

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO - UENF
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E ENERGIA - PPGC&E

ISIS DE AZEVEDO BEZERRA

**ANÁLISE HIDROMETEOROLÓGICA DAS CHUVAS INTENSAS E SEUS
IMPACTOS NOS EVENTOS EXTREMOS NA CIDADE DE MACAÉ/RJ**

MACAÉ-RJ, 2026

ISIS DE AZEVEDO BEZERRA

**ANÁLISE HIDROMETEOROLÓGICA DAS
CHUVAS INTENSAS E SEUS IMPACTOS NOS
EVENTOS EXTREMOS NA CIDADE DE
MACAÉ/RJ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Clima e Energia, do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Clima e Energia.

Orientador(a): Prof. Dr. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira

MACAÉ-RJ, 2026

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

B574

Bezerra, Isis de Azevedo.

"ANÁLISE HIDROMETEOROLÓGICA DAS CHUVAS INTENSAS E SEUS IMPACTOS NOS EVENTOS EXTREMOS NA CIDADE DE MACAÉ/RJ" / Isis de Azevedo Bezerra. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2026.

110 f. : il.

Bibliografia: 96 - 105.

Dissertação (Mestrado em Clima e Energia) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, 2026.

Orientador: Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira.

1. Equações IDF. 2. Estacionariedade . 3. Chuvas Intensas . 4. Impactos Urbanos . 5. Risco Hidrológico. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 123


ANÁLISE HIDROMETEOROLÓGICA DAS CHUVAS INTENSAS E SEUS IMPACTOS NOS EVENTOS EXTREMOS NA CIDADE DE MACAÉ/RJ

ISIS DE AZEVEDO BEZERRA


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Clima e Energia, do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Clima e Energia.

Aprovado em **04 / 03 / 2026**


Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **RAFAEL MALHEIRO DA SILVA DO AMARAL FERRE**
Data: 04/05/2026 18:26:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira — Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **JOSE RICARDO SIQUEIRA**
Data: 04/05/2026 09:26:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Ricardo Siqueira - Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF)

Documento assinado digitalmente
 **OTTO CORREA ROTUNNO FILHO**
Data: 04/05/2026 08:15:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Otto Corrêa Rotunno Filho - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, por todo o apoio ao longo da minha trajetória, por sempre estarem ao meu lado e por terem me ensinado a importância dos estudos

Ao meu companheiro de vida, pelo carinho, pela paciência e por compartilhar comigo os desafios e conquistas diários, pela companhia e pelo apoio de todas as formas durante essa caminhada.

Aos colegas de curso, com quem dividi aprendizados, inseguranças, responsabilidades e muitas conquistas. Enquanto primeira turma de mestrado do programa precisamos enfrentar incertezas e processos ainda em construção, mas também acompanhamos de perto o nascimento e a consolidação de um programa excelente.

Aos meus amigos, pela compreensão, pelo incentivo constante e por continuarem presentes mesmo quando o cansaço falava mais alto. Por toda a admiração e entusiasmo nos mais diversos temas, pelas conversas, parceria e pelos conselhos em todos os momentos da vida.

Aos professores do programa, pelo empenho em fazer a primeira turma acontecer, pela dedicação em estruturar o curso, organizar as atividades e buscar soluções sempre que necessário.

À coordenação do curso, pela disposição em nos orientar, por correr atrás das demandas e por não medir esforços para garantir que tivéssemos uma formação consistente e de qualidade.

Ao corpo técnico e aos profissionais que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, pela disponibilidade e pelo suporte oferecido ao longo da pesquisa.

À UENF, pelo investimento na minha formação por meio da concessão de bolsa durante parte da pesquisa, custeada por fundo próprio, que foi fundamental para possibilitar maior dedicação a este estudo e para a realização desta dissertação.

Concluir este trabalho representa não apenas uma etapa acadêmica, mas também o resultado de um percurso construído coletivamente, com esforço, apoio e confiança. Agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa trajetória.

RESUMO

Este trabalho aborda as chuvas intensas no município de Macaé, localizado no estado do Rio de Janeiro, que frequentemente enfrenta alagamentos e inundações, especialmente em sua área urbana. O método das curvas IDF (intensidade, duração e frequência) baseado na equação das chuvas intensas é bastante utilizado como critério de projeto em obras de engenharia e, principalmente nas redes de drenagem. As curvas IDF partem da hipótese da estacionariedade, ou seja, utiliza-se uma série histórica de precipitação ocorrida para criar tais curvas, considerando que os fenômenos que explicam a variabilidade da precipitação na série também causarão o mesmo padrão de variação no futuro. Foi elaborada uma nova equação IDF específica para a região de Macaé, considerando-se que a observação de chuvas intensas vem ocorrendo com maior frequência, e conseqüentemente a incerteza sobre a estacionariedade da precipitação máxima anual, comparada à série temporal utilizada em equações anteriores. Dessa forma, foram usados dados pluviométricos mais recentes compreendendo o período de 2006 a 2024, que representam mais adequadamente as chuvas intensas atualmente observadas. Adicionalmente, foi testada estatisticamente a estacionariedade da série histórica de chuvas, utilizando também dados de uma segunda estação meteorológica de registro mais longo. A elaboração da equação IDF utilizou métodos de hidrologia estatística, como o ajuste dos valores máximos de chuvas a uma função de densidade de probabilidade de Gumbel, e a verificação usando o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados indicam que a equação IDF proposta apresenta diferenças numéricas consideráveis, corroborando com a hipótese inicial de quebra de estacionariedade. A tendência observada nas chuvas intensas em Macaé, baseada em registros de estações meteorológicas e no próprio impacto visível na cidade, por meio de alagamentos e inundações, sugerem que pode estar havendo um aumento na intensidade e frequência dessas chuvas. Adicionalmente, as novas curvas IDF foram comparadas com aquelas existentes, a fim de avaliar a sua frequência de ocorrência e correlacionadas com os efeitos reais desses eventos na cidade de Macaé, que foram noticiados na mídia. A partir das mudanças encontradas na equação IDF, conclui-se que ela não reflete mais as mudanças recentes na precipitação, e sua utilização pode gerar impactos em projetos de engenharia que ficam subdimensionados, o que reforça a importância de analisar os métodos de estudo das chuvas intensas, de modo a avaliar adequadamente os impactos das chuvas intensas, auxiliando na tomada de decisões em projetos de infraestrutura urbana.

Palavras-chave: Equações IDF, Estacionariedade, Chuvas Intensas, Impactos Urbanos, Risco Hidrológico

ABSTRACT

This study addresses intense rainfall events in the municipality of Macaé, located in the state of Rio de Janeiro, Brazil, which frequently experiences flooding and urban inundation, especially within its urban area. The IDF (intensity-duration-frequency) curve method, based on the rainfall intensity equation, is widely used as a design criterion in engineering works, particularly in urban drainage systems. IDF curves are based on the assumption of stationarity, meaning that historical precipitation records are used to construct these curves under the premise that the processes responsible for rainfall variability in the observed series will continue to produce similar patterns in the future. A new IDF equation was developed specifically for the Macaé region, considering that intense rainfall events have been occurring more frequently and, consequently, increasing the uncertainty regarding the stationarity of annual maximum precipitation when compared to the historical series used in previous equations. Therefore, more recent rainfall data covering the period from 2006 to 2024 were used, as they more accurately represent the intense rainfall currently observed in the region. In addition, the stationarity of the rainfall time series was statistically evaluated using data from a second meteorological station with a longer observation record. The development of the IDF equation employed statistical hydrology methods, including fitting annual maximum rainfall values to the Gumbel probability distribution function and verifying the fit through the Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test. The results indicate that the proposed IDF equation presents considerable numerical differences, supporting the initial hypothesis of a breakdown in stationarity. The observed trend in intense rainfall events in Macaé, based both on meteorological station records and on the visible impacts within the city through flooding and urban inundation, suggests a possible increase in the intensity and frequency of these events. Additionally, the new IDF curves were compared with existing equations in order to evaluate their recurrence characteristics and correlate them with the actual impacts of these rainfall events in the city of Macaé, as reported by the media. Based on the changes identified in the IDF equation, it is concluded that previous equations no longer adequately represent recent changes in precipitation patterns, and their continued use may lead to underdesigned engineering projects. This reinforces the importance of reassessing methodologies used in intense rainfall studies in order to properly evaluate the impacts of extreme precipitation and support decision-making in urban infrastructure projects.

Keywords: IDF equations; stationarity; intense rainfall; urban impacts; hydrological risk.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração do tempo de retorno para eventos máximos anuais	17
Figura 2: Isozonas de Torrico	23
Figura 3: Divisão do estado em regiões homogêneas	27
Figura 4: Registros dos desastres de alagamento	31
Figura 5: Fluxograma da metodologia do trabalho	35
Figura 6: Distribuição GEV para valores diferentes de ξ	38
Figura 7: Classificação de desastres devido a chuvas intensas	48
Figura 8: Matriz de correlação entre riscos e níveis de monitoramento	49
Figura 9: Limiares para emissão dos alertas de risco hidrológico	50
Figura 10: Precipitação média anual na bacia do rio Macaé	52
Figura 11: Limiares de acordo com níveis de alerta	54
Figura 12: Máxima precipitação anual – estação INMET	56
Figura 13: Máxima precipitação anual – estação ANA	56
Figura 14: Máxima precipitação mensal – estação INMET	57
Figura 15: Máxima precipitação mensal – estação ANA	57
Figura 16: Dados horários: Máximos mensais	58
Figura 17: Dados horários: Máximos anuais	58
Figura 18: Linha de tendência da série completa	63
Figura 19: Linhas de tendência dos períodos selecionados	64
Figura 20: Gráfico da equação IDF proposta para Macaé	71
Figura 21: Frequência dos limites nas medições diárias	75
Figura 22: Frequência dos limites nas medições diárias	75
Figura 23: Notícia 03/12/2013	86
Figura 24: Notícia 01/12/2013	87
Figura 25: Notícia 22/01/2016	88
Figura 26: Notícia 07/03/2019	89
Figura 27: Notícia 25/10/2020	90
Figura 28: Notícia 23/03/2024	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes de desagregação de chuvas para diferentes relações de durações.....	30
Tabela 2: Coeficientes R normalizados.....	46
Tabela 3: Valores máximos de chuva diária anual	61
Tabela 4: Resultados dos testes	62
Tabela 5: Resultados dos testes de tendência	63
Tabela 6: Resultados dos testes de estacionariedade (estação da ANA).....	65
Tabela 7: Precipitação máxima diária anual	66
Tabela 8: Resultado do teste de estacionariedade (estação A608 – INMET)...	67
Tabela 9: Aplicação na distribuição de Gumbel.....	68
Tabela 10: Valores do teste KS	69
Tabela 11: Intensidade a partir dos dados observados.....	69
Tabela 12: Coeficientes da equação IDF	70
Tabela 13: Resultados do algoritmo de cálculo do R^2	70
Tabela 14: Intensidade calculada pelos coeficientes da equação IDF	71
Tabela 15: Diferença percentual entre as precipitações calculadas.....	73

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	10
1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS	10
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 HIDROLOGIA ESTATÍSTICA	16
2.2 CHUVAS INTENSAS	20
2.3 IMPACTOS URBANOS DAS CHUVAS.....	30
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	35
3.1 ESTATÍSTICA DE VALORES EXTREMOS	37
3.2 EQUAÇÕES IDF E DADOS PLUVIOMÉTRICOS	46
3.3 IMPACTOS DEVIDO ÀS CHUVAS	47
CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO	52
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	52
4.2 LIMIARES DE ALERTA DA DEFESA CIVIL	54
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS DA HIDROLOGIA ESTATÍSTICA	55
5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS.....	55
5.2 ESTATÍSTICA DOS DADOS	60
5.3 OBTENÇÃO DA NOVA EQUAÇÃO IDF	66
5.4 COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS IDF.....	72
CAPÍTULO 6 - OCORRÊNCIA DAS CHUVAS INTENSAS E SEUS IMPACTOS NA CIDADE DE MACAÉ	74
6.1 FREQUÊNCIA DOS LIMIARES DE ALERTA.....	74
6.2 NOTÍCIAS ASSOCIADAS ÀS CHUVAS INTENSAS.....	76
CAPÍTULO 7 - PRODUTO TECNOLÓGICO	92
CAPÍTULO 8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
8.1 CONCLUSÕES	93
8.2 RECOMENDAÇÕES.....	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
APÊNDICE A – DADOS AUSENTES DAS ESTAÇÕES	106
APÊNDICE B – EXTRATO DO ROTEIRO PARA A CONSTRUÇÃO DE CURVAS IDF	108

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

O capítulo de introdução apresenta as primeiras motivações, justificativas e objetivos do estudo, e principais hipóteses e questionamentos no que tange ao estudo de chuvas intensas e suas aplicações em obras de engenharia.

1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

A análise hidrológica de eventos extremos e a estimativa de vazões e precipitações de projeto são atividades centrais na engenharia civil e no planejamento urbano, uma vez que fundamentam o dimensionamento de sistemas de drenagem, reservatórios e obras de mitigação de riscos. A hidrologia estatística e a hidrologia estocástica constituem o arcabouço teórico para lidar com a natureza imprevisível de muitos fenômenos hidrológicos. Enquanto sistemas determinísticos procuram explicar relações causais entre entradas e saídas, os processos estocásticos tratam as variáveis hidrológicas como manifestações de variáveis aleatórias regidas por leis de probabilidade, exigindo, portanto, modelos probabilísticos para inferência e previsão (Gonzalez, 1989; Naghettini e Pinto, 2007).

Os métodos estocásticos aplicados à hidrologia atendem basicamente a duas finalidades complementares: por um lado, quantificar a frequência de ocorrência de eventos extremos futuros (enchentes, secas, precipitações intensas); por outro, estimar valores futuros de variáveis hidrológicas condicionados à observações disponíveis até o momento. Essa dupla finalidade faz com que a escolha adequada de distribuições de probabilidade, a verificação de aderência e a aplicação de testes de hipótese sejam etapas essenciais na caracterização estatística de eventos extremos e na construção de curvas intensidade-duração-frequência (IDF) utilizadas em projetos (Naghettini e Pinto, 2007).

Um aspecto metodológico fundamental é a definição do tempo de retorno, que relaciona a probabilidade de excedência de um determinado quantil à sua recorrência média em anos. Em termos práticos, o tempo de retorno fornece ao projetista uma escala temporal para associar magnitudes pluviométricas a níveis

de risco aceitáveis, sendo calculado como o inverso da probabilidade anual de ocorrência do evento de interesse (Naghattini e Pinto, 2007). Entretanto, a validade dessas inferências estatísticas depende fortemente de pressupostos sobre as séries históricas, em especial os requisitos de estacionariedade e homogeneidade.

A estacionariedade, isto é, a constância das propriedades estatísticas (como média e variância) ao longo do tempo, tem sido largamente assumida em projetos de engenharia. Contudo, evidências apontam para alterações significativas nas séries hidrológicas em várias regiões, resultantes tanto de mudanças climáticas quanto de impactos antropogênicos sobre bacias hidrográficas (Milly *et al.*, 2008).

A estacionariedade não significa que um determinado fenômeno meteorológico ou hidrológico, como a chuva ou a vazão, não varia, mas que a sua variação pode oscilar em torno de uma média e um desvio-padrão conhecidos. No entanto, se a precipitação mudar substancialmente com o tempo, (devido às mudanças climáticas, por exemplo), as curvas IDF podem não mais reproduzir de maneira adequada as chuvas locais.

Relatórios do IPCC e análises subsequentes já indicavam mudanças na variabilidade climática e na frequência e intensidade de fenômenos meteorológicos, o que coloca em xeque a suposição da estacionariedade tradicionalmente adotada na hidrologia estatística (IPCC, 2001; Clarke, 2002). Essa nova conjuntura exige uma maior atenção à fundamentação física dos modelos e à necessidade de se considerar uma não-estacionariedade em análises de risco hidrológico. A revisão desses modelos se alinha ao entendimento da comunidade global da necessidade em investir em medidas de adaptação climática a longo prazo (IPCC, 2021).

Para representar as distribuições dos extremos pluviométricos, a literatura hidroestatística recomenda o ajuste de funções de probabilidade, como Gumbel, GEV, Log-Normal, Gama, Weibull e outras, e a avaliação de sua aderência por meio de testes estatísticos. Testes de aderência clássicos (Qui-Quadrado, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Filliben) e medidas complementares (R^2 , índice de concordância) são rotineiramente empregados para decidir sobre

a adequação de uma função candidata aos dados amostrais (Naghetini e Pinto, 2007).

Estudos brasileiros diversos exemplificaram a prática de comparar múltiplas distribuições para selecionar a mais apropriada regionalmente, enquanto outros adotaram funções específicas (ex.: Gumbel, GEV) em análises locais (Sabino *et al.*, 2021; Back *et al.*, 2019; Dias e Penner, 2021). A prevalência histórica da função de Gumbel em estudos de precipitação extrema, inclusive em vários trabalhos no Estado do Rio de Janeiro, justifica testá-la como candidata em análises regionais (Lima *et al.*, 2013; Santana e Silva Júnior, 2020; outros).

A determinação de equações IDF constitui o elo entre as análises estatísticas e o dimensionamento de obras urbanas. A forma empírica clássica das curvas IDF, que foi consolidada por autores históricos (Talbot, Bernard, Kimijima e Sherman), e suas generalizações permitiram o desenvolvimento de relações que associam intensidade, duração e frequência das chuvas em equações adequadas para projetos (Obeid e Elkholy, 2021; Tucci, 2001).

No Brasil, o trabalho pioneiro de Pfafstetter (1957, apud Almeida, 2016) foi crucial por estabelecer equações IDF para diversas estações, e inspirar posteriormente ajustes regionais e locais. Ao longo do tempo, esses métodos se difundiram e são disponibilizados em equações por meio de *softwares* e catálogos, como Pluvia, Plúvio, Atlas IDF da CPRM, sendo este último destacável pela interface georreferenciada que facilita a seleção de equações por área (Dantas, 2015). Mais recentemente, ferramentas integradas que combinam dados de satélite (CHIRPS) e técnicas de inteligência artificial/otimização, como o CAELUS, têm sido propostas para estimar parâmetros das equações gerais de chuvas intensas (Silva, 2024).

No que tange à disponibilidade de dados, a limitação da rede de pluviógrafos e pluviômetros de alta resolução temporal, e a predominância de séries com resoluções diárias têm levado à adoção de métodos de desagregação para estimar precipitações de curta duração a partir de totais diários. O método de desagregação de um dia Pfafstetter (1957, apud Almeida, 2016) e coeficientes médios publicados por instituições como CETESB são amplamente empregados para derivar lâminas de chuva com durações menores que 24 horas quando faltam registros de alta resolução (Albuquerque e

Guimarães, 2018; CETESB, 1986). Essa prática viabiliza a elaboração de curvas IDF mesmo em regiões com disponibilidade limitada de rede, mas também cria incertezas relacionadas à representatividade espacial e temporal dos coeficientes aplicados.

Estudos que utilizam registros meteorológicos e noticiários evidenciam que eventos de intensidade moderada a alta já trazem consequências recorrentes para as cidades, como alagamentos, danos materiais e perdas humanas (Campos, 2014; Dereczynski, 2017; Lima e Amorim, 2014). No Brasil, fenômenos hidrometeorológicos respondem por uma grande parcela dos desastres naturais, sendo os alagamentos uma das manifestações mais frequentes e socialmente nocivas (Atlas Brasileiro de Desastres, 2012; Barcelo *et al.*, 2016).

O município de Macaé sofre frequentemente com alagamentos e inundações na sua área urbana durante os períodos de chuva, resultando em diversos transtornos sociais, ambientais e econômicos. O impacto das chuvas intensas varia conforme a intensidade e a duração das precipitações, afetando tanto o escoamento nas áreas urbanas quanto o extravasamento de rios e lagoas.

O dimensionamento das diferentes estruturas que compõem os sistemas de drenagem urbana é realizado com base em vazões de projeto, ou seja, é estimado o limiar de vazão para o qual a estrutura desempenhará adequadamente sua função. Geralmente essas vazões podem ser estimadas por meio de modelos chuva-vazão, assim como, por meio da utilização de métodos estatísticos. Por isso, a elaboração de uma equação que relacione intensidade, duração e frequência (IDF) das precipitações (Almeida *et al.*, 2016) impacta diretamente a infraestrutura da cidade, de forma que a mesma é usada como critério de projeto em obras de drenagem.

As possíveis alterações no padrão de chuvas devem ser estudadas e validadas, especialmente quando na literatura específica é mencionado cada vez mais o efeito das mudanças climáticas. Diante desse panorama, o presente trabalho estrutura-se para integrar fundamentos teóricos, métodos estatísticos de análise de extremos, procedimentos de desagregação e evidências regionais. Nesse contexto a motivação deste trabalho surge a partir da recorrência de

episódios de alagamentos e outros impactos associados às chuvas intensas no município de Macaé, observados nos últimos anos, especialmente em áreas urbanizadas mais suscetíveis.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Elaborar um estudo das chuvas intensas no município de Macaé, a partir da análise temporal das séries de eventos extremos de chuva e do levantamento dos seus impactos urbanos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Propor uma metodologia para o tratamento de eventos extremos de precipitação e chuvas intensas;
- Avaliar a estacionariedade temporal da série de precipitação máxima anualmente em Macaé por meio da aplicação de testes de hipótese;
- Elaborar novas curvas e equação IDF para Macaé a partir de uma série mais recente, usando dados da estação INMET A608, comparando com as demais equações;
- Identificar os registros de média dos impactos urbanos causados pelas chuvas intensas na cidade e realizar uma análise comparativa com as medições de eventos extremos de precipitação.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi organizado em capítulos principais para uma divisão fluida da leitura, com descrições do seu conteúdo por todos os subtópicos. O segundo capítulo trata da revisão da literatura sobre o assunto, onde foram relacionados trabalhos relevantes sobre os temas de chuvas intensas, curvas IDF, hidrologia estatística aplicada a valores extremos e as relações das chuvas intensas com desastres naturais. O terceiro capítulo aborda os materiais e métodos usados para a elaboração do presente trabalho e sobre os quais foi possível desenvolver a pesquisa e selecionar as ferramentas adequadas para a análise desejada.

No quarto capítulo é apresentado o estudo de caso com uma breve caracterização da área de estudo do trabalho, e seus dados relacionados. No quinto capítulo apresentam-se os resultados relativos à hidrologia estatística,

onde foram aplicados testes estatísticos com análise de tendência, estacionariedade, assim como comparação de valores médios e variâncias entre períodos da série temporal. Foram aplicados dados das estações para o cálculo da equação IDF proposta e foi feita comparação com as demais equações dispostas na literatura.

O sexto capítulo também expõe os resultados da pesquisa, mas estes tratam da análise ao redor dos impactos urbanos das chuvas intensas, com levantamentos de episódios registrados por notícias na mídia, e a sua relação com o monitoramento do risco de desastres naturais por causas hidrometeorológicas. O sétimo apresenta o produto tecnológico do trabalho

O oitavo capítulo reúne as considerações finais dos resultados e implicações práticas desta pesquisa por meio da conclusão, onde são reforçados os principais resultados e suas discussões, de acordo com os objetivos do trabalho. Posterior aos capítulos se encontram as referências bibliográficas e apêndices da pesquisa.

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HIDROLOGIA ESTATÍSTICA

Os sistemas hidrológicos frequentemente são divididos entre processos considerados determinísticos e estocásticos, quanto às leis físicas que governam seu comportamento. Quando a relação entre as variáveis de entrada e de saída do sistema é explicada de forma causal, o sistema é dito determinístico (Gonzalez, 1989).

Os estocásticos são aqueles em que a saída se desenvolve ao longo do tempo, de maneira que pode ser bem representada pelas leis da probabilidade ou do acaso (Gonzalez, 1989, apud Cunnane, 1985). O hidrograma de um determinado rio, por exemplo, em qualquer ponto dele, pode ser considerado um processo estocástico quando observado por um longo período de tempo (Gonzalez, 1989).

Uma das diferenças entre métodos estocásticos e determinísticos é que, nos estocásticos, utilizam-se processos que incluem a geração de números aleatórios em um processo de modelagem, enquanto nos determinísticos, partindo-se das mesmas condições iniciais, o resultado obtido será sempre o mesmo (Silva, 2024).

A hidrologia estocástica consiste em um conjunto de métodos para estimar variáveis de interesse hidrológico, a partir da análise de diversos dados como precipitação, vazão, níveis de lagos ou teor de umidade do solo, que trata os dados como observações de uma variável aleatória, ou seja, uma variável regida por leis probabilísticas (Clarke, 2002).

A estatística matemática, baseada na teoria das probabilidades, permite inferir o comportamento de fenômenos aleatórios a partir de observações limitadas, enquanto os processos estocásticos buscam representar essa aleatoriedade por meio de modelos matemáticos. Na hidrologia, tais aplicações se organizam em dois campos: a hidrologia estatística, voltada ao uso das probabilidades e da estatística, e a hidrologia estocástica, destinada ao estudo dos processos hidrológicos aleatórios (Naghetini e Pinto, 2007).

Os métodos estocásticos são amplamente empregados em diferentes áreas, e suas aplicações podem ser agrupadas em duas categorias principais. A

primeira diz respeito à análise da frequência futura de eventos extremos, como cheias em rios, secas ou precipitações intensas. A segunda refere-se à estimativa de valores futuros de variáveis hidrológicas, como a vazão, a partir dos registros observados até o momento.

Na literatura não há uma definição padronizada que estabeleça limites claros para classificar uma quantidade de chuva acumulada em determinado intervalo de tempo como fraca, moderada, forte, intensa ou extrema. Além disso, um evento considerado extremo em uma região pode ser relativamente comum em outra (Dereczynski, 2017). Isso ressalta a importância de se realizar estudos de chuvas intensas em diversas regiões.

