanças não estacionárias nas curvas IDF no contexto brasileiro, destacando a inadequação de metodologias convencionais, que assumem a estacionaridade dos dados hidrológicos. Utilizando modelos ajustados a séries temporais atualizadas e cenários climáticos, o estudo propõe a incorporação de variáveis climáticas como tendência de precipitação e temperatura no desenvolvimento de curvas IDF mais representativas.

Além disso, estudos sobre a região Nordeste do Brasil também apontam a importância de adaptar as curvas IDF às condições climáticas específicas dessa área. A pesquisa de Sousa et al. (2018) mostra como eventos de *El Niño* e *La Niña* alteram os padrões pluviométricos na região, com implicações diretas na estimativa de chuvas extremas e no planejamento de infraestruturas hidráulicas. O estudo sugere que, para o Nordeste, as curvas IDF devem incorporar a variabilidade climática associada a esses fenômenos, visto que eles afetam a distribuição e a intensidade das precipitações, especialmente em períodos de seca prolongada ou chuvas intensas.

Outro estudo relevante é o de Silva et al. (2019), que examina o impacto das mudanças climáticas nas regiões semiáridas do Brasil, como o Sertão Nordestino. A pesquisa evidencia como a intensificação das chuvas torrenciais e a variação na distribuição temporal das precipitações têm modificado as curvas IDF, exigindo a adoção de métodos mais dinâmicos e flexíveis para o cálculo dos eventos extremos de precipitação.

Esses estudos indicam que, diante das mudanças climáticas, a revisão das metodologias utilizadas para calcular as curvas IDF é essencial, considerando não apenas as condições históricas de precipitação, mas também as tendências climáticas

futuras e os fenômenos climáticos globais que impactam de forma particular regiões como o Nordeste.

2.6 Mudanças climáticas e seus efeitos na curva IDF

Mirhosseini *et al.* (2012) utilizaram dados de modelos globais e regionais para a atualização das curvas IDF do Alabama, EUA. A análise dos resultados indicou que alguns modelos apontaram uma diminuição ou aumento da intensidade das chuvas máximas, dependendo do período de retorno utilizado. Hassanzadeh *et al.* (2013) também utilizaram dados de GCM com o intuito de estimar as curvas IDF projetadas para o futuro da cidade de Saskatoon, Canadá. Os estudos apontaram para um aumento nas precipitações extremas de curta duração em baixos períodos de retorno.

Autores como Schardong *et al.* (2014b) usaram dados de precipitação do GCM do CanESM2 para atualizar curvas IDFs em quatro cidades do Canadá, são elas: Londres, Hamilton, Calgary e Vancouver. Os resultados indicaram que para qualquer cenário simulado deve ocorrer aumento na intensidade de precipitação de chuvas máximas para todos os períodos de retorno. Schardong *et al.* (2014a) novamente fizeram uso das informações geradas pelo mesmo GCM para projetar a equação IDF da cidade de São Paulo para o futuro. Os resultados apresentam uma tendência de aumento das precipitações extremas. De acordo com Emori e Brown (2005) muitas regiões do planeta situadas em médias e altas latitudes devem aumentar, consideravelmente, as suas médias pluviométricas e chuvas extremas.

É vital quantificar as alterações na relação IDF devido às mudanças climáticas para o projeto de estruturas hidráulicas urbanas resilientes ao clima. Tais projeções também são importantes para locais não monitorados devido à possível expansão urbana ou assentamentos humanos. (NOOR, *et al.*, 2022).

Inúmeros estudos investigaram as mudanças futuras na precipitação extrema empregando modelos climáticos. No entanto, as tendências na intensidade de chuvas de curta duração (20-180 minutos), ou seja, intensidades de chuva de projeto usadas para o design de infraestrutura de águas pluviais, receberam consideravelmente menos atenção, apesar de sua importância. (TAMM, *et al.*, 2021).

As curvas de intensidade-duração-frequência precisam ser atualizadas para considerar o potencial efeito das mudanças climáticas. No entanto, as simulações de

modelos climáticos regionais (RCM) em escala subdiária necessárias para esse fim geralmente não estão disponíveis. (REQUENA, *et al.*, 2020).

2.7 escoamento superficial em bacias hidrográficas

A relação entre os estudos de precipitação e a Curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência) é essencial para entender os processos de escoamento superficial em bacias hidrográficas. A precipitação, ao ser o principal fator que contribui para a formação do escoamento, determina a quantidade de água que escoou pela superfície do solo. A Curva IDF, por ser uma ferramenta que descreve a intensidade, duração e frequência das chuvas em uma determinada região, fornecendo parâmetros importantes para a previsão de picos de precipitação, fornece conseqüentemente informações a respeito do comportamento do escoamento.

A partir dessa análise, é possível avaliar o comportamento de diferentes tipos de escoamento em função das características das chuvas, permitindo a estimativa de volumes e tempos de resposta da bacia.

De acordo com Tucci (2009), a relação entre precipitação total e a precipitação efetiva, isto é, o escoamento superficial, foi expressa por meio de equações desenvolvidas em 1962, como a relação estabelecida por Kohler e Richards entre chuva e escoamento superficial durante uma cheia. O método SCS-CN (*Soil Conservation Service - CN*) foi desenvolvido para determinar o escoamento superficial e a capacidade de armazenamento de água de uma bacia hidrográfica com a utilização de poucos dados, e que são de fácil obtenção.

A capacidade de infiltração do solo e a propensão à geração de escoamento superficial é caracterizada pelo parâmetro CN (*Curve Number*) ou Número de Curva de Escoamento, que é um parâmetro essencial no estudo hidrológico de uma região. O CN apresenta valores de 0 a 100 e varia de acordo com o tipo de solo, a cobertura vegetal. Valores mais altos indicam maior potencial de escoamento e menor capacidade de infiltração, o que é comum em áreas urbanizadas ou com solo compactado.

Os principais tipos de solo identificados são:

- Solo A: solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila;

- Solo B: solos menos permeáveis que o tipo A, arenosos menos profundos que o tipo A e com permeabilidade superior à média;
- Solo C: solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo;
- Solo D: solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com baixíssima capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

A Tabela 1 apresenta alguns desses valores do parâmetro CN para bacias rurais

Tabela 1 - Parâmetro CN Para Bacias Rurais

Uso do Solo	Superfície	A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras Retas	70	80	87	90
	Em curvas de nível	67	77	83	87
Plantações regulares	Em fileiras retas	64	76	84	88
	Em curvas de nível	60	72	81	84
Plantações de legumes ou cultivados	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curva de nível	47	67	81	88
	Normais, em curva de nível	25	59	75	83

	Boas, em				
	curva de	6	35	70	79
	nível				
	Normais	56	75	86	91
Chácaras	Más	72	82	87	89
Estradas de	De				
terra	superfície	74	84	90	92
	dura				
	Muito				
	esparsas,	56	75	86	91
	baixa				
Florestas	transpiração				
	Densas,				
	alta	26	52	62	69
	transpiração				
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Adaptado de Tucci, 4ª Edição

Compreender o CN é crucial para prever o comportamento do escoamento superficial em resposta a eventos de chuva, sendo uma ferramenta importante para dimensionar sistemas de drenagem, projetar infra estruturas de controle de enchentes e reduzir os impactos de inundações em áreas urbanas e rurais. Dessa forma, o uso do CN na modelagem hidrológica auxilia engenheiros e planejadores a projetar sistemas que possam mitigar o impacto de eventos de chuvas intensas e garantir a segurança e a resiliência das áreas urbanas e rurais.

