



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
Área de Concentração: Dinâmicas Territoriais e Estudos Ambientais



FREQUÊNCIA, INTENSIDADE E TENDÊNCIAS NOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA EM ITUIUTABA/MG, NO PERÍODO DE 1967 A 2019

LAIANE CRISTINA DE FREITAS

UBERLÂNDIA/MG
2021

LAIANE CRISTINA DE FREITAS

**FREQUÊNCIA, INTENSIDADE E TENDÊNCIAS NOS EVENTOS EXTREMOS DE
CHUVA EM ITUIUTABA/MG, NO PERÍODO DE 1967 A 2019**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como exigência parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Dinâmicas Territoriais e Estudos Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira

**Uberlândia/MG
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

F866f
2021 Freitas, Laiane Cristina de, 1993-
Frequência, intensidade e tendências nos eventos extremos de chuva em Ituiutaba/MG, no período de 1967 a 2019 [recurso eletrônico] / Laiane Cristina de Freitas. - 2021.

Orientador: Vanderlei de Oliveira Ferreira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Geografia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.5553>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Geografia. I. Ferreira, Vanderlei de Oliveira, 1957-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU:910.1

Glória Aparecida
Bibliotecária - CRB-6/2047



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia
Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.ppgeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	GEOGRAFIA				
Defesa de:	Mestrado Acadêmico, Número 510, PPGGEO				
Data:	28 de junho de 2021	Hora de início:	09h:00m	Hora de encerramento:	12h:50m
Matrícula do Discente:	11912GEO009				
Nome do Discente:	Laiane Cristina de Freitas				
Título do Trabalho:	Frequência, intensidade e tendências nos eventos extremos de chuva em Ituiutaba/MG, no período de 1968 a 2019				
Área de concentração:	GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO				
Linha de pesquisa:	ESTUDOS AMBIENTAIS E GEOTECNOLOGIAS				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se no Anfiteatro/Sala [On Line], Campus [Google Meet], da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em GEOGRAFIA, assim composta: Professores Doutores: Fulvio Cupolillo - IFMG - MG; Paulo Cezar Mendes - IG-UFU e Vanderlei de Oliveira Ferreira - IG-UFU orientador(a) do(a) candidato(a). Em virtude da Pandemia COVID-19, todos os membros participaram de forma on-line.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Vanderlei de Oliveira Ferreira - IG-UFU, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Vanderlei de Oliveira Ferreira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/06/2021, às 12:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por **Fulvio Cupolillo, Usuário Externo**, em 28/06/2021, às 13:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Cezar Mendes, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/06/2021, às 18:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2852382** e o código CRC **46369EE4**.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Programa de Pós-Graduação em Geografia



LAIANE CRISTINA DE FREITAS

**FREQUÊNCIA, INTENSIDADE E TENDÊNCIAS NOS EVENTOS EXTREMOS DE
CHUVA EM ITUIUTABA/MG, NO PERÍODO DE 1967 A 2019**

Prof. Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira (Orientador)
Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Prof. Dr. Fulvio Cupolillo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG

Prof. Dr. Paulo Cezar Mendes
Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Data: _____ / _____ de _____

Resultado: _____

Dedico este trabalho a todos os pós-graduandos do Brasil, que mesmo em meio ao caos que a pandemia do COVID-19 acarretou em nosso cotidiano, rotina de trabalho e pesquisa, conseguimos nos manter empenhados em prol da manutenção da ciência brasileira. Apesar de todos os pesares, principalmente, em decorrência a todas as vidas perdidas até aqui.

AGRADECIMENTOS

Deixo registrado nessas linhas o imenso orgulho que sinto ao olhar para minha trajetória construída até aqui. Não foi nada fácil! Nem de longe é possível achar que foi, principalmente atravessando todos os empecilhos que a pandemia do COVID-19 causou. Por isso retomo meus agradecimentos a toda perseverança que lapidei e que me motivou a continuar dia após dia e que hoje me dá a certeza da quão preciosa é mais essa conquista.

Perseverança essa que não se originou sozinha, mas que foi sendo revigorada por pessoas incríveis das quais tenho imensa satisfação e alegria em tê-los conhecido no decorrer dessa caminhada, onde alguns vieram e já se foram, e outros ao meu lado ainda permanecem. E, em meio a isso, não tem como não me referir a aquela que considero ser minha força motriz, minha mãe Luzia, mulher que sempre enxergou no horizonte uma oportunidade de sempre ir além, mesmo quando nenhuma outra pessoa consegue visualizar.

Também, a pessoa que sumariamente esteve todos os dias ao meu lado desde antes de minha inserção na pós-graduação e foi-se mostrando como um ponto de apoio do qual independente da situação, sempre me mostra que vai haver uma luz no fim do túnel. O Augusto é essa pessoa, ele extrai de qualquer situação uma nova versão sobre a minha pessoa e me coloca de uma forma gentil tão fora da minha zona de conforto que arrisco a dizer que ao lado dele não existe um dia sequer de monotonia.

Seguido daqueles que hoje considero como aqueles tais “amuletos da sorte” que usualmente as pessoas remetem a algo que traz felicidade, mas que no meu caso me trouxeram bem mais que isso, já que Stefany, Tatiane e João Victor, são os amigos que todo mundo deveria ter, porque nada como um bom café e cinco minutos de prosa com eles para que a vida se mostre bem mais leve e feliz. Mesmo diante de qualquer adversidade, como esta que rotineiramente vivenciando através do distanciamento social.

Nesse sentido, menciono aquele que me orientou durante esse mestrado, desde o início e diante de todos os percalços, Prof. Dr. Vanderlei que me auxiliou quanto a novas perspectivas sobre a vida acadêmica e sobre a importância da pesquisa no Brasil, tudo de modo tão paciente que meu muito obrigada não exprime em totalidade o que eu gostaria de dizer. Mesmo assim, muito obrigada!

Agradeço também aos membros que compuseram minha banca de qualificação e defesa, o Prof. Dr. Rildo Aparecido Costa, Paulo Cezar Mendes e Prof. Dr. Fulvio Cupolillo, que gentilmente contribuíram para melhor lapidação dessa pesquisa. E, do mesmo modo, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de

Uberlândia, que ao me receber contribui como base na minha formação enquanto profissional e na experiência que levarei para toda a vida. E, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo apoio financeiro durante todo o mestrado, no qual contribuiu grandemente na realização dessa pesquisa. Muito obrigada!

RESUMO

As primeiras décadas do século XXI evidenciaram crescente interesse de estudiosos sobre o clima em quantificar e modelar a frequência exata dos eventos extremos de chuva, partindo de análises de séries históricas cada vez mais extensas, possibilitando observações periódicas e o monitoramento de indícios de possíveis tendências quanto ao comportamento desses eventos no melhoramento de estimativa com relação a projeções, principalmente, devido ao desenvolvimento de mecanismos que melhor adequem a organização e gestão do território. Com base nessas premissas a pesquisa desenvolvida através dessa dissertação objetivou identificar e analisar a frequência, intensidade e tendências nos eventos extremos de chuva, partindo da análise temporal de dados diários de chuva no período entre 1967 até 2019 (compreendendo uma série histórica com 53 anos de dados), do município de Ituiutaba localizado a oeste do estado de Minas Gerais na região Sudeste, escolhido após pesquisa quantitativa que identificou uma defasagem considerável de estudos realizados com esta temática no município. E, para melhor dissertação acerca das temáticas centrais da pesquisa, a construção do referencial teórico foi pautada na abordagem de bibliografias clássicas e contemporâneas, principalmente aquelas desenvolvidas nas primeiras décadas do século XXI, no qual apresentou aumento expressivo no desenvolvimento de estudos sobre o que são e a gênese, consequências de suas atuações e tentativas de estimativas quanto à periodicidade de ocorrências de eventos extremos de chuva. Assim, através dos dados utilizados foi possível: analisar a dinâmica do regime pluviométrico do município; identificar e categorizar os episódios de eventos extremos diários; quantificar as variáveis das grandezas de Intensidade-Duração-Frequência das chuvas intensas, bem como, compor uma Curva de IDF válida para o município; e, averiguar possíveis indícios de tendência na série histórica, por meio do processo de hierarquização e classificação desses dados. Logo, os resultados indicaram que ao considerar o comportamento habitual das chuvas no município de Ituiutaba/MG, a distribuição das chuvas apresenta expressiva concentração nos meses de outubro a março, no qual é o período de maior ocorrência de eventos extremos de chuva ocasionando episódios que vão desde a categoria de Nível I (intensidade pequena) até o Nível IV (intensidade muito grande), e, ao averiguar como esses eventos se distribuem temporalmente no período de retorno de 2, 5, 10, 15, 25, 50, 75, 100 e 500 anos, e tempo de duração de até 24 horas e até 1440 minutos, foi constituída a relação das variáveis da Curva IDF estimando como tais eventos extremos de chuva evoluem no decorrer dos anos estabelecidos. E, por fim, ao averiguar o fator tendência considerando a relação entre a variável chuva (objeto central analisado) e variável tempo (meses e anos que foram analisados), identificou os meses de outubro e dezembro apresentam indícios variações de tendência e que devem ser plausível de atenção através do desdobramento de novas pesquisas no município de Ituiutaba/MG.

Palavras-Chave: Eventos extremos de chuva; IDF; Análise de tendência; Ituiutaba; Minas Gerais.

ABSTRACT

The first decades of the 21st century evidenced a growing interest of climate scholars in quantifying and modeling the exact frequency of extreme rain events, starting from analyzes of increasingly extensive historical series, enabling periodic observations and monitoring of evidence of possible trends regarding the behavior of these events in the improvement of estimates in relation to projections, mainly due to the development of mechanisms that better suit the organization and management of the territory. Based on these premises, the research developed through this dissertation aimed to identify and analyze the frequency, intensity and trends in extreme rain events, starting from the temporal analysis of daily rainfall data in the period between 1967 and 2019 (comprising a historical series with 53 years of data), from the municipality of Ituiutaba located to the west of the state of Minas Gerais in the Southeast region, chosen after quantitative research that identified a considerable gap in studies carried out on this theme in the municipality. And, for a better dissertation on the central themes of the research, the construction of the theoretical framework was based on the approach of classic and contemporary bibliographies, especially those developed in the first decades of the 21st century, in which there was a significant increase in the development of studies on what they are and the genesis, consequences of their actions and attempts to estimate the periodicity of occurrences of extreme rain events. Thus, through the data used, it was possible to: analyze the dynamics of the city's rainfall regime; identify and categorize episodes of daily extreme events; quantify the variables of the magnitudes of Intensity-Duration-Frequency of intense rains, as well as compose an IDF Curve valid for the municipality; and, investigate possible indications of trends in the historical series, through the process of ranking and classifying these data. Therefore, the results indicated that when considering the usual behavior of rainfall in the municipality of Ituiutaba/MG, the distribution of rainfall shows a significant concentration in the months of October to March, which is the period of greatest occurrence of extreme rain events causing episodes that they range from Level I (small intensity) to Level IV (very large intensity), and by looking at how these events are temporally distributed in the return period of 2, 5, 10, 15, 25, 50, 75, 100 and 500 years, and duration of up to 24 hours and up to 1440 minutes, the relation of the variables of the IDF Curve was constituted, estimating how such extreme rain events evolve over the established years. And, finally, when investigating the trend factor considering the relationship between the rain variable (the central object analyzed) and the time variable (months and years that were analyzed), he identified the months of October and December show signs of trend variations and that should be plausible attention through the development of new research in the city of Ituiutaba/MG.