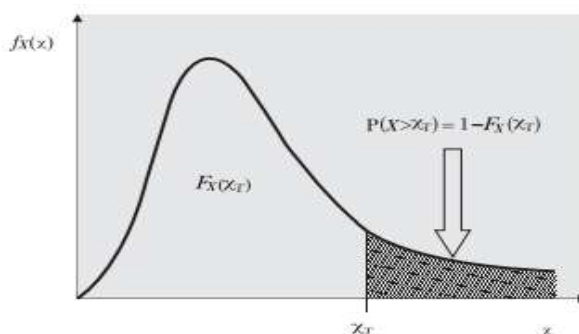
2.1.1 Tempo de Retorno

Em estudos hidrológicos, o tempo de retorno é comumente utilizado na análise da probabilidade de ocorrência de eventos extremos anuais, como enchentes ou os maiores valores diários de precipitação. Essas variáveis aleatórias são contínuas e seu comportamento é modelado por funções de densidade de probabilidade, conforme Figura (Naghettini e Pinto, 2007). O tempo de retorno corresponde ao inverso de $P(X > x_T)$, indicada pela área hachurada, e pode ser escrito como indicado na equação 1.

$$T(X_T) = \frac{1}{1 - F_X(x_T)} \quad \text{Eq. (1)}$$

Considerando a variável X da figura, podemos definir um quantil de referência x_T , de forma que o 'evento de sucesso' seja quando o valor de X ultrapassa x_T . Nesse caso, o tempo de retorno T , correspondente a esse quantil, representa o número médio de anos necessário para que o evento $X > x_T$ ocorra uma vez, em qualquer ano.

Figura 1: Ilustração do tempo de retorno para eventos máximos anuais



Fonte: Naghettini e Pinto (2007)

2.1.2 Estacionariedade

Conforme Naghettini e Pinto (2007), na maioria das aplicações da hidrologia estatística, as séries hidrológicas reduzidas devem atender aos requisitos de estacionariedade e homogeneidade. Uma série é considerada estacionária quando suas propriedades estatísticas não mudam ao longo do tempo.

Contudo, quando as séries hidrológicas apresentam tendências, saltos ou padrões de periodicidade ao longo do tempo — seja em razão de variações climáticas naturais ou de mudanças induzidas pela ação humana — elas são consideradas não estacionárias. Já a série homogênea é quando o padrão de variação em torno do seu valor médio permanece constante e idêntico ao longo do tempo.

De acordo com Milly *et al.* (2008), os sistemas de gerenciamento de água em todo o mundo desenvolvido foram projetados e operados sob o pressuposto de estacionariedade. No entanto, o pressuposto de estacionariedade há muito foi comprometido por distúrbios humanos em bacias hidrográficas. O risco de inundações, o abastecimento de água e a qualidade da água são afetados por infraestruturas hídricas, modificações de canais, obras de drenagem e mudanças na cobertura e no uso do solo (Milly *et al.*, 2008).

Para Clarke (2002), os métodos estocásticos para prever a frequência de eventos extremos nos próximos períodos usavam modelos com pouca ou nenhuma fundamentação física no passado. No entanto, especialmente em cenários de mudanças climáticas, as previsões futuras precisarão de uma maior compreensão dos processos físicos que controlam o comportamento de longo prazo da atmosfera global, dos oceanos e das interações entre eles.

O relatório Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) alerta que, ao longo deste século, devem ocorrer alterações na variabilidade climática e na frequência e intensidade de determinados fenômenos. De acordo com Clarke (2002), tais projeções, cada vez mais consistentes, indicam que a suposição de estacionariedade estatística, fundamental em muitas análises hidrológicas, não pode mais ser considerada segura. Isso significa que a disponibilidade de

recursos hídricos, tanto no espaço quanto no tempo, tende a se modificar em função das mudanças regionais do clima.

2.1.3 Distribuição de probabilidades aplicadas a eventos extremos

Para tomar decisões no planejamento e na construção de sistemas de recursos hídricos, é necessário desenvolver um modelo matemático que inclua os principais elementos do processo hidrológico observado, e esse modelo deve ser probabilístico, já que é impossível representar completamente a variação de um fenômeno hidrológico com um conjunto fixo de equações (Naghettini e Pinto, 2007).

Um modelo de distribuição de probabilidades é um modelo matemático definido por parâmetros numéricos específicos que o definem completamente e o particularizam, de forma que o modelo pode representar uma síntese plausível do comportamento de uma variável aleatória e ser usado para interpolar ou extrapolar probabilidades e quantis que não estão na amostra observada equações (Naghettini e Pinto, 2007).

Diversos estudos brasileiros usaram distribuições de probabilidade para a modelagem do período de retorno associado a chuvas intensas, seja comparando a aderência de diferentes funções, como Sabino *et al* (2021) (Gama, Generalizada de Valores Extremos, Generalizada de Pareto, Gumbel, LogNormal, Pearson 5 e Weibull), ou aplicando uma das distribuições somente, como Back *et al* (2019), (SABINO, 2022) e (DIAS; PENNER, 2021), que usaram as funções Gumbel-Chow, GEV e Normal, respectivamente.

Dentre as distribuições comumente aplicadas para extremos de precipitação, a função de Gumbel é a mais amplamente utilizada em hidrologia, sendo possível notar essa prevalência até os dias de hoje, tendo larga aplicação no estudo de extremos de precipitação e de chuvas intensas, como Santana e Silva Junior (2020), Garcia e Alixandrini Júnior (2023), Silva *et al* (2023), Marques, Diogo e Silva (2024), Conceição Neto *et al.* (2024), Galindo Mousinho *et al.* (2024).

Também se destaca o estudo de Lima *et al* (2013) intitulado Funções de Distribuição de Probabilidade ajustadas a precipitação extrema de 24 horas no estado do Rio de Janeiro que avaliou a adequação de cinco funções de densidade de probabilidade: normal, log-normal, exponencial, gama e Gumbel,

ajustadas às séries dos extremos anuais de precipitação em 110 estações pluviométricas, e encontrou que a distribuição de Gumbel foi a que teve aderência na maior parte das estações do estado do Rio de Janeiro, sendo mais uma motivação para o teste da função de Gumbel como candidata em estudos de chuvas extremas no estado.

2.1.4 Testes de hipótese na hidrologia estatística

Matos (2021) explica que a adequação de um modelo probabilístico a dados amostrais é verificada por meio da comparação entre frequências observadas e teóricas, utilizando testes de hipótese. Os testes de hipótese constituem procedimentos amplamente empregados na inferência estatística, tendo como principal finalidade fornecer suporte à tomada de decisões relacionadas à forma ou aos valores de determinados parâmetros de uma distribuição de probabilidades, quando esses parâmetros são conhecidos apenas por meio de uma amostra de observações. (Naghetini e Pinto, 2007).

Esses testes partem da chamada hipótese nula (H_0), que assume que a distribuição teórica descreve adequadamente a amostra, contra a hipótese alternativa (H_1), que afirma o contrário. A decisão depende do nível de significância adotado. Estes testes de aderência são testes de hipótese que possuem como objetivo verificar a forma de uma distribuição de probabilidades (Naghetini e Pinto, 2007).

Diversos estudos utilizam testes de hipótese para verificar a aderência de dados ajustados a um modelo de distribuição de probabilidade. O estudo de Reis (2021) usou o teste de Kolmogorov-Smirnov e P-Valor; Dias e Penner (2021), Sabino (2022), Back *et al* (2019), Sabino (2021) e Galindo Mousinho *et al.* (2024) aplicaram o teste de Kolmogorov-Smirnov. Já Silva *et al* (2023), utilizou como medida de ajuste o coeficiente de determinação (R^2) e o índice de concordância de Willmot; enquanto que Garcia e Alixandrini Júnior (2023), Marques, Diogo e Silva (2024), Silva *et al* (2023), Conceição Neto *et al.* (2024) avaliaram a adequação usando apenas o R^2 .

2.2 CHUVAS INTENSAS

O dimensionamento de sistemas de micro e macrodrenagem em áreas urbanas, como galerias de águas pluviais, bueiros, sarjetas e reservatórios de retenção, depende de vazões de projeto, que podem ser estimadas por métodos

estatísticos ou métodos determinísticos. A definição de modelos de chuva é comumente feita a partir do conhecimento das relações entre a intensidade, duração e frequência (IDF) das precipitações, que podem ser resumidas ao desenvolver uma equação que as relacione (Almeida *et al*, 2016). Por isso, a determinação das equações de chuvas intensas, ou equações IDF, constitui, então, aspecto importante na engenharia para os projetos de sistemas urbanos de drenagem pluvial (Fendrich, 1999).

Nos estudos hidrológicos, o interesse vai além do simples registro das máximas precipitações observadas em séries históricas. O principal objetivo é, com base nos dados disponíveis e utilizando princípios probabilísticos, estimar quais podem ser as máximas precipitações futuras em uma determinada região e com determinada frequência (Villela e Mattos, 1975). As séries de máximas intensidades pluviométricas podem ser formadas pelos maiores valores observados em cada ano (séries anuais) ou pelos N maiores valores observados ao longo de todo o período de registro (séries parciais), sendo N igual ao número de anos do período analisado.

De acordo com Villela e Mattos (1975), nas séries anuais, a distribuição é definida pelo tempo (ano), enquanto nas séries parciais a distribuição se dá pela magnitude dos extremos. Quando o foco é a análise das intensidades extremas, geralmente são escolhidas as séries de máximas anuais, ou seja, para cada duração, seleciona-se a maior intensidade pluviométrica registrada em cada ano hidrológico. Essas séries anuais são consideradas mais relevantes, pois caracterizam os eventos pelo momento de ocorrência, e não apenas pela magnitude (Villela e Mattos, 1975).

A estatística dos valores extremos apresenta métodos para caracterizar as distribuições das chuvas máximas, conforme apresentado em 2.1.3. Assim, procura-se analisar as relações de intensidade-duração-frequência (IDF) das chuvas observadas, determinando-se, para os diferentes intervalos de duração da chuva, as razões que melhor caracterizam essas relações, em geral elaborando resumindo esse comportamento em equações IDF.

2.2.1 Histórico das Equações de Chuvas intensas

Segundo Obeid e Elkholy (2021), diversos pesquisadores apresentaram curvas IDF, como Talbot (1881), Bernard (1932) e Kimijima e Sherman (1931).

Uma equação empírica geral para as curvas IDF pode ser expressa conforme equação 2.

$$i = \frac{A}{(t+B)^C} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde, i é a intensidade da chuva (mm/h);

a , b e c são coeficientes não negativos;

t é o tempo de duração da chuva (min).

Com base na equação geral apresentada, diversos trabalhos foram desenvolvidos com equações IDF generalizadas ao redor do mundo. De acordo com Tucci (2001), um trabalho pioneiro na análise de registros pluviográficos e pluviométricos para a determinação das curvas IDF foi apresentado por Pfafstetter (1957, apud Tucci, 2001), que obteve a relação intensidade/duração/frequência (IDF) (da Equação 3) em 98 postos espalhados por todo o país e serviu de base para a construção de outros formatos de equações posteriormente.

$$P = T^{\alpha+\beta/T^\gamma} \times [at + b \log(1 + ct)] \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde, P é a precipitação máxima (mm);

T o tempo de recorrência (anos);

t duração da precipitação (h)

α , β são valores que dependem da duração da precipitação;

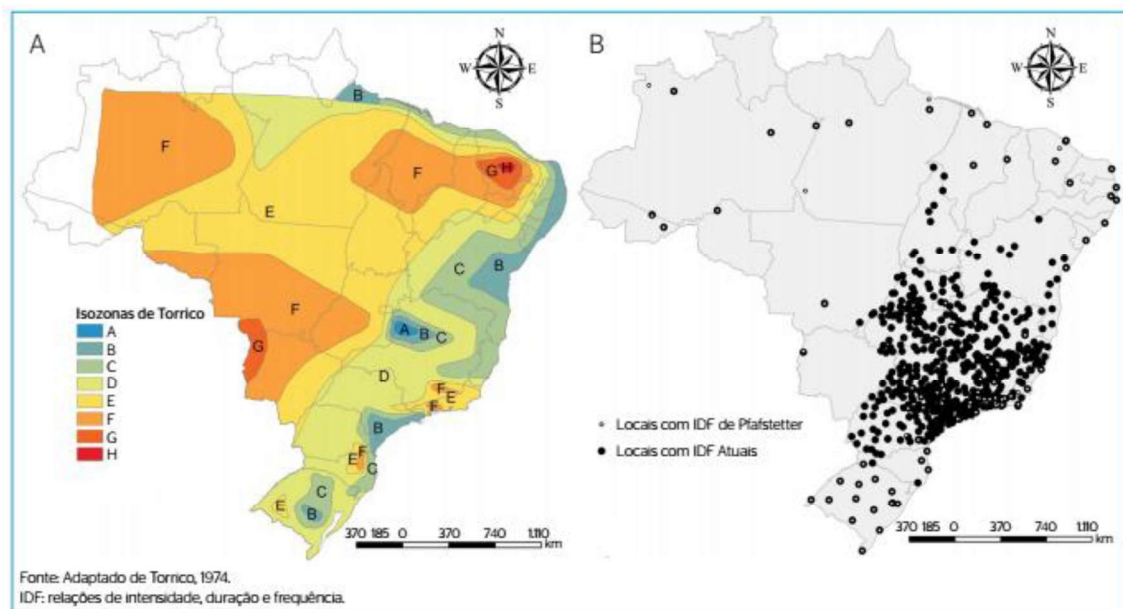
γ , a , b , c Valores constantes para cada posto

Segundo Basso *et al* (2016), a limitação da rede de estações pluviográficas e de outras fontes de informação sobre chuvas intensas obrigava projetistas a recorrerem a extrapolações baseadas em dados de postos distantes das áreas de estudo. Esse método simplificado não garantia que as informações fossem representativas do local do projeto, já que os valores utilizados eram pontuais, como demonstrado nas equações de Pfafstetter (1956; 1982).

Utilizando esses dados, Torrico (1974) elaborou um mapa de isozonas que dividiu o Brasil em oito regiões microclimáticas, o qual ainda hoje serve de referência para a estimativa de chuvas intensas em projetos de engenharia, apesar de sua base de dados remontar a mais de sete décadas. Grandes obras,

como a Barragem de Gameleira no Piauí (Carvalho, 2005), o projeto executivo de pavimentação de acesso ao Observatório de Itacuruba (Norconsult, 2011) e o Anel Rodoviário Metropolitano de Porto Alegre (Odebrecht, 2009), foram planejadas considerando as isozonas definidas por Torrico (1974) (Basso *et al*, 2016).

Figura 2: Isozonas de Torrico



Fonte: Basso *et al* (2016), adaptado de Torrico (1974)

De acordo com Villela e Mattos (1975), diversos autores buscaram correlacionar os coeficientes com o período de retorno (equação 5), de tal forma que a equação de intensidade, descrita como na forma da equação 4, resultando em uma equação mais completa na forma da equação 6, que é também a mais comumente utilizada:

$$i = \frac{A}{(t+c)^d} \quad \text{Eq. (4)}$$

$$A = aT^b \quad \text{Eq. (5)}$$

$$i = \frac{aT^b}{(t+c)^d} \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde, i é a intensidade da chuva (mm/h);

T é o tempo de retorno (anos);

t é a duração da precipitação (minutos);

a, b, c, d são parâmetros da equação.

Desde o trabalho pioneiro de Pfafstetter (1957, apud Almeida, 2016) (1957), que desenvolveu a primeira equação de chuvas intensas para 98 municípios brasileiros, inúmeros estudos produziram equações semelhantes para diferentes localidades do país. Além disso, foram criados *softwares* para catalogar essas equações, como o Pluvia 1.1 (UFC, 2002), o Plúvio 2.1 (UFV, 2006) e o ATLAS IDF CPRM (2013). Este último apresenta como diferencial o uso de um mapa georreferenciado, que permite, por meio de ferramentas de zoom e seleção de camadas, identificar a equação correspondente à região de interesse (Dantas, 2015).

2.2.2 Outros métodos de análise das chuvas intensas

Pesquisas recentes indicaram que a incorporação de projeções climáticas nas curvas IDF pode aumentar sua robustez, tornando-as mais adequadas para cenários futuros (IPCC, 2021). Dessa forma, é possível prever os impactos dos diferentes cenários nas curvas IDF, ao invés de se identificar as mudanças após as mesmas já estarem em curso (Adib e Ghafari, 2019).

Um outro recurso sugerido e disponível é o uso de dados integrados de satélite que consegue compor uma série de dados recentes. É o caso do *software* CAELUS, que se baseia em dados de estações do Grupo de Riscos Climáticos com Precipitação Infravermelha (*Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations - CHIRPS*). Trata-se de uma ferramenta computacional integrada que combina métodos de otimização e técnicas de inteligência artificial para estimar os parâmetros da equação geral de chuvas intensas (Silva, 2024).

O CHIRPS é construído a partir da calibração de estimativas de precipitação obtidas por satélite com dados provenientes de estações meteorológicas, e se mostra como alternativa para a construção de curvas IDF com dados estimados atuais.

De acordo com Costa *et al.* (2019), o CHIRPS combina dados de diversas fontes diferentes, como observações de satélites com espectroscopia de infravermelho termal, campos de precipitação da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos EUA (NOAA) e diversos produtos de estações meteorológicas.

O Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) disponibiliza, dentre outras fontes, dados dos satélites Landsat e Sentinel, do radar LIDAR e do modelo digital de elevação da missão SRTM. No Brasil, o INPE também se destaca no processamento de imagens de diversos sensores que estão disponíveis para acesso (Simão, 2020).

Outra fonte de dados integrados é a missão para as estimativas de precipitação global (Global Precipitation Measurement - GPM), que é uma parceria entre diversas agências espaciais, formando uma rede de satélites que permitem observação e melhorias na obtenção dos dados da precipitação global (Huffman *et al.*, 2015; apud Teodoro, 2020).

Outro destaque importante é a ponderação sobre os métodos de detecção da estacionariedade temporal na série de dados. Em uma série hidrológica, especialmente na análise de eventos extremos, a avaliação da não estacionariedade não deve se basear apenas na avaliação da presença de tendência nos dados, sendo necessário um maior aprofundamento dos métodos de análise da estacionariedade, visando a integração de modelos, de forma a melhorar a qualidade destes (Warszawski, 2013).

Segundo Gomez (2021), métodos tradicionais de modelagem univariável podem não representar adequadamente determinados eventos extremos, levando à subestimação de sua magnitude e risco associado. Dessa forma, a consideração de análises multivariadas vem sendo cada vez mais estudada.

A incorporação simultânea de múltiplas variáveis hidrológicas, por meio de abordagens multivariadas baseadas em funções cópula, permite uma melhor representação da complexidade dos eventos hidrológicos, contribuindo para análises mais consistentes na previsão de cheias e no dimensionamento de infraestruturas hidráulicas (Gomez, 2021).

2.2.3 Relações IDF em Macaé

O município de Macaé já possui trabalhos que elaboraram curvas e equações IDF a partir dos dados de chuva. Um quadro resumo é apresentado a seguir, com características gerais das equações geradas por Pinto (1999), Davis e Naghettini (2000) e Almeida (2018).

Quadro 1: Resumo das equações IDF da cidade de Macaé

Equações		Equação 1	Equação 2	Equação 3
Coeficientes	a	444.26	1270	8400,82
	b	0.263	0,2477	0,17
	c	6.27	18,9	159,76
	d	0.655	0,8277	1,03
Autores		Pinto, Francisco Regis Liberato.	Davis, Elisabeth Guelman & Naghettini, Mauro Cunha.	Almeida, Wilk Sampaio de.
Ano		1999	2000	2018
Código da estação		2241029	2241020	2241029
Lat/Long		-22.38, -41.78	-22.37,-41.77	-22.38, -41.78
Período dos dados		1974 -1986 1988 -1989	1972-1991	1974-1980

Fonte: Elaborado pela autora

Pinto (1999) elaborou as equações de IDF da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Foram selecionados os eventos máximos anuais de chuva para as durações de 10min, 20min, 30min, 40min, 50min, 1h, 2h, 3h, 4h, 6h, 12h e 24h. Com dados das estações pluviográficas operadas pelo 6º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (DISMET/INMET), o período médio das séries históricas abrange os anos de 1974 a 1989. Na análise de frequência, os dados foram ajustados à distribuição de probabilidade de Gumbel, e as equações IDF foram ajustadas pelo método de regressão não-linear Gauss-Newton (Davis e Naghettini, 2000).

Davis e Naghettini (2000) realizaram o Estudo De Chuvas Intensas No Estado do Rio de Janeiro, onde o estado foi dividido em 4 regiões homogêneas. Eles selecionaram as distribuições de frequências regionais para os eventos extremos através das sub-rotinas descritas por Hosking (1991), e implementaram em linguagem Fortran-77. Esse programa faz o ajuste de distribuições estimando-se os seus parâmetros a partir dos momentos-L regionais, além de aplicar o teste de aderência qui-quadrado para verificar o ajuste entre a distribuição candidata e os dados regionais.

cada região, seguiram os critérios do teste de aderência de Hosking & Wallis (1993), ou seja, se $|ZDIST| \leq 1,64$.

Almeida (2018) estimou as relações entre precipitações de diferentes durações e as relações IDF para diferentes localidades do Estado do Rio de Janeiro. Os registros pluviográficos de 34 estações meteorológicas foram utilizados para obtenção dos coeficientes de desagregação, dos quais foram estabelecidas séries máximas anuais com duração variando de 5 min a 240 min, e período de retorno de 5 a 100 anos. Foi usada a função de distribuição de Gumbel na elaboração da equação, e a aderência dos coeficientes de desagregação foi verificada utilizando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. Além disso, ele utilizou de coeficientes locais de segregação das chuvas, usados no cálculo de equivalência entre as chuvas de diferentes durações. Apesar de já existirem 3 equações IDF para a cidade de Macaé, todas utilizaram dados das décadas de 1970 e 1980, o que traz dúvidas quanto a manutenção da estacionariedade da série de dados.

2.2.4 Método de desagregação das chuvas

Quando existe uma rede confiável de pluviógrafos operando por um período de tempo suficientemente longo e representativo, é possível estabelecer relações entre intensidades, durações e frequências das precipitações. Para as situações nas quais não se possui esses registros, a literatura técnica corrente apresenta diferentes métodos expeditos para a determinação de equações de chuvas intensas, a partir de séries históricas obtidas da operação de pluviômetros e registros de chuvas diárias. (Almeida *et al*, 2016).

Os pluviômetros convencionais consistiam na captação da chuva em lâminas, cujas medições eram realizadas por um operador que precisava acessar o local uma ou duas vezes ao dia, o que implica em não haver o acompanhamento da duração da chuva, mas do total precipitado no intervalo entre as medições. Já os pluviógrafos medem continuamente os dados de chuva (em uma folha milimetrada ou digitalmente), dentro de um intervalo de medição e, portanto, registram a duração das chuvas.

Atualmente já existem estações automáticas, que fazem o registro dos dados de chuva em um intervalo constante de tempo (por exemplo: a cada 5 minutos, a cada 15 minutos, dados horários e dados diários), o que permite uma

maior qualidade de acesso aos dados. É possível acessar os dados de precipitação que ficam salvos automaticamente e são transmitidos por meio de *softwares* e são disponibilizados de forma remota pelas redes de monitoramento das instituições, como INEA (Instituto Estadual do Meio Ambiente), INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais). No entanto, a maior parte das estações automáticas realiza medições diárias, que não contém informações sobre a duração das chuvas.

De acordo com Torrico (1974), devido a escassez de postos pluviográficos capazes de fornecer dados com intervalos menores que 24 horas, por vezes é necessário recorrer a extrapolações de dados disponíveis em locais mais distantes da área de projeto, para a aplicação desses dados pluviográficos.

Entretanto, a maior quantidade de estações pluviométricas, que registram precipitações diárias, sugere que é possível desenvolver metodologias para correlacionar os dados dessas estações com os dos postos pluviográficos, possibilitando a dedução simples de precipitações inferiores a 24 horas (Torrico, 1974).

O método de desagregação da chuva de 1 dia foi desenvolvido por Pfafstetter (1957, apud Almeida, 2016) em um estudo com 98 estações espalhadas pelo Brasil e se caracteriza por obter lâminas precipitadas de chuvas intensas de curta duração a partir do produto entre o total diário precipitado e os coeficientes de desagregação, permitindo estimar as chuvas de curta duração mesmo com a ausência de pluviógrafos (Albuquerque e Guimarães, 2018).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (1986) apresentou esses coeficientes de desagregação com valores médios (embora estes possam ter variações influenciadas, dentre outros fatores, pelos tempos de retorno), baseados em séries parciais curtas, utilizando dados de precipitações médias de várias localidades distribuídas por todo o território nacional (Medeiros *et al*, 2020). Esses coeficientes são amplamente utilizados em estudos de chuvas intensas por todo o Brasil.

Tabela 1: Coeficientes de desagregação de chuvas para diferentes relações de durações.

Relação de durações	Relação de chuvas
5 min / 30 min	0,34
10 min / 30 min	0,54
15 min / 30 min	0,70
20 min / 30 min	0,81
25 min / 30 min	0,91
30 min / 1 h	0,74
1 h / 24 h	0,42
6 h / 24 h	0,72
8 h / 24 h	0,78
10 h / 24 h	0,82
12 h / 24 h	0,85
24 h / 1 dia	1,14

Fonte: CETESB (1986).

2.3 IMPACTOS URBANOS DAS CHUVAS

2.3.1 Desastres Naturais hidrológicos

Carmo e Anazawa (2014) destacam que a frequência dos desastres naturais se intensificou no mundo desde a década de 1950, tendo se agravado nas décadas de 1980 e 2000. Estas observações indicam que há a elevação da frequência dos desastres, e também a intensificação dos eventos extremos (Barcellos *et al*, 2016).