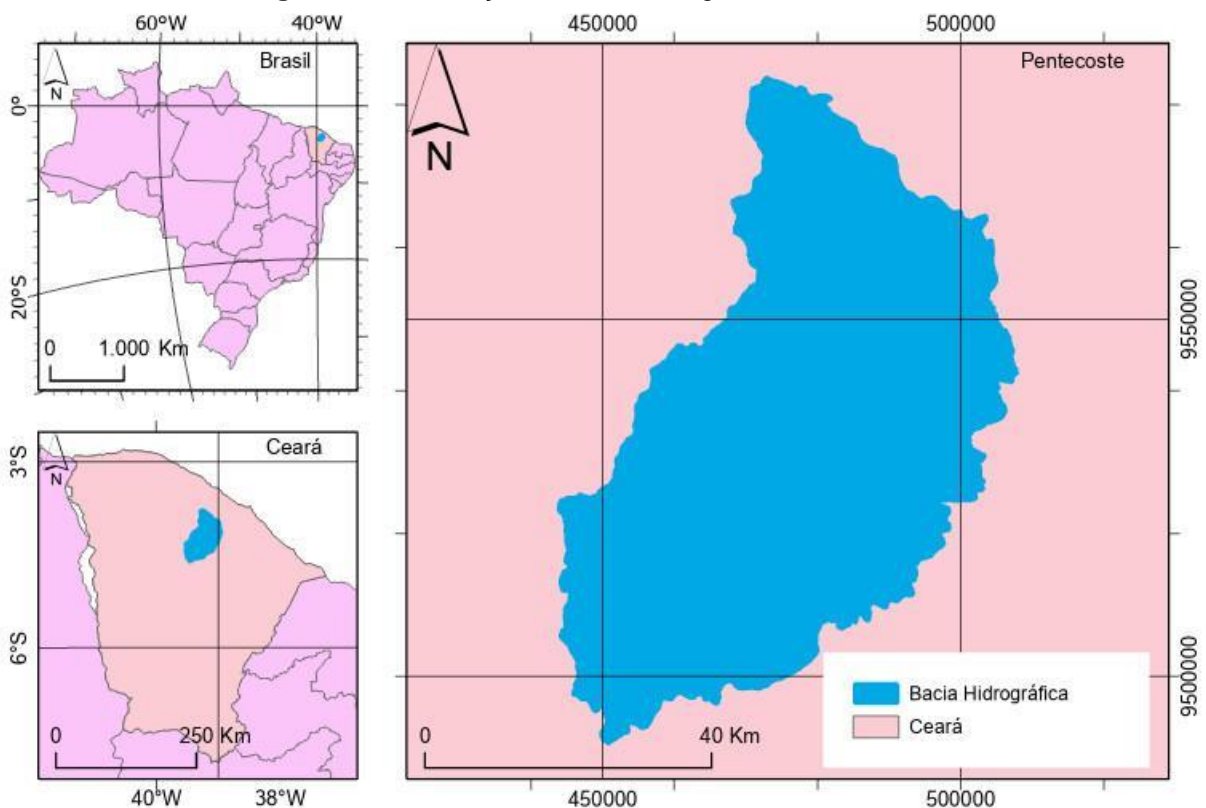
3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo desta pesquisa é a bacia hidrográfica de Pentecoste, localizada no estado do Ceará, com uma área aproximada de 3230 km², a qual apresenta uma precipitação média anual de 853,55 mm, o clima é tropical quente semiárido brando na maior parte do território e tropical quente subúmido no extremo sul, na região mais próxima ao maciço de Baturité, a bacia apresenta um percentual

de área de 82% do solo bruno não cálcico, 9% de podzólico vermelho amarelo equivalente eutrófico, 5% de solo litólico 2% de planossolo solódico e 2% de solo podzólico vermelho amarelo. A bacia possui quatro diferentes tipos de vegetação, entre eles caatinga arbustiva aberta, caatinga arbustiva densa, caatinga arbórea e mata seca. Destas, 74% são cobertas por caatinga arbustiva densa, aproximadamente 17% da área coberta por caatinga arbustiva aberta, 6% de mata seca e 2% de caatinga arbórea (LIRA, 2012).

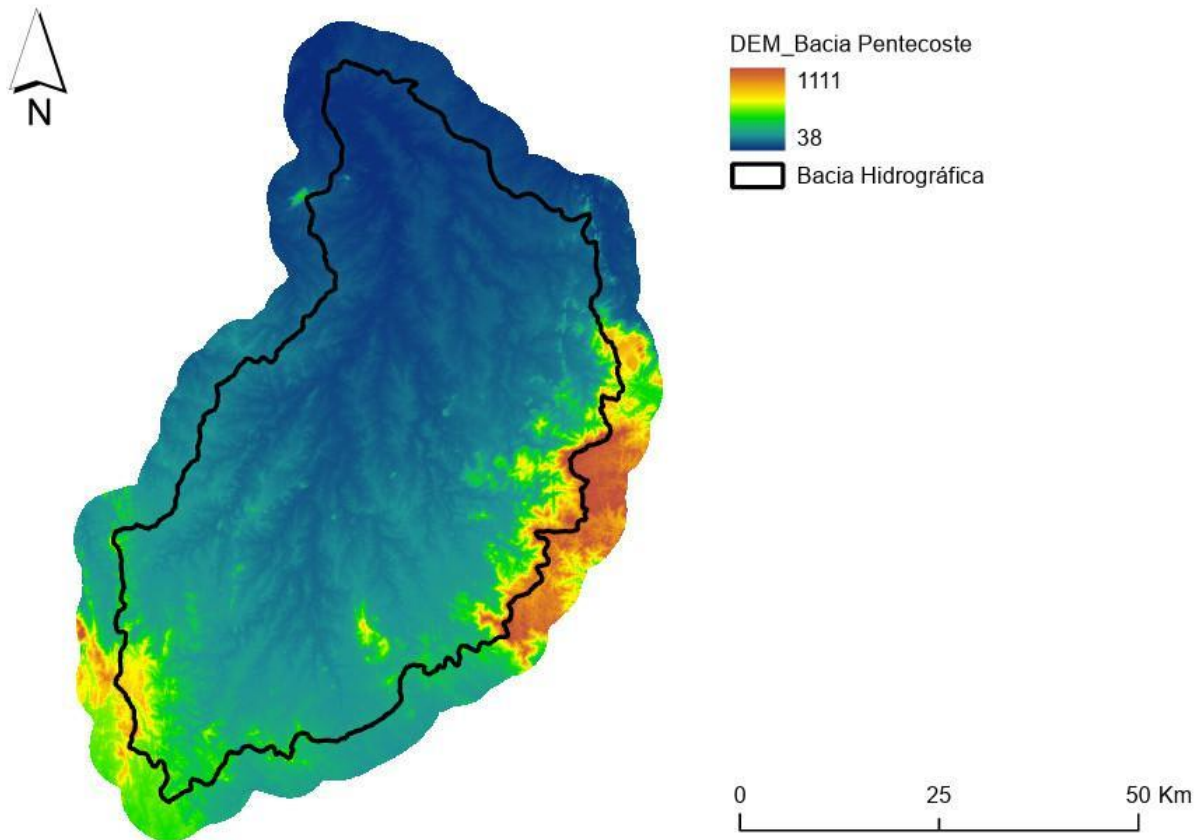
Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica de Pentecoste



Fonte: Elaboração Própria.