Keywords: Extreme rain events; IDF; Trend analysis; Ituiutaba; Minas Gerais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pluviosidade média, anual e sazonal do Brasil, determinada através de medições registradas no período de 1961-2001.....	27
Figura 2: Estimativa anual de desastres originários da frequência de eventos extremos climáticos de configurações geofísicos, meteorológicos, hidrológicos e climatológicos em escala mundial entre 1980 a 2012.....	32
Figura 3(a,b): Tipos de impactos oriundos da ocorrência de eventos extremos e estimativas de perdas humanas e econômicas durante as décadas de 1991 a 2010 no mundo.....	34
Figura 4: Mapa da localização geográfica da cidade de Ituiutaba/MG (2021).....	47
Figura 5: Evolução e surgimento de diferentes estruturas e espaços na área urbana do município de Ituiutaba/MG.....	49
Figura 6: Mapa de setorização dos bairros da área urbana do município de Ituiutaba/MG (2021).....	50
Figura 7: Rocha do tipo arenito da Formação Marília presente no relevo residual popularmente conhecido como ‘Serra do Corpo Seco’ no município de Ituiutaba/MG.....	52
Figura 8: Rocha do tipo basalto da Formação Serra Geral apresentando afloramento no curso d’água do Córrego São Lourenço no município de Ituiutaba/MG.....	52
Figura 9: Vista aérea do Setor Central, entre as Ruas 26 até 16 da área urbana do município de Ituiutaba/MG.....	53
Figura 10: Vista aérea do Rio Tijuco no município de Ituiutaba/MG.....	53
Figura 11: Localização da Estação Pluviométrica 1849000 da Agência Nacional das Águas – ANA	58
Figura 12: Fórmulas aplicadas na classificação dos níveis de intensidade das chuvas.....	60
Figura 13: Carta Sinótica do território brasileiro do dia 03 de fevereiro de 1980.....	83
Figura 14: Carta Sinótica do território brasileiro do dia 20 de outubro de 1969.....	85
Figura 15: Carta Sinótica do território brasileiro do dia 04 de abril de 1977.....	86
Figura 16: Carta Sinótica do território brasileiro no dia 03 de novembro de 1979.....	88
Figura 17: Carta Sinótica do território brasileiro no dia 06 de dezembro de 2019.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Totais anuais e valores mensais máximos e mínimos registrados em Ituiutaba/MG (1967-2019).....	70
Tabela 2: Maiores alturas pluviométricas máximas registradas no decorrer de um dia (24 horas) em cada ano do município de Ituiutaba/MG (1967-2019).....	73
Tabela 3: Síntese do número de dias e dos meses que mais registraram dias de chuva em Ituiutaba/MG (1967-2019).....	76
Tabela 4: Limiar provável e corrigido das alturas pluviométricas máximas nos diferentes períodos de retorno para o município de Ituiutaba/MG.....	92
Tabela 5: Alturas pluviométricas máximas (mm) para as diferentes durações (horas) de chuvas de acordo com períodos de retornos (anos) estabelecidos para o município de Ituiutaba/MG	93
Tabela 6: Intensidade das chuvas (mm) conforme a duração (minutos) e o período de retorno (anos) estabelecidos para o município de Ituiutaba/MG	93
Tabela 7: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 2 anos.....	95
Tabela 8: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 5 anos.....	95
Tabela 9: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 10 anos.....	96
Tabela 10: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 25 anos.....	97
Tabela 11: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 50 anos.....	98
Tabela 12: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 75 anos.....	99
Tabela 13: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 100 anos.....	100
Tabela 14: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 500 anos.....	101
Tabela 15: Valores das variáveis A substituído por ‘d’ e B substituído por ‘c’.....	102
Tabela 16: Valores obtidos de A e B para todos os períodos de retorno (anos).....	103
Tabela 17: Índices de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) das chuvas no município de Ituiutaba/MG.....	105
Tabela 18: Aplicação dos testes de normalidade e de ruído branco na série histórica (1967-2019) de Ituiutaba/MG.....	108
Tabela 19: Relação dos resíduos de ruído branco com a condição de autocorrelação em diferentes intervalos de tempo com base na série histórica (1967-2019) de Ituiutaba/MG.....	109
Tabela 20: Resultado da aplicação do teste estatístico de Mann-Kendall na série histórica (1967-2019) do município de Ituiutaba/MG.....	111

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Médias pluviométricas mensais do município de Ituiutaba/MG (1967-2019).....	72
Gráfico 2: Relação das maiores alturas pluviométricas máximas diárias de Ituiutaba/MG (1967-2019).....	75
Gráfico 3: Discrepância no decorrer de cada ano entre dias com chuva e dias sem chuva no município de Ituiutaba/MG.....	78
Gráfico 4: Totais pluviométricos, alturas pluviométricas máximas diárias e média mensal de dias com chuva em Ituiutaba/MG (1967-2019).....	79
Gráfico 5: Intensidade estimada no período de retorno de 2 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos.....	95
Gráfico 6: Intensidade estimada no período de retorno de 5 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos.....	96
Gráfico 7: Intensidade estimada no período de retorno de 10 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos.....	97
Gráfico 8: Intensidade estimada no período de retorno de 25 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos.....	98
Gráfico 9: Intensidade estimada no período de retorno de 50 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos.....	99
Gráfico 10: Intensidade estimada no período de retorno de 75 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos.....	100
Gráfico 11: Intensidade estimada no período de retorno de 100 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos.....	101
Gráfico 12: Intensidade estimada no período de retorno de 500 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos.....	102
Gráfico 13: Regressão entre valores obtidos da regressão ‘d’ observadas e modeladas e os respectivos períodos de retorno (anos).....	103
Gráfico 14: Curva de IDF (Intensidade-Duração-Frequência) do município de Ituiutaba/MG.....	105
Gráfico 15: Autocorrelação em relação à defasagem de cada intervalo de tempo (Lag).....	110
Gráfico 16: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de janeiro.....	112
Gráfico 17: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de fevereiro.....	112
Gráfico 18: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de março.....	112
Gráfico 19: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de abril.....	112
Gráfico 20: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de maio.....	113
Gráfico 21: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de junho.....	113
Gráfico 22: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de julho.....	113

Gráfico 23: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de agosto.....	113
Gráfico 24: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de setembro.	113
Gráfico 25: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de outubro...	113
Gráfico 26: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de novembro.....	114
Gráfico 27: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de dezembro.....	114
Gráfico 28: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os totais acumulados mensais na série histórica.....	114

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Coeficientes proposto por Campos-Aranda (1978).....	63
Quadro 2: Relação dos níveis de intensidade de eventos extremos de chuva diária no município de Ituiutaba/MG (1967-2019).....	81
Quadro 3: Número de ocorrência dos eventos extremos de chuva quanto à categoria do nível de intensidade identificados no município de Ituiutaba/MG (1967-2019).....	82
Quadro 4: Notícias divulgados pela mídia alertando a população sobre ocorrências de chuvas em dezembro de 2019.....	90

LISTA DE EQUAÇÕES

(Equação 1)	38
(Equação 2)	62
(Equação 3)	62
(Equação 4)	62
(Equação 5).....	63
(Equação 6)	63
(Equação 7)	64
(Equação 8)	64
(Equação 9)	65

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
WMO	World Meteorological Organisation
ANA	Agência Nacional de Águas
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
DNMET	Departamento Nacional de Obras de Saneamento
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
RGI	Região Geográfica Intermediária
RGI _m	Região Geográfica Imediata
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
mEc	massa Equatorial continental
mTc	massa Tropical continental
mTa	massa Tropical atlântica
mPa	massa Polar atlântica
LI	Linhas de Instabilidade
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
hab	habitante
pH	potencial hidrogeniônico
km	quilômetro
EUA	Estados Unidos da América
MG	Minas Gerais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1. Regime pluviométrico	23
2.2. Condições associadas a eventos extremos de chuva	29
2.3. Relação Intensidade-Duração-Frequência dos eventos extremos de chuva.....	36
2.4. Identificação de tendência em séries históricas de chuva	41
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	45
3.1. Localização, formação territorial e aspectos socioeconômicos.....	45
3.2. Características fisiográficas	51
3.3. Clima e sistemas atmosféricos que mais influenciam na ocorrência das chuvas.....	54
4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	57
4.1. Aquisição e organização dos dados que compõem a série histórica	57
4.2. Procedimentos estatísticos adotados preliminarmente	59
4.3. Metodologia dos Máximos de Precipitação.....	59
4.4. Curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência).....	61
4.5. Teste não paramétrico de Mann-Kendall	65
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
5.1. Caracterização do regime pluviométrico	69
5.1.1. Distribuição pluviométrica mensal e anual.....	69
5.1.2. Alturas pluviométricas máximas em intervalos diários.....	73
5.1.3. Registro dos dias ao mês com ocorrência de chuva.....	76
5.1.4. Síntese do regime pluviométrico	79
5.2. Análise sinótica dos diferentes níveis de eventos extremos diários de chuva.....	81
5.2.1. Nível I – intensidade pequena	83
5.2.2. Nível II – intensidade média.....	84
5.2.3. Nível III – intensidade grande.....	86
5.2.4. Nível IV – intensidade muito grande	87
5.3. Análise geoestatística dos eventos extremos diários de chuva.....	91
5.3.1. Quantificação e distribuição temporal das variáveis de Intensidade-Duração-Frequência dos eventos extremos diários de chuva.....	91
5.3.2. Determinação de Curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência) dos eventos extremos de chuva	104
5.4. Tendência na ocorrência de eventos extremos de chuva	107
5.4.1. Validação estatística para legitimar fator de independência dos dados.....	107
5.4.2. Análise de tendência na série histórica.....	111

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
REFERÊNCIAS	120
ANEXOS	128

1. INTRODUÇÃO

Eventos extremos climáticos são caracterizados como anomalias originárias de desvio do comportamento médio ou habitual da dinâmica atmosférica, ocasionados pela interferência nos padrões dos sistemas climáticos. Tais eventos são componentes da própria variabilidade climática do planeta Terra, contudo, a compreensão e quantificação com relação a tendências no que tange a frequência e intensidade desses eventos, despertam cada vez mais interesse por parte de pesquisadores que correlacionam sua magnitude com as mudanças climáticas antropogênicas.

Estudos recentes realizados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2018) e o *National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA (2015) corroboram no reconhecimento que os efeitos resultantes da magnitude dos eventos extremos climáticos, vêm sofrendo influências de ações antrópicas, principalmente devido ao uso e ocupação irregular do solo, bem como, o processo de urbanização, que contribui na intensificação e repercussão desses eventos em superfícies antropizadas.

Essa correlação entre clima e urbanização, originou hipóteses de ‘causa e efeito’ das alterações climáticas atuais, devido à observação de evidências que surgiram no século XVII com o início da Era Industrial. Com destaque para os últimos 50 anos, principalmente, em função do aumento da taxa de concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, em função do intenso avanço das atividades antrópicas como queima de combustíveis fósseis, desmatamento e, pelas mudanças no uso e ocupação do solo (MC BEAN, 2014).