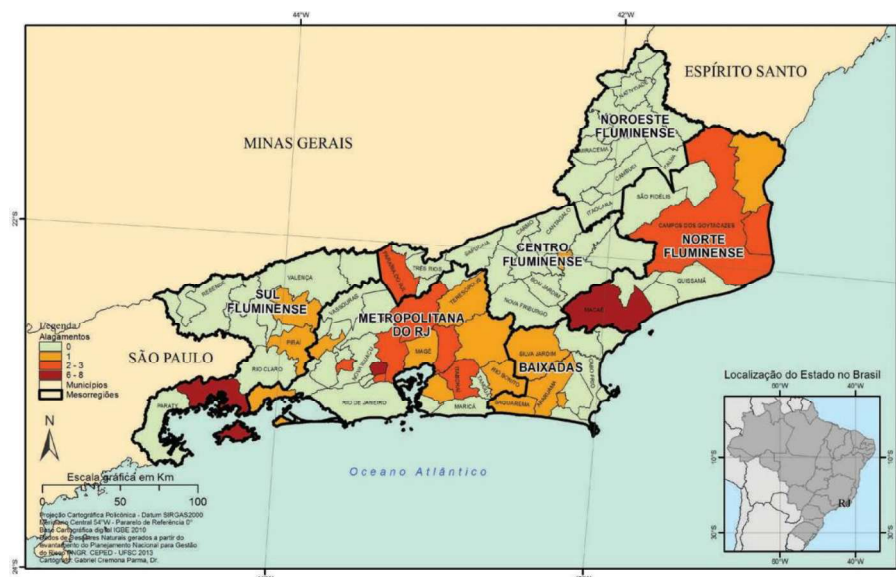
Os desastres no Estado do Rio de Janeiro ocorrem hoje com frequência e intensidade cada vez maiores, em estreita relação com a expansão desordenada das áreas urbanas e os impactos das mudanças climáticas globais. A esse fato se soma a carência de soluções estruturais, humanas e ambientais adequadas, além de políticas públicas que, em geral, não abordam de forma eficiente a questão dos desastres, como consequência há o aumento do número de mortos e feridos, além de danos e prejuízos públicos e privados cada vez maiores (PLANCON, 2023).

Além disso, no Brasil, mais de 80% dos desastres naturais são desencadeados por fenômenos hidrometeorológicos, e os impactos sociais relacionados dependem dos eventos de origem atmosférica e seu reflexos na bacia hidrográfica, mas também da ação humana, o que tem exigido permanente atenção dos órgãos de Defesa Civil (Barcellos *et al*, 2016). Por isso é crescente a importância de entender os fenômenos associados aos desastres naturais e seus impactos nas cidades.

O Glossário da Defesa Civil Nacional define desastre como o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.

O Atlas Brasileiro de Desastres Naturais reúne registros dos dez principais eventos incidentes no Brasil, no período entre 1991 e 2012, como enxurradas, inundações, vendavais, estiagem e seca, dentre outros. O Estado do Rio de Janeiro possui 56 registros oficiais de alagamentos excepcionais, caracterizados como desastres. O município mais afetado foi Macaé, que registrou oito desastres. Atrás aparecem as cidades de Angra dos Reis e Belford Roxo, com seis alagamentos severos (CEPED/UFSC, 2013).

Figura 4: Registros dos desastres de alagamento



Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED/UFSC, 2013)

Em geral, os alagamentos causam danos de pequena magnitude, pois a elevação do nível da água é relativamente baixa. No entanto, os dados mostram

que os alagamentos resultam em consequências negativas para as comunidades fluminenses, tendo deixado mais de 825 mil pessoas afetadas, 3 mil desabrigadas e 15 mil desalojadas ao longo deste período (CEPED/UFSC, 2013).

No Estado do Rio de Janeiro, os desastres têm se tornado mais frequentes e intensos, impulsionados pela expansão urbana desordenada e pelas mudanças climáticas. A falta de políticas públicas eficazes agrava os impactos, resultando em mais vítimas, maiores prejuízos e insegurança econômica (PLANCON, 2023). Os desastres relacionados a chuvas intensas, mais comuns no verão, causam alagamentos, inundações, enxurradas e deslizamentos, afetando várias regiões simultaneamente. Eventos marcantes incluem os deslizamentos no morro do Bumba (2010), as tragédias da Região Serrana (2011) e o desastre em Petrópolis (2022).

Uma contingência é uma situação incerta que pode ou não acontecer, como um desastre ou emergência. O Plano de Contingência do estado do Rio de Janeiro é um documento elaborado pela Defesa Civil para orientar ações de preparação e resposta caso esse evento ocorra. Ele define responsabilidades, características da área e sistemas envolvidos, com o objetivo de organizar e agilizar a resposta ao desastre (PLANCON, 2024).

O Plano de Contingências é um instrumento de apoio para:

- a) Facilitar as atividades de preparação;
- b) Otimizar as atividades de resposta;
- c) Antecipar a previsão de recursos a serem alocados;
- d) Definir atividades e responsabilidades; e
- e) Nortear treinamentos, simulados e demais capacitações com vistas à retroalimentação e melhoria contínua de processos por meio de sua atualização.

Segundo a COBRADE (2012), os desastres hidrológicos no Brasil são classificados em inundações, enxurradas e alagamentos. As inundações resultam de fatores meteorológicos e hidrológicos ligados ao ciclo da água, como evaporação, precipitação e escoamento. A previsão desses eventos é difícil, especialmente por causa da complexidade dos fatores de ordem meteorológica,

como a temperatura e o deslocamento de massas de ar, que influenciam diretamente a ocorrência de chuvas intensas e inundações.

Além dos fatores meteorológicos, as inundações também dependem das características da bacia de drenagem — um sistema que direciona água, sedimentos e materiais dissolvidos para um ponto comum. Segundo Coelho Neto (2005), essa bacia inclui diversas unidades, como encostas, vales, canais, aquíferos, áreas irrigadas e sistemas de drenagem urbana, que influenciam o escoamento da água.

2.3.2 Registros de notícias

Uma das formas de se avaliar os impactos causados no meio urbano devido às chuvas pode ser a partir do levantamento de noticiários e mídias retratando as consequências acarretadas pelas chuvas. Alguns estudos utilizam esse levantamento de forma a correlacionar com os dados de medições meteorológicas.

Campos (2014) realizou um levantamento em bibliotecas públicas e jornais digitais de Belém-Pará, reunindo matérias sobre chuvas que impactaram a cidade e/ou a sociedade local. Para a pesquisa, foram consideradas todas as precipitações superiores a 20 mm registradas entre 1987 e 2009, assumindo-se que esse valor poderia provocar impactos urbanos.

Esse critério foi aplicado previamente à definição estatística dos eventos extremos de precipitação diária (EEPD), de modo a ampliar a coleta de notícias e avaliar os efeitos das chuvas já a partir de intensidades moderadas. A análise incluiu a sazonalidade, a identificação dos bairros mais atingidos e destacou que o alagamento das ruas constitui a principal consequência dos eventos extremos.

O estudo de Dereczynski (2017) compilou registros de chuvas extremas e seus impactos na população do Rio de Janeiro ao longo de 63 anos, abrangendo o período de 1881 a 1996. O objetivo foi resgatar eventos históricos de precipitação intensa desde o século XIX e avaliar a relevância da informação meteorológica como instrumento de alerta à população diante de possíveis desastres. Foram inicialmente selecionados os casos com totais pluviométricos diários iguais ou superiores a 100 mm.

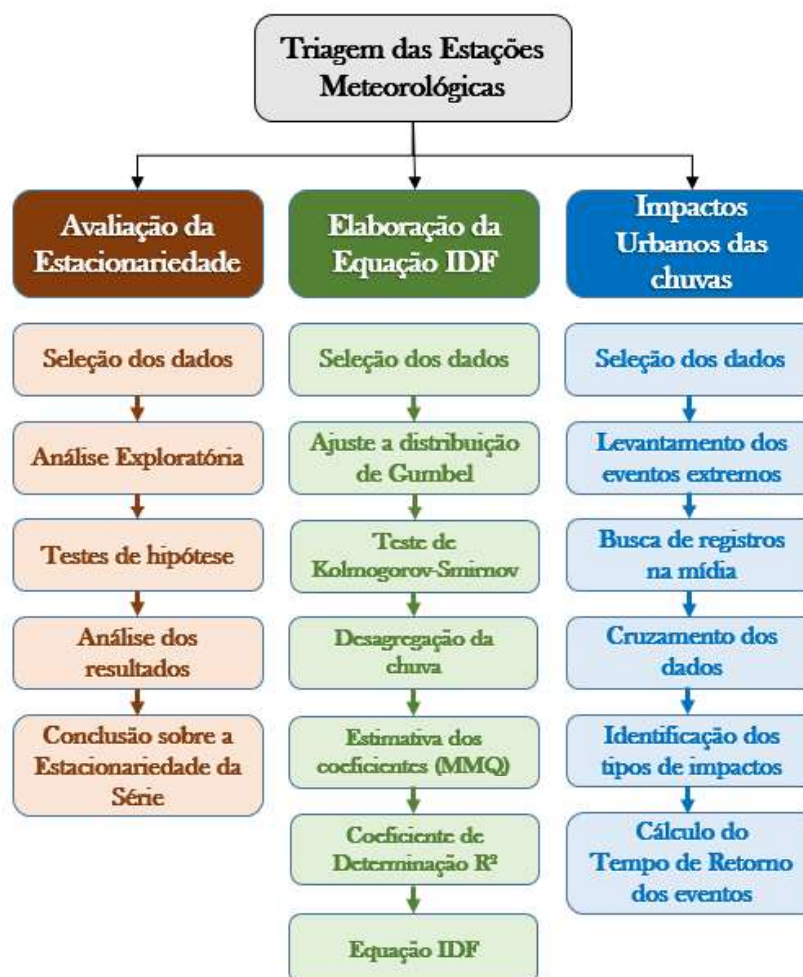
Dentre 100 ocorrências pré-selecionadas, 82 foram classificadas como eventos extremos em função dos graves prejuízos registrados, como mortes, ferimentos, danos materiais, desabamentos, inundações, alagamentos e deslizamentos. Esses resultados apontam uma média de 1,3 evento extremo por ano (82 em 63 anos).

Lima e Amorim (2014) conduziram uma investigação relacionando dados pluviométricos de São Carlos com notícias veiculadas na imprensa local a respeito dos impactos causados pelas chuvas. A análise mostrou que, embora enchentes e alagamentos sejam problemas antigos na cidade, houve uma intensificação significativa desses eventos e a expansão das áreas afetadas, sobretudo a partir do final da década de 1990.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

A metodologia do trabalho pode ser dividida em três partes principais: análise da estacionariedade na série de máximos anuais; análise dos métodos de estudo das chuvas intensas e equações IDF, e os impactos urbanos das chuvas intensas.

Figura 5: Fluxograma da metodologia do trabalho



Fonte: Elaborado pela autora.

A primeira parte apresenta ferramentas para conhecer o regime de chuvas da região a partir do registro das chuvas que de fato estão ocorrendo na cidade, para entender a adequação dos métodos atuais de investigação das chuvas intensas, e como desdobramento elaborar uma equação IDF através do tratamento estatístico usando dados de chuvas recentes. Para isso, é necessário selecionar os valores máximos anuais de precipitação diária, que serão ajustados a uma função de distribuição de probabilidades (fdp), e retornará a

magnitude das chuvas de acordo com os tempos de retorno. De posse de dados diários, existe uma etapa de desagregação das chuvas, ou seja, transformação da chuva diária para a chuva de 24h, através dos coeficientes de relação entre as durações, que associa as durações das chuvas em períodos menores do que 24h. Então pode-se calcular as intensidades de acordo com os tempos de retorno, bastando calcular os coeficientes a , b , c e d da equação que correspondem aos valores encontrados.

Na segunda parte da metodologia busca-se examinar se há quebra de estacionariedade nas séries históricas de chuva e as possíveis causas de alteração da equação que representa as intensidades e tempos de retorno das chuvas intensas. Através de verificações no conjunto de dados em torno da estacionariedade da série, buscou-se identificar se existem alterações estatísticas significativas e quando ocorreu a quebra mais significativa da série. Esta análise de estacionariedade também é um requisito da metodologia da equação IDF, que é usada como referência para a estimativa das chuvas intensas na cidade. São listados testes estatísticos para auxiliar na análise da estacionariedade da série temporal, necessária para uma adequada aplicação da metodologia IDF, e de forma complementar testes para análises de tendência, ponto de quebra nos dados, comparação entre médias e variâncias.

A terceira parte da metodologia consiste em realizar um levantamento dos registros históricos de chuvas na cidade de Macaé, através de notícias de jornais, e verificar as relações entre as chuvas e suas consequências citadas na mídia, com as registradas nos pluviômetros. Isso inclui detectar se as chuvas de maior magnitude medidas pela estação pluviométrica geraram impactos expressivos, figurando como notícias relevantes na mídia. Também objetiva identificar se há eventos desastrosos encontrados no levantamento de notícias que não tem correspondentes entre os maiores valores da série. Esse último pretende avaliar se é também frequente a ocorrência de impactos devido a chuvas acumuladas ou de longa duração, ainda que de baixa intensidade. Adicionalmente são listadas as implicações práticas na infraestrutura urbana e na capacidade de resposta a desastres, através de comparação das chuvas ocorridas na cidade com os limiares de classificação de desastres.

3.1 ESTATÍSTICA DE VALORES EXTREMOS

De acordo com Warszawski (2013), a estatística clássica geralmente adotada em análise de tendências nas séries históricas por vezes é insuficiente para avaliar o comportamento dos dados. No presente trabalho, foram empregados diversos testes de hipóteses para a avaliar a estacionariedade temporal das séries e adequação da equação de chuvas intensas.

3.1.1 Função Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV)

Os princípios da Teoria dos Valores Extremos (TVE), que analisa as propriedades das caudas das distribuições, foram inicialmente formulados por Fisher e Tippet (1928). Eles identificaram três tipos de distribuições assintóticas dos valores extremos, conhecidas como: Gumbel, Fréchet e Weibull. Para representar esses três casos padrões das distribuições de valores extremos em uma única família paramétrica tem-se a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV). Ou seja, a distribuição GEV é uma forma geral das três distribuições (SILVA, 2019). A função densidade de uma distribuição GEV é dada pela equação 7.

$$h_{\mu,\sigma,\xi}(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1+\xi}{\xi}\right)} \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right]^{\frac{-1}{\xi}} \right\} \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde, $(-\infty < x < \mu - \frac{\sigma}{\xi})$, para $\xi < 0$, e $(\mu - \frac{\sigma}{\xi} < x < \infty)$ para $\xi > 0$.

E sua função de distribuição, H_{ξ} (definida em $\mu \in R$, e $\sigma > 0$), é dada pela equação 8.

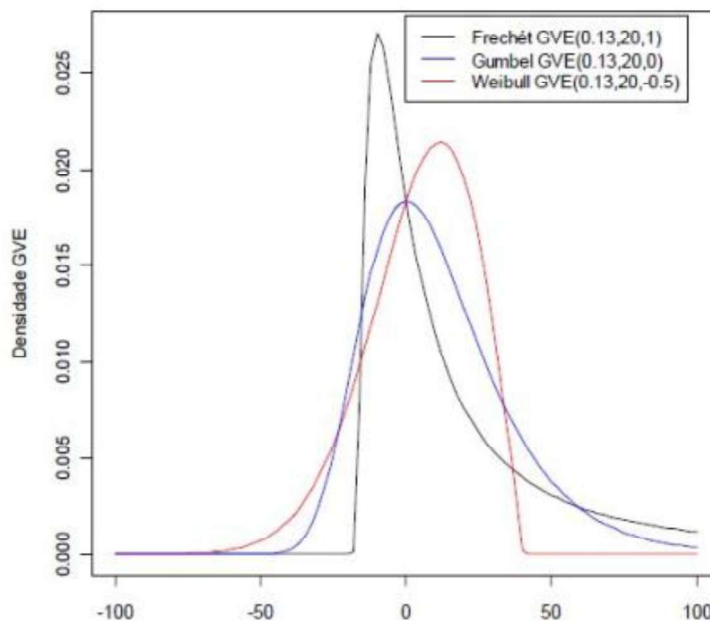
$$H_{\mu,\sigma,\xi}(x) = \begin{cases} \exp \left\{ - \left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right)^{\frac{-1}{\xi}} \right\} & , \xi \neq 0 \\ \exp \left\{ - \exp \left(\frac{-x-\mu}{\sigma} \right) \right\} & , \text{se } \xi = 0 \end{cases} \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde, $1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) > 0$, e os parâmetros de forma ξ podem identificar a natureza da cauda de distribuição correspondente:

$\xi < 0$: corresponde à distribuição de Weibull

$\xi = 0$: corresponde à distribuição de Gumbel

$\xi > 0$: corresponde à distribuição de Fréchet

Figura 6: Distribuição GEV para valores diferentes de ξ 

Fonte: Silva (2019)

3.1.2 Distribuição de Gumbel

Entre as principais aplicações do uso da função de Gumbel na hidrologia, destacam-se os testes de tendência em séries de cheias anuais e nas intensidades máximas anuais de precipitação em diferentes durações, aspectos particularmente relevantes em cenários de alteração do regime hidrológico. Além disso, mesmo na ausência de tendência, tais procedimentos podem ser empregados para avaliar a relação entre os máximos anuais de precipitação e variáveis meteorológicas observadas no momento de sua ocorrência, como direção e velocidade dos ventos (Clarke, 2002).

A função de Gumbel tem sido amplamente utilizada para estimar a magnitude desses eventos com diferentes períodos de retorno (T anos). Essa aplicação se deve à facilidade no cálculo dos quantis, já que o evento com período de retorno de T anos corresponde ao quantil associado à probabilidade acumulada (Clarke, 2002).

A função densidade de probabilidade da distribuição Gumbel tem a seguinte forma, sendo α o parâmetro de locação, e β é o parâmetro de escala, conforme Equação 9.

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\alpha} \exp \left\{ \frac{-x-\alpha}{\beta} - \exp \left[\frac{-x-\alpha}{\beta} \right] \right\}, x \in (-\infty, \infty), \alpha \in R, \beta > 0 \quad \text{Eq. (9)}$$

A função densidade acumulada, $F(x) = P(X \leq x)$, é a probabilidade de acontecer uma precipitação menor do que um dado valor, e é dada pela Equação 10.

$$P(X \leq x) = F(x) = \exp\left\{-\exp\left[\frac{-(x-\alpha)}{\beta}\right]\right\} \quad \text{Eq. (10)}$$

Uma das formas de estimar os parâmetros de locação α , e o parâmetro de escala, β , é pelo método da máxima verossimilhança. Ela pode ser calculada pela Equação 11.

$$L(\alpha, \beta; x_1; \dots; x_n) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \alpha, \beta) \quad \text{Eq. (11)}$$

O pacote *extRemes 2.0* (Gilleland e Katz, 2016) disponibiliza ferramentas avançadas para a análise de valores extremos no *software RStudio*, como a função *fevd* (Fit an Extreme Value Distribution). Um dos parâmetros disponíveis é o *type* no qual pode-se especificar qual função será usada, entre GEV, GP (generalized Pareto), PP (Poisson Process), Gumbel e Exponential.

É possível ajustar a distribuição de Gumbel separadamente e testar a hipótese de que $\xi = 0$ contra a hipótese alternativa $\xi \neq 0$ (ou seja, verificar se zero está ou não dentro do intervalo de confiança do parâmetro de forma). Isso pode ser feito tanto pelo teste da razão de verossimilhança, quanto analisando diretamente os intervalos de confiança de ξ (Gilleland e Katz, 2016).

Entre os métodos de estimação de parâmetros, destacam-se a máxima verossimilhança (MLE), a MLE generalizada (GMLE), a abordagem Bayesiana e os momentos-L. O pacote também possibilita a construção de intervalos de confiança, o uso de *bootstrap* e a aplicação de modelos lineares generalizados, permitindo avaliar tendências e a influência de covariáveis em séries de valores extremos (Gilleland e Katz, 2016).

3.1.3 Testes de hipótese

Matos (2021) explica que a adequação de um modelo probabilístico a dados amostrais é verificada por meio da comparação entre frequências observadas e teóricas, utilizando testes de hipótese. Pesquisas aplicam esses métodos para verificar se dados ajustados seguem corretamente um modelo

probabilístico, garantindo maior confiabilidade nas análises estatísticas de fenômenos hidrológicos (Naghettini e Pinto, 2007).

A verificação das premissas de estacionariedade e de homogeneidade das séries hidrológicas também é frequentemente feita com a aplicação de testes estatísticos, como os testes Mann-Kendall, Pettit, T-Student, F-Snedecor.

O teste não paramétrico de Mann (1945) e Kendall (1975) é reconhecido e amplamente recomendado pela Organização Mundial Meteorológica (OMM) para identificação de mudanças em dados climatológicos, verificando a existência de possíveis tendências nos dados coletados (GALINDO MOUSINHO *et al.*, 2024). O teste não-paramétrico de Pettitt (1979) é muito utilizado a fim de se detectar se há ponto de mudança de comportamento nos dados, em estudos sobre a quebra de estacionariedade das séries hidrológicas.

A aplicação do T-student avalia as médias das subamostras derivadas da série original e, quando essas médias dos períodos analisados não diferem significativamente, a série pode ser considerada estacionária (Ribeiro, 2021). O teste F-snedecor é classificado como paramétrico sobre variâncias, e, assim como o t-Student, assume que a amostra segue uma distribuição Normal e visa verificar se as variâncias das mesmas são estatisticamente semelhantes (Ribeiro, 2021).

Para a verificação da eventual adequação entre as probabilidades calculadas por um certo modelo distributivo e as correspondentes frequências determinadas pelos valores amostrais observados, são utilizados os testes de aderência (Matos, 2021). O teste de Kolmogorov-Smirnov é frequentemente usado como teste de aderência.

3.1.4 Teste de Man-Kendall

Em geral, verifica-se a presença de correlação serial por meio do teste não paramétrico de sequências. Quando a série apresenta dependência temporal, utiliza-se a versão modificada do teste de Mann-Kendall, que considera a autocorrelação. (Bezerra *et al.*, 2023). A estatística do teste, S, é dada pela Equação 12.

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad \text{Eq. (12)}$$

Onde x_j representam os dados estimados da sequência de valores, n é o comprimento da série temporal e o sinal $(x_i - x_j)$ é igual a -1 para $(x_i - x_j) < 0$, 0 para $(x_i - x_j) = 0$, e 1 para $(x_i - x_j) > 0$. Kendall (1975) mostrou que S normalmente é distribuída com média $E(S)$ e variância $Var(S)$, para que uma situação em que pode haver valores iguais de x , que são calculadas pelas equações 13 e 14:

$$E[S] = 0 \quad \text{Eq. (13)}$$

$$Var[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad \text{Eq. (14)}$$

Em que: t_p é o número dos dados com valores iguais em um certo grupo, q são os números de grupo contendo valores iguais na série de dados em um determinado grupo p . No teste estatístico parametrizado (ZMK) (Equação 15).

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{Var(S)}}, se S > 0 \\ 0, se S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{Var(S)}}, se S < 0 \end{cases} \quad \text{Eq. (15)}$$

A verificação da significância da tendência é feita por meio do valor da estatística Z , que serve para testar a hipótese nula de ausência de tendência. Valores positivos de ZMK indicam tendência crescente, enquanto valores negativos apontam tendência de queda. A rejeição da hipótese nula ocorre quando o valor absoluto de Z ultrapassa o seu limite crítico, obtido na tabela da distribuição normal padrão (Bezerra *et al*, 2023).

Por sua vez, o estimador de Sen (1968) consiste na estimativa da inclinação de N pares de dados. Ele calcula a proporção da tendência nos dados, retorna numericamente a magnitude da tendência identificada, por meio da Equação 16.

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad \text{Eq. (16)}$$

Para $i = 1, 2, \dots, N$; em que x_i e x_j são valores dos dados no tempo j e k ($j > k$), respectivamente.

3.1.5 Teste de Pettit

O teste de Pettit avalia se há uma mudança brusca na série de dados, procurando por uma descontinuidade. Considerando uma série temporal com N

elementos, descrita por x_t ($t = 1, 2, \dots, N$), a estatística do teste U é calculada conforme as equações 17 e 18.

$$U_{t,N} = U_{t-1,N} + \sum_{j=1}^N \text{sgn}(x_t - x_j), \text{ para } t = 2, 3, \dots, N \quad \text{Eq. (17)}$$

$$\text{sgn} = (x) \begin{cases} 1, \text{ se } x > 0 \\ 0, \text{ se } x = 0 \\ -1, \text{ se } x < 0 \end{cases} \quad \text{Eq. (18)}$$

O teste parte da hipótese nula de que não há ponto de mudança na série temporal. Caso exista, ele é identificado pela estatística $k(t)$, correspondente ao ponto em que o valor de $|U_{t,N}|$ atinge seu máximo (Equação 19). O nível de significância associado ao teste é obtido pela Equação 20, na qual p representa o nível de significância adotado, KN o valor crítico e N o tamanho da série.

$$k_{(t)} = \max_{1 \leq t \leq N} |U_{t,N}| \quad \text{Eq. (19)}$$

$$p = 2e^{-\frac{6(KN)^2}{(N^3+N^2)}} \quad \text{Eq. (20)}$$

3.1.6 Teste t-Student

O teste t de Student é utilizado para verificar se duas amostras apresentam médias populacionais iguais, partindo do pressuposto de que seguem uma distribuição normal. Já o teste t de Welch, uma adaptação do anterior, possibilita a comparação mesmo em casos de variâncias desiguais entre as amostras. A estatística associada a esse procedimento é apresentada na Equação 21 (WELCH, 1947; DETZEL *et al.*, 2011).

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{x_1 - x_2}} \quad \text{Eq. (21)}$$

Em que \bar{x}_1 e \bar{x}_2 são as médias amostrais dos períodos 1 e 2, respectivamente; $S_{x_1 - x_2}$ é o desvio padrão do conjunto, calculado pela Equação 22:

$$Sx_1 - x_2 = \sqrt{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)} \quad \text{Eq. (22)}$$

Onde s_1^2 e s_2^2 são as variâncias amostrais dos subperíodos 1 e 2; n_1 e n_2 são os números de elementos dos subperíodos 1 e 2. Caso a hipótese nula H_0 seja verdadeira, se diz que a amostra segue uma distribuição t, com v graus de liberdade calculados através da equação de Welch-Satterthwaite, apresentada na Equação 23 (WELCH, 1947).

$$v = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{(n_1 - 1) + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{(n_2 - 1)}} \quad \text{Eq. (23)}$$

Para se obter o resultado final do teste, é comparado o valor calculado pela Equação 21 com valores tabelados para o nível de significância adotado.

3.1.7 Teste F-Snedecor

O teste F-Snedecor, de natureza paramétrica, é aplicado sobre variâncias e, assim como o t-Student, pressupõe que os dados seguem uma distribuição normal. Ele é conduzido a partir de duas subamostras extraídas da série original, permitindo verificar se as variâncias desses subperíodos são estatisticamente equivalentes (Ribeiro, 2021)

A estatística do teste é expressa pela Equação 24 (Snedecor e Cochran, 1989; Detzel *et al.*, 2011), em que F corresponde ao valor do teste e s_1^2 e s_2^2 representam as variâncias dos dois subperíodos. A decisão é tomada pela comparação entre o valor de F calculado e o valor crítico obtido para $(n_1 - 1)$ e $(n_2 - 1)$ graus de liberdade.