O Modelo Digital de Elevação (DEM) na Figura 2 retrata os dados de relevo da Bacia Hidrográfica de Pentecoste, indicando que a região possui valores de elevação 38 m até 1111 m, com média de 226 m de altitude. Além disso, a área leste da bacia apresenta uma região bastante acidentada, sendo essa a área onde estão localizadas as serras do Maciço de Baturité.

Figura 2 - Modelo Digital de Elevação



Fonte: Elaboração Própria.

3.2 Estudo de eventos extremos de precipitação

O estudo dos conceitos teóricos a respeito de Curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência), onde a principal abordagem foi a pesquisa e leitura de artigos científicos na mesma linha de pesquisa, de outros autores, muitos desses artigos foram obtidos no site “<https://www.sciencedirect.com>”;

Coletou-se dados pluviométricos dos postos da região em torno da bacia de estudo (adquiridos através do site da FUNCEME), esses dados estão em arquivos com extensão “.txt”.

Analisou-se estatísticas envolvendo o regime pluviométrico da bacia de Pentecoste, com dados coletados desde o ano de 1982.

Essa análise se deu por usar os dados obtidos através do site da FUNCEME para tratativas em planilha Excel, onde foram necessárias tratativas para serem lidos como tabelas.

Em seguida transformou-se as informações de cada coluna como correspondente a que tipo de dado se referiam, tais como data, precipitação em *mm* e intensidade em *mm/h*. organizados, distribuídos e separados por data e precipitações para quantidades acumuladas de dias diferentes (acumulado 1 dia, de 3 dias, de 5 dias, de 7 dias e 10 dias).

A obtenção dessas informações referentes a precipitação e seus acumulados (em dias) é necessária para calcular as intensidades de chuva e gerar as curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência) para a região de estudo, foi utilizado o método de *Gumbel* para este estudo em questão;

O Método de *Gumbel* é utilizado para determinar variáveis de valores extremos, tais como a máxima precipitação, o máximo vento, o máximo pico de vazão e outras variáveis extremas.

A aplicação do método de *Gumbel* consiste em obter e calcular valores como desvio padrão, desvio padrão da série de dados, variável reduzida, média da variável reduzida (tabela 2) e desvio padrão da variável reduzida (tabela 2);

O método de *Gumbel* pode ser descrito conforme Equação 1 a seguir:

$$X = x + \frac{Sx}{Sn} (Y - Yn) \quad (1)$$

Em que:

- X é a intensidade pluviométrica máxima esperado para o período de retorno(T);
- x é a chuva média da série;
- Sx é o desvio padrão da série de dados;
- Sn é o desvio padrão da variável reduzida (tabelada);
- Y é a variável reduzida;
- Yn é a média da variável reduzida (tabelada).

Sn e Yn são valores tabelados obtidos a partir de uma tabela que leva em consideração diferentes valores de acordo com a quantidade de anos de dados coletados.

Tabela 2 - Desvio Padrão e Média da variável reduzida

N	Yn	Sn	N	Yn	Sn
20	0,52	1,06	80	0,56	1,19
30	0,54	1,11	90	0,56	1,20
40	0,54	1,14	100	0,56	1,21
50	0,55	1,16	150	0,56	1,23
60	0,55	1,17	200	0,57	1,24
70	0,55	1,19		0,57	1,28

Fonte: Gumbel, 1958

Além disso Y é estimada para diferentes Tempos de Retorno (T), em anos, a variável reduzida pode ser calculada usando a Equação 2:

$$Y = -\ln \cdot \left[-\ln \cdot \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2)$$

Uma vez obtidas todas essas informações, se faz possível gerar a curva IDF para o cenário em questão.

Fez-se a coleta de outros postos pluviométricos localizados dentro e no entorno da bacia hidrográfica de Pentecoste, dos 32 (trinta e dois) postos selecionados para análise dos dados, apenas 12 (doze), além do próprio posto Pentecoste, possuíam séries longas o suficiente para geração das IDF, isto é, séries com mais de 20 anos de dados coletados, foram eles: Apuiarés, Aratuba, Boa Viagem, General Sampaio, Guaramiranga, Itatira, Mulungu, Pacoti, Palmácia, Paramoti, Pentecoste, Quixeramobim e São Luiz do Curu.

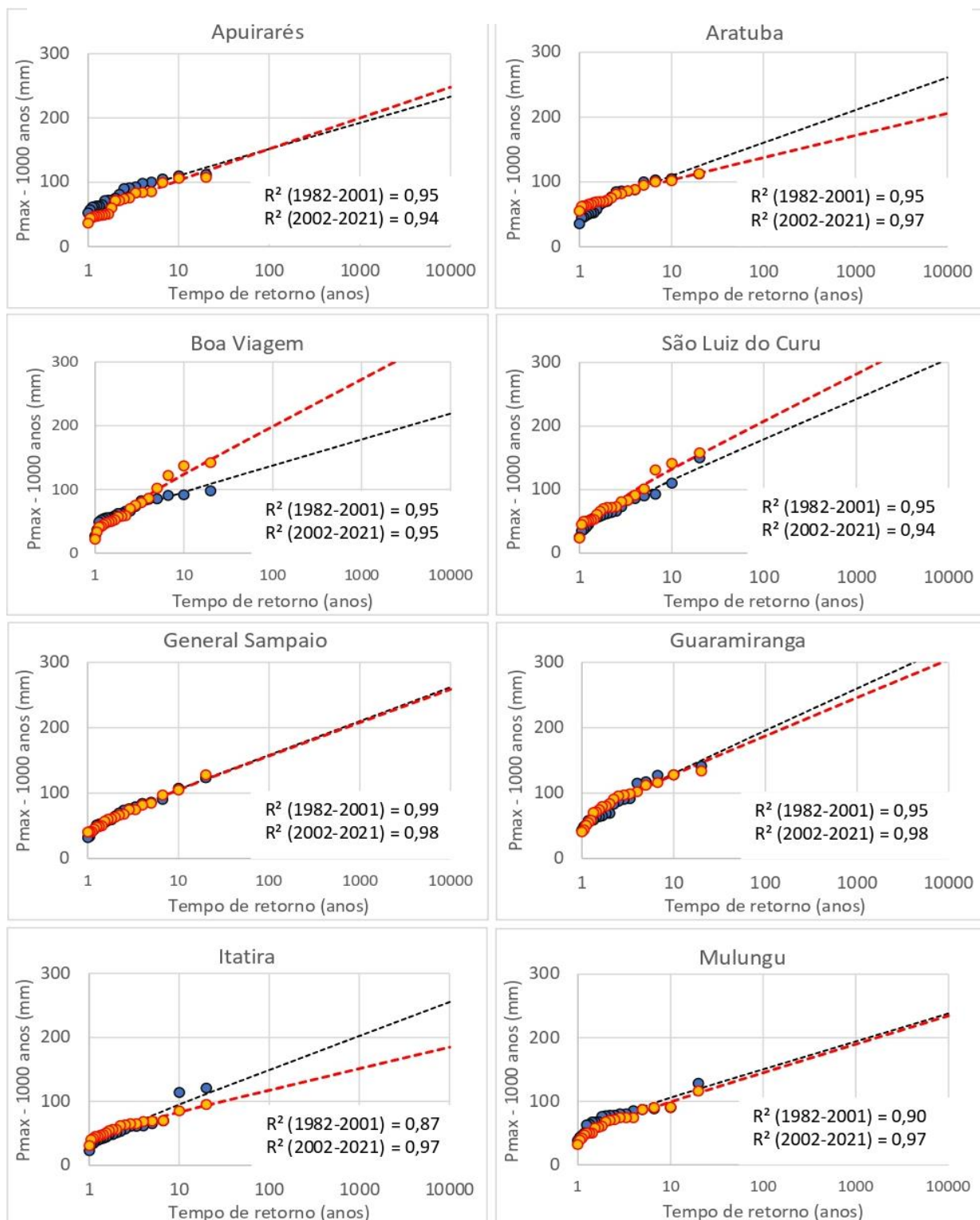
Para analisar a influência climática nos eventos de precipitação separou-se cada um dos postos selecionados em 2 (dois) períodos de tempo distintos, o primeiro sendo de 1982-2001 e o segundo sendo de 2002-2021, de modo a observar o comportamento das 2 curvas IDF geradas para cada posto, fazendo-se assim uma análise comparativa entre elas e observando qual intervalo de tempo apresentou a curva IDF com intensidade mais elevada;