No entanto, não há uma concordância unânime no meio científico sobre essa relação e como resultado a relação sociedade-natureza tornou-se centro de diversas discussões e estudos no meio científico, sobretudo quanto ao nível de interferência do homem na dinâmica natural e ocorrência de condições extremas do clima, o que conforme o relatório “*The Global Climate 2001-2010, A Decade of Climate Extremes*”, publicado pela *World Meteorological Organisation* - WMO (2013), aponta que o planeta apresentou aumento na frequência de ocorrências desses eventos extremos com destaque para as décadas de 1991-2000 e 2001-2010. Segundo o relatório, ao considerar as mudanças atuais do clima, a ocorrência de eventos extremos climáticos é um dos fenômenos mais analisados a partir de eventos identificados em séries históricas, pois ainda não há uma previsibilidade quanto à intensidade, duração e

frequência desses eventos, que no tempo presente geram sérias consequências em superfícies antropizadas, atingindo os diferentes ambientes e populações, com destaque para aqueles que representam maiores possibilidades de impactos como: calor ou frio excessivo, chuva intensa e seca, e, velocidade elevada e intensa de ventos. Em meio a essas consequências, o elemento do clima precipitação manifestando na configuração de chuva é um dos que mais impactam áreas urbanizadas (WMO, 2013), atingindo o cotidiano das sociedades ao potencializar a ocorrência de desastres hidrometeorológicos como alagamentos, enchentes, inundações e movimento de massa (NUNES, 2009).

No Brasil, estudos desenvolvidos por pesquisadores de diversas áreas como Nunes Marengo *et al.* (2007), Marengo (2009), Hoffmann e Mendonça (2012), Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (2013), Santos e Galvani (2014), Dias (2014), Oscar Júnior (2015), Nascimento Júnior (2016), Simas (2016) e, Marques, Silva e Moura (2018), relacionem os efeitos originários da ocorrência de eventos extremos de chuva, em escala regional, com diferentes níveis de antropização de áreas urbanizadas. Uma vez que de forma geral, em relação ao Brasil, o modo como historicamente se desenvolveu o processo de urbanização do território, não houve um padrão de planejamento adequado que considerasse a dinâmica natural do meio, sequer a própria diversidade climática existente que se expressa através das particularidades de atuação de cada elemento do clima, correlacionados com os fatores geográficos.

À vista disso, durante as primeiras décadas do século XXI é crescente o interesse de estudiosos sobre o clima em quantificar e modelar a frequência exata dos eventos extremos de chuva, partindo de análises de séries históricas cada vez mais extensas, possibilitando observações periódicas e o monitoramento de indícios de possíveis tendências quanto ao comportamento desses eventos no melhoramento de estimativa com relação a previsões. Visando, assim o desenvolvimento de mecanismos que melhor adegue a organização e gestão do território, pois “A relação que o homem estabelece com o clima se evidencia na relação dele com o espaço ocupado, que se intensifica na mesma intensidade que se amplia os conhecimentos climáticos (BORSATO, 2016, p. 14)”.

Diante dessas reflexões, observa-se que o elemento do clima chuva é um dos elementos que influencia diretamente sobre a organização de espaços urbanizados e o cotidiano das diversas sociedades, acarretando na necessidade por parte de estudiosos, gestores e população, em dialogar de maneira eficaz sobre a dinâmica que compreende os elementos do clima e as especificidades de sua atuação frente a espaços urbanizados que

desequilibram a dinâmica natural do meio físico. Evidenciando que o desenvolvimento desse tipo de pesquisa torna-se fundamental, uma vez que possibilita conhecer a partir de determinada série histórica o comportamento pluviométrico de uma área de estudo definida, resultando em análises e entendimento mais assertivo em relação à dinâmica do elemento chuva, principalmente na identificação de possíveis tendências quando a ocorrência de eventos extremos, possibilitando a compreensão e averiguação da correlação ‘causa e efeito’, uma vez que tal estudo propõe a auxiliar na compreensão da dinâmica e ocorrência dos eventos extremos de chuva, considerando as condições atmosféricas e características específicas da área estudada.

Baseado nessas premissas, o objetivo geral desta pesquisa é: identificar e analisar a frequência, intensidade e tendências nos eventos extremos de chuva no período de 1967 a 2019, na área urbanizada do município de Ituiutaba/MG; e os objetivos específicos, são: i) definir eventos máximos de chuvas com durações inferiores a 24 horas com potencialidade em causar impactos hidrometeorológicos; ii) selecionar valores máximos diários de chuva com durações inferiores a 24 horas (intensidade), procurando avaliar a repetição dos episódios no tempo (frequência), por meio da construção da curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência); e, iii) verificar possíveis tendências ou mudanças abruptas nos máximos diários de chuva com durações inferiores a 24 horas.

E, com intuito de verificar na prática os fatores de intensidade e duração de eventos extremos de chuva e frente à ocorrência em áreas urbanizadas, após pesquisa quantitativa acerca da escolha de uma área com defasagem de estudos realizados com esta temática central, foi definido como área para a aplicação desta pesquisa o município de Ituiutaba que se localiza a oeste do estado de Minas Gerais na região Sudeste do Brasil e mesmo contando com uma rede com funcionamento efetivo quando o monitoramento das chuvas e dos demais elementos do clima, o município não possui Defesa Civil e nenhum outro órgão que monitora e emita alertas de atenção quanto à ocorrência de chuvas intensas.

Logo, foi definida a análise temporal de frequência de chuva no município de ocorrência no período entre 1967 até 2019, compreendendo uma série histórica com 53 anos de dados diários oriundos da Agência Nacional de Águas (ANA). Também, com o propósito de elucidar a dinâmica atmosférica que influencia a ocorrência dos eventos extremos de chuva identificados, foram utilizados dados observacionais oriundos da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, e alguns recortes de notícias de mídias elucidando a abordagem que é conferida quanto a previsões chuva.

Por fim, a pesquisa foi sistematizada da seguinte forma: inicialmente na seção ‘2. REVISÃO DE LITERATURA’ dissertou-se acerca das temáticas centrais da pesquisa, com ênfase nas décadas de 2001 e 2011, nas quais houve aumento expressivo do desenvolvimento de estudos acerca da relação eventos extremos de chuva e áreas urbanizadas; na sequência, na seção ‘3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO’ foi dedicada à caracterização histórica, fisiográfica e climática da área escolhida do estudo; já na seção ‘4. MATERIAIS E PROCEDIMENTO’ foram elencados e descritos todos os processos e etapas metodológicas deste estudo, que contribuíram no alcance dos objetivos citados anteriormente, dos quais na seção ‘5. RESULTADOS E DISCUSSÕES’ foram apresentados detalhadamente todas as análises dos resultados obtidos após aplicação das metodologias utilizadas; e, na seção ‘6. CONSIDERAÇÕES FINAIS’ a síntese de todos os contextos analisados durante o percurso e desenvolvimento dessa pesquisa. E, ao final, a ordenação de todo o material bibliográfico e *softwares* utilizados na pesquisa organizados no segmento ‘REFERÊNCIAS’, e toda sistematização realizada com os dados da série histórica dispostos no segmento ‘ANEXOS’.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para melhor dissertação acerca das temáticas centrais da pesquisa, a construção do referencial teórico foi pautada na abordagem de bibliografias clássicas e contemporâneas, principalmente aquelas desenvolvidas nas primeiras décadas do século XXI, no qual apresentou aumento expressivo no desenvolvimento de estudos sobre o que são, a gênese, consequências de suas atuações e tentativas de estimativas quanto à periodicidade de ocorrências de eventos extremos de chuva, como apontados por *World Meteorological Organisation - WMO* (2013) e *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC* (2014).

Em síntese, inicialmente foram abordados os aspectos que compreendem o regime pluviométrico, pois, faz-se essencial sua compreensão quanto à caracterização das condições climáticas associadas a eventos extremos de chuva, no qual em sequência, foram estabelecidas as relações entre as grandezas de intensidade, duração e frequência desses eventos. Já que o conhecimento sobre a dinâmica desses eventos e estimativas em relação às grandezas elencadas contribui no desenvolvimento de mecanismos que melhor adequam as estruturas urbanas frente à propagação de possíveis impactos oriundos dos diferentes níveis de intensidade desses eventos. E, por fim, destaque para análises que detectem e avaliem indícios de tendências observados em série histórica de chuva, o que contribui na compreensão sobre as estimativas de ocorrência de eventos extremos de chuva em determinada área de estudo.

2.1. Regime pluviométrico

Em estudos que interpretam e analisam o comportamento dos elementos do clima em determinada área de estudo, fundamentar explicações quanto às suas inter-relações requer previamente o entendimento sobre a dinâmica atmosférica, para que assim, ocorra melhor compreensão das resultantes originárias da atuação dos elementos do clima. Conforme Varejão-Silva (2006) e Borsato (2016), a dinâmica climática tem como agente principal as massas de ar, que é “uma grande porção da atmosfera, cobrindo milhares de quilômetros da superfície terrestre e que apresenta uma distribuição vertical aproximadamente uniforme, tanto da temperatura, como da umidade (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 369)”, sendo responsáveis por estabelecer as características distintas das condições climáticas das diferentes regiões do globo, diferenciando-se através da dinâmica da Circulação Geral da

Atmosfera, responsável pela distribuição do ar e das massas de ar, ocasionando comportamentos distintos da temperatura e pressão atmosférica por todo o globo.

Serra e Ratisbonna (1959) e Nimer (1989), destacam que todas as massas de ar que determinam os climas na América do Sul, atuam de modo direto ou indireto no Brasil, ocasionando uma diversidade de clima (estado médio da atmosfera observado de forma contínua por no mínimo 30 anos) e de tempo (estado físico momentâneo das condições atmosféricas).

Conforme Borsato (2016) e Varejão-Silva (2006), devido à grande extensão do território brasileiro, a atuação das massas de ar adquire mais ou menos ênfase (em relação ao seu deslocamento e intensidade) a depender “da posição e da intensidade dos centros anticiclônicos do sul do Atlântico, do Pacífico e da Antártica (VAREJÃO-SILVA, 2006, p.372)”, bem como, devido a época do ano que se apresenta. No entanto, nenhuma das massas de ar tem como região de origem o país, mas, em virtude da sinergia da circulação zonal e regional, há uma contribuição na manutenção da dinâmica das massas em todo o território.

Toda essa dinâmica atmosférica é base fundamental para o entendimento das diferentes características dos climas no globo, e conseqüentemente, dos elementos que lhe compõe como a temperatura, umidade relativa do ar, vento, precipitação, pressão atmosférica e radiação solar; que propiciam ao clima as especificidades de sua dinâmica. E, o conhecimento sobre os elementos do clima favorece diretamente a associação da distribuição e regime nas diversas escalas espaço-temporal, com fatores que derivam de demandas do homem em relação a ocupação e organização de diferentes ambientes naturais.

Com base na associação clima e homem, a relação estabelecida entre homem e natureza (cujas resultantes se manifestam de formas distintas no espaço e no tempo), passou a ter um papel importante nos estudos climáticos, a datar principalmente no século XVIII com o início da Era Industrial que propiciou o desenvolvimento técnico-científico, mas principalmente após a Primeira e Segunda Guerra Mundial durante o século XX, que aperfeiçoou as tecnologias associadas aos radares, satélites e computadores de alta performance, resultando em registros mais confiáveis das ocorrências dos elementos do clima. O que possibilitou o embasamento conciso do conhecimento sobre as particularidades que envolvem a dinâmica desses elementos do clima, pois tais registros deram origem aos mais variados conjuntos de dados climatológicos, e como corroborado por Mendonça e Danni-Oliveira (2007).