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad \text{Eq. (24)}$$

3.1.8 Teste ADF (Augmented Dickey–Fuller)

O teste ADF é utilizado para identificar raiz unitária, e aplicado para avaliar a estacionariedade de uma série temporal. São calculadas as estatísticas t dos parâmetros de um modelo da série e esses valores são comparados com a

distribuição do teste ADF, dessa forma verifica se a série é estacionária. (Wang, Ji e Li, 2021)

Onde, δ é o parâmetro de teste de raiz unitária, e $\delta=0$ indica a presença de raiz unitária no modelo (série temporal não é estacionária);

μ e βt são, respectivamente, o termo constante e o componente de tendência do modelo;

β é o coeficiente do termo de tendência;

m é o número de defasagens da série;

ε_t é uma sequência de variáveis aleatórias independentes, normalmente distribuídas, com média zero e variância σ^2 .

A hipótese nula (H_0) do teste considera que a série temporal possui uma raiz unitária, isto é, apresenta comportamento não estacionário. A hipótese alternativa (H_1) é que a série é estacionária em nível (ou após a inclusão de tendência, conforme a especificação do teste).

3.1.9 Teste KPSS (Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin)

O teste Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin (KPSS) (Kwiatkowski *et al.*, 1992) funciona como um complemento aos testes de raiz unitária, pois adota uma perspectiva inversa: em vez de verificar se a série possui raiz unitária, ele testa se a série é estacionária em torno de um nível ou de uma tendência determinística. Assim, sua hipótese nula assume que a série é estacionária (em nível ou tendência), enquanto a alternativa indica que a série é não estacionária, ou seja, requer diferenciação para se tornar estacionária (Faticchi *et al.*, 2009). O teste parte da decomposição indicada da Equação 25.

$$Y_t = \beta t + r_t + v_t \quad \text{Eq. (25)}$$

Em que, r_t representa um passeio aleatório, definido por $r_t = r_{t-1} + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$;

v_t é um termo estacionário, responsável por capturar flutuações de curto prazo.

A lógica do teste se baseia na variância do componente de passeio aleatório. Se essa variância é nula ($\sigma^2 = 0$), não há presença de raiz unitária e a

série pode ser considerada estacionária; se é diferente de zero, existe um comportamento de passeio aleatório, caracterizando não estacionariedade (Faticchi *et al.*, 2009).

A hipótese nula (H_0) estabelece que a série temporal é estacionária, ou seja, que suas propriedades estatísticas permanecem constantes ao longo do tempo. Em contrapartida, a hipótese alternativa (H_1) assume que a série é não estacionária, indicando a presença de tendências ou mudanças sistemáticas em seu comportamento ao longo do período analisado.

3.1.10 Teste Kolmogorov-Smirnov

O teste de Kolmogorov-Smirnov é baseado na maior diferença, valor absoluto, entre as probabilidades acumuladas teóricas e empíricas. O desvio absoluto máximo entre as frequências teóricas e as observadas é comparado a um valor crítico tabelado, que depende do tamanho da amostra e do nível de significância (α). Se o erro absoluto máximo for inferior ao valor crítico tabelado, significa que a hipótese H_0 é aceita, ou seja, a distribuição de probabilidade avaliada se adere a série de dados (Back, 2001).

O teste calcula a diferença entre os valores de uma distribuição observada, $F(x)$, e os valores de uma distribuição teórica, $G(x)$. Seu diferencial para outros testes de aderência é que pode ser usada para comparação em qualquer distribuição de interesse (Cotta *et al.*, 2016). É um dos testes amplamente utilizados em estudos de hidrologia estatística.

$$D = \sup(F(x) - G(x)) \quad \text{Eq. (26)}$$

Sendo D a estatística do teste, a hipótese nula de igualdade entre as distribuições, H_0 , será rejeitada se $D > D_{ref,\alpha}$, onde $D_{ref,\alpha}$ é o valor crítico para um dado nível de significância α (Cotta *et al.*, 2016). No *software* RStudio esse teste pode ser aplicado pela função `ks.test()`, do pacote *dgof* (*Discrete Goodness-of-Fit Tests*).

3.2 EQUAÇÕES IDF E DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Quando forem utilizados os dados de medições diárias de precipitação, é necessário utilizar o método de desagregação das chuvas usando as relações de 1 dia para se obter as relações entre o total de precipitação diária e a precipitação das chuvas de curta duração. Os valores dos coeficientes (R) (apresentados no item 2.2.3) de relação entre as durações apresentados na Tabela 2 são normalizados para relações de 1 dia, $R\left(\frac{t}{1dia}\right)$, conforme a Tabela 3, para a sua aplicação em conjuntos de medição de dados diários (Medeiros *et al.*, 2020).

A precipitação máxima é calculada usando o respectivo coeficiente $R\left(\frac{t}{1dia}\right)$, conforme indicado abaixo, e multiplicados pelo valor ajustado da precipitação na distribuição da função de probabilidade.

$$Pt = R\left(\frac{t}{1dia}\right)P_{1dia} \quad \text{Eq. (27)}$$

Tabela 2: Coeficientes R normalizados

Relação de durações	Relação de chuvas $R\left(\frac{t}{1dia}\right)$
5 min / 1 dia	0,12047
10 min / 1 dia	0,19133
15 min / 1 dia	0,24802
20 min / 1 dia	0,28699
25 min / 1 dia	0,32242
30 min / 1 dia	0,35431
1 h / 1 dia	0,4788
6 h / 1 dia	0,8208
8 h / 1 dia	0,8892
10 h / 1 dia	0,9348
12 h / 1 dia	0,9690
24 h / 1 dia	1,1400

Fonte: CETESB (1986)

A partir da adequação dos dados a uma distribuição de densidade de probabilidade, as intensidades de chuvas são relacionadas para cada duração e

tempo de retorno. Estes serão os valores experimentais (ou empíricos), e para o cálculo dos coeficientes da equação IDF serão usadas estimativas iniciais desses coeficientes para encontrar os valores calculados e assim realizar o método dos mínimos quadrados (MMQ) (Reis, 2021).

O MMQ se baseia em calcular a diferença entre os valores experimentais e os valores calculados, e minimizar o valor da diferença quadrática, de modo a minimizar o seu desvio. No RStudio é possível aplicar o MMQ através da função *nls* (*nonlinear least squares*) que performa o algoritmo de Gauss-Newton para convergir à solução da equação proposta, neste caso partindo de valores iniciais para os coeficientes, e fazendo iterações até que minimize a diferença quadrática do erro. (Nash, 2023).

O ambiente de tratamento dos dados escolhido foi o RStudio (*R Core Team, 2025*), um software livre em linguagem R, usado para computação estatística e gráficos. Ele foi usado para o processamento dos cálculos necessários para a aplicação da metodologia descrita, bem como para a construção de gráficos que complementam as análises dos resultados. Essa escolha se deu porque além de ser um software gratuito e livre, o Rstudio é uma ferramenta de fácil aprendizado para pesquisadores das áreas de hidrologia e meteorologia, por ser baseado em uma linguagem de alto nível e fácil compreensão, além de possuir diversos pacotes de funções voltados para computação estatística.

3.3 IMPACTOS DEVIDO ÀS CHUVAS

Para a identificação dos impactos gerados na cidade devido às chuvas intensas foram feitos levantamentos de valores críticos de precipitação, da ocorrência das chuvas intensas na área de estudo e de registros de notícias em canais de mídia que tenham relatado os impactos observados na cidade.

3.3.1 Classificação de risco de desastres

O Plano de Contingência de Respostas a Desastres (PLANCON) foi elaborado para orientar ações de preparação e resposta diante de desastres causados por chuvas intensas, que podem gerar inundações, enxurradas, alagamentos e deslizamentos. Seu objetivo é organizar protocolos, ações e

responsabilidades das instituições, atuando no apoio aos municípios afetados e garantindo a continuidade dos serviços essenciais.

O documento reúne, também, os tipos de desastres conforme definidos na Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE). Além disso, busca estabelecer rotinas e fluxos operacionais para atuação integrada em níveis estadual, regional e municipal (Rio de Janeiro, 2024).

Figura 7: Classificação de desastres devido a chuvas intensas

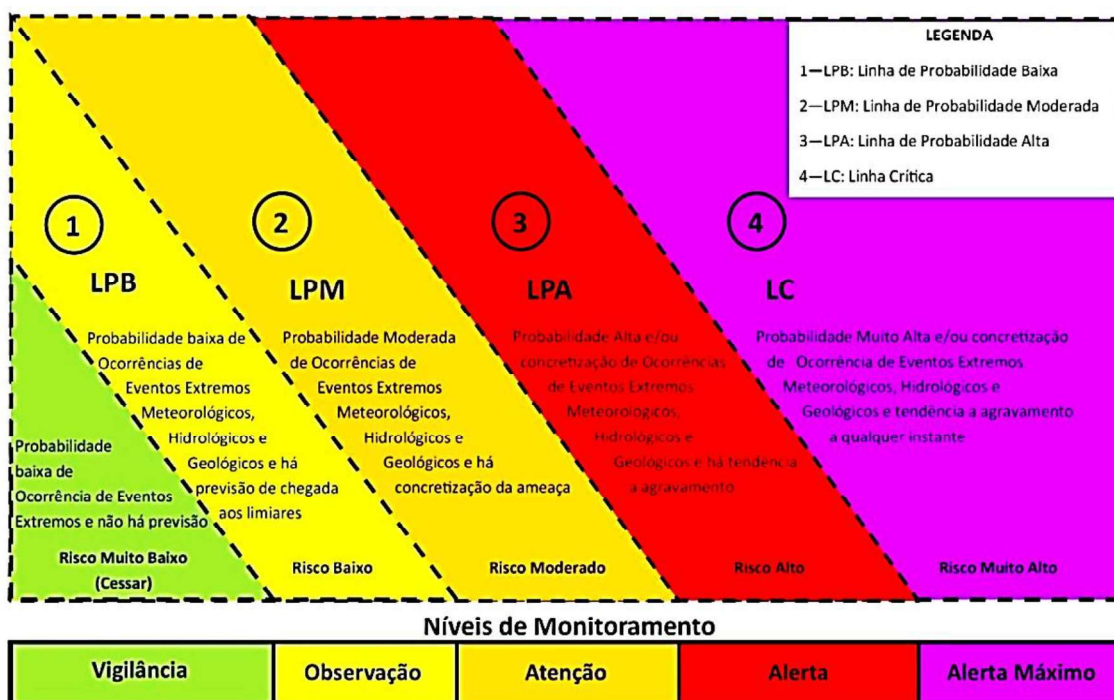
Classificação COBRADE	Tipo	Descrição
1.2.1.0.0	Inundações	Transbordamento gradual dos cursos de água , submergindo áreas que normalmente ficam secas, geralmente devido a chuvas prolongadas em regiões de planície.
1.2.2.0.0	Enxurradas	Escoamentos superficiais rápidos e intensos causados por chuvas fortes em áreas de relevo acidentado, com elevação súbita do nível da água e alto potencial destrutivo
1.2.3.0.0	Alagamentos	Acúmulo de água em vias e estruturas urbanas após chuvas intensas devido a sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana.

Fonte: PLANCON (Rio de Janeiro, 2024)

Segundo a SEDEC-RJ (2020), o Plano de Contingência define protocolos e procedimentos para os órgãos atuarem em emergências causadas por chuvas intensas, com base na COBRADE. Atualizado em 2024, o plano orienta as ações do Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil (SIEPDEC).

O plano foi estruturado com base na competência estadual, em nível tático-operacional, utilizando uma escala de Níveis de Respostas (NR) para apoiar os municípios diante de desastres causados por chuvas intensas. Esses níveis vão de NR 0 a NR 5, totalizando seis categorias. Cada nível tem indicadores específicos, ações predefinidas e responsáveis designados, conforme figura.

Figura 8: Matriz de correlação entre riscos e níveis de monitoramento



Fonte: CEMADEN-RJ (2024)

Por conta da variação espacial e das diferentes formas que a chuva pode se distribuir ao longo do tempo, a definição usada para determinar se uma dada quantidade de chuva acumulada em um período de tempo é considerada fraca, moderada, forte, intensa ou extrema pode variar, de acordo com a região de interesse (Dereczynski *et al*, 2019).

A definição desses limites vai depender dos regimes de chuva locais, a sua frequência e os impactos na cidade. O PLANCON (RIO DE JANEIRO, 2024) traz uma breve descrição do cenário de desastre em nível estadual e relaciona a precipitação crítica para engatilhar os alertas de risco de desastres, conforme figura 9.

Figura 9: Limiares para emissão dos alertas de risco hidrológico

RISCO HIDROLÓGICO	TEMPO DE RECORRÊNCIA (ANOS)	EFEITOS ESPERADOS	PRECIPITAÇÃO / DURAÇÃO			
			NORTE + NOROESTE + BAIXADA LITORÂNEA	BAIXADA FLUMINENSE + METROPOLITANA + CAPITAL + SUL I + SUL II SERRANA I + SERRANA II	SERRANA I - Petrópolis, Teresópolis + SERRANA II - Nova Friburgo + SUL I - Itatiaia, Resende	COSTA VERDE
MUITO BAIXO	TR < 2	<ul style="list-style-type: none"> Pequenos empoçamentos nas vias; Sem previsão de variação nos níveis dos rios. 	Sem previsão de chuva	Sem previsão de chuva	Sem previsão de chuva	Sem previsão de chuva
BAIXO	2 < TR < 5	<ul style="list-style-type: none"> Altura da lâmina d'água nas vias < 0,15 m; Pontos isolados de alagamentos; Pequenos bolsões d'água em vias. Baixa possibilidade de elevação dos níveis dos rios. 	P < 35 mm-1h P < 50 mm-4h P < 65 mm-12h P < 75 mm-24h	P < 40 mm-1h P < 60 mm-4h P < 70 mm-12h P < 80 mm-24h	P < 55 mm-1h P < 80 mm-4h P < 100 mm-12h P < 120 mm-24h	P < 55 mm-1h P < 80 mm-4h P < 120 mm-12h P < 150 mm-24h
MODERADO	5 < TR < 10	<ul style="list-style-type: none"> Altura da lâmina d'água nas vias entre 0,15 e 0,30 m; Diversos pontos de alagamentos e bolsões d'água em vias, dificultando o acesso de pedestres; Elevação dos níveis dos rios acima do normal. 	35< P <55 mm-1h 50< P <80 mm-4h 65< P <100 mm-12h 75< P <125 mm-24h	40< P <65 mm-1h 60< P <90 mm-4h 70< P <115 mm-12h 80< P <135 mm-24h	55 e 75 mm-1h 80 e 110 mm-4h 100 e 145 mm-12h 120 e 170 mm-24h	55 e 75 mm-1h 80 e 135 mm-4h 120 e 185 mm-12h 150 e 225 mm-24h
ALTO	10 < TR < 20	<ul style="list-style-type: none"> Altura da lâmina d'água nas vias entre 0,30 e 0,40 m; Diversos pontos de alagamentos e bolsões d'água em vias, dificultando o acesso de veículos de pequeno porte; Alta possibilidade de elevação dos níveis dos rios, com transbordamentos em trechos de menor porte, causando inundações e atingindo comunidades ribeirinhas. 	55< P <65 mm-1h 80< P <95 mm-4h 100< P <120 mm-12h 125< P <145 mm-24h	65< P <75 mm-1h 90< P <105 mm-4h 115< P <135 mm-12h 135< P <165 mm-24h	75< P <85 mm-1h 110< P <125 mm-4h 145< P <170 mm-12h 170< P <195 mm-24h	75< P <85 mm-1h 135< P <155 mm-4h 185< P <210 mm-12h 225< P <255 mm-24h
MUITO ALTO	TR > 20	<ul style="list-style-type: none"> Altura da lâmina d'água nas vias entre > 0,40 m; Diversos pontos de alagamentos e bolsões d'água em vias, impedindo o acesso de veículos de pequeno e médio porte; Alta possibilidade de enxurradas, devido à elevação súbita dos níveis dos rios, e de inundações atingindo comunidades em áreas de risco hidrológico e/ou isolamento de bairros/comunidades em cotas mais baixas. 	P> 65 mm-1h P> 95 mm-4h P> 120 mm-12h P> 145 mm-24h	P> 75 mm-1h P> 105 mm-4h P> 135 mm-12h P> 165 mm-24h	P> 85 mm-1h P> 125 mm-4h P> 170 mm-12h P> 195 mm-24h	P> 85 mm-1h P> 155 mm-4h P> 210 mm-12h P> 255 mm-24h

Fonte: PLANCON (RIO DE JANEIRO, 2024)

3.3.2 Registros de notícias

Foi realizada uma análise comparativa pelo cruzamento entre os eventos de precipitação extrema identificados estatisticamente e aqueles reportados pela mídia, com o objetivo de verificar se os eventos de extremos estatísticos apresentaram impactos noticiados e se todas as ocorrências reportadas pela mídia correspondem a eventos extremos na série pluviométrica.

Foram feitas pesquisas nos jornais disponibilizados digitalmente, além de sites de notícias. A busca se deu pelas datas levantadas a partir das medições das chuvas extremas. Foram extraídas as informações relevantes publicadas, como volume de chuva, bairros afetados e tipo de impactos observados na cidade.

Para a seleção das chuvas extremas foram utilizados os maiores valores da série. O uso de um limiar para definir as maiores chuvas também é uma

alternativa eficiente para detectar os efeitos negativos de chuvas extremas de curto prazo (Campos, 2014). Os valores usados em estudos variam de acordo com a realidade local, como é possível observar em Dereczynski (2019), Campos (2014), e Lima e Amorim (2014), que usaram os limiares 100, 40 e 20 (mm/dia), respectivamente. Neste estudo, foram separados os 20 maiores registros de precipitação diária e horária para a busca de notícias relacionadas aos impactos da chuva na cidade.

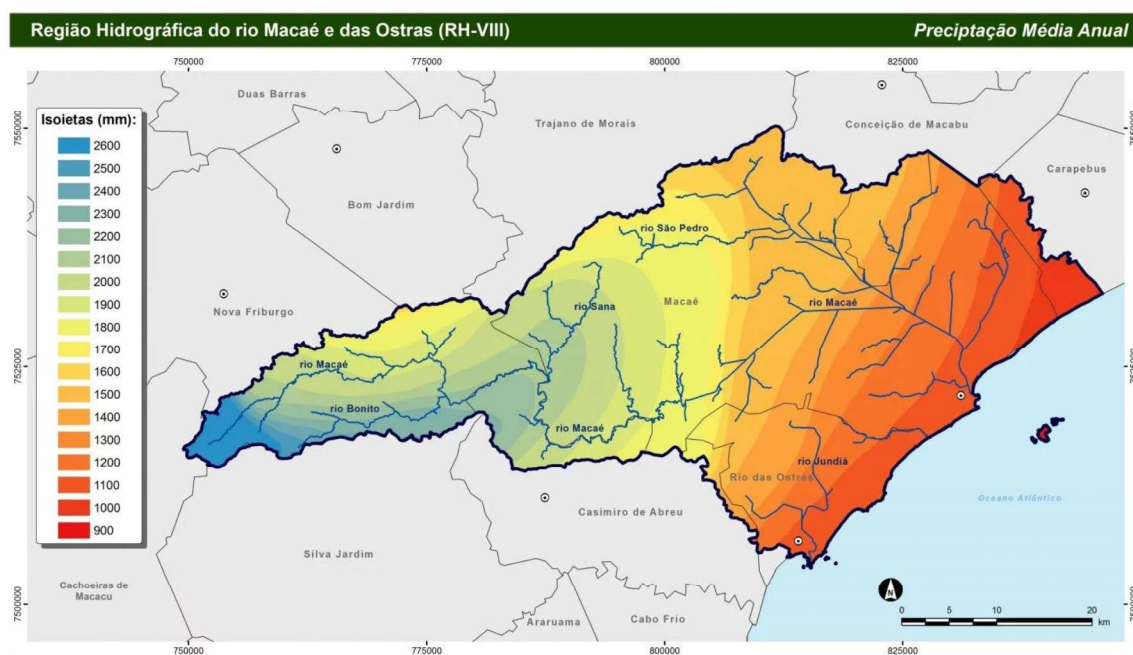
CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo se encontra na área urbana do município de Macaé, situado na região do Norte Fluminense. A principal bacia hidrográfica da região é a do rio Macaé, e faz parte da região hidrográfica VIII, na divisão do estado do Rio de Janeiro pelo INEA. A bacia do rio Macaé pode ser dividida entre o alto, médio e baixo curso, conforme o Plano de Recursos Hídricos (PRH) de 2014. As variações de temperatura e precipitação estão relacionadas à altitude, à configuração do relevo frente às massas de ar e à influência do oceano.

Por isso, há condições diferentes em cada parte da bacia. O alto curso caracteriza-se por condições climáticas mais frias e úmidas, enquanto o baixo curso apresenta menores totais pluviométricos e temperaturas médias mais elevadas (IPGA, 2015). Na figura 11 pode-se observar a variação espacial da precipitação média anual na região hidrográfica.

Figura 10: Precipitação média anual na bacia do rio Macaé



Fonte: CBH Macaé Ostras (2014)

A Região Hidrográfica do Macaé e das Ostras (RH-VIII), de acordo com a classificação climática de Köppen (1948), caracteriza-se pela ocorrência do clima tropical úmido nos trechos correspondentes aos médios e baixos cursos

dos rios, enquanto nas áreas dos altos cursos do rio Macaé e de seus afluentes da margem esquerda predomina o clima tropical de altitude com verões quentes.

O relevo apresenta grande diversidade, abrangendo desde áreas planas até colinas e terrenos montanhosos. Destacam-se as planícies litorâneas, onde predominam extensas áreas de várzea naturalmente vulneráveis a inundações, em razão das baixas cotas altimétricas e dos processos aluviais (Damasceno e Martins, 2025).

A dinâmica socioeconômica do município é fortemente influenciada pelo rápido processo de urbanização, intensificado a partir da década de 1970 com a implantação e o crescimento da indústria do petróleo (Damasceno; Martins, 2025). Apesar desse processo de urbanização acelerada, os bairros ocupam uma pequena parcela do município, em torno de 4% do território (IBGE, 2019).

De acordo com Dereczynski, Silva e Marengo (2013), existe um consenso do aumento de chuvas intensas na América do Sul, no entanto, a precipitação em estados próximos não é uniforme, e por vezes pode apresentar tendências opostas. O município já apresenta preocupações relacionadas a eventos climatológicos extremos, incluindo chuvas intensas e ventos fortes, em um contexto de urbanização e variabilidade climática (Damasceno e Martins, 2025).

Na Tabela 3 são apresentadas duas estações pluviométricas presentes no município de Macaé selecionadas para esse trabalho. O critério de escolha se deu pelo tamanho da série histórica, pois séries pequenas podem não ser representativas para análises estatísticas; e também pela qualidade dos dados, já que as instituições responsáveis por essas estações realiza um tratamento dos dados, diferente de outras estações nas quais se pode acessar dados brutos e que podem conter erros que dificultem o tratamento dos dados.

Tabela 3: Estações pluviométricas

Entidade	Código da Estação	Nome da Estação	Latitude	Longitude	Resolução temporal dos dados	Série histórica
INMET	A608	Macaé	-22,38	-41,81	horária e diária	1967-2024
ANA	2241004	Fazenda Oratório	-22,259	-41,984	diária	2006-2024

Fonte: Autoria própria

4.2 LIMIARES DE ALERTA DA DEFESA CIVIL

A defesa civil elabora em seus planos de contingência os limiares correspondentes aos níveis de risco de desastres naturais. Isso significa que quando uma previsão indicar um valor de precipitação dentro desses limiares, alertas serão emitidos para indicar o potencial risco de desastres na cidade, e a mobilização de agentes públicos para o atendimento para a contenção e mitigação dos efeitos das chuvas, além da orientação à população quanto aos cuidados necessários.

Foram destacados os limites estabelecidos no Plano Municipal de Contingência e Defesa Civil do município de Macaé (2024) para um levantamento da ocorrência desses níveis na precipitação registrada na estação A608. A Tabela reúne os estados de alerta (atenção, alerta e alerta máximo) e os respectivos níveis de risco de ocorrência de desastres (níveis alto e muito alto).

Figura 11: Limiares de acordo com níveis de alerta

ACUMULADO	ATENÇÃO	ALERTA	ALERTA MÁXIMO
	Nível Alto	Nível Muito Alto	Nível Muito Alto
Em 1 hora	05 a 20mm	20 a 40 mm	>40 mm
Em 24 horas	40 a 80 mm	80 a 150 mm	>150 mm
Em 96 horas	100 a 175 mm	175 a 250 mm	>250mm

Fonte: PLANCON (MACAÉ, 2024)

Pode-se observar pelos quadros do plano de contingência municipal da cidade de Macaé, que os valores das escalas de alerta são ainda menores que os constantes no plano estadual (Figura 9), para a sub-região a qual Macaé se insere. Isso sugere um grau de aprimoramento da defesa civil em relacionar os volumes de chuvas intensas que podem causar desastres na cidade de Macaé, mesmo que isso não se reflita nas cidades vizinhas.