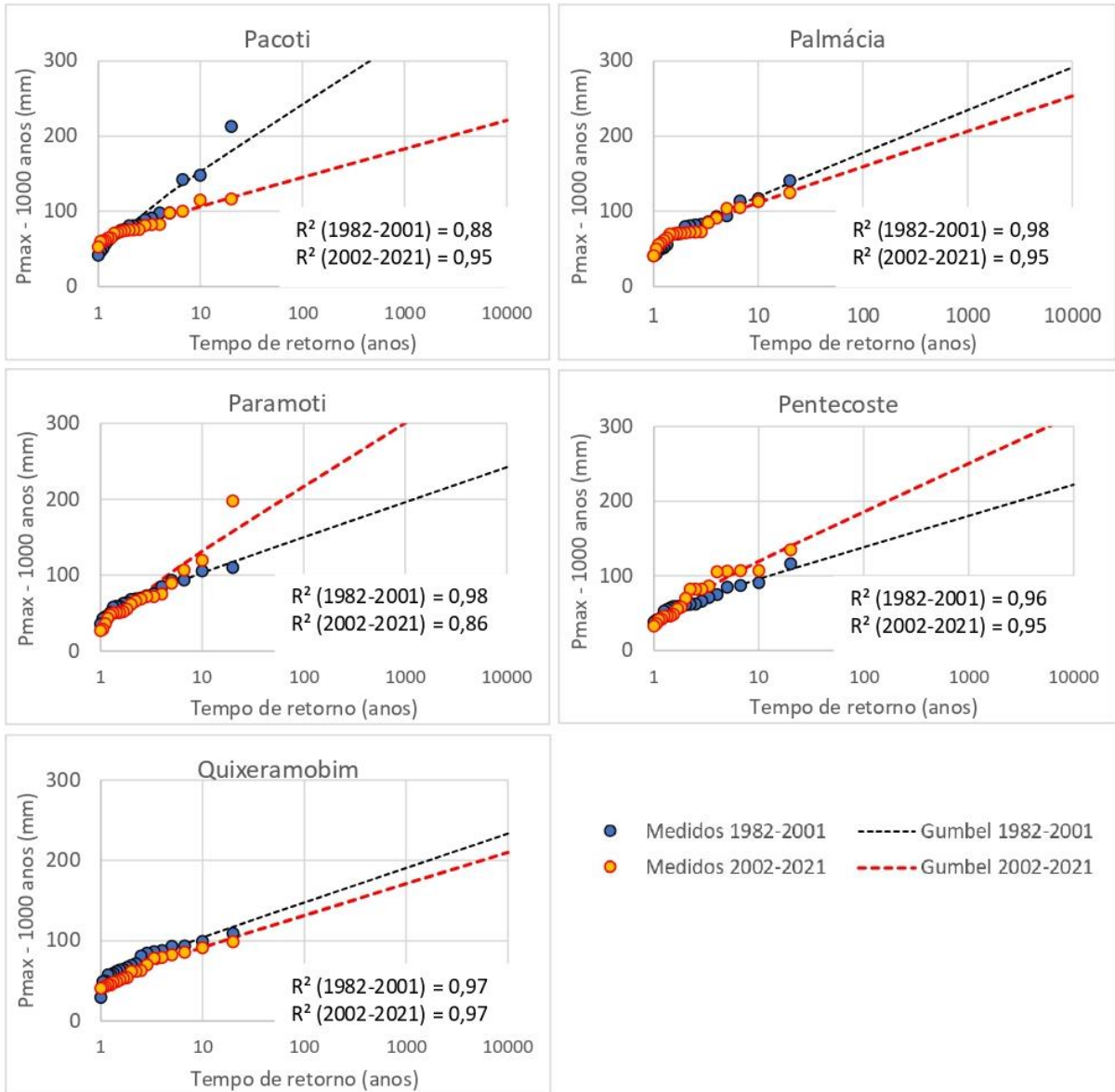
Uma vez criadas as curvas de comparação, fez-se também a interpolação nos pontos dos postos da bacia hidrográfica, para tal foi necessário o download da bacia juntamente com todos os postos do Ceará, pelo site da FUNCEME, em seguida

separado apenas os postos que seriam usados na interpolação, depois criou-se uma coluna com dados de variação percentual em cada posto, esse cálculo foi feito usando-se o Excel, a partir disso, com os dados de variação percentual obtidos, usou-se a ferramenta de interpolação do *ArcGis* para gerar o mapa, o método de interpolação escolhido foi o modelo IDW (*Inverse Distance Weight*), visto que de todos os testados ele mostrou-se o mais compatível.

Após realizada a interpolação usando as variações percentuais foram feitas mais duas interpolações, dessa vez usando as intensidades de chuva previstas para o tempo de retorno de 1000 (mil) anos, em cada um dos postos foram realizadas duas interpolações, uma para cada período de 20 (vinte) anos. Na figura 3, a seguir, seguem as análises comparativas da eficiência do método de Gumbel para os 13 postos analisados.

Figura 3 - Análise de eficiência do método de Gumbel na estimativa de precipitações máximas para os períodos de 1982-2001 e 2002-2021 nos postos pluviométricos considerados





Fonte: Elaboração Própria.