“A partir do momento em que o homem tomou consciência da interdependência das condições climáticas e daquelas resultantes de sua deliberada intervenção no meio natural como necessidade para o desenvolvimento social, ele passou a produzir e registrar o conhecimento sobre os componentes da natureza (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 11)”.

Praticamente todas as atividades realizadas pelo homem dependem das condições climáticas do tempo, desde as realizadas cotidianamente até aquelas que influenciam na manutenção dos aspectos socioeconômicos, ambientais, culturais e políticos de um país. Evidenciando a necessidade de promover estratégias que possam aliar a dinâmica dos elementos do clima ao cotidiano da sociedade.

Ou seja, conhecer e entender as condições climáticas é fundamental no que tange o monitoramento dos elementos do clima através de registros em longo prazo. E, dentre os elementos do clima a chuva, que é entendida como a ocorrência de precipitação em estado líquido com duração e intensidade significativa (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007), assume papel de grande importância por ser considerada um dos principais elementos que influenciam na organização e planejamento do território, devido ao seu grau de interferência e repercussão espaço-temporal em determinada área; e principalmente, por ser essencial na dinâmica de recarga dos mananciais, sendo através da chuva a única forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica.

A ocorrência das chuvas contribui como mecanismo de quantificação em relação à disponibilidade e demanda hídrica de determinada região, o que acaba direcionando as ações de planejamento e gestão dos ambientes antropizados. Entretanto, devido ao seu comportamento inconstante no qual “o padrão de distribuição espacial das chuvas em escala planetária mantém uma forte inter-relação com as correntes marítimas, as zonas de temperatura, os ventos oceânicos e a dinâmica da baixa atmosfera (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 72)”, determinado pelos padrões da Circulação Geral da Atmosfera (que distribui ou redistribui de forma distinta os elementos do clima por todo o globo), é necessário compreender e distinguir a dinâmica das chuvas, considerando a quantificação de registros por um período longo de tempo, propiciando deste modo a caracterização do regime pluviométrico. Pois, como se sabe, a atmosfera é algo extremamente dinâmico e de grande complexidade, e o sequenciamento de registros de um determinado elemento do clima permite melhor compreensão de sua dinâmica em diferentes escalas espaço-temporal.

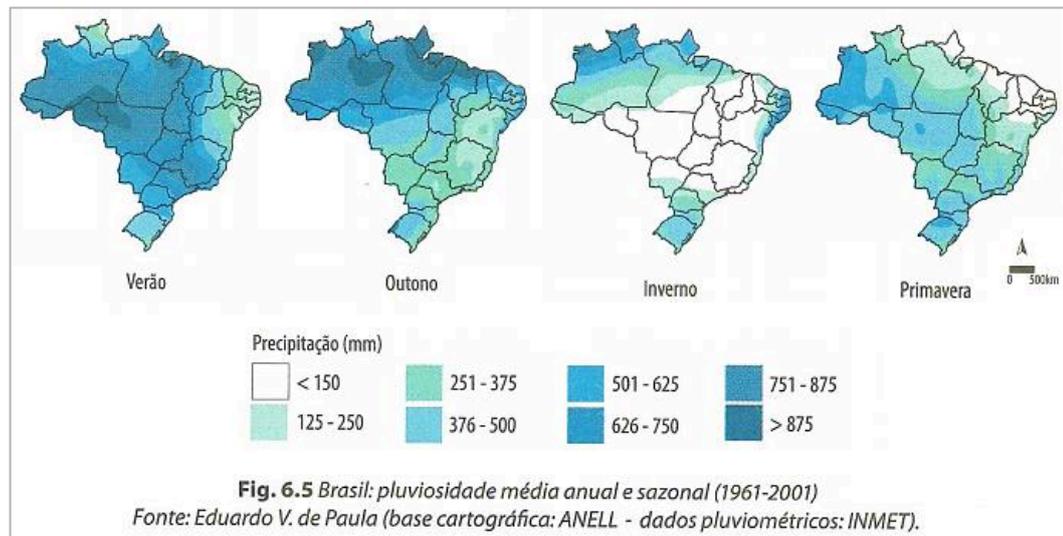
Como o regime pluviométrico está intrinsecamente relacionado ao clima, tanto “a distribuição e a variabilidade das chuvas no Brasil estão associadas à atuação e à sazonalidade dos sistemas convectivos de macro e mesoescala (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 146)”, resultando em particularidades que moldam a composição do regime pluviométrico que influencia na ocorrência de dinâmicas distintas das chuvas para cada região. Por isso, de acordo com Nery, Silva e Carfan (2004),

O Brasil, por ser um país de grande extensão territorial, possui diferenciados regimes de precipitação (...). No norte do país verifica-se um clima equatorial chuvoso, praticamente sem estação seca. No Nordeste a estação chuvosa, com baixos índices pluviométricos, restringe-se a poucos meses, caracterizando um clima semi-árido. As Regiões Sudeste e Centro-Oeste sofrem influência tanto de sistemas tropicais como de latitudes médias, com estação seca bem definida no inverno e estação chuvosa de verão com chuvas convectivas. O sul do Brasil, devido à sua localização latitudinal, sofre mais influência dos sistemas de latitudes médias, onde os sistemas frontais são os principais causadores de chuvas durante o ano (NERY; SILVA; CARFAN, 2004, p. 01).

No território brasileiro, “onde a absoluta maioria da precipitação (mais que 99%) cai sob a forma de chuva (SANTOS *et al.*, 2001, p. 37)”, o regime pluviométrico é caracterizado pela denominada precipitação pluvial continental, que se desenvolve principalmente durante o verão no Brasil (dezembro a março), devido a influência que o clima tropical exerce em todo o território (Figura 1).

A maioria das terras brasileiras está inserida na faixa tropical-equatorial do globo, o que lhe confere uma distribuição temporal das chuvas marcadas pela sazonalidade, bem como por regimes pluviométricos diversificados. Nos quentes verões tropicais, a maior parcela do território fica à mercê dos mais elevados índices de chuva. No inverno, ao contrário, em grande parte do País, esses índices ficam muito reduzidos (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 147).

Figura 1: Pluviosidade média, anual e sazonal do Brasil, determinada através de medições registradas no período de 1961-2001



Fonte: Adaptado de MONTEIRO e DANNI-OLIVEIRA (2007)

Essa dinâmica influenciada pelo clima tropical ocasiona variabilidade na ocorrência das chuvas, resultando em um comportamento distinto durante todo o ano e de um ano para o outro, devido a características específicas do tempo e da região de atuação das chuvas, uma vez que “As quantidades de precipitação média em longo prazo, para o mês, estação ou ano, dificilmente indicam a regularidade ou a confiabilidade com as quais determinadas quantidades de chuva podem ser esperadas” (AYOADE, 1996, p. 171). Em razão disso, Dias e Silva (2009) apontam e reforçam que a irregularidade na dinâmica de distribuição das chuvas é derivada dos padrões gerados na atmosfera com influência dos sistemas atmosféricos, como as massas de ar.

A região tropical tem excesso de energia, ao passo que as regiões polares têm déficit de energia. Os fluidos, ar e água, encarregam-se de redistribuir o calor das regiões com excesso para as regiões com déficit de energia. A maneira como a atmosfera faz essa redistribuição é por meio de movimentos horizontais – os ventos – e de movimentos verticais (DIAS; SILVA, 2009, p. 16).

Ayoade (1996) considera como variabilidade as flutuações no clima em um período de 30 a 35 anos e que ao aplicar determinados cálculos estatísticos, propicia a compreensão do comportamento do regime pluviométrico, bem como, identificação de valores inferiores ou superiores discrepantes à normal climatológica, que corresponde ao valor da média obtida através da ocorrência e medições diárias dos elementos do clima em um determinado local,

região, país ou área geográfica, em uma escala temporal mínima registrada por 30 anos, definida através da regulamentação técnica da *World Meteorological Organisation* – WMO (2018). E, Angelocci e Sentelhas (2010) apontam que a análise da chuva em determinada escala espaço-temporal, estabelece a visualização da dinâmica que compõe o regime pluviométrico conforme registros periódicos do volume total diário, distinguem-se de uma região para a outra através de fatores regionais (dinâmica) e fatores locais (orientação e declividade do relevo), que refletem diretamente no total de chuva durante seu período de atuação.

O conhecimento do regime pluviométrico auxilia na identificação do início e final do período de atuação das chuvas, denominado de estação chuvosa, pois “As épocas do início, duração e término da estação chuvosa, controlam as atividades agrícolas nos trópicos (AYOADE, 1996, p. 167)”. Em áreas antropizadas rurais, contribui no planejamento mais adequado em relação às práticas agrícolas, como o preparo do solo e início das plantações, e em áreas antropizadas urbanas, produzem informações que viabilizem estratégias que melhor adequam as estruturas hidráulicas frente aos elevados níveis de intensidade das chuvas.

Sendo notório como o clima e os elementos que lhe compõe, principalmente, a dinâmica que estes componentes apresentam nos espaços antropizados, originam condições em escala espaço-temporal que são fundamentais de serem compreendidas de maneira sistêmica. E, nos estudos abordados dentro da Climatologia Geográfica, cuja base é o estudo dos sistemas atmosféricos partindo do monitoramento e registros (analisados estatisticamente através do comportamento da média e variabilidade), para então, relacionar com as resultantes da relação do homem com a natureza, conhecer como a dinâmica oriunda dessa relação interage com as condições climáticas originadas no tempo, contribui no surgimento de informações que possibilitem prever possíveis cenários em relação à imposição que o homem faz no próprio meio que está inserido.

Assim, caracterizar o regime pluviométrico é obter um panorama sobre a dinâmica e condições associadas ao tempo referente à área em estudo, visto que, a análise e compreensão acerca do regime pluviométrico faz-se questão fundamental quanto à organização e manutenção do espaço antropizado. Sobretudo, em relação à identificação de anomalias superiores a normal climatológica, pois, estas podem resultar em níveis de repercussão na superfície que impactam as áreas antropizadas, principalmente as urbanas, e também, a identificação de anomalias inferiores à normal climatológica que podem acarretar em déficit

aos níveis de disponibilidade hídrica; sendo que as resultantes tanto ao nível de excesso quando de deficiência, afetam diretamente o cotidiano das sociedades.

2.2. Condições associadas a eventos extremos de chuva

A complexidade que envolve a atmosfera dá origem a uma dinâmica climática extremamente volátil, principalmente, porque a composição da atmosfera que tem como base gases (nitrogênio - N₂, oxigênio - O₂, argônio - A, dióxido de carbono CO₂, dentre outros gases variáveis), vapor d'água e material particulado (aerossóis), que sempre estão em movimento, associados aos padrões da Circulação Geral da Atmosfera (através dos ventos e pressão atmosférica), atuam como fonte de redistribuição da energia produzida pela radiação solar, durante todo o ano (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Essa dinâmica funciona como modulador das características climáticas e físicas de todas as regiões do globo, pois, afeta qualquer ambiente terrestre e se expressa através da inter-relação entre atmosfera, oceano e continente, resultando em condições que estabelecem a momentaneidade e variabilidade do tempo, e as condições prolongadas observadas do clima. Como consequência dessa variabilidade no tempo, com o avanço tecnológico desde o último século, o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais sofisticadas deram origem a análises ampliadas acerca dos elementos e dinâmicas do clima, que incluíram a identificação de desvios em relação à normal climatológica e eventos extremos climáticos, com intuito de obter uma interpretação mais precisa das resultantes dessas anomalias.