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS DA HIDROLOGIA ESTATÍSTICA

5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

5.1.1 Região de Estudo

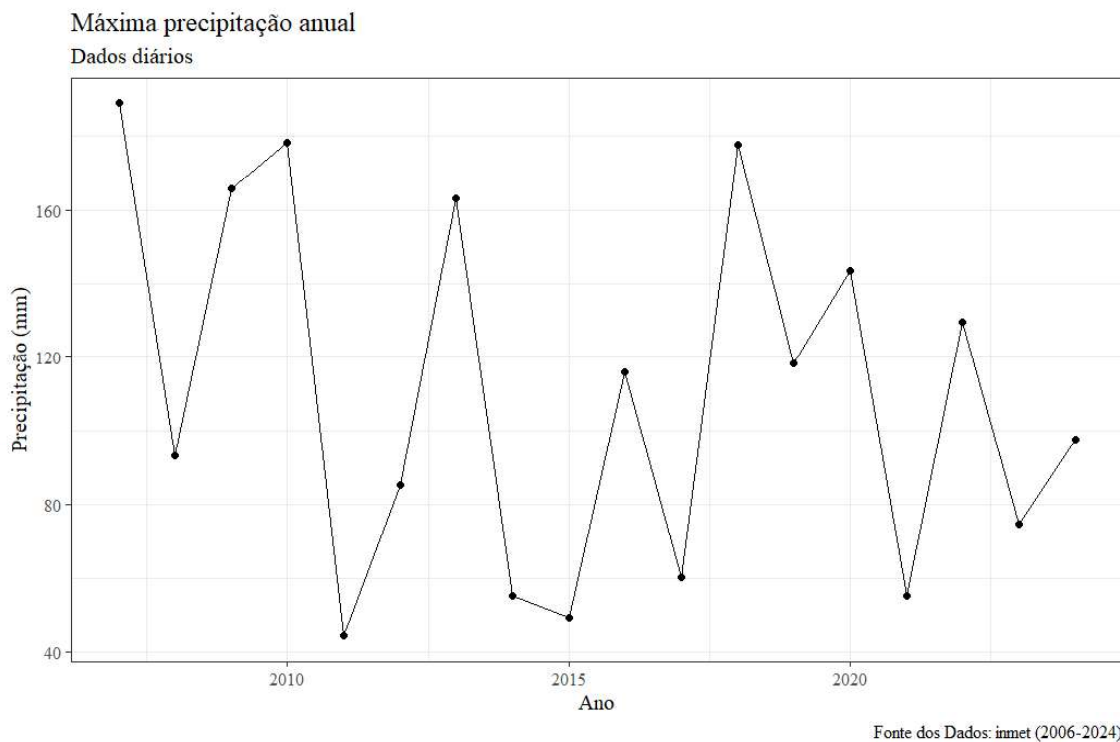
Antes de avançar para as análises focadas nos eventos de chuva intensa e na variabilidade dos extremos, apresentam-se alguns resultados gerais das séries de precipitação estudadas, com caráter descritivo.

Esses dados têm como objetivo oferecer uma visão inicial do comportamento da chuva ao longo do período analisado, auxiliando na compreensão dos padrões sazonais e da magnitude dos valores observados.

Nesse sentido, são mostrados os máximos valores de precipitação anual considerando toda a série histórica das duas estações analisadas (Figuras 12 e 13), permitindo observar a variabilidade dos valores extremos ao longo do tempo.

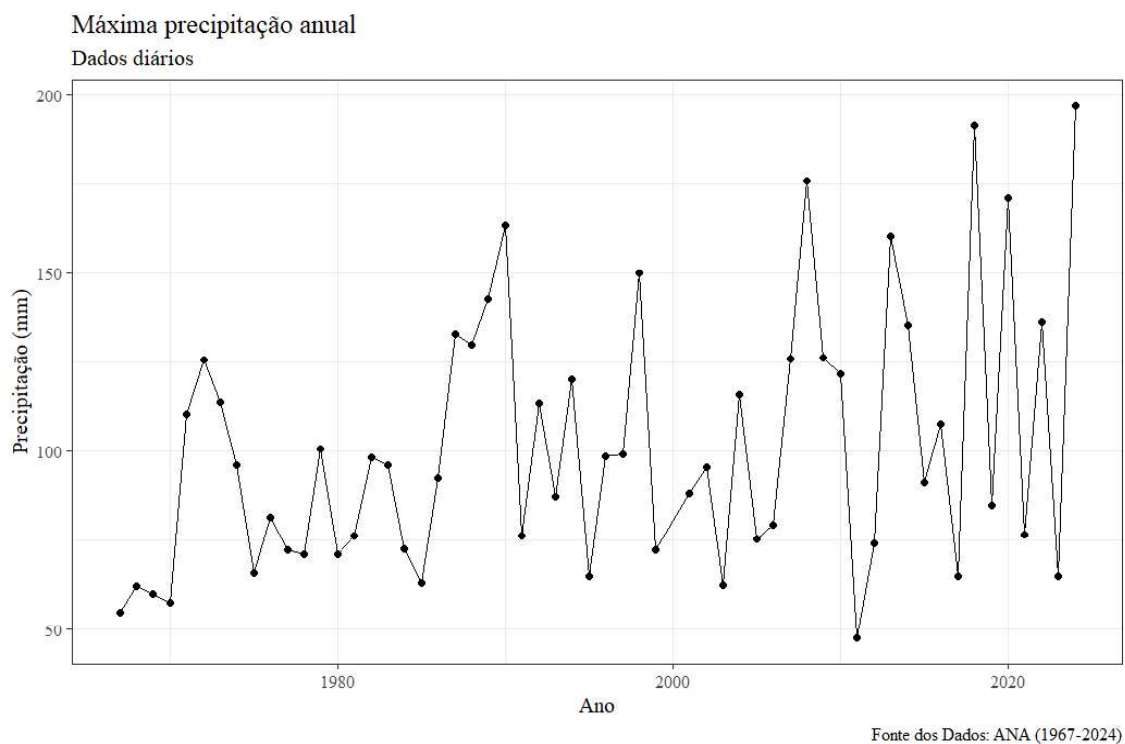
Também são apresentadas as máximas mensais que ocorreram em cada ano, nas figuras 14 e 15. É possível perceber que apesar de existirem diferenças entre os maiores valores de precipitação máxima mensais, em ambas as estações estes ocorrem entre os meses de primavera e verão.

Figura 12: Máxima precipitação anual – estação INMET



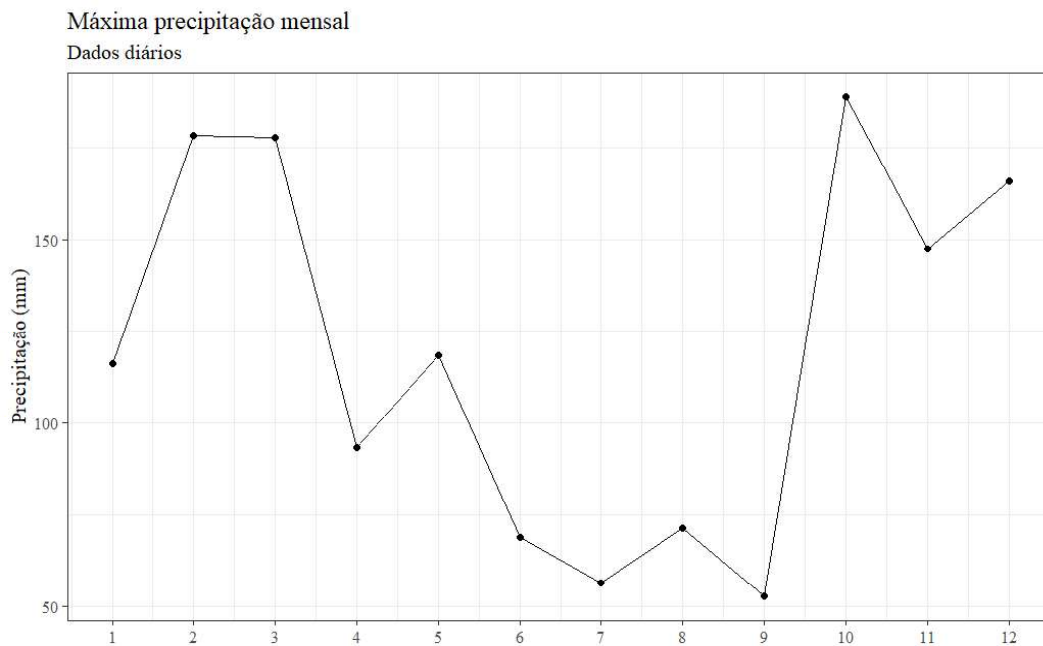
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 13: Máxima precipitação anual – estação ANA



Fonte: Elaborado pela autora

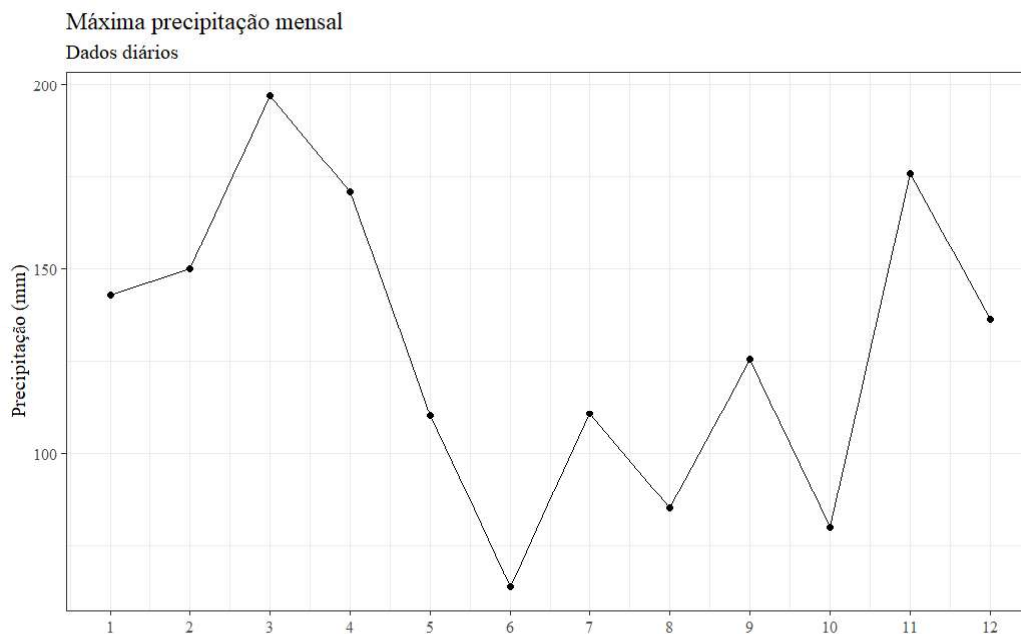
Figura 14: Máxima precipitação mensal – estação INMET



Fonte dos Dados: inmet (2006-2024)

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 15: Máxima precipitação mensal – estação ANA



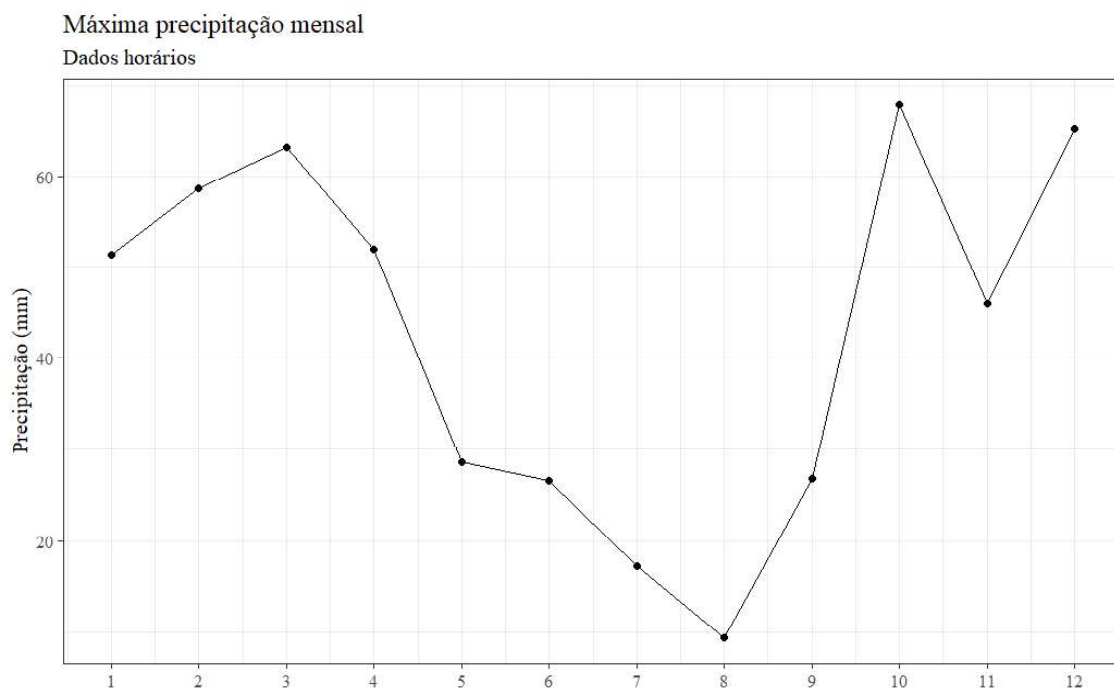
Fonte dos Dados: ANA (1967-2024)

Fonte: Elaborado pela autora

Além dos dados diários, também foram analisados dados de medição horária, disponíveis apenas na estação A608 do INMET. No caso dos máximos

anuais, assim como nos dados horários, também se verifica que os maiores valores ocorreram durante os meses de primavera e verão.

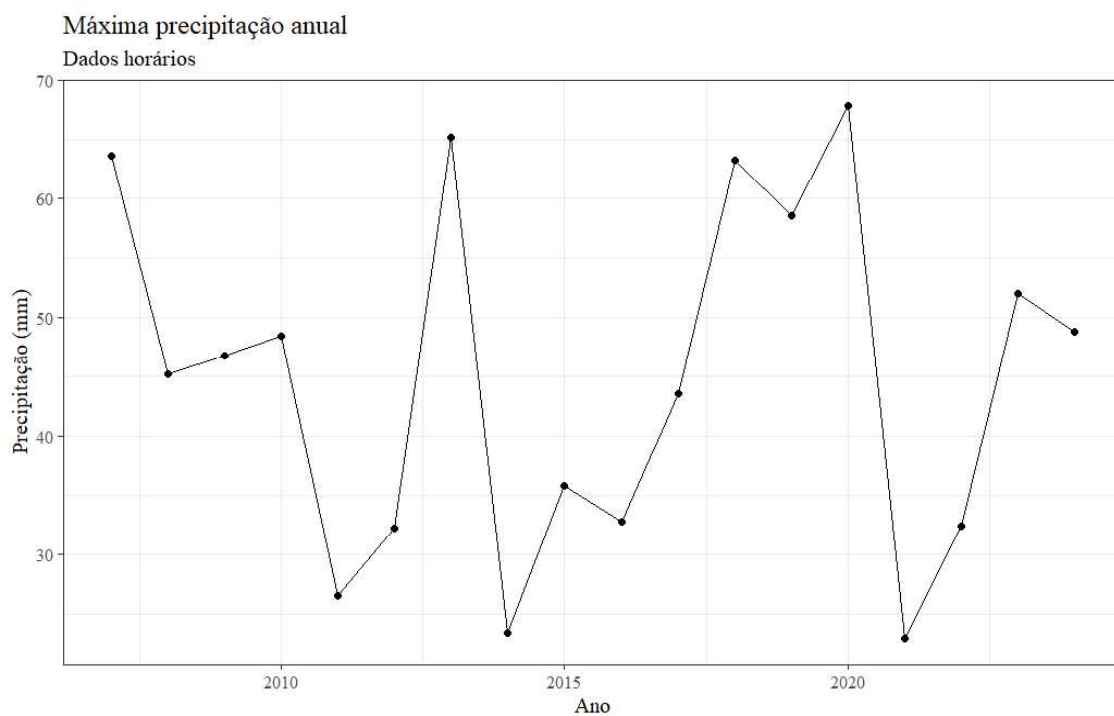
Figura 16: Dados horários: Máximos mensais



Fonte dos Dados: inmet (2006-2024)

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 17: Dados horários: Máximos anuais



Fonte dos Dados: inmet (2006-2024)

Fonte: Elaborado pela autora

Essa análise exploratória possibilita uma visão geral da variabilidade dos extremos pluviométricos ao longo do período analisado, e a importância de considerar a variabilidade espacial na análise dos dados.

5.1.2 Fonte dos Dados

A escolha das estações meteorológicas para extração dos dados de chuva levou em conta 2 cenários, de acordo com o tipo de análise. Para a avaliação da estacionariedade das chuvas na região é necessário dispor de uma série de dados que contenha tanto dados mais antigos (remontando a época das equações IDF já propostas, até 1990), quanto dados recentes (como dos últimos 20 anos).

Esses critérios servem para que se possa avaliar se os dados apresentam uma quebra de comportamento (como mudanças de tendência, média, variância), e essa investigação é motivada pela discussão presente na literatura, de que alguns estudos encontram pontos de mudança nas séries de valores máximos, principalmente no período após 1990. Para conferir se de fato a série de máximos anuais é estacionária ou se há quebra de estacionariedade podem se aplicar testes específicos, e sua aplicação é importante para a garantia da qualidade das equações IDF, que supõem estacionariedade nos dados. Para esse caso, foi selecionada a estação Oratório da ANA, cuja série de medições vai de 1967 a 2024.

Já para a elaboração de uma nova equação IDF, é mais importante que os dados representem o comportamento atual do regime de chuvas da região, e por isso é necessário um conjunto de dados mais recentes, idealmente dos últimos 20 anos, e que também seja localizada mais próxima possível do centro urbano, já que as relações IDF são de extrema relevância para o dimensionamento da chuva de projeto nas obras de infraestrutura urbana. Para a formulação da equação IDF não é interessante o uso de medições que contenham dados mais antigos, justamente pelo risco de gerar no modelo um padrão de distribuição que não acontece mais, devido a mudanças climáticas (sejam locais ou globais).

Por isso, para o cálculo da equação IDF foi selecionada a estação A608 do INMET, que tem uma série de dados de 2006 a 2024. Em ambos os casos

também é conveniente que se disponha de séries longas para contribuir na qualidade da análise estatística, e por esse motivo as duas estações supracitadas se destacam das demais presentes no município.

5.2 ESTATÍSTICA DOS DADOS

Uma série de testes foi aplicada nos dados da estação Oratório, da ANA, para avaliar o comportamento dos dados de máxima precipitação diária. O uso dessas ferramentas permite avaliar a continuidade dos dados, medidas de tendência central e de dispersão, tendência e estacionaridade. A seguir são apresentados os resultados obtidos.

5.2.1 Homogeneidade da Série Temporal

Optou-se pelo uso do teste de Pettitt para detectar possíveis rupturas no comportamento das séries hidrológicas. A análise pelo teste de Pettitt buscou identificar quebras de continuidade nos dados, associadas a alterações na tendência central da série. Para tanto, os registros diários da estação oratório, da ANA, foram processados no RStudio, resultando nos valores de precipitação máxima anual reunidos na tabela a seguir.

Tabela 3: Valores máximos de chuva diária anual

Máxima chuva diária					
Ano	P(mm)	Ano	P(mm)	Ano	P(mm)
1968	62.1	1987	132.8	2007	125.8
1969	60.0	1988	130.0	2008	175.9
1970	57.4	1989	142.6	2009	126.2
1971	110.4	1990	163.6	2010	121.5
1972	125.7	1991	76.0	2011	47.5
1973	113.6	1992	113.4	2012	74.1
1974	96.0	1993	87.0	2013	160.4
1975	65.8	1994	120.0	2014	135.5
1976	81.2	1995	65.0	2015	91.0
1977	72.1	1996	98.3	2016	107.6
1978	71.0	1997	99.0	2017	65.0
1979	100.6	1998	150.0	2018	191.5
1980	71.0	1999	72.3	2019	84.8
1981	76.0	2001	88.2	2020	171.0
1982	98.1	2002	95.4	2021	76.6
1983	96.0	2003	62.4	2022	136.4
1984	72.6	2004	115.8	2023	64.9
1985	63.0	2005	75.2	2024	197.0
1986	92.2	2006	79.2		

Fonte: Elaborado pela autora

Os resultados do teste estão listados na tabela 6. Como o p-valor está abaixo do nível de significância de 5%, a hipótese nula de homogeneidade da mediana é rejeitada, e a hipótese alternativa é aceita. Além disso, o teste retorna o ponto provável de quebra da continuidade, que foi identificada no ano de 1986. Dessa forma, temos a separação da série em dois períodos, conforme a tabela.

Também foram aplicados os testes T de Welch, que avalia a diferença entre as médias, e o F-Snedecor, para comparar as variâncias dos dois períodos definidos pelo teste de Pettitt, ou seja, antes e depois de 1986. O teste T de Welch é uma adaptação do teste T de Student, usada para se ter maior confiabilidade quando as duas amostras têm variâncias desiguais e tamanhos de amostra desiguais. O teste-t padrão do R utiliza essa variação do teste-t porque era uma prática usual testar se as variâncias das amostras eram semelhantes ou não, antes de aplicar o teste-t de Student. Com a variação de Welch não é preciso fazer a verificação das variâncias das amostras.

Tabela 4: Resultados dos testes

Teste	p-valor
Pettit	0,039570
Welch	0,000498
F-Snedecor	0,004397

Fonte: Elaborado pela autora

As médias dos períodos 1 e 2 são 81,98 mm e 111,32 mm, respectivamente. Como o p-valor do teste t de Welch ficou abaixo do nível de significância de 5%, a hipótese nula de que não há diferença significativa entre as médias, é rejeitada. No teste F-Snedecor também o p-valor ficou abaixo de 5%, e a hipótese nula, de que variâncias são estatisticamente semelhantes, foi rejeitada. A razão entre as variâncias identificada pelo teste foi de 0,2789.

5.2.2 Tendência

Por fim, também foi utilizado o teste de Mann-Kendall, que avalia a presença de uma tendência estatisticamente significativa nos dados. O teste foi aplicado em 3 intervalos: o período completo da série, e os períodos antes e depois do ano de 1986, como dividido pelo teste de Pettitt, que identificou uma quebra na continuidade. Também foi calculado o estimador de Sen, que calcula a inclinação da reta de tendência, para todos os intervalos.

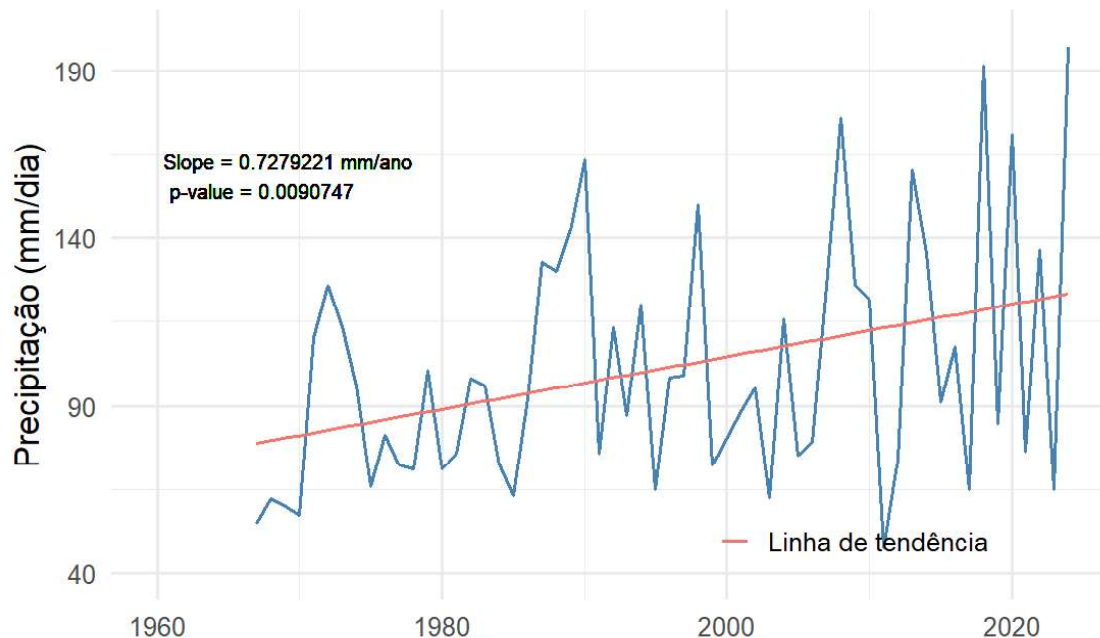
Tabela 5: Resultados dos testes de tendência

Teste de Mann-Kendall			
Períodos	Série completa	Período 1	Período 2
Estimador de Sen	0,73	0,42	0,27
p-valor	0,0091	0,61	0,64

Fonte: Elaborado pela autora

O período completo teve como resultado do teste um p-valor menor que 5% (0,009), suficiente para rejeitar a hipótese nula, de que não há tendência (significativa) presente nos dados. Significa que, ao considerar a série completa dos dados, observa-se a presença de uma tendência linear. O estimador de Sen foi usado para obter o tipo (crescente ou decrescente) e a magnitude da tendência. O resultado aponta um aumento nos valores da máxima chuva diária.

Figura 18: Linha de tendência da série completa

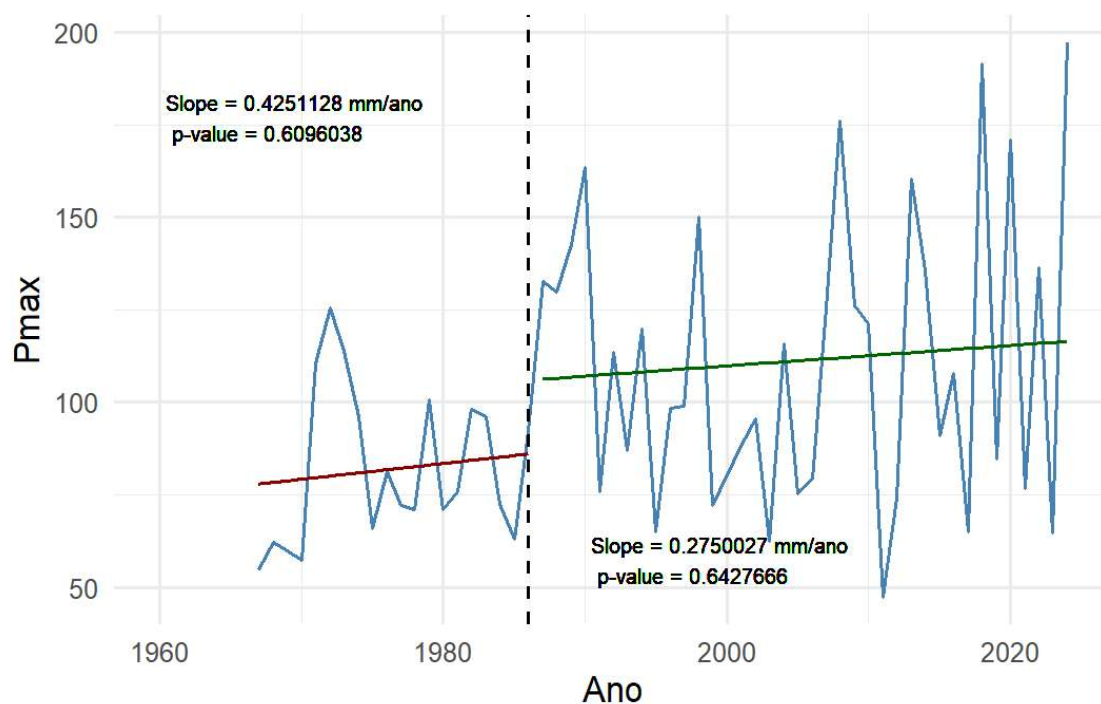


Fonte: Elaborado pela autora

Já para a divisão em dois períodos, em ambos o teste de tendência resultou em um p-valor maior que o nível de significância de 5%, não sendo o

suficiente para rejeitar a hipótese nula, de que não há tendência nos dados. Isso significa que, esses períodos quando considerados isoladamente não apresentam tendência com significância estatística, enquanto que o conjunto completo indica tendência, revelando uma mudança sistemática de nível.