3.3 Caracterização do escoamento superficial

Para estimativa da precipitação efetiva associada a eventos extremos de precipitação utilizou-se o modelo SCS-CN (*Soil Conservation Service - Curve Number*), conforme destacado na Equação 3:

$$Pe = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{(P + 0,8 \cdot S)} \quad (3)$$

Em que:

- P , P_e são as precipitações total e efetiva, respectivamente;
- CN é o número da curva do escoamento (*Curva Number*) definido em função do tipo de solo.
- S é a capacidade de armazenamento da camada superior do solo, calculado conforme Equação 4:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

A Agência Nacional de Águas (ANA) disponibiliza dados espacializados de CN para todo o Brasil referentes aos anos de 1985, 2014 e 2022. Contudo, nesta pesquisa, consideramos apenas as bases de dados de 1985 e 2022, apresentadas em formato raster, com resolução espacial de 30 m (arquivos BR_CN-1985.tif e BR_CN-2022.tif). Esses índices foram calculados a partir dos dados de uso do solo e ocupação da terra fornecidos pelo projeto MapBiomas (2023), e incorporados à Base Atlas Estudo (BHAE) para as versões vetoriais. Os dados foram publicados em 2024. Adicionalmente, os dados pedológicos utilizados são provenientes do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), com escala 1:250.000, e a classificação das classes hidrológicas foi fundamentada no estudo de Sartori *et al.* (2005).

O mapa de CN dos anos de 1985 e 2022 foram recortados usando ferramentas de SIG (Sistema de Informação Geográfica) para a bacia hidrográfica do açude Pentecoste com o propósito de avaliar a evolução do comportamento hidrológico do solo neste período.

Para estimativa da precipitação efetiva na bacia hidrográfica do açude Pentecoste, utilizaram-se os dados de intensidade de chuva máxima diária para um tempo de retorno de 1000 anos, convertidos para duração de 1h com base no fator de conversão de 24h para 1h derivado da curva IDF de Pentecoste (RODRIGUES *et al.*, 2008), conforme Equação 5:

$$i = \frac{2246 \cdot Tr^{0,185}}{(D+18)^{0,95}} \quad (5)$$

Em que:

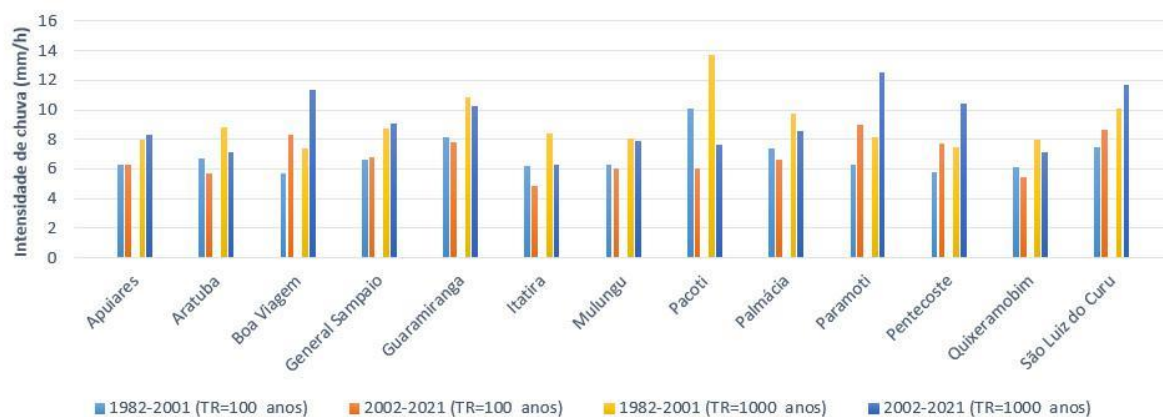
- i : intensidade associada ao tempo de concentração da bacia (mm/h);
- Tr : período de retorno (anos);
- D : duração da chuva de projeto (min).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de frequência e recorrência de eventos extremos

Os dados de chuvas de cada um dos dez postos situados no entorno da bacia de Pentecoste foram agrupados em dois períodos de 20 anos (1982-2001 e 2002-2021) e estimaram-se as curvas de intensidade-duração-frequência pelo método de Gumbel (Figura 4). Os resultados indicaram que em regiões serranas, como no Maciço de Baturité a frequência de eventos extremos reduziu no período mais recente, ao passo que na porção mais próxima do açude Pentecoste, com menores precipitações médias anuais, a frequência de eventos extremos aumentou no período mais recente.

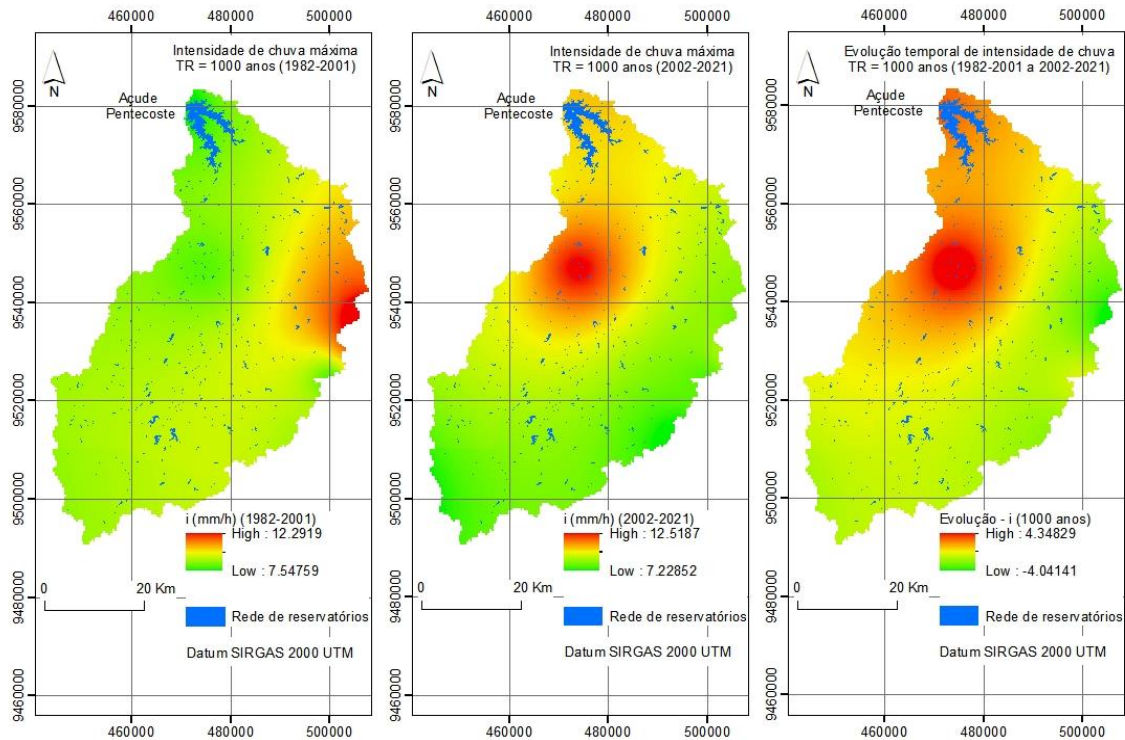
Figura 4 - Análise comparativa da intensidade de chuva para diferentes períodos



Fonte: Elaboração Própria.

A análise espacial das curvas de intensidade-duração-frequência (IDF), destacada na Figura 5, permitiu constatar que ocorreram variações positivas nos valores de intensidade de chuva para um tempo de retorno de 1000 anos nas porções mais baixas com clima mais característico de região semiárida, nas proximidades do açude Pentecoste, enquanto que na região serrana, com clima sub-úmido, observou-se uma redução nos picos e recorrências dos eventos extremos.