Decorrente a isto, inúmeros parâmetros relacionados com as dinâmicas climáticas foram produzidos acerca dos conhecimentos obtidos através do monitoramento, registro e análise desses dados, propiciando aumento na qualidade das informações sobre os elementos do clima, bem como, sobre a dinâmica individual e conjunta de suas atuações (VAREJÃO-SILVA, 2006). O que possibilitou previsões mais assertivas das condições climáticas durante períodos específicos em determinada escala espaço-temporal, dado que, o entendimento dessas dinâmicas favoreceu ao homem mecanismos e estratégias que minimizem os efeitos das ocorrências de eventos extremos climáticos frente à dinâmica estabelecida nos espaços antropizados.

Embora ainda não exista a caracterização definida do padrão atmosférico que fundamente a ocorrência dos eventos extremos climáticos, sua origem “não ocorre isoladamente num lugar, tem conexões com outros lugares e normalmente faz parte de um padrão global (DIAS, 2014, p. 35)”, com isso pesquisas e trabalhos desenvolvidos por Varejão-Silva (2006), Pereira, Angelocci e Sentelhas (2007), Marengo *et al.* (2007) *World Meteorological Organisation* (2013), Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (2013) e Dias (2014), associam esses eventos com diferentes componentes atmosféricos em distintas escalas espaço-temporal, como os fenômenos atmosféricos *El Niño* (caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical) e *La Niña* (caracterizado por um esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical), originários da interação atmosfera e oceano.

Conceitualmente, há muitas definições acerca de eventos extremos climáticos, principalmente, porque sua ocorrência é bastante associada a espaços eminentemente antropizados (pautados na relação homem e natureza). Mas, articulando a concepção teórica de Monteiro (1991), que considera os extremos como excepcionalidades climáticas que se sobrepõem a capacidade máxima do ‘ajustamento humano’ a este; os eventos extremos climáticos podem ser interpretados como uma anomalia natural imprevisível que resulta em circunstâncias negativas, ao ocasionar prejuízos econômicos e/ou perdas de vidas humanas, tornam-se mais ou menos energéticos somado a proporção das intervenções antrópicas na dinâmica natural do meio físico atingido.

Partindo dessa perspectiva o Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (2014), aponta que as consequências oriundas da atuação dos eventos extremos climáticos, com destaque para aqueles que representam maiores possibilidades de impactos como ondas de calor ou frio excessivo, chuvas intensas e grandes secas, velocidade elevada e intensa de ventos, perpassam por todos os níveis socioeconômicos populacionais, afetando diretamente no grau de exposição e adaptação de espaços antropizados, tal como, o cotidiano das sociedades.

Os impactos desses eventos extremos relacionados com o clima incluem a alteração dos ecossistemas, perturbação na produção de alimentos e abastecimento de água, danos nas infraestruturas e povoações, morbidade e mortalidade e consequências para a saúde mental e bem-estar das pessoas. Para países em todos os níveis de desenvolvimento, estes impactos são consistentes com uma significativa falta de preparação para a atual variabilidade climática em alguns sectores (IPCC, 2014, pg. 06).

E, ao considerar esses impactos Silva Dias (2014) salienta que

Um olhar para o passado mostra que extremos climáticos fazem parte da história da humanidade, desde os seus primórdios, decidindo destinos de populações e sua migração pelos continentes (por exemplo: Diamond, 1999). No entanto, a vulnerabilidade atual não tem precedente. Com uma população crescente, uma urbanização cada vez mais acentuada que ocupa até áreas de riscos, os extremos provocam impactos nunca antes observados (SILVA DIAS, 2014, p. 35).

E, em razão desse contexto, no final do século XX e primeiras décadas do século XXI, discussões e estudos tornaram-se destaques na comunidade científica, sobre a gênese, padrão e frequência dos eventos extremos climáticos. O recente trabalho científico desenvolvido por van der Wiel e Bintanja (2021), constata que a ocorrência de eventos extremos climáticos é um dos fenômenos mais analisados enquanto projeções, pois, ainda não há uma previsibilidade quanto à exatidão de sua frequência e nível de intensidade, mas grande interesse científico em estimar possíveis tendências em suas ocorrências, principalmente devido à frequência e impactos originados.

Consequently there is a huge societal and scientific interest to quantify and understand future trends in the frequency and intensity of extreme events and their attribution to anthropogenic climate change. Recent climate studies have contributed to quantifying such trends, but the climatic mechanisms behind changes in climate extremes often remain elusive (VAN DER WIEL; BINTANJA, 2021, p. 02).

McBean (2014) em seu trabalho intitulado “*Climate Change and Extreme Weather: A Basis for Action*”, evidencia que no decorrer dos últimos 50 anos houve um aumento relevante em relação à frequência e custos financeiros produzidos por desastres oriundos da atuação de eventos extremos climáticos, incluindo como possível indicador dessa frequência a influência que os processos derivados das atividades humanas exercem sobre o atual equilíbrio climático estabelecido no planeta. ‘Possível’, porque

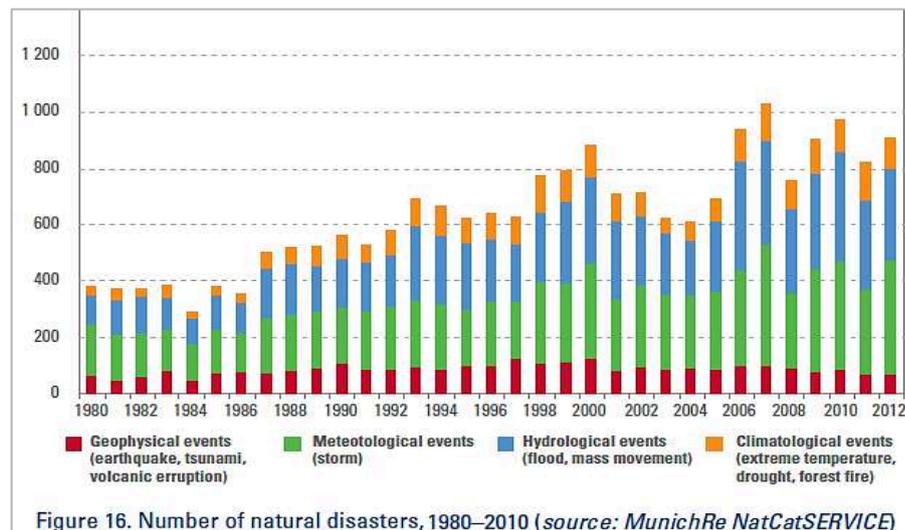
the question of detection of changes in occurrences of extreme events is much more difficult. Since extreme events are by their nature less frequent in their occurrence, there are difficulties in measuring and assessing their changes (MCBEAN, 2014, p. 180).

No entanto, Nunes (2009) em seu trabalho “Mudanças climáticas, extremos atmosféricos e padrões de risco a desastres hidrometeorológicos”, destaca que apesar das incertezas que acompanham as discussões e pesquisas no meio científico sobre eventos

extremos climáticos que associam ações antrópicas com as alterações do clima, quanto aos processos físicos e humanos as estimativas para 2040 é que o custo econômico frente aos desastres alcancem cerca de 1 trilhão de dólares por ano, pois “os impactos das mudanças climáticas não aconteceriam de forma isolada e, ainda, que eles poderiam atingir localidades de maneira direta ou indireta (NUNES, 2009, p. 68)”.

Assim, conforme o relatório “*The Global Climate 2001-2010, A Decade of Climate Extremes*” realizado pelo *World Meteorological Organisation - WMO* (2013), baseado em dados a nível global do *The Emergency Events Database - EM-DAT* administrado pelo *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED* da *Catholic University of Louvain in Brussels, Belgium*, e dados do *The NatCatSERVICE database* mantido pela *Munich Re in Munich, Germany*; de 1991 a 2010 o número de estudos sobre eventos extremos climáticos que podem originar desastres naturais de configuração geofísico (*geophysical*), meteorológico (*meteorological*), hidrológico (*hydrological*) e climatológico (*climatological*), tem crescido sistematicamente em resposta ao aumento de registros de desastres originários da frequência desses eventos desde o final do século XX, como mostra a Figura 2.

Figura 2: Estimativa anual de desastres originários da frequência de eventos extremos climáticos de configurações geofísicos, meteorológicos, hidrológicos e climatológicos em escala mundial entre 1980 a 2012



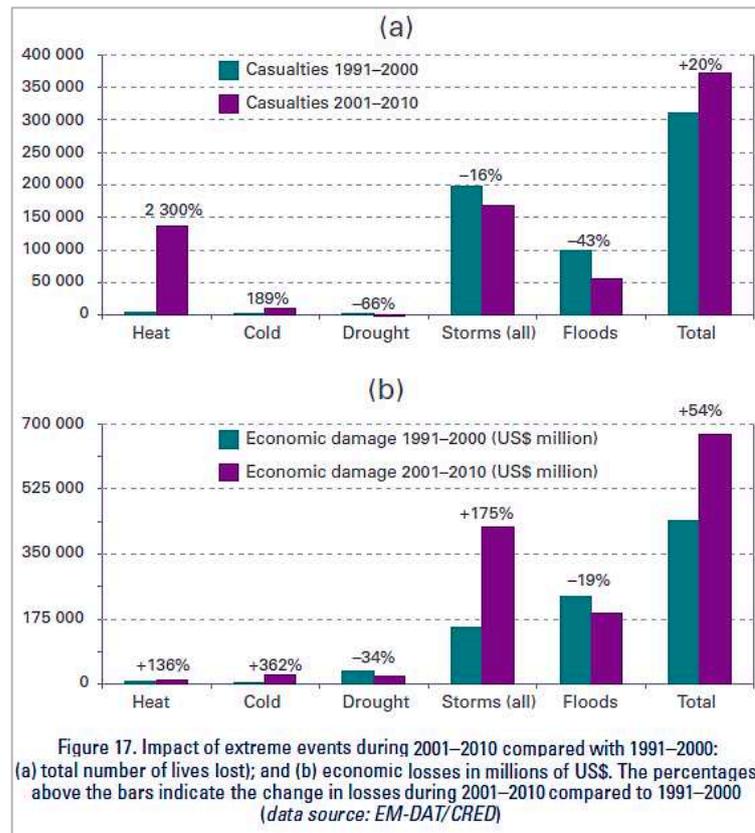
Fonte: Retirado e adaptado do relatório “*The Global Climate 2001-2010, A Decade of Climate Extremes*” realizado pelo *World Meteorological Organisation - WMO* (2013)

A partir da década de 1991 o aumento dos registros de desastres em escala global foi significativamente maior do que na década anterior, dos quais os tipos mais recorrentes

compreendem os desastres de configurações meteorológicas e hidrológicas. Podendo tal aumento ter sua justificativa pautada em dois fatos: a utilização de equipamentos com melhores precisões acerca dos registros desses eventos, pois “A previsão de tempo na escala de poucos dias teve enormes progressos a partir da década de 1980 impulsionada pelas informações obtidas pelos satélites meteorológicos e pelos supercomputadores (DIAS, 2014, p.38)” e/ou devido ao aumento da exposição dos ambientes antropizados frente a magnitude de intensidade dessas ocorrências, pois mesmo com todo o processo de evolução da sociedade *“Improvements have failed to offset the increase in exposure fuelled by rapid economic growth (WMO, 2013. p. 25)”*.