Figura 19: Linhas de tendência dos períodos selecionados



Fonte: Elaborado pela autora

Essas diferenças entre os períodos podem acontecer devido a diversas razões, como: diminuição da amostra (maior probabilidade de erro do tipo II*); a presença de tendência gradual em cada período, que acumulada ao longo da série se torna detectável; ou ainda, devido a diferenças relevantes na média dos dois períodos.

O erro do tipo I ocorre quando rejeitamos a hipótese nula de um teste estatístico quando ela é verdadeira (falso positivo). O erro do tipo II ocorre quando não rejeitamos a hipótese nula quando ela é falsa (falso negativo). Pode-se considerar um *trade-off*: ao tornar o teste mais conservador reduz-se falsos positivos, mas aumenta falsos negativos.

5.2.3 Estacionariedade

Na hidrologia a estacionariedade constantemente é analisada com testes que avaliam se há mudanças na média e na variância, ou até mesmo através da

verificação de tendência na série. Essas análises buscam verificar se o conjunto de dados possui os critérios para uma correta aplicação em alguns modelos, como é o caso para o uso da distribuição de Gumbel.

No entanto, a rigor uma série pode ser não-estacionária, estacionária em tendência ou estacionária em nível. Como estes estudos não aplicam testes estacionariedade, mas partem para esta discussão de forma indireta, a classificação de uma série apenas como estacionária ou não-estacionária acaba sendo mais imprecisa. Para as aplicações ao modelo de valores extremos, a série deveria ser estacionária em nível, ou seja, não apresentar tendência e oscilar ao redor de um valor fixo.

Para avaliar a estacionariedade da série trabalhada foram aplicados os testes ADF (Augmented Dickey-Fuller) e KPSS (Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin). No R estes testes estão disponíveis no pacote *urca* (*Unit Root and Cointegration Tests for Time Series Data* - testes de Raiz Unitária e de Cointegração para Dados de Séries Temporais). Nas funções desse pacote é preciso especificar qual tipo de conjunto de dados está sendo usado e, nesse caso, como há tendência verificada na série, isso foi especificado nos argumentos *type* em ambos os testes.

Tabela 6: Resultados dos testes de estacionariedade (estação da ANA)

Teste	Tipo	Estatístico	Valor crítico a 5%	Conclusão
ADF	Com intercepto e tendência determinística	-4,544	-3,45	Não possui raiz unitária
KPSS	Estacionariedade em tendência	0,0499	0,146	Estacionária com tendência

Fonte: Elaborado pela autora

Em ambos o valor da estatística do teste é comparada com o valor crítico tau correspondente ao nível de significância de 5%. A estatística do teste ADF foi menor que o valor crítico e, portanto, rejeitou a hipótese nula de raiz unitária, indicando ausência de componente não estacionário. Por outro lado, o teste KPSS com tendência não rejeitou a hipótese nula de estacionariedade em torno de uma tendência. Esses resultados combinados indicam que a série não é estacionária em nível, mas pode ser considerada *trend-stationary*, ou seja, estacionária em torno de uma tendência significativa.

Assim, a aplicação de modelos que assumem estacionariedade não seria direto, e sim precisaria de procedimentos adicionais, como remoção explícita da tendência, uso de resíduos ou adoção de uma estrutura GEV não estacionária. Tais abordagens aumentam a complexidade, a incerteza e se distanciam da representação direta dos dados observados.

Os resultados dos testes citados indicam para uma quebra da estacionariedade (em nível) da série dos máximos de chuva, além de ter sido identificada tendência de aumento dos valores de máxima chuva diária. Em decorrência disso, é preciso questionar a validade das equações IDF que se utilizam de dados anteriores à década de 90 indiscriminadamente, que se valia da suposição de estacionariedade para prever o padrão de chuvas intensas no futuro.

O tópico seguinte faz uma revisão da equação de chuvas intensas na região, de forma a criar uma representação mais adequada da série histórica atual com dados mais recentes, que permita a aplicação nos modelos hidrológicos e, conseqüentemente, nos projetos de infraestrutura urbana.

5.3 OBTENÇÃO DA NOVA EQUAÇÃO IDF

Foram baixados os dados diários da estação A608, através do banco de dados do INMET, para a construção da curva IDF. Foi calculada a quantidade de dados ausentes em cada ano hidrológico, conforme tabela constante no apêndice A. A partir da análise do total de medições ao ano optou-se por excluir os dados do ano de 2006, pois a estação passou a registrar dados somente na segunda metade do ano, conforme número total de medições na tabela.

Tabela 7: Precipitação máxima diária anual

Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)
2007	188.8	2013	163.2	2019	118.4
2008	93.4	2014	55.4	2020	143.4
2009	165.8	2015	49.4	2021	55.4
2010	178.2	2016	116.0	2022	129.6
2011	44.4	2017	60.2	2023	74.8
2012	85.4	2018	177.6	2024	97.8

5.3.1 Estacionariedade

Mesmo não apresentando tendência aparente, foi aplicado o teste de man-kendal no conjunto dos dados para verificar a correta aplicação dos testes ADF e KPSS. O teste resultou em um p-valor de 0,426 e, portanto, não rejeitou a hipótese nula de que não existe tendência. Para os testes foi considerado que não há tendência significativa detectável, então não foi especificado nos parâmetros a presença de tendência aparente nos dados.

Como esse conjunto de dados não apresenta tendência significativa, pode ser investigada a estacionariedade em nível. O teste ADF rejeitou a hipótese nula de raiz unitária, enquanto o teste KPSS não rejeitou a hipótese nula de estacionariedade em nível. A combinação dos dois resultados indica que a série é estacionária em nível, sem evidências de tendência significativa. Esse comportamento é compatível com as premissas dos modelos estacionários empregados com valores extremos.

Tabela 8: Resultado do teste de estacionariedade (estação A608 – INMET)

Teste	Tipo	Estatístico	Valor crítico a 5%	Conclusão
ADF	Com intercepto	-3,037	-3,00	Não possui raiz unitária
KPSS	Estacionariedade em nível	0,2296	0,463	Estacionária em nível

Fonte: Elaborado pela autora

O conjunto de precipitação máxima diária dos dados do INMET apresenta estacionariedade em nível, garantindo que a distribuição dos máximos anuais permaneça aproximadamente constante ao longo da série. Isso atende diretamente às hipóteses dos modelos clássicos de extremos, evitando distorções e reduzindo o risco de enviesamento nas estimativas de períodos de retorno. Dessa forma, foram usados os dados dessa estação para o novo cálculo da equação IDF, uma vez que estes atendem ao critério de estacionariedade, quando considerado o período exposto, de 2007 a 2024.

5.3.2 Aplicação da função de Gumbel

Os valores máximos de precipitação, extraídos do conjunto de dados, serão usados para ajuste à uma função de densidade de probabilidade (fdp), nesse caso a função de Gumbel, que foi utilizada nesse conjunto de dados para estimar a magnitude dos máximos anuais de precipitação, de acordo com a frequência de ocorrência desses eventos com diferentes períodos de retorno.

Tabela 9: Aplicação na distribuição de Gumbel

Gumbel		
Parâmetros Estimados	Localção	Escala
	87.58923	40.84058
Erro Padrão Estimado	Localção	Escala
	10.169284	7.724309

Fonte:Elaborado pela autora

São retornados como resultados os coeficientes de locação e escala, e os níveis de retorno (em mm) associados a cada tempo de retorno (em anos). Os níveis de retorno, apresentados na tabela 10, são referentes ao volume de precipitação diária. Isso significa dizer que um evento de chuva de 148.85 mm/dia é esperado acontecer pelo menos uma vez a cada cinco anos, enquanto que um evento de 246.95 mm/dia acontece ao menos uma vez a cada 50 anos.

Tabela 10: Níveis de retorno após aplicação de Gumbel

TR (anos)	NR (mm)
2	102,56
5	148,85
10	179,49
25	218,22
30	225,81
40	237,73
50	246,95
100	275,46

Fonte: Elaborado pela autora

Para analisar a qualidade do ajuste dos dados observados à distribuição de Gumbel foi usado o teste de Kolmogorov-Smirnov, cujo resultado está indicado na tabela. A estatística do teste avalia se $D < D_{ref}$, e resultou no p-valor

de 0,8918, portanto não se tem evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula, de que as distribuições são semelhantes, ao nível de significância de 5%.

Tabela 10: Valores do teste KS

Teste de Kolmogorov-Smirnov	
p-valor	D (estatística do teste)
0,8918	0.13628

Fonte: Elaborado pela autora

5.3.3 Cálculo dos Coeficientes da Equação

A tabela 12 apresenta os valores encontrados a partir da multiplicação dos coeficientes de desagregação das chuvas diárias (tabela 3) com o resultado dos níveis de retorno, da tabela 10, que correspondem às intensidades de chuva das curvas IDF, e através destes será calculada a nova equação IDF, que resume o comportamento dos dados em função dos tempos de duração e de retorno.

Tabela 11: Intensidade a partir dos dados observados

Intensidade (mm)								
	TR (anos)							
td (min)	2	5	10	25	30	40	50	100
5	148,26	215,18	259,49	315,47	326,43	343,67	357,00	398,22
10	117,73	170,87	206,06	250,51	259,22	272,91	283,49	316,22
25	79,48	115,36	139,11	169,13	175,01	184,25	191,39	213,49
30	72,67	105,48	127,19	154,63	160,01	168,46	174,99	195,20
60	49,10	71,27	85,94	104,48	108,12	113,82	118,24	131,89
240	14,03	20,36	24,55	29,85	30,89	32,52	33,78	37,68
720	8,28	12,02	14,49	17,62	18,23	19,20	19,94	22,24
1440	4,87	7,07	8,53	10,37	10,73	11,29	11,73	13,08

Através do método dos mínimos quadrados, é possível usar a tabela acima como valores empíricos, e a partir dos coeficientes da equação teremos os valores calculados, para então rodar o algoritmo a partir de um chute inicial dos valores dos coeficientes e ajustá-los para se aproximarem dos valores empíricos. A regressão não-linear vai reduzir o valor do erro quadrático entre os valores calculados e teóricos, convergindo para uma solução ótima. Os resultados estão na Tabela 6. Dessa forma, é possível reproduzir os resultados da tabela 12 a partir da equação IDF, assim como calcular a magnitude da chuva diária para diferentes tempos de retorno e de duração.

Tabela 12: Coeficientes da equação IDF

Equação proposta	
a	1012.59
b	0.22
c	9.60
d	0.72

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 13: Resultados do algoritmo de cálculo do R²

Coefficiente de determinação R²			
valor	Soma dos resíduos quadráticos	Número de iterações até a convergência	Achieved convergence tolerance
0.9958	3107	9	6.403e-06

Fonte: Elaborado pela autora

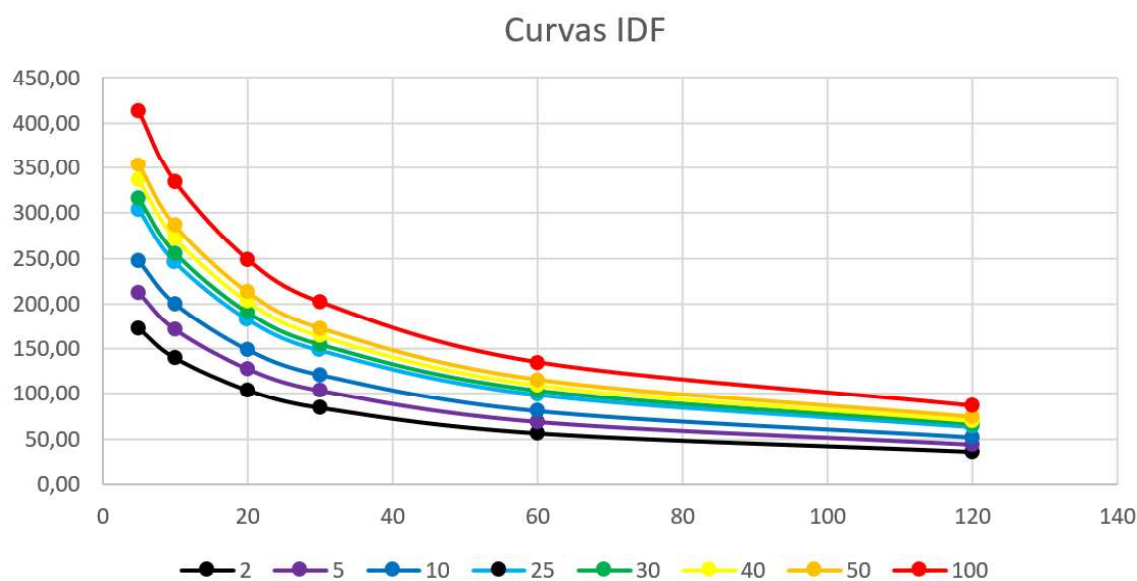
Para verificar a adequação dos parâmetros em representar os valores encontrados foi utilizado o coeficiente de determinação R quadrado. O valor encontrado foi de 0,9958, o que indica um bom ajuste da regressão não-linear ao nível de confiança de 95% considerado. A partir dos novos parâmetros calculados para a equação IDF foi plotada a família de curvas IDF proposta.

Tabela 14: Intensidade calculada pelos coeficientes da equação IDF

Intensidade (mm)								
td (min)	TR (anos)							
	2	5	10	25	30	40	50	100
5	172,82	211,90	247,23	303,14	315,69	336,56	353,69	412,67
10	139,92	171,56	200,17	245,44	255,60	272,49	286,36	334,12
20	104,11	127,66	148,94	182,63	190,19	202,76	213,08	248,61
30	84,50	103,61	120,89	148,23	154,37	164,57	172,95	201,79
60	56,40	69,15	80,68	98,93	103,03	109,84	115,43	134,67
120	36,11	44,28	51,67	63,35	65,97	70,33	73,91	86,24

Fonte: Elaborado pela autora

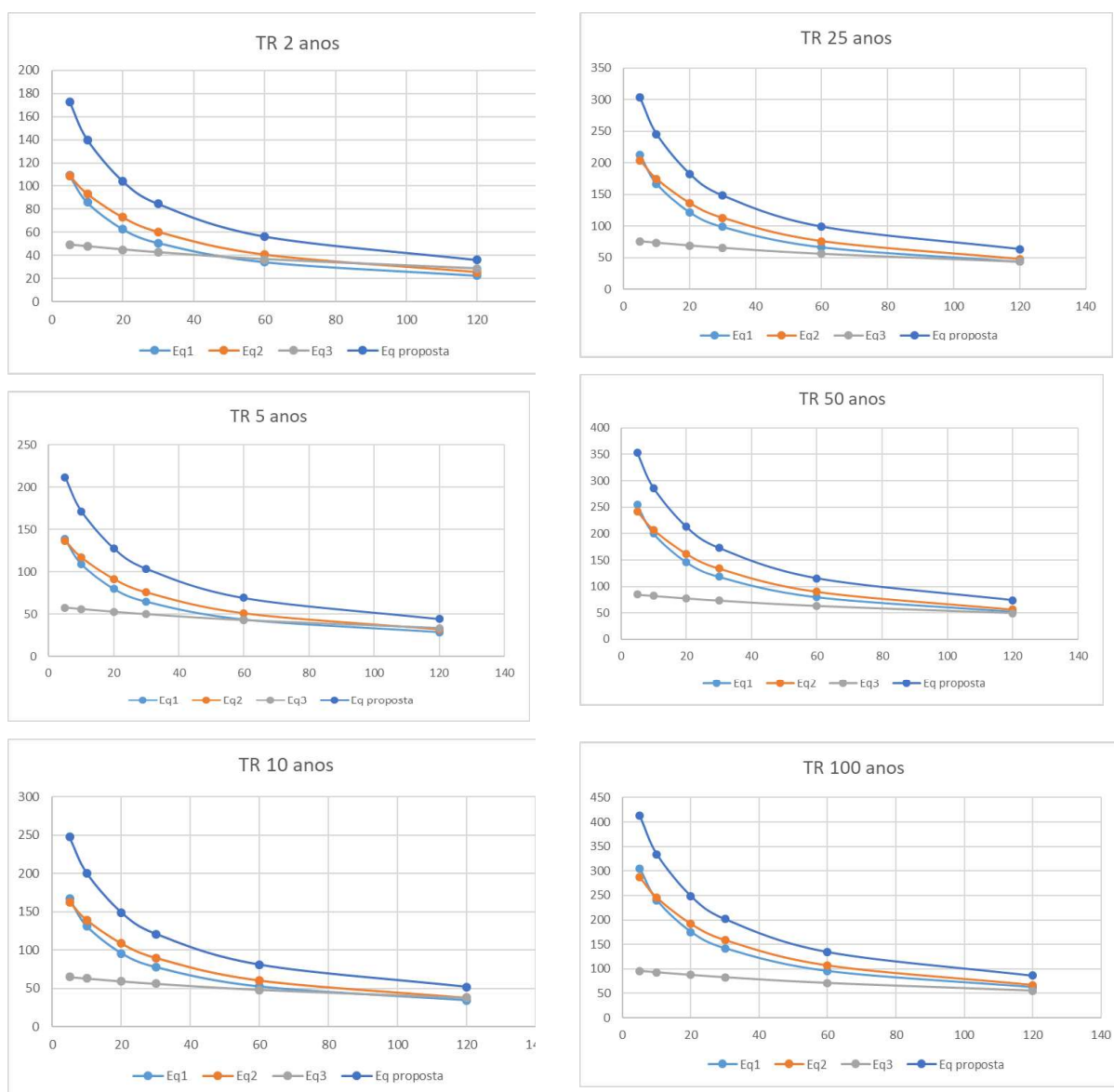
Figura 20: Gráfico da equação IDF proposta para Macaé



5.4 COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS IDF

Foi feita a comparação com as outras equações já elaboradas por outros autores para a cidade de Macaé - Equação 1 (Pinto, 1999), Equação 2 (Davis e Naghettini, 2000) e Equação 3 (Almeida, 2018). É possível observar que na comparação com as outras equações IDF, a proposta neste estudo apresenta valores de intensidade superiores a todas as outras, para os tempos de retorno avaliados, sendo eles 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, conforme pode ser verificado na figura 15. Indo além, é possível comparar a magnitude de curvas de diferentes TRs associados: a curva com TR de 100 anos da Equação 1 tem magnitude semelhante à curva com TR de 25 anos da equação proposta neste estudo.

Figura 15: Comparação entre as curvas IDF das diferentes equações



Fonte: Elaborado pela autora

Isso significa que, um projeto de engenharia que precisa utilizar no seu dimensionamento um tempo de retorno de 100 anos, mas utiliza a equação com dados antigos (pré 1990), estaria usando valores referentes ao tempo de retorno de 25 anos, de acordo com a equação baseada nos dados recentes de precipitação. Dessa forma pode-se inferir que a infraestrutura urbana estaria sendo subdimensionada para eventos extremos de chuvas intensas, devido aos aspectos da quebra de estacionariedade levantados na revisão bibliográfica e que foram identificados no item 5.2 dos resultados.

Na tabela 14 foram expostas as diferenças percentuais nas tabelas calculadas pela equação proposta e pela equação clássica de Pinto (1999). Houve aumento substancial nos valores de intensidade para todos os tempos de duração e períodos de retorno, variando de 20,27% a 66,56%.

Tabela 15: Diferença percentual entre as precipitações calculadas

td (min)	TR (anos)							
	2	5	10	25	40	50	75	100
5	58,41%	52,64%	48,42%	43,01%	41,96%	40,31%	39,05%	35,20%
10	63,13%	57,18%	52,83%	47,27%	46,18%	44,49%	43,19%	39,23%
25	66,50%	60,43%	55,99%	50,31%	49,20%	47,47%	46,15%	42,10%
30	66,56%	60,49%	56,05%	50,36%	49,26%	47,53%	46,20%	42,15%
60	64,98%	58,97%	54,57%	48,93%	47,84%	46,13%	44,81%	40,80%
120	61,15%	55,28%	50,98%	45,48%	44,41%	42,73%	41,45%	37,53%
360	52,70%	47,13%	43,06%	37,85%	36,84%	35,25%	34,03%	30,32%
720	46,82%	41,47%	37,56%	32,55%	31,57%	30,05%	28,88%	25,31%
1440	40,91%	35,78%	32,02%	27,21%	26,28%	24,81%	23,69%	20,27%

Fonte: Elaborado pela autora

Observa-se que as maiores diferenças se deram nos menores tempos de retorno. De acordo com o DNIT (2005) a escolha dos tempos de recorrência para o projeto de uma obra de engenharia pode variar de acordo com sua importância, sua magnitude e o tipo da obra. Períodos frequentemente adotados para projetos de bueiros, por exemplo, variam de 10 a 20 anos, enquanto que para as pontes estão entre 50 a 100 anos. Resultados como o da tabela anterior indicam que é possível haver um subdimensionamento das estruturas de drenagem da cidade, da ordem de 20% a 60%.

CAPÍTULO 6 - OCORRÊNCIA DAS CHUVAS INTENSAS E SEUS IMPACTOS NA CIDADE DE MACAÉ

6.1 FREQUÊNCIA DOS LIMIARES DE ALERTA

A partir dos limiares de alerta da defesa civil, foram selecionados todos os dados de chuva de medição diária e horária, e quantificadas a ocorrência de precipitação na faixa desses estados de alerta por ano, conforme gráficos abaixo. É possível perceber a grande quantidade na ocorrência do nível de atenção, principalmente entre as medições horárias, o que indica uma grande frequência das chuvas de maior intensidade, que ocorrem em um menor período de tempo.

Outro destaque é que os anos com picos dos valores do estado de atenção não coincidem com os anos que apresentam picos no estado de alerta máximo, mostrando a complexidade e a importância de um acompanhamento contínuo das chuvas intensas.

Figura 21: Frequência dos limites nas medições diárias

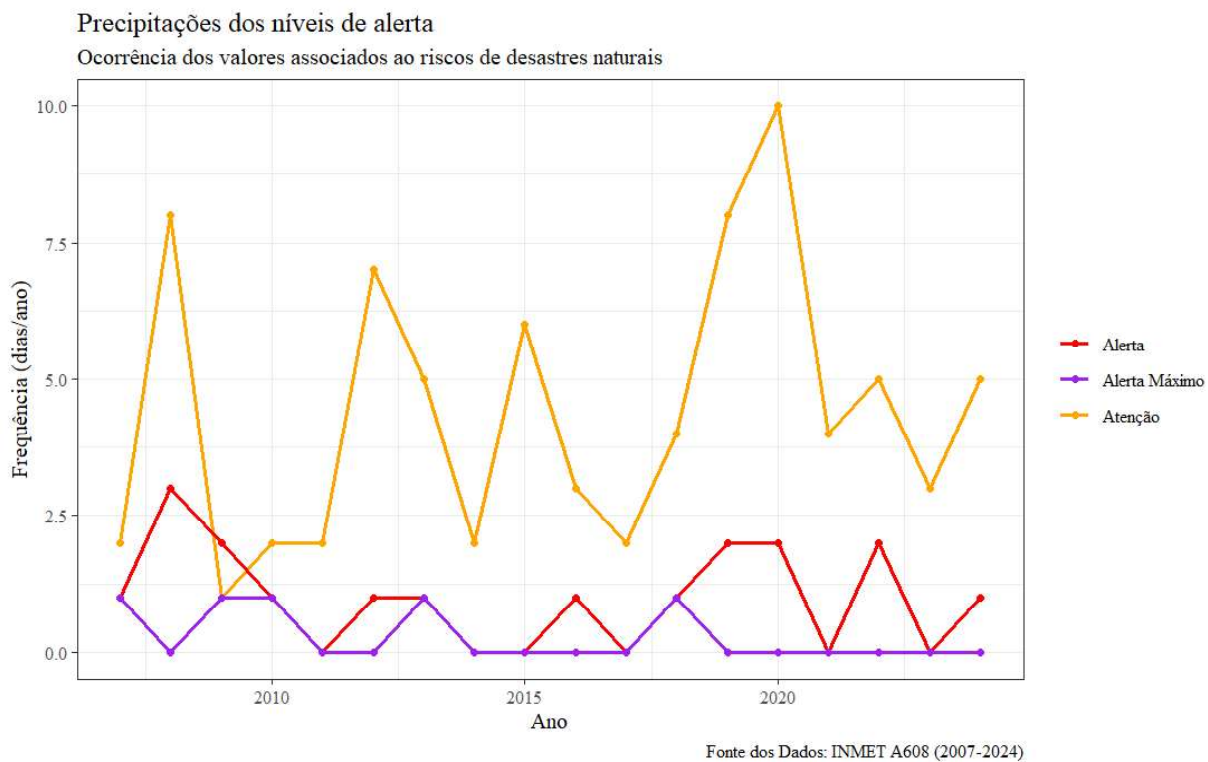
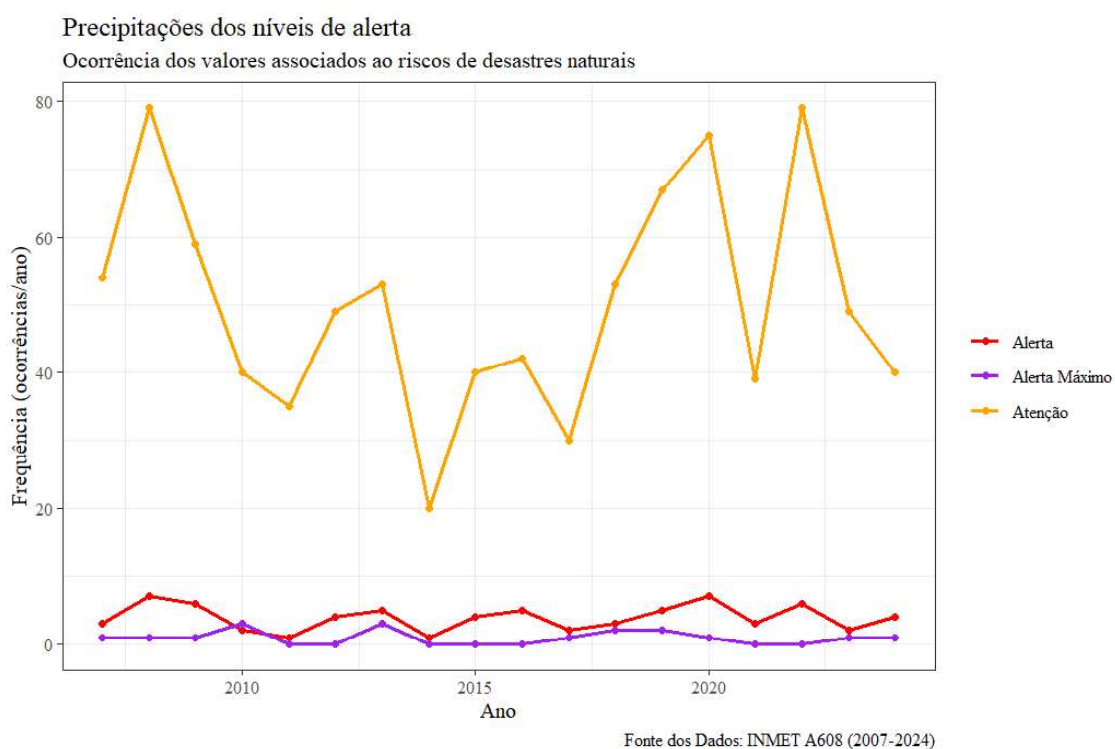


Figura 22: Frequência dos limites nas medições diárias



6.2 NOTÍCIAS ASSOCIADAS ÀS CHUVAS INTENSAS

Os impactos no perímetro urbano causados pelas chuvas são problemas frequentes enfrentados pela população que reside, trabalha ou transita por Macaé. Algumas chuvas de grandes volumes (mm), ou de maiores intensidades (mm/h), ocasionam transtornos nos bairros, causando prejuízos às atividades econômicas e, por vezes, colocando em risco a segurança das pessoas.