Figura 5 - Variação Percentual - Intensidade de Chuvas (1000 anos)

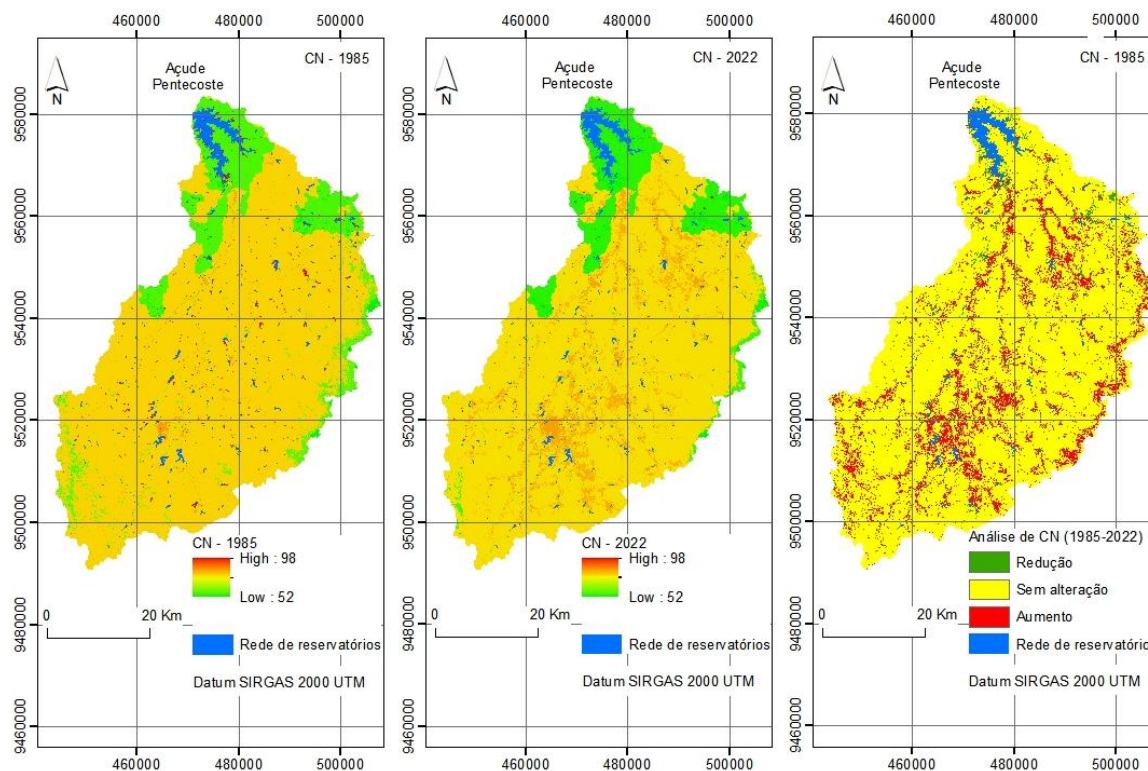


Fonte: Elaboração Própria.

4.2 Análise de evolução comportamental hidrológica da bacia com base no CN

A Figura 6 apresenta o mapa de CN para os anos de 1985 e 2022, na bacia hidrográfica de Pentecoste. Uma análise comparativa dos dados de CN destes dois anos revelou um discreto incremento deste parâmetro ao longo dos anos, com valor médio variando de 81,89 para 82,49. Esse incremento nos valores de CN reflete mudanças no uso e na ocupação do solo da região, que têm resultado em uma maior impermeabilização da superfície terrestre, sobretudo nas áreas próximas aos cursos d'água e nas bordas leste ao sopé do Maciço do Baturité e sudoeste na Serra do Machado. O incremento do CN pode resultar em menor infiltração de água no solo e uma maior propensão a eventos de enchente e erosão, com o aumento do escoamento superficial.

Figura 6 - Análise comparativa dos valores do CN para os períodos de 1985 a 2022

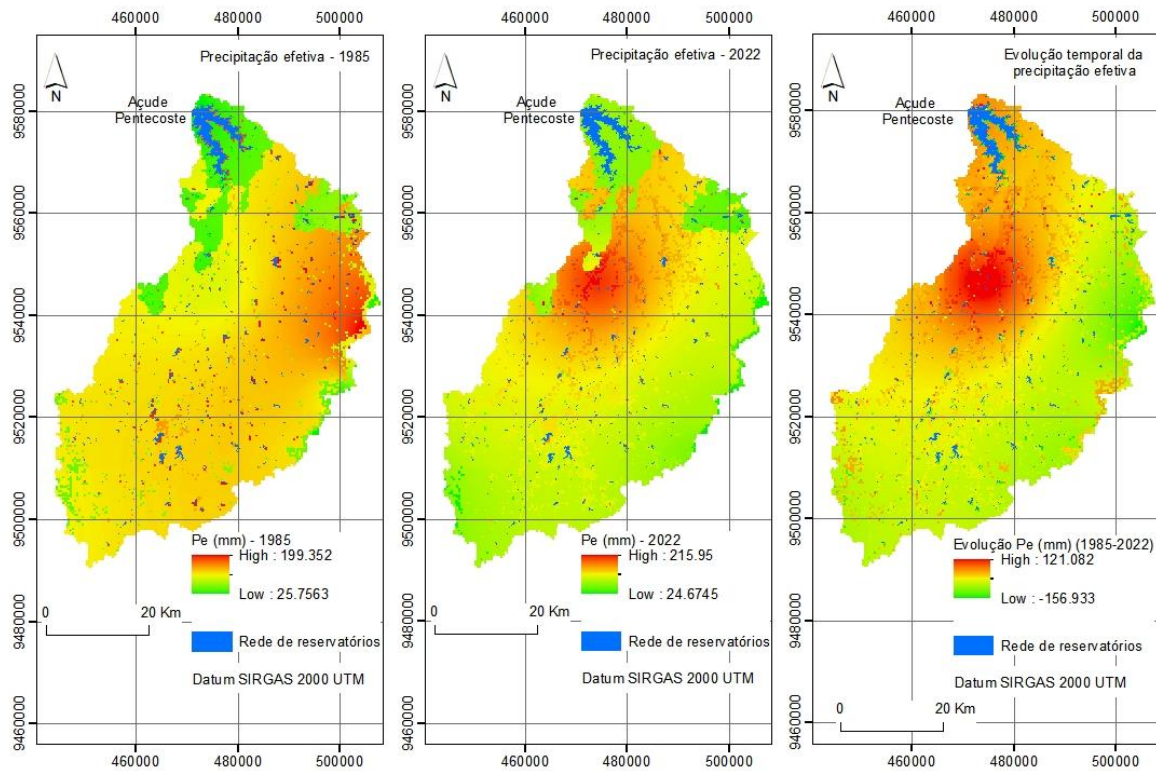


Fonte: Elaboração Própria.

Os impactos de alterações do CN na geração de escoamento superficial na bacia hidrográfica do açude Pentecoste foram analisados com base na precipitação efetiva computada pela Equação 3 aplicada aos dados de CN de 1985 e 2022, considerando a chuva máxima com duração de 1h gerada com base no mapa de intensidades de chuva de um dia e aplicando o fator de conversão de 24h para 1h estabelecido com base nas relações derivadas da equação IDF de pentecoste, correspondente a 67,3% (Figura 7). Os resultados mostram que os valores médios das lâminas máximas escoadas aumentaram de 110,08 mm em 1985 para 115,83 mm em 2022, com maior incremento em áreas com variações positivas da intensidade de chuva máxima e intensificação do uso do solo, conforme percebido nas variações positivas de CN. Alterações no escoamento superficial são preocupantes, pois podem impactar tanto a disponibilidade hídrica quanto a qualidade da água na bacia, além de aumentar a vulnerabilidade de áreas urbanas e rurais a inundações. Esses dados reforçam a importância de políticas de planejamento e manejo sustentável do solo na

região para mitigar os efeitos adversos das mudanças de uso do solo sobre os recursos hídricos locais.