Ainda conforme o relatório (2013), ressalta-se que a ocorrência de desastres está condicionada à natureza e intensidade do evento extremo, aos condicionantes físicos-ambientais e dimensão social da área e/ou região atingida, o que afeta sociedade devido aos sérios danos e prejuízos que excedem a capacidade dos afetados em conviver com o impacto. E, conforme Figura 3(a,b), a partir da configuração dos eventos extremos climáticos as categorias de impactos que mais repercutem no globo através de perdas de vida humana e/ou econômica, são decorrentes à: calor (*heat*), frio (*cold*), seca (*drought*), tempestades (*storms*) e inundações/enchentes (*floods*).

Figura 3(a,b): Tipos de impactos oriundos da ocorrência de eventos extremos e estimativas de perdas humanas e econômicas durante as décadas de 1991 a 2010 no mundo



Fonte: Retirado e adaptado do relatório “The Global Climate 2001–2010, A Decade of Climate Extremes” realizado pelo World Meteorological Organisation (WMO, 2013)

De acordo com a Figura 3(a) a década de 2001-2010 (representada pelas colunas na cor azul turquesa escuro) estimou 370.000 mil vidas humanas perdidas totalizando aumento de 20% em comparação a década de 1991-2000 (representada pelas colunas na cor roxa). Causado, principalmente, devido ao calor que na década de 1991–2000 fatalizou menos de 6.000 pessoas e em 2001–2010, decorrente a ondas de calor em 2003 e 2010, que fatalizou mais de 136.000 pessoas, significando um aumento 2.300%; e, por conta da ocorrência de tempestades (de nível tropical e extratropical) que durante a década de 2001-2010 registrou cerca de 167.000 mil vidas humanas perdidas, mesmo com uma redução de 16% em comparação a década de 1991-2000. Sendo esse último, conforme Figura 3(b), a categoria de evento extremo climático que mais resultou em perdas econômicas totalizando cerca de US\$ 660 bilhões de dólares atingindo o aumento de 54% na década de 2001-2010 quando comparado à década de 1991-2001, o que dentro desse valor cerca de US\$ 400 bilhões foram por causa de ciclones tropicais e US\$ 200 bilhões foram causados por inundações/enchentes,

estimado de aumento 175% na década de 2001-2010 em comparação a década de 1991-2000, porém, reduzindo quase 20% em relação a perdas econômicas devido a inundações/enchentes.

Como observado, dos impactos resultantes dos eventos extremos climáticos, os de maior repercussão em escala espaço-temporal origina-se da precipitação manifestando na configuração de chuva, sendo um dos que mais resultam em condições preocupantes, pois, contribuem na produção de desastres do tipo hidrometeorológicos (MOURA *et al.*, 2016) que são responsáveis por impactar diretamente o cotidiano da sociedade, uma vez que “esses eventos extremos estão consequentemente ligados à ocorrência de precipitações extremas” (HOFFMAN; MENDONÇA, 2012, pg. 1143).

“desastres hidrometeorológicos são aqueles deflagrados por chuvas prolongadas (desastre do tipo inundação gradual ou enchente) ou por episódios de chuvas excepcionais e concentradas (desastres do tipo ou inundação brusca ou enxurrada, alagamento e chuvas intensas) que podem implicar em perdas humanas ou outros impactos à saúde, danos ao meio ambiente, à propriedade, interrupção dos serviços e distúrbios sociais e econômicos (MOURA *et al.*, 2016, pg. 260)”.

E, Santos e Galvani (2014, p. 219) apontam que em relação ao elemento do clima chuva, “Os eventos considerados como extremos desenvolvem-se principalmente no período primavera-verão, onde a atividade convectiva torna-se mais atuante devido ao maior aquecimento da atmosfera e evaporação da água do oceano”. Embora, mais especificamente no Brasil, além dessa dinâmica há influência de outros mecanismos atmosféricos como “os padrões que são provocados pela temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico tropical e sul (DIAS, 2014, p. 38)”. O que enfatiza o fato de a ocorrência de um evento extremo climático não ser gerada de modo isolado no espaço que atuará, mas a partir de conexões estabelecidas com o padrão climático global.

Os eventos extremos de chuva podem ser analisados basicamente a partir dos seguintes procedimentos: primeiro, a partir das características na escala sinótica que influencia o padrão da ocorrência de chuvas que totalizam registros superiores aos valores previamente estabelecidos para determinada área ou região; e segundo, através de percentuais baseados nos totais máximos das chuvas ocorridas em escala sazonal ou anual para determinada área ou região associadas (KONRAD, 1997). Ambos os procedimentos são válidos e requerem dados com medições registradas em estações meteorológicas, considerando as medidas de tempo hora e/ou minuto, a partir do total acumulado (em milímetros) em um único dia (24 horas), mas se diferenciam pelo conjunto de dados

atribuídos no processo dessa classificação: o primeiro procedimento requer dados registrados da chuva e dados observacionais (imagem de satélite, carta sinótica, etc.) dos componentes atmosféricos adjacentes que influenciaram em sua ocorrência, e o segundo requer essencialmente dados registrados de chuva, mas também considera a utilização de dados observacionais para evidenciar os principais sistemas atmosféricos que influenciam a dinâmica estabelecida na ocorrência do episódio analisado.

In the quasi geostrophic omega equation (Holton 1979), various forcings (e.g., positive differential vorticity advection, diabatic heating, and the Laplacian of warm air advection) promote rising air motions. Positive differential vorticity advection, which is usually found immediately upstream of a middle-tropospheric trough, has been tied indirectly to heavy rainfall (KONRAD, 1997, p. 558 apud HOLTON, 1979).

Esses valores de chuva previamente estabelecidos são fundamentados com base em inúmeras amostras de ocorrência diária (24 horas) e estatisticamente correlacionadas, partindo da frequência (episódios), volume máximo registrado (total/mm) e período estipulado (tempo) das medições, que se diferem conforme escala espaço-temporal atribuída. Resultando em um provável limiar que regula o valor correspondente à normal climatológica (média), acerca de episódios de chuva em escala diária, podendo haver a identificação de episódios de chuva superiormente discrepantes a normal climatológica (média).

Comumente na literatura, episódios de chuva que superam significativamente a média estabelecida são compreendidos como chuva intensa ou extrema, sendo associadas a eventos extremos de chuva, principalmente por seus fatores de intensidade e duração. Essa associação advém dos potenciais impactos que os eventos extremos de chuva podem desencadear em superfície (como visto na Figura 3(a,b)) e pelas demais características correlacionadas: a origem de sua ocorrência é considerada natural e aleatória, e sua amplitude de repercussão na superfície depende da organização, exposição e adaptação da área e/ou região de sua atuação.

2.3. Relação Intensidade-Duração-Frequência dos eventos extremos de chuva

Levando em consideração a grande extensão territorial do Brasil e a dinâmica do elemento do clima chuva que apresenta especificidades singulares a depender da escala espaço-temporal de determinada área e/ou região observada no território, como já apontado

nos subitens anteriores, isso acaba refletindo também na dinâmica dos eventos extremos de chuva no país. Baseado neste fato, a caracterização da distribuição e identificação das alterações em escala espaço-temporal das chuvas faz-se imprescindível, pois propicia a construção do conhecimento sobre o comportamento temporal das chuvas durante o ano e a identificação de valores superiores à normal climatológica considerados como máximos, bem como, a quantificação da ocorrência desses episódios denominados de eventos extremos, possibilitando ao longo do tempo mensurar a relação estabelecida entre as grandezas fundamentais dessas chuvas: altura pluviométrica, intensidade, duração e frequência (havendo os resultados desta pesquisa baseado nas três últimas grandezas).

Conforme Bertoni e Tucci (2001) a altura pluviométrica é a lâmina d'água da chuva que precipitou em uma área medida em milímetro (mm); a duração corresponde ao tempo total de persistência que a chuva cai na superfície, sendo medida em minutos (min) ou horas (h); a intensidade é a relação entre a altura pluviométrica registrada e duração da chuva, é expressa usualmente em mm/h ou mm/min; e a frequência é a quantidade de ocorrência observada no decorrer de uma série histórica (anos) de episódios de chuva igual ou superior a um episódio de chuva estimado para uma determinada área e/ou região. E, ao considerar a análise de eventos extremos de chuva, os autores incluem a grandeza tempo ou período de retorno, frequentemente utilizada na Hidrologia para estimar a média de anos que um evento extremo de chuva é igualado ou superado, do ponto de vista estatístico, “por exemplo, uma precipitação com 1% de probabilidade de ser igualada ou superada num ano tem $Tr = 100$ anos (BERTONI, TUCCI, 2001, p. 182)”.

Na literatura, os primeiros trabalhos que estabeleceram a relação entre intensidade, duração e frequência das chuvas extremas remontam a década de 1911 por meio da obra “*The elements of hydrology*” publicada por Adolph F. Meyer no ano de 1917, que embasou na década de 1931 a obra “*Formulas for Rainfall Intensities*” de Merrill M. Bernard publicada no ano de 1932, no qual destacou-se por desenvolver e estabelecer um modelo matemático que foi denominado de Equação de Chuva Intensa (1) com intuito de quantificar a intensidade da chuva a partir de seu tempo de retorno e duração, resultando na composição gráfica da denominada Curva de IDF, que é baseada na distribuição temporal determinada por conjunto significativo de dados pluviométricos ou hidrológicos. No qual, a aplicação desse modelo difundiu-se pelos EUA, Inglaterra, Irlanda, Austrália, Namíbia, Nigéria, Porto Rico, Índia e outros, devido à produção de mapas que orientaram o percurso de navios quanto a relação da probabilidade sobre a frequência e duração de chuvas extremas em determinada região.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

\bar{x} = média aritmética (mm)

x_i = relação das alturas pluviométricas máximas (mm)

n = número total da amostra

Especificamente no Brasil, o estudo pioneiro acerca da quantificação das chuvas intensas e composição da Curva IDF foi desenvolvido por Otto Pfafstetter no ano de 1957 através da obra ‘Chuvas Intensas no Brasil’, em que realizou o ajuste da equação (1) de Bernard (1932) efetuando a aplicação para 98 estações pluviométricas no território brasileiro, monitoradas pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento – DNMET. O que embasou estudos importantes no território brasileiro desenvolvidos por Denardin *et al.* (1980), Denardin e Freitas (1982), Martinez e Magni (1999), e outros.

Ainda em relação à contribuição científica de Pfafstetter (1957), o conhecimento gerado em diferentes regiões do Brasil tornou-se ferramenta fundamental na análise do comportamento dos eventos extremos de chuvas no país, principalmente do ponto de vista técnico e econômico. Visto que, a intensidade de um episódio de chuva não pode ser absolutamente prevista e diferencia-se entre as diversas áreas e/ou regiões do território brasileiro, mas através da aplicação de modelos matemáticos pode ser estimada de maneira mais precisa considerando a duração e a frequência usual dessas chuvas.

Partindo das perspectivas técnico e econômico, de acordo com Bertoni e Tucci (2001) e Collischonn e Tassi (2008), o estudo dessas grandezas são comumente utilizados como informações importantes em estudos hidrológicos, no planejamento e desenvolvimento de obras sobre o uso de recursos hídricos como dimensionamento de obras hidráulicas, especialmente para projetos de implementação ou manejo de sistemas de drenagem urbana já existente.