A fim de mapear a ocorrência dos impactos das chuvas foram levantados os registros de notícias disponíveis em mídia digital, incluindo sites de notícias e jornais digitalizados. Foram pesquisadas notícias nas datas dos maiores valores de chuva diária e horária registrados na estação pluviométrica.

Em sua maioria, as notícias não registram a quantidade de chuva que foi observada e, quando o fazem, reportam acumulados de várias horas ou dias, dificultando a comparação com os valores medidos.

Foram levantados os locais citados nas reportagens, os impactos percebidos na cidade, a precipitação medida na estação do INMET e o tempo de retorno da chuva, de acordo com a precipitação proposta. Para referência, também foram calculados os valores de tempo de retorno equivalentes de acordo com a distribuição de Gumbel para as duas séries de dados.

A tabela a seguir compila esses resultados, e inclui nas colunas: a data das precipitações máximas anuais; a precipitação medida pela estação meteorológica em mm; o tempo de retorno (TR) calculado pela equação proposta IDF referente à precipitação medida; os bairros que tiveram registros de impactos devido às chuvas; o tipo de impactos identificados nas reportagens; e, por fim, a fonte e o endereço virtual das notícias consultadas para cada evento.

Quadro 2: Impactos associados aos eventos de máximos anuais de chuva (dados horários)

Nº	Data	Precipitação	TR (anos)	Bairros atingidos	Impactos gerados	Fonte	Endereço eletrônico
1	31/10/2020	67,8	10,86	lagoas se romperem		Jornal O Debate	https://issuu.com/odebateon/docs/edi_c3_a7_c3_a3o_209969_2005-11-2020https://issuu.com/odebateon/docs/edi_c3_a7_c3_a3o_209969_2005-11-2020
2	02/12/2013	65,2	8,96	Malvinas, Botafogo, Nova Holanda, Sol y Mar, Novo Horizonte, Visconde, Piracema, Virgem Santa, Riviera, Miramar, Aroeira, Piracema, Granja dos Cavaleiros e Centro.	Alagamentos e deslizamento. 90 desabrigados e 1 morte (menino de 6 anos)	Site de notícias G1	https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2013/12/moradores-reclamam-de-inundacoes-constantemente-em-macae-no-rj.html
3	25/10/2007	63,6	7,97	Barra, Aroeira, Miramar, Visonde de araujo, Novo caveleirose Nova Holanda	Alagamentos, desabrigados e transbordamento de canal	Prefeitura de Macaé	https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/vinte-e-cinco-escolas-ficam-sem-aulas-por-causa-da-chuvam-aulas-por-causa-da-chuva
4	09/03/2018	63,2	7,74	Trapiche		Jornal O Dia	https://odia.ig.com.br/rio-de-janeiro/2018/03/5520683-macae-tem-enchente-e-homem-quase-elevado-por-correnteza.html

5	28/02/2019	58,6	5,57				https://issuu.com/odebateon/docs/edi_o_9756_02-03-04-05-06-07-02-20
6	30/4/2023	52	3,54				
7	18/01/2013	51,4	3,41	Campo do Oeste, Novo Horizonte, Riviera, centro (rua Teixeira de Gouveia), Malvinas, Nova Holanda, Nova Esperança	Alagamentos e obstrução das vias		https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/prefeito-visita-bairros-apos-a-chuva-e-anuncia-ampliacao-de-macrodrrenagem
8	22/03/2024	48,8	2,89	Centro, miramar, parque aeroporto, aroeira.	Alagamentos, teto do HPM desabou		https://odebateon.com.br/edicoes-digitais//https://odebateon.com.br/edicoes-digitais//
9	26/02/2010	48,4	2,81	Praia Campista, Parque Aeroporto, Miramar Campo D'Oeste, Imbetiba, Sol y Mar, Centro, Novo Cavaleiros, Nova Holanda, Visconde de Araújo, Botafogo. Fronteira, Linha Verde e Linha Vermelha.		Blog de notícias	https://www.ruanbarros.com/2010/02/chuvas-alagam-macae-cidade-esta-com.html

10	04/12/2009	46,8	2,55	Sol y Mar, Riviera Fluminense, Visconde de Araújo, Miramar, Campo D'Oeste, Novo Cavaleiros, Nova Holanda, Nova Esperança e Novo Horizonte.	Alagamentos		https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/prefeitura-se-mobiliza-para-conter-estragos-da-chuva?utm
11	14/11/2019	46	2,43	Centro, campo d'oeste, aroeira, sol y mar, visconde de araujo, riviera e novo horizonte.	Alagamentos	Jornal O Debate	https://issuu.com/odebateon/docs/notici__rio_16-12-2016 https://issuu.com/odebateon/docs/notici__rio_16-12-2016
12	09/03/2018	45,6	2,38	-	-	-	-
13	17/11/2008	45,2	2,32	Cachoeiros de Macaé, Córrego do Ouro, Trapiche, Novo cavaleiros	Alagamentos e obstrução de vias		https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/prefeitura-atende-moradores-atingidos-pelas-chuvas https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/prefeitura-atende-moradores-atingidos-pelas-chuvas
14	25/02/2010	44,6	2,24	Praia Campista, Parque Aeroporto, Miramar Campo D'Oeste, Imbetiba, Sol y Mar, Centro, Novo	Alagamentos		https://www.ruanbarros.com/2010/02/chuvas-alagam-macae-cidade-esta-com.html?

15	01/12/2017	43,6	2,12	Cavaleiros, Nova Holanda, Visconde de Araújo, Botafogo, Fronteira, Linha Verde e Linha Vermelha				
16	10/11/2010	43,2	2,07	Dez bairros alagados	Notícia do dia 12, não fala data da chuva que ocorreu no estado todo		https://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2010/11/chuva-causa-estragos-em-macae-e-em-rio-das-ostras-no-rj.html	
17	02/12/2013	42,2	1,96	-	-	-	-	
18	22/01/2009	36	1,46	Parque de Tubos, Terminal Lagoa, Linha vermelha, Sol y mar, Visconde, Praia Campista, Miramar	Alagamentos	Prefeitura de Macaé	https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/prefeitura-busca-solucao-para-alagamentos	
19	07/12/2015	35,8	1,45	Santo Amaro, Centro, Novo Cavaleiros, Sol y mar, Campo d'oeste, Novo Horizonte, Riviera			https://issuu.com/odebateon/docs/notici__rio_08-12-15	
20	03/12/2024	35,2	1,41					

Elaborado pela autora

Fonte:

Foram selecionados os maiores valores de precipitação diária e horária da estação A608, conforme Quadros 2 e 3. Foi possível observar que diversas datas coincidem em ambas tabelas, se tratando da mesma chuva ou de chuvas que ocorreram ao longo do mesmo dia e, além de atingir um dos maiores acumulados (mm) em 24h, também teve uma das maiores intensidades (mm/h).

No entanto, nem sempre as chuvas que causam estragos na cidade vão seguir essa combinação. Dias com um volume grande de chuva em 24h podem causar impactos na cidade ainda que esta seja distribuída ao longo do dia, assim como chuvas com pequenos volumes diários e de grande intensidade também podem ser as responsáveis por transtornos na zona urbana.

Ressalta-se que os impactos registrados nas notícias não dependem apenas da intensidade da chuva, mas também do volume acumulado, da duração do evento e das condições prévias da bacia hidrográfica. Alagamentos, inundações e transbordamentos estão ligados à resposta dos cursos d'água, de forma que a infiltração anterior e o grau de saturação do solo influenciam a capacidade de absorção da água da chuva e, conseqüentemente, a intensidade dos impactos observados na cidade.

Quadro 3: Impactos associados aos eventos de máximos anuais de chuva (dados diários)

Nº	Data	Precipitação	TR (anos)	Bairros atingidos	Impactos gerados	Fonte	Endereço eletrônico
1	25/10/2007	188,8	12,43	Barra, Aroeira, Miramar, Visconde de araujo, Novo cavaleirose Nova Holanda	Alagamentos, desabrigados e transbordamento de canal	Prefeitura de Macaé	https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/vinte-e-cinco-escolas-ficam-sem-aulas-por-causa-da-chuva
2	26/02/2010	178,2	9,7	Praia Campista, Parque Aeroporto, Miramar Campo D'Oeste, Imbetiba, Sol y Mar, Centro, Novo Cavaleiros, Nova Holanda, Visconde de Araújo, Botafogo. Fronteira, Linha Verde e Linha Vermelha.		Blog de notícias	https://www.ruanbarros.com/2010/02/chuvas-alagam-macae-cidade-esta-com.html
3	09/03/2018	177,6	9,57	Trapiche		Jornal O Dia	https://odia.ig.com.br/rio-de-janeiro/2018/03/5520683-macae-tem-enchente-e-homem-quase-elevado-por-correnteza.html
4	05/12/2009	165,8	7,3	Sol y Mar, Riviera Fluminense, Visconde de Araújo, Miramar, Campo D'Oeste, Novo Cavaleiros, Nova Holanda, Nova Esperança e Novo Horizonte.		Prefeitura de Macaé	https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/chuva-equipos-da-prefeitura-em-acao-para-minimizar-estragos

5	02/12/2013	163,2	6,88	Malvinas, Botafogo, Nova Holanda, Sol y Mar, Novo Horizonte, Visconde, Piracema, Virgem Santa, Riviera, Miramar, Aroeira, Piracema, Granja dos Cavaleiros e Centro.	Alagamentos e deslizamento. 90 desabrigados e 1 morte (menino de 6 anos)	Site de notícias G1	https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2013/12/moradores-reclamam-de-inundacoes-constantes-em-macae-no-rj.html
6	11/11/2010	147,4	4,84	Centro, Miramar, Visconde de Araújo, Sol y Mar, Nova Esperança, Novo Cavaleiros, Engenho da Praia, Nova Holanda e Imboassica.	Alagamentos, vias interditadas e pessoas desalojadas (15)	Prefeitura de Macaé	https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/volume-de-chuva-supera-o-indice-esperado
7	31/10/2020	143,4	4,44	lagoas se rompem		Jornal O Debate	https://issuu.com/odebateon/docs/edi_c3_a7_c3_a3o_209969_2005-11-2020
8	20/12/2022	129,6	3,33	Linha verde, centro, granja dos cavaleiros		Site de notícias J3 news	https://j3news.com/2022/12/20/vidео-macae-enfrenta-alagamentos-e-transtornos-apos-chuva-forte/
9	08/11/2018	128,8	3,27			Site de notícias G1	https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2018/11/08/temporal-causa-queda-de-ponte-alagamentos-e-deixa-alunos-sem-aula-em-macae-rj-cidade-decreta-estado-de-calamidade.ghml

									Macaé, RJ, causa queda de ponte, alagamentos e deixa alunos sem aula; cidade decreta estado de calamidade Região dos Lagos G1 (globo.com)
10	01/12/2022	121	2,8	linha verde, linha azul, aroeira lagoa, novo cavaleiros, granja dos cavaleiros	Alagamentos, transbordamento da lagoa, desalojados (49) e desabrigados (19)	Site de notícias O Globo	Site de notícias SF Notícias	Site de notícias Prefeitura de Macaé	https://oglobo.globo.com/rio/noticia/2022/12/norte-fluminense-tem-alagamentos-e-desabrigados-apos-chuvas-uma-cidade-declara-estado-de-calamidade.ghtml
11	18/05/2019	118,4	2,67	Aroeira, centro, novo cavaleiros, novo horizonte, miramar, parque aeroporto		Site de notícias SF Notícias	Site de notícias Prefeitura de Macaé	https://sfnoticias.com.br/macaee-registra-mais-de-136-milímetros-de-chuva-em-24h-cidade-fica-debaixo-dagua	
12	13/2/2009	117	2,6	Piracema, Novo Cavaleiros, Nova Holanda	Alagamentos e entupimento de bueiros	Site de notícias Prefeitura de Macaé	Site de notícias Prefeitura de Macaé	https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/chuvas-prefeitura-continua-com-acoes-emergenciais	
13	21/01/2016	116	2,55	Nova Holanda, Nova Esperança, Soly mar, Visconde de araujo, campo d'oeste, Novo Horizonte.	Alagamento e transbordamento de canal	Site de notícias Prefeitura de Macaé	Site de notícias Prefeitura de Macaé	https://www.facebook.com/noticiasmacaef/posts/-fotos-a%C3%A9reas-das-ruas-alagadas-fotos-de-algumas-ruas-do-riviera-e-sol-y-mar-qua/1551962905130000/	
14	22/1/2009	106,6	2,14	Parque de Tubos, Terminal LAgoa, Linha vermelha, Soly mar, Visconde, Praia	Alagamentos	Site de notícias Prefeitura de Macaé	Site de notícias Prefeitura de Macaé	https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/prefeitura-busca-	

				Campista, Miramar					solucao-para-alagamentos
15	23/03/2024	97,8	1,85	Praia campista, campo do oeste, cajueiros, miramar e visconde	Alagamentos	Site de notícias Folha 1		https://www.folha1.com.br/geral/2024/03/1297587-chuva-ja-causa-transornos-em-bairros-de-macae.html	
16	16/04/2008	93,4	1,72	Malvinas, Imboassica, Novo Cavaleiros, Nova Holanda, Sol y Mar, Visconde de Araújo, Barra de Macaé, e Engenheiro da Praia.		Prefeitura de Macaé		https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/previsao-ainda-e-de-chuvas-para-o-resto-do-dia	
17	18/11/2008	91	1,66	Córrego do Ouro, Imbuuro, Lagoa, dentre outros	Desabrigados (14), obstrução de estradas, alagamentos	Prefeitura de Macaé		https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/chuvas-prefeitura-em-alerta	
18	18/3/2013	90,6	1,65						
19	17/4/2008	89,2	1,62	Botafogo, Malvinas, Barra de Macaé, Nova Holanda, Nova Esperança, Imboassica, Riviera Fluminense, Sol y Mar e Novo Cavaleiros	Alagamentos, entupimento de bueiros e 28 pessoas desabrigadas ou desalojadas	Prefeitura de Macaé		https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/macae-continua-trabalho-para-minimizar-efeitos-das-chuvas https://macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/macae-continua-trabalho-para-minimizar-efeitos-das-chuvas	
20	13/11/2007	89	1,61						

Fonte: Elaborado pela autora

O levantamento dos registros de notícias foi feito selecionando recortes das manchetes de jornal que continham fotos dos impactos na cidade. A seleção levantou impactos como ruas alagadas, calçadas destruídas, deslizamentos, e transbordo da lagoa. Algumas notícias também citam críticas ao sistema de drenagem da cidade, com diversas ruas apresentando pontos de alagamento, mesmo após o investimento em obras por parte da prefeitura.

Figura 23: Notícia 03/12/2013

WWW.ODEBATEON.COM.BR • MACAÉ (RJ), TERÇA-FEIRA, 3 DE DEZEMBRO DE 2013 • ANO XXXVIII • Nº 8258 • FUNDADOR/DIRETOR: OSCAR PIRES • O JORNAL DE MAIOR CIRCULAÇÃO DO MUNICÍPIO • R\$ 1,00

Criança morre soterrada no dia em que chuvas alagam Macaé

Tempestade que atingiu a cidade durante a madrugada de ontem destruiu casas no Morro de Sant'Anna onde famílias foram desabrigadas. Transbordo de canais inundou ruas em vários bairros e no Centro da cidade. **PÁG. 5**

FOTOS KANA MANHÃES



Ruas da região central da cidade ficaram completamente alagadas pelas chuvas que ocasionaram o desmoronamento de casas no Morro do Sant'Anna. Lixos atrapalharam drenagem das águas

Fonte: Jornal O Debate (2013)

Figura 24: Notícia 01/12/2013

Obras de R\$ 400 milhões não impedem transtornos

PASSA O TEMPO e o problema das enchentes em Macaé parece nunca ter uma solução. Quando foram anunciadas, as obras de macrodrenagem foram vistas com muito entusiasmo e expectativa pela população, mas, pelo que tudo indica, de grande mesmo só foi o dinheiro gasto. Foram mais de R\$ 400 milhões investidos, porém o resultado frustra os habitantes da Capital Nacional do Petróleo. Nem mesmo o prazo de conclusão, que era previsto para o final de 2012, foi cumprido.



PM coíbe venda clandestina de gás

Agentes vistoriaram bares situados em várias comunidades



Equipe apreendeu material

Nível da Lagoa ultrapassa limite

CONSIDERADO UM DOS mananciais mais importantes da região, a Lagoa de Imboassica registrou novamente um aumento significativo em seu nível. Esse fator é decorrente das chuvas que atingiram a cidade nos últimos dias. Na região da Morada das Garças, onde foi instalada a régua medidora, o nível da lagoa atingia 135 cm, ou seja, acima do limite máximo suportável.



Fonte: Jornal O Debate (2013)

R\$ 1,00

Macaé (RJ), sexta-feira
22 de janeiro de 2016
Ano XI, Nº 8923
Fundador/Diretor: Oscar Pires

O DEBATE

facebook/odebate
twitter/odebate
issuu/odebateon

www.odebateon.com.br

DIÁRIO DE MACAÉ

CIDADE

Bairros alagados mesmo após obras da Macro drenagem

Volume excessivo de chuvas registrado durante a madrugada causou transtornos em vários pontos de Macaé, afetando o trânsito e até a rotina de atendimentos do poder público

POR CONTA DAS chuvas que atingiram a cidade na madrugada de ontem (21), Macaé entrou em estágio de atenção. Em apenas 12 horas, o volume foi de 40 milímetros. Por conta disso, a Defesa Civil segue monitorando todo o município, mas sem registro de ocorrências até o momento. O forte temporal causou vários pontos de alagamento, entre eles, locais onde foram investidos milhões em obras de macrodrenagem e urbanização. Nova Holanda e Nova Esperança foram alguns dos pontos mais críticos em toda a cidade. A situação também ficou complicada na Avenida Evaldo Costa, onde foram investidos mais de R\$ 200 milhões em obras de macrodrenagem. Os bairros do entorno - Sol y Mar, Visconde de Araújo, Campo d'Oeste, Riviera Fluminense e Novo Horizonte - foram atingidos por conta disso. Ao contrário do habitual, dessa vez a água demorou para escoar. Por conta disso, um ônibus do transporte público municipal chegou a ficar preso na fiação derrubando um poste no muro de uma residência. Segundo a prefeitura, bombas de drenagem das chuvas tem funcionamento automático e auxiliam no escoamento da água, já que Macaé tem a peculiaridade de ter alguns pontos da cidade abaixo do nível do mar e ocupações que foram realizadas em áreas alagadiças. **PÁG. 2**



A Avenida Evaldo Costa amanheceu completamente interditada, o que impactou diretamente no trânsito da Rodovia Amaral Peixoto

POLÍTICA

Audiência sobre nova concessão é adiada

A AUDIÊNCIA PÚBLICA agendada para o próximo dia 28, que marcaria uma segunda etapa de discussões sobre a nova concessão do transporte público de Macaé, precisou ser adiada. De acordo com Evandro Esteves, secretário municipal de Mobilidade Urbana, a decisão está relacionada aos prazos previstos na Lei Federal 8.666/93, que rege as regras para a realização de concorrências públicas no país, assim como pelo artigo 104 da Lei Orgânica do Município, que estabelece critérios para a tramitação de projetos que envolvam grande impacto ambiental. Segundo as legislações citadas por Evandro, a Audiência Pública deve ser realizada 10 dias após a sua convocação. **PÁG. 3**



Rouñão abriu debate

CIDADE

Nível dos rios sobe

ALAGAMENTOS

Transtornos voltam a ser registrados em decorrência das fortes chuvas

Segundo a prefeitura, entre o final da tarde e o início da noite de quinta-feira, choveu 50mm

Mais uma vez o macaense viu a rotina ser afetada por conta das fortes chuvas que atingiu o município nas últimas horas. O temporal da noite da última quinta-feira (28), gerou grandes transtornos de norte a sul da Capital do Petróleo. Em nota, a prefeitura, por meio da Secretaria Municipal Adjunta de Defesa Civil, informou que o volume de chuva registrado entre o final da tarde e o início da noite foi de 50 mm, em menos de 1h.

Foram registrados pontos de retenção de água em vários bairros. Os mais afetados foram o Centro, Miramar, Parque Aeroporto e Aroeira. "Desde o final do ano passado a chuva não vinha assim tão forte. O que frustra é que nada muda. O poder público deixa para tomar medidas emergenciais depois que a coisa acontece. Não vejo a prefeitura adotar nenhum plano de prevenção. A população também é outra que não tem educação. Jogam lixo na rua, entopem os bueiros e quando chove é isso que podemos ver. Toda vez a água entra na minha casa e me causa prejuízos. Eu já penso até em me mudar daqui", diz uma moradora do Centro, que pede sigilo do nome.

Na rodoviária, pessoas relatam que caminharam com água acima do joelho na tentativa de pegar o ônibus. "Quando sai, por volta das 17h30, já estava tudo alagado. Tive que voltar para o trabalho e esperar até depois das 20h para conseguir ir embora", relata José, que mora em Barra de São João e trabalha em Macaé.



Várias ruas da cidade ficaram completamente alagadas prejudicando o trânsito

O Hospital Público de Macaé (HPM) foi afetado com o grande volume de água. Parte do teto caiu na ala da maternidade e atingiu uma mulher grávida. Em um vídeo gravado por uma mulher que também estava no leito do hospital, as imagens

mostram infiltrações ao ponto de chover dentro do quarto onde estavam mulheres grávidas e recém-operadas. Segundo a Prefeitura, a gestante não ficou ferida e o atendimento médico e exames demonstraram que não houve prejuízos ao estado



Teto do leito da maternidade do Hospital Público de Macaé desabou durante o temporal

de saúde geral. "Ela, bem como os demais que estavam na enfermaria, foram realocados em outro espaço. O local afetado está interditado para receber reparos", informou o município. O Shopping Plaza Macaé também sofreu com o alagamento.

Na praça de alimentação, clientes registraram o momento em que chovia do lado de dentro. Funcionários, em conjunto, se uniram para escoar a água com rodo. O trânsito também ficou prejudicado. Vias como as linhas Azul e Verde ficaram

alagadas. Quem tentava voltar para casa buscava rotas seguras. "Não tem para onde ir. O jeito é esperar a água abaixar", diz Maria de Fátima.

Segundo a prefeitura, as bombas estão ligadas para auxiliar no escoamento das águas. A tendência, de acordo com a Defesa Civil, é de redução do volume de chuva nas próximas horas. A Defesa Civil diz que está em estado de atenção em função da chuva e, se houver necessidade, a população pode entrar em contato pelos telefones 199 ou 2793-3846 (região serrana).

CUIDADOS EM ÁREA DE RISCO

A prevenção é fundamental para evitar tragédias em caso de acidentes. Caso o nível dos rios continue a subir, o risco de que a água invada as casas é grande, colocando em perigo a segurança de várias famílias.

Até a manhã de sexta-feira (1), o nível dos rios estava em estágio de vigilância, segundo o Instituto Estadual do Ambiente (Inea). Apesar disso, o cuidado deve ser redobrado, pois os níveis podem voltar a subir.

Além das famílias ribeirinhas, quem mora em locais onde há risco de deslizamentos (encostas) também deve prestar atenção. Alguns sinais podem indicar que o imóvel corre riscos de desabamento. Em casos de rachadura nos pisos ou paredes, estalos ou postes e árvores inclinadas, recomenda-se que a pessoa saia da casa imediatamente e acione a Defesa Civil.

ALAGAMENTO

Com 156 milímetros de chuva, Macaé se transforma em caos

Temporal deixou ruas alagadas na área central e bairros como, Sol Y Mar, Aroeira, Riviera, Glória e Imbuuro, foram mais castigados, no último fim de semana

O MUNICÍPIO DE Macaé está em estado de atenção com a previsão de fortes chuvas que ocorre desde sábado (24), e pode se estender até esta sexta-feira (30). Segundo a Defesa Civil de Macaé, no sábado choveu 78 milímetros e no domingo (25) foram registrados 46 milímetros de chuva. Segundo a meteorologia pode chover forte esta semana, principalmente na sexta-feira (30), onde a previsão é vento, trovoadas e raio.