Figura 7 - Análise comparativa dos eventos extremos de escoamento superficial (precipitação efetiva) para os anos de 1985 e 2022, considerando as chuvas máximas para uma duração de 1h



Fonte: Elaboração Própria.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram que, ao longo do tempo, regiões próximas às áreas serranas apresentam uma redução na ocorrência de eventos extremos de chuva nas bordas leste ao sopé do Maciço do Baturité e sudoeste na Serra do Machado, enquanto que na porção mais ao norte e mais próxima ao oceano, os eventos extremos têm sido mais intensos e recorrentes.

O estudo também conseguiu destacar as áreas da bacia hidrográfica do açude Pentecoste mais propensas a ocorrências de eventos extremos de escoamento superficial, sobretudo na porção centro-norte da bacia, onde os eventos de chuvas máximas são mais frequentes e intensos e onde se percebe maiores alterações nas características hidrológicas dos solos, com aumento do valor de CN quando comparados os dados de 1985 e 2022.

Diante do cenário abordado, mostra-se crucial a implementação de planos de contingência e estratégias de adaptação para minimizar os impactos, além de medidas de manejo sustentável que garantam a proteção dos recursos naturais e a resiliência das comunidades locais frente às mudanças climáticas e de uso do solo.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (Brasil) (Org.). **Relatório de Segurança de Barragens 2019**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2020. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2019/rsb19-v0.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2024.
- ALLAN, R.P.; and SODEN, B.J. (2008). **Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes**. *Science*, v. 321, n. 5895, p. 1481-1484, 2008.
- ALMEIDA, F. J.; PEREIRA, S. F. **Efeitos das mudanças climáticas sobre as curvas IDF: uma análise de longo prazo**. *Geografia e Climatologia Aplicada*, v. 29, p. 98-115, 2021.
- ATLAS ESTUDO (BHAЕ). **Base Hidrográfica Atlas-Estudos. 2024**. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/8ad07d33-1677-481d-bc61-ed5ca204926f>. Acesso em: 18 fev. 2024.
- Atlas Pluviométrico do Brasil. **Impactos das alterações no uso do solo sobre os recursos hídricos e a dinâmica das bacias hidrográficas**. Brasília: Serviço Geológico do Brasil (SGB), 2023. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br>. Acesso em: 23 nov. 2024.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; LIEVEN, T. **Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica e solo com crostasuperficial**. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 13, p.373-379, 1989.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (2014). **Equação de perdas de solo**. In *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, p. 248-267, 2014.
- BONNIN, G. M. et al. **Precipitation Frequency Atlas of the United States. Volume. 1 Version 5.0: Semiarid Southwest (Arizona, Southeast California, Nevada, New Mexico, Utah)**. NOAA Atlas 14.
- BRUIJNZEEL, L.A. **Predicting the hydrological impacts of tropical Forest conversion: The need for integrated research**. Capítulo 2 de "Amazonian Deforestation and Climate" Eds: Gash J H C, Nobre C A, Roberts J M e Victoria R L John Wiley & Co: Chichester, Inglaterra. 1996.
- CARVALHO, J. P. **Influência da topografia nos padrões de precipitação**. *Climatologia Aplicada*, 2020.
- CARVALHO, L. B. et al. **Influência dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña nos padrões de precipitação e nas curvas IDF**. *Revista de Ciências Atmosféricas*, v. 39, p. 210-225, 2021.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. International Edition. New York: McGraw-Hill Book Company, 1988.

DONAT, M. G.; ANGÉLIL, O.; UKKOLA, A. M. **Intensification of precipitation extremes in the world's humid and water-limited regions.** Environmental Research Letters, v. 14, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1c8e>. Acesso em: 24 nov. 2024.

EMORI, S.; BROWN, S. J. **Dynamic and thermodynamic changes in mean and extreme precipitation under changed climate.** Geophysical Research Letters, v. 32, n. 17, p. 1-5, 2005.

FERREIRA, M. J. **O impacto da topografia na variação climática local.** Geografia e Meio Ambiente, v. 16, p. 123-135, 2021.

FUNCEME - **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.** Secretaria de Ciência e Tecnologia. Zoneamento geoambiental do estado do Ceará.

GOMES, L. F.; SILVA, J. R. S.; CUNHA, J. F.; LIMA, S. P.; SOARES, R. O. **Influência dos padrões de vento nos processos de precipitação em regiões tropicais.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 46, p. 112-126, 2021.

GUERREIRO, Carmen. **MapBiomass lança coleção sobre uso da terra no Brasil - Arapyaú.** Arapyaú. Disponível em: <http://surl.li/nilwph>. Acesso em: 1 nov. 2024.

GUIMARÃES, Silvio Oliveira; COSTA, Ana Amélia; VASCONCELOS JÚNIOR, Francisco das Chagas; SILVA, Emerson Mariano da; SALES, Domingo Cassain; ARAÚJO JÚNIOR, Luiz Martins de; SOUZA, Samuel Galvão de. **Projeções de mudanças climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos Modelos do CMIP5 e do CORDEX.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, p. 337-365, 2016.

HASSANZADECH, E.; NAZEMI, A.; ELSHORBAGY, A. **Quantile-Based Downscaling of Precipitation using Genetic Programming: Application to IDF Curves in the City of Saskatoon.** Journal of Hydrologic Engineering, v. 19, n. 5, p. 943-955, 2013.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Censo Brasileiro de 2014. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Danos sociais e econômicos decorrentes de desastres naturais em consequência de fenômenos meteorológicos no Brasil: 2010-2019.** Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/publicacoesd>. Acesso em: 23 nov. 2024.

LIRA, Daniely Lidiany Costa. **Assoreamento em densas redes de reservatórios: o caso da bacia hidrográfica da barragem Pereira de Miranda, CE.** Universidade Federal do Ceará, Abril, 2012.

MAIDMENT, D. **Handbook of Hydrology.** McGraw-Hill, New York, 1993.

MAMEDE, G. L.; ARAUJO, N.A.M; SCHNEIDER, C.M.; ARAUJO, J. C.; HERRMANN, H.J.. **Overspill avalanching in a dense reservoir network**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 9,4000, v.109, p.7191 - 7195, 2012.

MIRHOSSEINI, G.; SRIVASTAVA, P.; STEFANOVA, L. **The impact of climate change on rainfall Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves in Alabama**. Regional Environmental Change, v. 13, n. S1, p. 25–33, 2012.

NETO, A. C.; STEIN, R. **Teste de hipóteses para análise das precipitações nos fenômenos El Niño e La Niña na região Nordeste**. 2003.

NOOR, Muhammad; ISMAIL, Tarmizi; SHAHID, Shamsuddin; ASADUZZAMAN, Md; DEWAN, Ashraf. **Projection of rainfall intensity-duration-frequency curves at ungauged location under climate change scenarios**. Sustainable Cities and Society, v. 83, p. 103951, 2022.