Tal importância reconhecida nesses estudos é devido, principalmente, ao fator vazão que “é o volume de água que passa por uma determinada seção de um rio dividido por um intervalo de tempo (COLLISCHONN; TASSI, 2008, p. 106)” e que durante a ocorrência de um episódio de chuva extrema “a maior parte da vazão que passa por um rio é a água da própria chuva que não consegue penetrar no solo e escoar imediatamente, atingindo os cursos d’água e aumentando a vazão (COLLISCHONN; TASSI, 2008, p. 106)”, resultando em um processo de escoamento superficial em curto intervalo de tempo, do qual as estruturas

hidráulicas urbanas (sumidouros, canais de drenagem, galerias, etc.) muitas vezes não suportam tal carga d'água da chuva durante seu tempo de ocorrência, e assim, provocam falha na atenuação de enchentes, inundações, alagamentos, erosão do solo, assoreamento de rios, rompimento de reservatórios, etc.

Mas, também, devido a crescente tentativa dos estudiosos de estimar a ocorrência dos eventos extremos de chuva e suas variações em diferentes escalas espaço-temporal, o que correlacionado a com intensidade, duração, frequência (período de retorno), estabelece melhor base de verificação quanto estudos que acompanhem a dinâmica desses eventos, dado que “a disponibilidade de longas séries de precipitações é, em geral, muito mais freqüente que a de vazão (BERTONI; TUCCI, 2001, p. 200)”, mesmo que no Brasil as estações pluviométricas ou hidrológicas instaladas que monitoram e registram tais dados ainda é de longe suficiente para atender todos os municípios do território brasileiro (ARBOIT; MANCUSO; FIOREZE, 2019), o que enfatiza o fato que “no Brasil existem estudos de chuvas intensas com curvas IDF para a maioria das capitais dos Estados e para algumas cidades do interior, apenas (COLLISCHONN; TASSI, 2008, p. 60)”.

Para a obtenção da relação IDF, são necessários dados pluviográficos locais resultantes de um longo período de observações. No entanto, o registro das características das chuvas extremas é bastante escasso no território brasileiro e, mesmo em regiões que apresentam satisfatória densidade de postos pluviométricos, os dados disponíveis são inadequados para utilização imediata, pois apresentam apenas a intensidade da precipitação para intervalos de tempo superiores ou iguais a um dia (ARBOIT; MANCUSO; FIOREZE, 2019, p. 249 *apud* CARDOSO *et al.*, 1998).

Decorrente desse entrave quanto à descontinuação de registros de dados de chuva, muitos estudiosos e profissionais que utilizam dados de chuva, a depender da quantidade desses dados e do objetivo do estudo ou uso, buscam estabelecer a relação das grandezas para compor da curva IDF de determinado área e/ou região, através de outros métodos: primeiro, com a utilização de uma série histórica expressiva de dados anuais, ou segundo, com a utilização de uma série histórica parcial. Sendo que “a metodologia de séries parciais é utilizada quando o número de anos de dados é pequeno (< 12 anos) e os tempos de retorno que serão utilizados são inferiores a 5 anos (BERTONI; TUCCI, 2001, p. 201)”.

E, com base na série histórica de dados de chuva serão utilizados basicamente os valores correspondentes às maiores alturas pluviométricas, pois, como corroborado por Collischonn e Tassi (2008)

A metodologia de desenvolvimento da curva IDF baseia-se na seleção das maiores chuvas de uma duração escolhida (por exemplo 15 minutos) em cada ano da série de dados. Com base nesta série de tamanho N (número de anos) é ajustada uma distribuição de frequências que melhor represente a distribuição dos valores observados. O procedimento é repetido para diferentes durações de chuva (5 minutos; 10 minutos; 1 hora; 12 horas; 24 horas; 2 dias; 5 dias) e os resultados são resumidos na forma de um gráfico, ou equação, com a relação das três variáveis: Intensidade, Duração e Frequência (ou tempo de retorno) (COLLISCHONN; TASSI, 2008, p. 59).

Contudo, Bertoni e Tucci (2001) indicam que para área e/ou município que não possui instalado uma estação pluviométrica ou hidrológica em seu território, é necessário optar por utilizar dados de chuva localizados em localidades adjacentes, somado a aplicação de um modelo matemático que melhor se ajuste ao objetivo pretendido, como, por exemplo, o Método das Relações de Durações, Método de Precipitação Máxima Provável, Métodos Hidrometeorológicos, e outros; dos quais irão resultar em uma aproximação estimada da intensidade, duração e frequência, e assim a composição da curva IDF. Mas, que em sua totalidade pode não representar as especificidades reais da área e/ou município, visto que o próprio território brasileiro possui diferenciados regimes de precipitação (NERY; SILVA; CARFAN, 2004).

Diante desse contexto, outro fato importante a ser considerado é a necessidade de haver atualização periódica dos valores obtidos das grandezas que compõem a Equação de Chuva Intensa (1) para a composição da curva IDF, pois, como foi mencionado no parágrafo anterior devido a extensão do território brasileiro e os diferentes regimes pluviométricos, é evidentemente que a construção de curva IDF para diferentes áreas e/ou municípios tenderá a apresentar divergência com o passar dos anos. Visto que, os dados utilizados são baseados em registros de chuvas ocorridos no passado e associado a processos específicos instaurados em determinada área e/ou município, como o próprio processo de urbanização e densidade populacional, e à medida que os processos naturais do clima e de cunho antrópico se desenvolvem em escala espaço-temporal, podem influenciar no grau de intensidade das futuras ocorrências de eventos extremos de chuva, tornando a curva IDF divergente da realidade local.

Tais aspectos a serem analisados de forma ordenada no decorrer dos anos, em relação à série histórica de dados, são de suma importância devido ao fato que alterações observadas (de origem natural ou induzidas por ações antrópicas) podem evidenciar informações acerca de indícios ou não de possíveis alterações na dinâmica das chuvas ao

longo do tempo, partindo do pressuposto da frequência. Possíveis, pois, de acordo com Naghettini e Pinto (2007) uma série histórica pode apresentar característica estacionária “quando não ocorrem modificações nas características estatísticas de sua série ao longo do tempo (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 311)”, não estacionária quando “podem apresentar uma tendência, ou um ‘salto’, ou uma periodicidade ao longo do tempo, como resultado de variações naturais do clima ou alterações induzidas pela ação do homem (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 10)”, ou homogênea “se o padrão de variabilidade, em torno de seu valor médio, é único e idêntico, ao longo do tempo” (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 10).

Logo, a quantificação em escala temporal da relação intensidade, duração e frequência (tempo de retorno) das chuvas extremas contribui não só no conhecimento em relação à dinâmica desses eventos, mas, sobretudo em seu monitoramento visando um planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas urbanas mais adequado frente a possíveis impactos que sua ocorrência pode ocasionar em determinada área e/ou região.

2.4. Identificação de tendência em séries históricas de chuva

Como já apontado nos subitens anteriores, a análise de uma série histórica (ou temporal) pode determinar inúmeras circunstâncias a serem consideradas diante da observação do objeto central que corresponde esses dados e do que se pretende alcançar. Pois, como corroborado por Latorre e Cardoso (2001) uma série histórica constitui uma sequência de dados registrados no decorrer de um período específico, determinada comumente pela observação periódica de um evento de interesse que pode ser de natureza física, biológica, econômica, entre outros.

Na análise de uma série temporal, primeiramente deseja-se modelar o fenômeno estudado para, a partir daí, descrever o comportamento da série, fazer estimativas e, por último, avaliar quais os fatores que influenciaram o comportamento da série, buscando definir relações de causa e efeito (LATORRE; CARDOSO, 2001, p. 148).

Aspectos estes que de acordo com as autoras (2001) e Morettin e Toloi (1981) produzem as seguintes atribuições em relação a uma série histórica: compreensão e descrição da dinâmica dos mecanismos que lhe compõem; identificação de fatores internos e/ou externos ao objeto central da série, que determina tal dinâmica, bem como, condição de

periodicidade decorrente dos componentes não observáveis de tendência, ciclo, sazonalidade e ruído branco (variação aleatória); e, quanto à combinação desses elementos associada ao interesse de previsão, possibilita mensurar a dinâmica observada em sequência escalar de curto, médio e longo prazo.

Conforme Morettin e Toloi (1981) uma das suposições básicas que direcionam o percurso de análise de séries temporais é a característica de estacionariedade no tempo, na qual os dados do passado apresentando influência sobre os dados registrados no futuro. Entretanto, “a maior parte das séries que encontramos na prática apresentam alguma forma de não estacionariedade (MORETTIN; TOLOI, 1981, p. 06)”, mediante a aplicação de algum modelo estatístico que verifique em relação a esses dados o fator de dependência (influência sobre os dados do passado e futuro) ou independência (correlação temporal entre os dados não existe). Neste caso, a utilização de modelos estatísticos para examinar as propriedades dos fatores que compõem as séries históricas, a depender da finalidade da análise, podem ser investigados por meio de modelos classificados como paramétricos ou modelos não paramétricos.

No primeiro enfoque, a análise é feita no domínio temporal e os modelos propostos são modelos paramétricos (com um número finito de parâmetros. No segundo, a análise é conduzida no domínio de frequências e os modelos propostos são modelos não paramétricos (MORETTIN; TOLOI, 1981, p. 02)¹.

Naghetini e Pinto (2007) especificam que testes paramétricos e não paramétricos são utilizados para testar hipóteses e recolher evidências, com base na distribuição dos dados a serem analisados.

Eles são ditos paramétricos se os dados amostrais, por premissa, tiverem sido extraídos de uma população Normal ou de qualquer outra população, cujo modelo distributivo é conhecido ou previamente especificado. Ao contrário, os testes não paramétricos não necessitam da especificação prévia do modelo distributivo da população, da qual foram extraídos os dados amostrais. De fato, em geral, os testes não paramétricos não são formulados com base nas observações amostrais, propriamente ditas, e, sim, em algumas de suas características ou atributos, tais como, ordens de classificação ou número de diferenças positivas ou negativas entre dados (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p.246).

Fundamentado a isso e considerando a análise de série histórica de dados climáticos, com destaque para o elemento do clima chuva, desde a passagem do século XX para o século

¹ Os destaques dos respectivos termos em Itálico foram adotados por MORETTIN e TOLOI (1981).

XXI é crescente o interesse no meio científico em mensurar sua frequência das chuvas, principalmente por meio da análise do componente não observável tendência (conforme descrito no subitem anterior corresponde a um fator presente em série de dados não estacionária) que favorece a observação da dinâmica das chuvas em relação ao seu crescimento, decrescimento ou linearidade, ao longo do tempo (WMO, 2018).

De acordo com a WMO (2018) ao incluir a análise de tendência como elemento de observação em uma série histórica definida, é necessário compreender que tendência é um comportamento comumente encontrado em série de dados, sobretudo quando esta apresenta acréscimo ou declínio em comparação ao valor central da variável analisada no período estipulado. Entretanto, recomenda-se que além de considerar a escala temporal (mínimo 30 anos consecutivos) para estudos cujo objeto central sejam variáveis climatológicas, também, faz-se compatível a utilização de métodos aplicáveis a análises de tendência como, por exemplo, o desvio padrão ou testes estatísticos não paramétricos (nos quais não pressupõe distribuição específica dos dados).