Na noite de sábado, algumas ruas da área central, como na Rua Benedito Peixoto, Vereador Abreu Lima, Nova Aurora, o bolsão d' água se formava com velocidade e alguns motoristas corriam para retirar os veículos que estavam estacionados em via pública.

Vários canais que cortam os bairros de Macaé e a área central da cidade transbordaram durante o temporal registrado no fim de tarde de sábado (24). Avenidas e ruas transversais ficaram intransitáveis, e com isso, vários comércios tiveram que fechar as portas devido ao volume da água que não conseguia escoar.

A Avenida Evaldo Costa, uma das vias importantes que corta os bairros Visconde de Araújo, Sol Y Mar, Campo do Oeste e Riviera, ficou parcialmente interditada. Estabelecimentos comerciais tiveram que encerrar o expediente às 19h, pois o volume da chuva aumentava gradativamente.

A principal via do bairro da Glória ficou intransitável, motoristas não se arriscavam em prosseguir com a viagem e faziam retorno.

Nas Ruas Expedicionário Miguel Marote Cabral, Alcides Mourão, na Aroeira, automóveis passavam pelas vias e as ondas d' água entravam nos estabelecimentos e nas residências.

Na Estrada do Imbuuro, água saía com muita força de um terreno baldio murado e fazia cascata de cachoeira na principal via que liga a zona



EU, LEITOR, O REPÓRTER

Ruas e avenidas ficaram intransitáveis após o temporal na noite de último sábado (24), provocando sérios danos à população macaense

rural da cidade.

O entra e sai de governo, os bairros que costumam ser mais atingidos são, Sol Y Mar, Campo do Oeste, Novo Horizonte, Riviera Fluminense, Costa do Sol, Miramar, Visconde de Araújo, Aroeira, Glória, Centro São José do Barreto, Cehab, Barramares, Engenho da Praia e Lagomar. Diante desse caos, a população pergunta: cadê as bombas de sucção?

**LEIA MAIS
AQUI**

ODEBATEON.COM.BR

Figura 28: Notícia 23/03/2024

CHUVAS

Força-tarefa atua para minimizar os impactos das fortes chuvas

As equipes das secretarias de Mobilidade Urbana e Serviços Públicos atuam para liberar acesso de várias vias do município

Fonte: Jornal O Debate (2024)

De modo geral, a recorrência de notícias relatando impactos negativos associados a eventos de chuvas intensas evidencia que esse tipo de ocorrência é frequente no município. Os registros levantados ao longo deste estudo representam uma pequena amostra dos impactos enfrentados pela cidade no seu dia a dia, que visa ilustrar a repetição de problemas como alagamentos, danos à infraestrutura urbana e limitações do sistema de drenagem frente a episódios de precipitação extrema.

CAPÍTULO 7 - PRODUTO TECNOLÓGICO

Como produto tecnológico deste trabalho foi gerado um relatório técnico, intitulado: Roteiro para a construção de curvas IDF, considerando aspectos de quebra de estacionariedade. Este produto visa sintetizar um roteiro de construção ou atualização das equações IDF, como forma de facilitar a difusão das metodologias de estudo das chuvas intensas, juntamente com a discussão crítica da necessidade de constante renovação dos resultados e aprimoramento de métodos. O objetivo deste produto é servir de amparo para órgãos vinculados aos municípios no acompanhamento das chuvas intensas, seja para fins de projetos de engenharia ou para a gestão de riscos de desastres, além de servir como subsídio para pesquisadores que estudam sobre o tema. O roteiro explicativo, e seus anexos com scripts gerados no RStudio, são disponibilizados no GitHub, para facilitar o amplo acesso. O repositório está disponibilizado no link: <https://github.com/isis-bezerra/Estacionariedade-e-Curvas-IDF.git>. Um extrato da primeira página do roteiro é apresentada no Apêndice B. O intuito do compartilhamento pela plataforma do GitHub é, também, possibilitar disponibilização de futuras complementações e/ou atualizações do roteiro, aproveitando a cultura de colaboração entre os usuários da comunidade.

CAPÍTULO 8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 CONCLUSÕES

No município de Macaé, têm sido observadas alterações na intensidade e na frequência das chuvas pelo menos nos últimos 10 anos. Essas mudanças impactam diretamente na metodologia das curvas IDF, e, por conseguinte, afetam o projeto e o dimensionamento de obras de drenagem urbana. Por outro lado, o município sofre com as consequências hidrológicas dessas chuvas: alagamentos, inundações e deslizamentos, demandando novas soluções de drenagem urbana, que inevitavelmente passarão pelas curvas IDF.

Neste trabalho, as alterações de padrão nas chuvas em Macaé foram investigadas estatisticamente nas séries históricas medidas, com uma constatação positiva quando considerados dados de medições mais recentes, dos últimos 18 anos (2007 a 2024). Tais mudanças sugerem quebras de estacionariedade e estão de acordo com os questionamentos levantados pela autora, bem como por diversos autores na revisão bibliográfica, que apontam possíveis alterações devido à urbanização ou às mudanças climáticas locais e globais.

Os testes estatísticos indicaram a presença de estacionariedade na série de máxima precipitação anual do INMET, nos registros de 2007 a 2024. Porém, quando utilizada uma série mais longa, medida na estação Oratório da ANA e compreendendo o período de 1967 a 2024, não foi identificada a estacionariedade em nível, pela presença de tendência significativa a 5%, na série de dados que, e que também registrou-se uma quebra de comportamento depois dos primeiros 19 anos de registros. Não existem dados antes da década de 1990 na série do INMET, não sendo é possível verificar se também haveria uma quebra. No entanto, a diferença de magnitude nos valores das equações antigas e nos da equação proposta por esse estudo indicaram que os tempos de retorno estão associados a intensidades mais elevadas.

Também se verificou-se neste trabalho o registro de impactos causados pelas chuvas intensas na cidade de Macaé (tanto aquelas de grande volume diário, quanto aquelas de grande intensidade horária). Isso evidencia a

importância de se monitorar a intensidade das chuvas de diferentes durações de forma contínua, de modo a atualizar modelos hidrológicos que são aplicados em projetos e obras de engenharia, a exemplo da própria equação IDF.

O monitoramento constante das chuvas é uma ação fundamental para a prevenção de desastres, e tem potencial de auxiliar trabalho feito pelos órgãos da defesa civil municipais e do estado. Os resultados indicam que é importante o acompanhamento da intensidade das chuvas (mm/h) e do acumulado total por período (mm), mas também devem ser relacionados ao nível de encharcamento do solo, pela cobertura de solo impermeabilizado no meio urbano, e pelas características naturais da área, como áreas anteriormente ocupadas por manguezais, que apresentam maior propensão a alagamentos.

Uma importante questão que se coloca é como introduzir os efeitos das possíveis mudanças climáticas para a elaboração das curvas IDF. Primeiro, devido à dificuldade de compreender as causas dessas mudanças ao longo do tempo, se devido à mudanças climáticas locais ou globais, ou ainda com interferência de ações antrópicas. Segundamente, porque o estudo das mudanças climáticas ainda é ciência em evolução, tornando as previsões imprecisas sobre o futuro dos eventos de chuva.

Este estudo evidenciou alterações significativas nas equações IDF para o município de Macaé quando incorporados dados pluviométricos mais recentes, indicando que os tempos de retorno atualmente estão associados a intensidades de chuva mais elevadas que aquelas estimadas por equações antigas. A análise de série de máximos anuais mais longas revelou a presença de tendência e rupturas de comportamento, reforçando os questionamentos sobre a validade da hipótese de estacionariedade ao longo do tempo. O levantamento de notícias mostrou que eventos de chuva intensa (tanto associados a altos acumulados quanto a elevadas intensidades horárias) têm resultado em impactos recorrentes no meio urbano, como alagamentos e inundações .

Estes achados reforçam a importância do monitoramento contínuo da precipitação, e indicam a necessidade da incorporação de novas práticas na área da hidrologia estatística para o estudo das chuvas intensas, que não mais poderá se apoiar em premissas de estacionariedade para estimar a intensidade de chuvas que está atrelada à segurança nas obras de drenagem, isto será de

grande importância para os projetos de engenharia e para o planejamento urbano na construção de cidades mais resilientes.

8.2 RECOMENDAÇÕES

Dado o fato de que as premissas de estacionariedade para a elaboração de modelos de chuvas intensas vêm sendo questionadas em diversos trabalhos nos últimos anos, e que também estão de acordo com os resultados desse trabalho, há a necessidade da atualização dos métodos de estudo e acompanhamento das chuvas intensas. Destacam-se a seguir algumas metodologias sugeridas para estudos futuros nesta área.

Com a crescente discussão da quebra de estacionariedade, destaca-se a necessidade de se manter a atualização das curvas IDF, elaborando sua correção de tempos em tempos, considerando a possibilidade de ocorrerem variações nos coeficientes das equações, seja devido ao processo de urbanização ou às mudanças climáticas (Minussi, 2020; Silva e Araújo, 2013; Santana e Silva Júnior, 2020). Isso possibilitaria a adoção de uma nova prática à correção da equação IDF de uma região, que agora estaria sendo utilizada por tempo determinado (por exemplo, a cada 15 anos), em vez de uma equação imutável para qualquer período de tempo.

Observou-se também, que embora a equação IDF seja amplamente utilizada, ela apresenta limitações, especialmente quando aplicada a contextos de mudanças climáticas. Por isso, sugere-se também combinar previsões dos cenários de mudanças climáticas e de mudanças no uso do solo para a modelagem das chuvas intensas, a fim de se construir modelos mais representativos ao longo tempo e fazer previsões das mudanças no padrão das chuvas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIB, A., GHAFARI RAD, S. (2019). *Development of a new integrated method for generation of IDF curves based on three scenarios of climatic changes*, Scientia Iranica, 26(2), pp. 742-751. doi: 10.24200/sci.2017.4593

ALBUQUERQUE, D. B.; GUIMARÃES, D. V. Desenvolvimento de equação de chuva intensa para o estado do Rio de Janeiro. 2018. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Departamento de Ciência e Tecnologia, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2018.

ALMEIDA, K. N. de; REIS, J. A. T. dos; MENDONÇA, A. S. F. *Emprego dos métodos expeditos de Chow Gumbel e Bell para formulação de equações de chuvas intensas – uma avaliação de desempenho*. Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 12, n. 2, p. 203–214, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2001>

ALMEIDA, W. S. Índices de Desagregação e Parâmetros de Chuva Intensa no Estado do Rio de Janeiro e Efeito da Chuva Simulada na Erosão Hídrica e Infiltração de Água no Solo. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2018.

BACK, A. J. Hidrologia estatística aplicada. Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 2001.

BARCELLOS, P. C. L.; *et al.* Diagnóstico meteorológico dos desastres naturais ocorridos nos últimos 20 anos na cidade de Duque de Caxias. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 319–329, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778631320150146>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/hrJJCvKV5MMqfsYx5QG7BbC/?lang=pt>. Acesso em: 26 ago. 2025.

BASSO, R. E.; ALLASIA, D. G.; TASSI, R.; PICKBRENNER, K.; *et al.* Revisão das isozonas de chuvas intensas do Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 4, p. 635–641, out./dez. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016133691>. Acesso em: 17 dez. 2025.

BEZERRA DA SILVA CAVALCANTE, Iara; FONSECA DA SILVA, Djane; CAVALCANTI BORBA BRANDÃO, Joanna Carolina. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação em Maceió-AL e de suas causas climáticas. *Pesquisas em Geociências*, [S. l.], v. 49, n. 4, p. e123971, 2023. DOI: 10.22456/1807-9806.123971. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/view/123971>. Acesso em: 26 ago. 2025.

BRASIL. Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Ministério dos Transportes; Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes; Diretoria de Planejamento e Pesquisa; Coordenação-Geral de Estudos e Pesquisa; Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2005. (Publicação IPR-715). Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf

CAMPOS, T. L. O. B.; MOTA, M. A. S.; SANTOS, S. R. Q. Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. *Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Taubaté, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1433>.

CARMO, R. L. do; ANAZAWA, T. M. Importância das equações de chuvas intensas na drenagem urbana. *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 9, p. 3801–3811, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232014199.07432014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/rkDmbW6G7GtNdrS9jvD8x9C/?lang=pt>. Acesso em: 17 dez. 2025.

CARVALHO, N. L. Projeto básico da Barragem de Gameleira, município de Picos – PI. Relatório técnico de engenharia. Picos: [s.n.], 2005.

CLARKE, R. T. *Stochastic Hydrology Revisited*. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 4, p. 97-104, out./dez. 2002.

Clarke, R. T., Estimating time trends in Gumbel-distributed data by means of generalized linear models, *Water Resour. Res.*, 38(7), doi:10.1029/2001WR000917, 2002.

CONCEIÇÃO NETO, R. C. da. Determinação da equação de intensidade, duração e frequência para chuvas intensas. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 730–739, 2024. DOI: 10.34188/bjaerv7n1-056. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/68304>. Acesso em: 15 dez. 2025.

COSTA, Julio Cezar et al. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 24, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v24i0.60237>.

COTTA, H. H. A.; CORREA, W. de S. C.; ALBUQUERQUE, T. T. de A.. Aplicação da distribuição de Gumbel para valores extremos de precipitação no município de Vitória-ES. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 19, p. 203, jul./dez. 2016. ISSN: 1980-055X (Impressa), 2237-8642 (Eletrônica).

CRUZ, W. P.. Análise estatística usando a distribuição de Weibull de ensaios de fadiga axial em juntas soldadas pelo processo GMAW e GMAW-CW. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal do Pará. Faculdade de Engenharia de Materiais Campus de Marabá. Marabá, 2013.

CUNNANE, C. Factors affecting choice of distribution for flood series. *Hydrological Sciences Journal*, v. 30, n. 1, p. 25–36, 1985.

DAMASCENO, C. O.; MARTINS, M. C. B. S. Urbanização e impactos ambientais no município de Macaé: uma análise climatológica. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 36, n. 21, p. 409–427, 2025.

DANTAS, C. E. O.; PINTO, E. J. A. Uma nova ferramenta para estudos de chuvas intensas: o ATLAS IDF. In: *Anais do 11º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Brasília, 2015. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/4/PAP020201.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2025.

DERECZYNSKI, C. P.; CALADO, R. N.; BARROS, A. B. de. Chuvas Extremas no Município do Rio de Janeiro: Histórico a partir do Século XIX. *Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, BR.*, v. 40, n. 2, p. 17–30, 2019. DOI: 10.11137/2017_2_17_30. Disponível em:

<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/24626>. Acesso em: 25 may. 2025.

DERECZYNSKI, C. P.; SILVA, W. L.; MARENGO, J. A. Detection and Projections of Climate Change in Rio de Janeiro, Brazil. *American Journal of Climate Change*, v. 2, n. 1, p. 25–33, 2013. DOI: 10.4236/ajcc.2013.21003. Disponível em: https://www.scirp.org/pdf/AJCC_2013032715233102.pdf.

DIAS, É. C.; PENNER, G. C. Intense rainfall equation for Abaetetuba-PA, Brazil: comparative study. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 10, n. 4, p. e31310414213, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.14213. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14213>. Acesso em: 15 dez. 2025.

FATICHI, S.; BARBOSA, S. M.; CAPORALI, E.; SILVA, M. E. Deterministic versus stochastic trends: detection and challenges. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, v. 114, p. D18121, 2009. doi:10.1029/2009JD011960

FENDRICH, R. Importância das equações de chuvas intensas na drenagem urbana. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999, Belo Horizonte, MG. Anais... Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, 1999. 13 p. Código: ABRH035. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=9346&>. Acesso em: 27 jun. 2025.

FISHER, R. A.; TIPPETT, L. H. C.. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. Cambridge University Press, 1928. p. 180-190.

GALINDO MOUSINHO, F.H.; LIMA, J.M. dos S.; ALVES PEREIRA, M.M.; PESSOA, J.O.; MACIEL OLIVEIRA, L.M.; SANTOS, S.M. dos; RIBEIRO DE PAIVA, A.L. Caracterização pluviométrica dos últimos 50 anos em Caruaru - PE, com análise de tendências, máximas diárias, Curvas IDF e distribuição Gumbel. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 958–973, 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v17.2.p958-973. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/259925>. Acesso em: 27 jun. 2025.

GARCIA, F.R; ALIXANDRINI JUNIOR, M.J. DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO REGIONALIZADA DE CHUVAS INTENSAS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO COBRE EM SALVADOR-BA. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [S. l.], v. 12, n. 1, p. e9332, 2023. DOI: 10.59306/rgsa.v12e12023e9332. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/9332.. Acesso em: 15 dez. 2025.

GOMEZ, G. R. *A bivariate return period copula application of flood peaks and volumes*. 2021. 42 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2021.

GILLELAND, E.; KATZ, Richard W. extRemes 2.0: An Extreme Value Analysis Package in R. *Journal of Statistical Software*, [S. l.], v. 72, n. 8, p. 1–39, 2016. DOI: 10.18637/jss.v072.i08. Disponível em: <https://www.jstatsoft.org/index.php/jss/article/view/v72i08> . Acesso em: 26 aug. 2025.

GONZÁLEZ M., C. A. Simulación hidrológica. *Ingeniería e Investigación*, n. 19, 1989. DOI: 10.15446/ing.investig.n19.19673. ISSN 2248-8723.

HOSKING, J. R. M. *L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO URBANO E GESTÃO AMBIENTAL – IPGA; PREFEITURA MUNICIPAL DE MACAÉ; PROJETO MACAÉ RIO SUSTENTÁVEL. *Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé*. Macaé, RJ: IPGA / Prefeitura Municipal de Macaé, 2015. Disponível em: <https://www.macaee.rj.gov.br/midia/conteudo/arquivos/1460067952.pdf>.

OSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by V. Masson-Delmotte et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

MACAÉ. Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil (PLANCON) 2024/2025. Macaé: Secretaria Municipal Adjunta de Defesa Civil, 2024.

MARQUES, C. F.; DIOGO, F. J. d'Almeida; SILVA, P. A. L. da. Determinação da equação de intensidade, duração e frequência da precipitação para a Vila Militar de Deodoro/Rio de Janeiro – RJ – Brasil. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*, [S. l.], v. 17, n. 13, p. e14147, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.13-533. Disponível em:

<https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/14147>.

Acesso em: 15 dez. 2025.

MEDEIROS, A. T.; THOMAS, L. A.; DORNELLES, F.; GOLDENFUM, J. A.. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas nos municípios de porto alegre – RS, Florianópolis – SC e curitiba – PR. XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas. Porto Alegre, 2020.

MENDES; I.V.S. Variabilidade da estimativa de eventos extremos de precipitação no município de Macaé–rj. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão*. Paranaguá, PR, v.6, n.2, p. 334-01, 334-14, 2021. DOI:10.21575/25254782rmetg2021vol6n21381.

MILLY, P. C. D.; BETANCOURT, J.; FALKENMARK, M.; HIRSCH, R. M.; KUNDZEWICZ, Z. W.; LETTENMAIER, D. P.; STOUFFER, R. J. Stationarity is dead: whither water management? *Science*, 319, 573–574, 2008

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Minas e Metalurgia. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Estudo geoambiental do estado do Rio de Janeiro: estudo de chuvas intensas no estado do Rio de Janeiro. Autores: Elisabeth Guelman Davis e Mauro Cunha Naghettini. Brasília, Dezembro 2000.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A.. Hidrologia estatística. Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Belo Horizonte, 2007.

NASH, J. C.; R CORE TEAM. Intro to nlsr: Introduction to the nlsr package in R. 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/nlsr/vignettes/Intro-to-nlsr.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2025.

NORCONSULT. Projeto executivo de pavimentação de acesso ao Observatório de Itacuruba – PE. Relatório técnico de engenharia. Recife: Norconsult Consultores de Engenharia, 2011.

OBEID, H.; ELKHOLY, M. Generalization of intensity-duration-frequency formula for Litani River Basin-Lebanon. International Journal of Applied Science, v. 4, n. 1, p. 11-__, 2021. DOI: <https://doi.org/10.30560/ijas.v4n1p11>

ODEBRECHT. Projeto executivo do Anel Rodoviário Metropolitano de Porto Alegre. Relatório técnico de engenharia. Porto Alegre: Odebrecht Engenharia e Construção, 2009.

PINTO, F. R. L.. Equações de Intensidade-Duração-Freqüência da Precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo: Estimativa e Espacialização. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>

RAMOS, P. L.; LOUZADA, F.; RAMOS, E; DEY, S. The Fréchet distribution: Estimation and Application an Overview. Institute of Mathematical and Computer Sciences, University of São Paulo. São Paulo, 2019.

REIS, C. J. dos; SOUZA, A.; GRAF, R.; KOSSOWSKI, T. M.; ABREU, M. C.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; FERNANDES, W. A. Modeling of the air temperature using the Extreme Value Theory for selected biomes in Mato Grosso do Sul (Brazil). Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, v. 36, n. 10, p. 3499–3516, 2022. DOI: 10.1007/s00477-022-02206-1. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00477-022-02206-1>. Acesso em: 15 dez. 2025.

RIBEIRO, M.E.; BORTOLIN, T.A.; MENDES, L.A.; SANTA RITA, L.C.S. Análise de Séries Hidrológicas na Bacia Hidrográfica afluyente à Usina Hidrelétrica Castro Alves, RS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S. l.], v. 14, n. 4, p. 2042–2058, 2021. DOI: 10.26848/rbgf.v14.4.p2042-2058. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/248601> . Acesso em: 9 jun. 2025.

RIO DE JANEIRO. Plano de Contingências do Estado do Rio de Janeiro (PLANCON) 2024/2025. Rio de Janeiro: Secretaria de Estado de Defesa Civil, 2024.

SABINO, M.; SOUZA, A. P. de; ALMEIDA, F.T. de; ZOLIN, C. A.; LISBOA, L.. Desagregação de chuvas diárias no estado de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 37, n. 4, p. 427–439, out./dez. 2022. DOI: 10.1590/0102-77863740077. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/3GkHcFqtn8KYRZcvWfPWWmgk/?lang=pt>.

Acesso em: 15 dez. 2025

SABINO, M.; SOUZA, A. P. de; ULIANA, E. M.; ALMEIDA, F. T. de; LISBOA, L.; ZOLIN, C. A.. Distribuições de probabilidade para intensidade de precipitação máxima no estado de Mato Grosso. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, 2021. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/15189>

SANTANA, N. F. J. de; SILVA JUNIOR, M. A. B. da. Desenvolvimento de Curvas Intensidade-Duração-Frequência para Dois Municípios do Sertão de Pernambuco. *Revista Científica ANAP Brasil*, São Paulo, Brasil, v. 13, n. 30, 2020. DOI: 10.17271/19843240133020202603. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap_brasil/article/view/2603. Acesso em: 15 dez. 2025.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Atlas de chuvas intensas do Brasil (Atlas IDF). Rio de Janeiro, RJ: CPRM, 2013. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br>. Acesso em: 17 dez. 2025.

SILVA, A. T. *CAELUS*: ferramenta de inteligência artificial para predição de parâmetros da equação de chuvas intensas e apoio à tomada de decisão. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2024.

SILVA, B. Y. C.. Análise dos dados de precipitação, temperatura máxima e umidade relativa do ar no município do Rio de Janeiro - RJ via teoria dos valores extremos. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Instituto de Matemática e Estatística. Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2019.

SIMÃO, C. N. Sensibilidade da modelagem hidráulica de ruptura de barragem ao dado topográfico e ao coeficiente de rugosidade. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

SILVA, S. R. da; ARAÚJO, G. R. de Sousa. Algoritmo para Determinação da Equação de Chuvas Intensas. Revista Brasileira de Geografia Física, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 1371–1383, 2013.

TEODORO, T. A. et al. Análise das estimativas da precipitação diária do produto GPM-IMERG na bacia hidrográfica do Rio Sapucaí, região sudeste do Brasil. Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, v. 43, n. 2, p. 449–459, 2020. DOI: https://doi.org/10.11137/2020_2_449_459.

TORRICO, J. J. T. Práticas Hidrológicas. Grupo Transcon. Rio de Janeiro, 1974.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2001. 943 p.

TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Brasília: Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, p. 150, 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC). Pluvia 1.1: programa para estimativa de equações de chuvas intensas. Fortaleza, CE: Universidade Federal do Ceará, 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). Plúvio 2.1: software para determinação de equações intensidade–duração–frequência de chuvas. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006.. Acesso em: 17 dez. 2025.

WANG, J.; JI, T.; LI, M.. A combined short-term forecast model of wind power based on empirical mode decomposition and augmented Dickey-Fuller test. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED ELECTRICAL AND ENERGY SYSTEMS, 2021. Journal of Physics: Conference Series, [s. l.], v. 2022, n. 1, p. 012017, 2021. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1742-6596/2022/1/012017.

APÊNDICE A – DADOS AUSENTES DAS ESTAÇÕES

Tabela A1: Dados ausentes da estação Oratório (ANA)

Estação Oratório (ANA)	
Ano	NA (%)
1967	25,70
1968	0
1969	0
1970	0
1971	0
1972	0
1973	0
1974	2,74
1975	3,56
1976	0
1977	0
1978	0
1979	0
1980	16,67
1981	31,23
1982	2,47
1983	1,64
1984	0
1985	7,67

Estação Oratório (ANA)	
Ano	NA (%)
1986	21,37
1987	3,29
1988	0
1989	0
1990	0
1991	0
1992	0,82
1993	6,30
1994	0
1995	0
1996	0
1997	0
1998	0
1999	0
2001	0
2002	0
2003	0
2004	0
2005	0

Estação Oratório (ANA)	
Ano	NA (%)
2006	0,27
2007	0
2008	0
2009	0
2010	0
2011	0
2012	0
2013	0
2014	0
2015	0
2016	0
2017	0
2018	0
2019	0
2020	0
2021	0
2022	0
2023	0
2024	0

Tabela A2: Dados ausentes da estação A608 (INMET)

Estação A608 (INMET)	
Ano	NA (%)
2006	5,88
2007	0,27
2008	6,01
2009	0,82
2010	0,55
2011	12,05
2012	10,11
2013	20,55
2014	0
2015	0
2016	0,27
2017	10,68
2018	3,01
2019	0
2020	0
2021	18,90
2022	0,00
2023	0
2024	12,30