OLIVEIRA, F.; PEREIRA, L.; ALMEIDA, F.; SILVA, J. **Mudanças não estacionárias nas curvas IDF no contexto do aquecimento global**. Revista de Engenharia Hidrológica, v. 35, n. 3, p. 125-140, 2020

OLIVEIRA, F. S.; SILVA, R. M.; PEREIRA, M. P. **Impactos das mudanças climáticas nas curvas IDF no Brasil: uma abordagem não estacionária**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 25, n. 4, p. 5-20, 2020.

OLIVEIRA, R. S. **Precipitação orográfica e seu impacto nas áreas montanhosas**. Revista de Climatologia e Hidrologia, 2020.

PASSOS, Messias Modesto dos. **A relação clima-vegetação no semiárido brasileiro: abordagem bioclimática do contato Caatinga/Cerrado no vale do Médio São Francisco – Semiárido do Nordeste brasileiro**. Espaço em Revista, v. 22, n. 1, p. 42-60, 2020.

PEREIRA, R. P.; SANTOS, A. L. **Mudanças nos padrões de precipitação devido a eventos climáticos de curto prazo**. Climatologia e Gestão de Recursos Hídricos, v. 19, p. 203-215, 2020.

PHILLIP, R. **Kit de Treinamento SWITCH: gestão integrada das águas na cidade do futuro. Módulo 4. Manejo de águas pluviais: explorando opções**. 1. ed. São Paulo: ICLEI Brasil, 2011. 54 p.

RAMOS, Antônio Marcos Alves. (2010). **Métodos numéricos para o cálculo do tempo de recorrência e estimativas de chuvas intensas**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2010

RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L. **Estimating soil water retention from soil properties**. Journal of Irrigation and Drainage, ASCE, v. 108, n. IR2, p. 166-171, jun. 1982.

REQUENA, A. I.; NGUYEN, T.-H.; BURN, D. H.; COULIBALY, P.; NGUYEN, V.-T.-V. **A temporal downscaling approach for sub-daily gridded extreme rainfall intensity estimation under climate change.** Journal of Hydrology: Regional Studies, v. 35, p. 100811, 2020.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; OLIVEIRA, T. S.; LOBATO, F. A. O. **Equações de Intensidade – duração – frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará.** Scientia Agraria. Curitiba, v. 9, n. 4, p. 511-519, 2008.

SARTORI, S.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A.M. **Classificação das classes hidrológicas para o território brasileiro.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, n. 2, p. 307-315, 2005

SCHARDONG, A.; SRIVASTAV, R. K.; SIMONOVIC, S. P. **Atualização da equação intensidade-duração-frequência para a cidade de São Paulo sob efeito de mudanças climáticas.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 4, p. 176-185, 2014.

SCHARDONG, A.; SRIVASTAV, R. K.; SIMONOVIC, S. P. **Equidistance Quantile Matching Method for Updating IDF Curves under Climate Change.** Water Resources Management, v. 28, p. 2539–2562, 2014b.

SCHLEF, K. E.; KUNKEL, K. E.; BROWN, C.; DEMISSIE, Y.; LETTENMAIER, D. E.; WAGNER, A.; WIGMOSTA, M. S.; KARL, T. R.; EASTERLING, D. R.; WANG, K. J.; FRANCOIS, B.; YAN, E. **Incorporating non-stationarity from climate change into rainfall frequency and intensity-duration-frequency (IDF) curves.** Journal of Hydrology, v. 616, p. 2, 2022.

SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S. **Escoamento superficial para diferentes intensidades de chuva e porcentagens de cobertura num Podzólico Vermelho Amarelo com preparo e cultivo em contornos.** Engenharia Agrícola, v. 21, n.1, p. 12-22, 2001.

SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; GOMES FILHO, R. R.; LANA, A. M. Q.; BAENA, L. G. N. **Equações de Intensidade – Duração – Frequência da Precipitação pluvial para o Estado de Tocantins.** Engenharia Agrícola, v. 11, n. 1, p. 07-14, 2003.

SILVA, D. D.; OLIVEIRA, L. S.; SILVA, J. R.; RODRIGUES, L. F.; SANTOS, G. G. **Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado de Tocantins.** Engenharia na Agricultura, v. 11, n. 4, p. 1-8, 2003.

SILVA, F.O.E.; JÚNIOR, F.F.R.P.; CAMPOS, J.N.B. **Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC.** Revista DAE, edição 192, p. 48-59, 2013.

SILVA, José da Silva; SOUZA, Maria de Souza; PEREIRA, Luís Pereira; ALMEIDA, Fernanda Almeida. **Impacto das mudanças climáticas nas curvas IDF no Sertão Nordestino.** 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/329262837>. Acesso em: 23 nov. 2024.

SILVA, José Ricardo Martins. **Impactos da alteração da cobertura vegetal nas características hidrológicas de bacias hidrográficas e curvas IDF.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 25, n. 2, p. 56-72, 2020.

SILVA, J. P.; CUNHA, F. M. **Efeitos de El Niño e La Niña nas precipitações globais e regionais.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 42, p. 88-102, 2021.

SILVA, Maria Daniele Pereira Bessa da. **Avaliação do impacto da seca no Semiárido Cearense: aspecto meteorológico e socioeconômico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2022.

SILVA, R. A.; COSTA, M. L. **Variações sazonais e seus efeitos na precipitação: análise das curvas IDF.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 43, p. 112-128, 2020.

SILVA, R. M. **O impacto da vegetação nos processos hidrológicos.** Jornal de Ciências Ambientais, v. 45, n. 2, p. 112-118, 2019.

SOUSA, J. R.; ALMEIDA, R. F. **A Oscilação do Atlântico Norte e o Dipolo do Atlântico Sul: suas influências nos padrões de precipitação e nas curvas IDF.** Climatologia e Hidrologia, v. 38, p. 85-98, 2021.

SOUZA, A. L.; PEREIRA, M. F.; ALMEIDA, J. C. **Efeitos da vegetação sobre os padrões de precipitação e as curvas IDF.** Revista Brasileira de Hidrologia, v. 34, p. 50-62, 2020.

SOUZA, M.; PEREIRA, L.; ALMEIDA, F.; SILVA, J. **Variações climáticas e fenômenos de El Niño e La Niña nas curvas IDF do Nordeste do Brasil.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 42, n. 1, p. 234-246, 2018.

TAVARES, V; ARRUDA, I.; SILVA, D. (2019). **Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica.** Geosul, Florianópolis, v. 34, n. 70, p. 385-405.

TUCCI, C. E. M. **Escoamento Superficial.** In: CARLOS E.M. TUCCI; ANDRÉ L.L. DA SILVEIRA et al. (Org.). Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre, Brasil: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2009.

TUCCI, C.E.M. **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos.** Agência Nacional de Águas: Câmara Temática sobre Recursos Hídricos - Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2002. 150 p.

TAMM, O., SAAREMAE, E., RAHKEMA, K., JAAGUS, J., & TAMM, T. **The intensification of short-duration rainfall extremes due to climate change—Need for a frequent update of intensity-duration-frequency curves.** *Climate Services*, v. 30, Article ID 100349, 2023.

VASCONCELOS, João Paulo dos Santos; DIAS, Nildo da Silva. **Tecnologias sociais de convivência com o semiárido como estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas no Brasil.** 2019.