Naghetini e Pinto (2007) ressaltam que o objetivo dos testes não paramétricos é a verificação da frequência de uma variável amostral, o que em suma maioria precisa haver a validação dos dados que compõem a amostra com intuito de averiguar sua distribuição normal (conforme valores correspondentes à média e variância), já que é considerada para variáveis contínuas e variáveis discretas com grande variabilidade de amostras relativamente grandes. Assim, esse processo de validação pode ser realizado através de analisada descritivamente dos fatores de aleatoriedade (variação dos dados decorrem de causas naturais), independência (a observação presente da amostra não predetermina a ocorrência ou não de observações futuras), homogeneidade (todos os elementos da amostra originam-se de uma única e idêntica população) e estacionariedade (sem presença de variação no tempo). Fatores estes que serão considerados pelas análises a depender do tipo e objetivo no qual se analisa tais dados, pois, conforme o objetivo, o desvio entre os valores observados e os valores obtidos, devem ser analisados considerando a discrepância dessa amostragem que possa advir de discordância ou não das hipóteses aplicadas sobre a amostra central dos dados.

Sendo assim, os dados obtidos através da observação de tendências em séries históricas de chuva fornecem respostas que auxiliam na produção de conhecimento sobre a dinâmica das chuvas em curto, médio e longo prazo, dos quais, no desenvolvimento, implantação e monitoramento de infraestrutura urbano, em especial as estruturas hidráulicas, a identificação de tendências contribui para a compreensão acerca das variações do regime

pluviométrico, no desenvolvimento de modelos que objetivam prever mudanças no comportamento da variável chuva e identificação dos tipos de alterações ocorridas ao longo do tempo.

E, como o estudo em relação à melhor compreensão da dinâmica das chuvas tornou-se área de pesquisa muito ativa, decorrente de investigações quanto às possíveis mudanças no clima atual e disponibilidade hídrica, a interpretação adequada de seu comportamento fornece suporte para a previsão de eventos extremos de chuva, tomada de decisões mais objetivas e coerentes, e diferentes estratégias de gestão ambiental.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A escolha do município de Ituiutaba/MG foi pautada através de pesquisa quantitativa sobre pesquisas desenvolvidas no município (mais especificamente sua área urbana) com a temática “Frequência, Intensidade e tendências nos eventos extremos de chuva em Ituiutaba/MG”. Diante disso, foi encontrado apenas um artigo de periódico elaborado pelos autores Braghiroli, Alves e Queiroz no ano de 2012, com o título “Análise Geoestatística das precipitações extremas de Ituiutaba – MG”, possuindo como temática central ‘precipitação máxima’ e ‘período de retorno’. O que acabou reforçando a importância da realização desta pesquisa, pois, mesmo após a implantação no município de um campus da Universidade Federal de Uberlândia no ano de 2006 (PEREIRA, 2018) no qual contribuiu para o crescimento de estudos acerca de temas sobre clima, em questões práticas são insuficientes os estudos sobre a temática inicial citada no município.

Desta forma, esta seção será dedicada à caracterização desde os tempos primórdios da constituição territorial do município de Ituiutaba/MG, bem como, os processos de maior relevância que contribuíram para o crescimento econômico e, conseqüentemente, a expansão e constituição urbana atual, correlacionando com as especificidades fisiográficas, climáticas e a dinâmica atmosférica que influencia na ocorrência de chuvas extremas no município.

3.1. Localização, formação territorial e aspectos socioeconômicos

Desde a explosão demográfica mundial, principalmente durante o século XX, a expansão das cidades ocorreu de forma rápida e intensa, resultando em um crescimento populacional e processo de ocupação urbana desordenado, sobrepondo aos atributos dos diversos ambientes naturais com intuito de melhor organizar a vida em sociedade, em função da tentativa constante de ‘dominar’ esses ambientes. Com isso “o crescimento urbano, na maioria dos casos, não acompanhou a dinâmica natural existente, resultando no comprometimento da qualidade desses ambientes (AMORIM, 2013, p. 173)”, havendo então se tornado um dos grandes desafios no século XXI: a manutenção do equilíbrio entre as intervenções antrópicas e a dinâmica natural dos diferentes ambientes. Uma vez que a constituição atual dos espaços urbanos são conseqüências cumulativas de todos os processos

sociais ocorridos com o passar dos anos, dos quais deram origem às diferentes configurações territoriais urbanas encontradas nas várias cidades brasileiras.

No Brasil, o modo como os espaços urbanos se desenvolveram dotados de expressivos contingentes populacionais não favoreceu a manutenção da dinâmica natural das áreas ocupadas, menos ainda, o conhecimento das especificidades que concerne a dinâmica climática no país. O que nos dias atuais diante de eventos climáticos extremos gera muita estarrecimento por parte da sociedade, uma vez que há “falha de comunicação entre os estudiosos do clima e os planejadores, sobretudo pela natureza dos fenômenos climáticos e sua representação não estática, sendo de difícil materialização em diretrizes” (OSCAR JÚNIOR, 2015, pg. 198), visto que a própria diversidade climática do território brasileiro se expressa através da dinâmica específica de cada clima regional existente.

E, como compreendido por Braga (2015)

As diferentes formas com que o território urbano é ocupado interferem de modo direto na dinâmica atmosférica local e na dinâmica microclimática. Como as trocas entre a atmosfera e a superfície terrestre são inerentes, o clima pode ser considerado como um dos mais importantes componentes ambientais, pois atua sobre os meios biótico, abiótico e social (BRAGA, 2015, pg. 06).

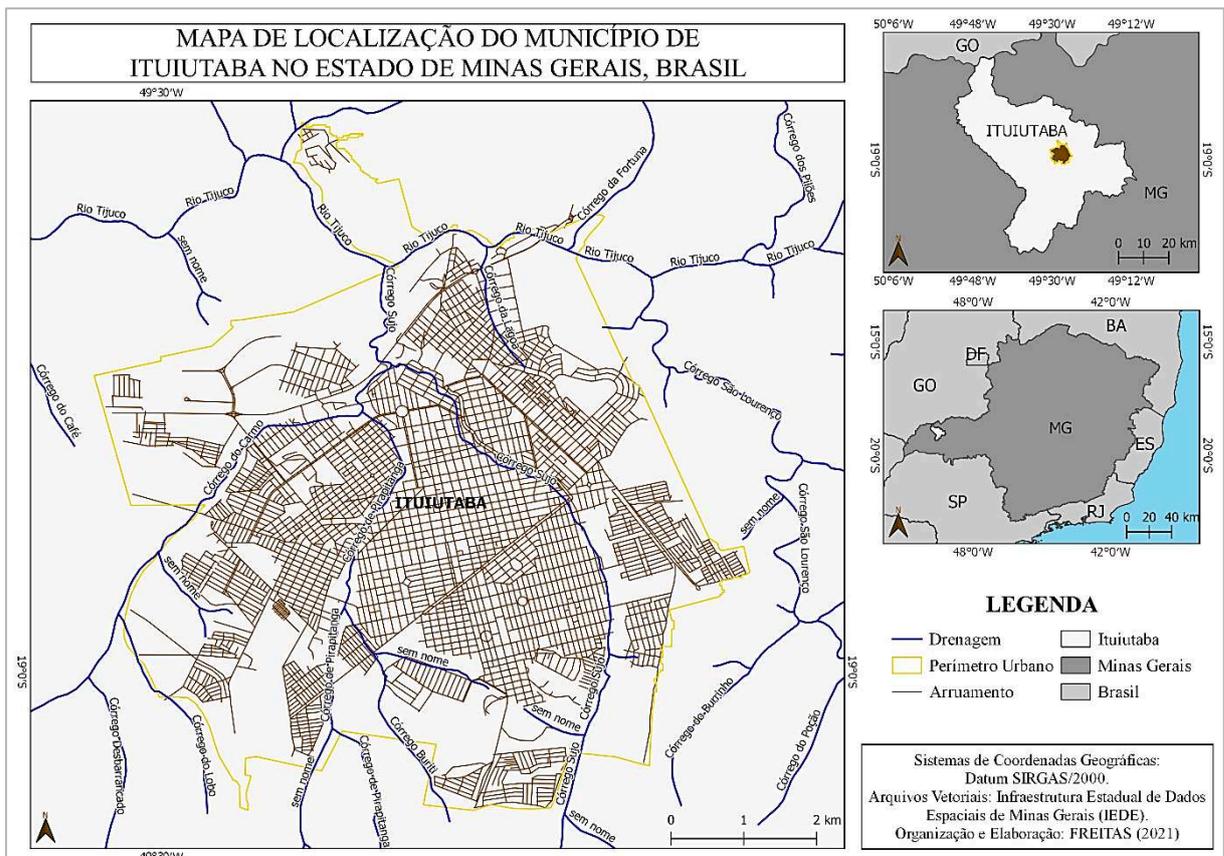
Associado a isso, pode-se constatar que através dos espaços urbanos é possível quantificar o grau de repercussão da propagação dos fluxos e trocas de energias provenientes da atuação de sistemas atmosféricos, pois, estudos corroborados por MOURA *et al.*, (2016), McBean (2014), Silva Dias (2014), IPCC (2014), WMO (2013) e Nunes (2009) apontam que a atuação dos elementos do clima em áreas urbanizadas, sobretudo a chuva, tende a apresentar diferentes níveis de intensidade decorrente ao grau de interferência antrópica realizadas no meio sem considerar as particularidades dos processos naturais existentes. Circunstâncias estas que se conflitam ao considerar o próprio processo histórico de urbanização das cidades no Brasil, que desde o século XX, em sua maioria, foi realizado sem o planejamento compatível com as especificidades de cada área e/ou região, negligenciando a dinâmica natural do meio físico e padrões usuais climáticos (AMORIM, 2013; NUNES, 2009).

Partindo desse contexto, o recorte empírico do município de Ituiutaba, principalmente com ênfase em sua área urbana retrata com precisão tais questões, instituídas desde sua fundação e durante seu processo histórico de uso e ocupação do seu território, cabendo aos próximos parágrafos destaque para aqueles que mais influenciaram esses

processos. Uma vez que a localização geográfica, como mostra a Figura 4, favoreceu bastante o seu desenvolvimento em todas as esferas, mas principalmente quanto às esferas socioeconômicas.

O município de Ituiutaba localiza-se a oeste do estado de Minas Gerais na região Sudeste do Brasil, totalizando área territorial de 2.598,046 km² e densidade demográfica urbana de 37,40 hab./km². Conforme Figura 4, de acordo com a nova Divisão Regional Brasileira deliberada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2017, o município se insere na Região Geográfica Intermediária (RGI) de Uberlândia mais especificamente correspondendo ao núcleo da Região Geográfica Imediata (RGI_m) de Ituiutaba, composta pelos municípios² de Cachoeira Dourada (8.254/hab.), Capinópolis (15.290/hab.), Gurinhatã (6.137/hab.), Ipiacaçu (4.107/hab.), Ituiutaba (97.171/hab.) e Santa Vitória (18.138/hab.).

Figura 4: Mapa da localização geográfica da cidade de Ituiutaba/MG (2021)



Fonte: IEDE (s/d). Elaboração: FREITAS (2021)

² Os valores correspondentes aos totais de habitantes por município são baseados no Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2010, disponível no endereço eletrônico <https://cidades.ibge.gov.br/>.

Com base no livro ‘Enciclopédia dos Municípios Brasileiros – volume XXV’ do ano de 1959 (IBGE, 1959) e Oliveira (2020), a datar desde o início do século XIX e por influência dos ciclos econômicos no Brasil, o município de Ituiutaba/MG teve seu processo de formação territorial pautado na influência que a economia brasileira instituiu nas esferas sociais e políticas.

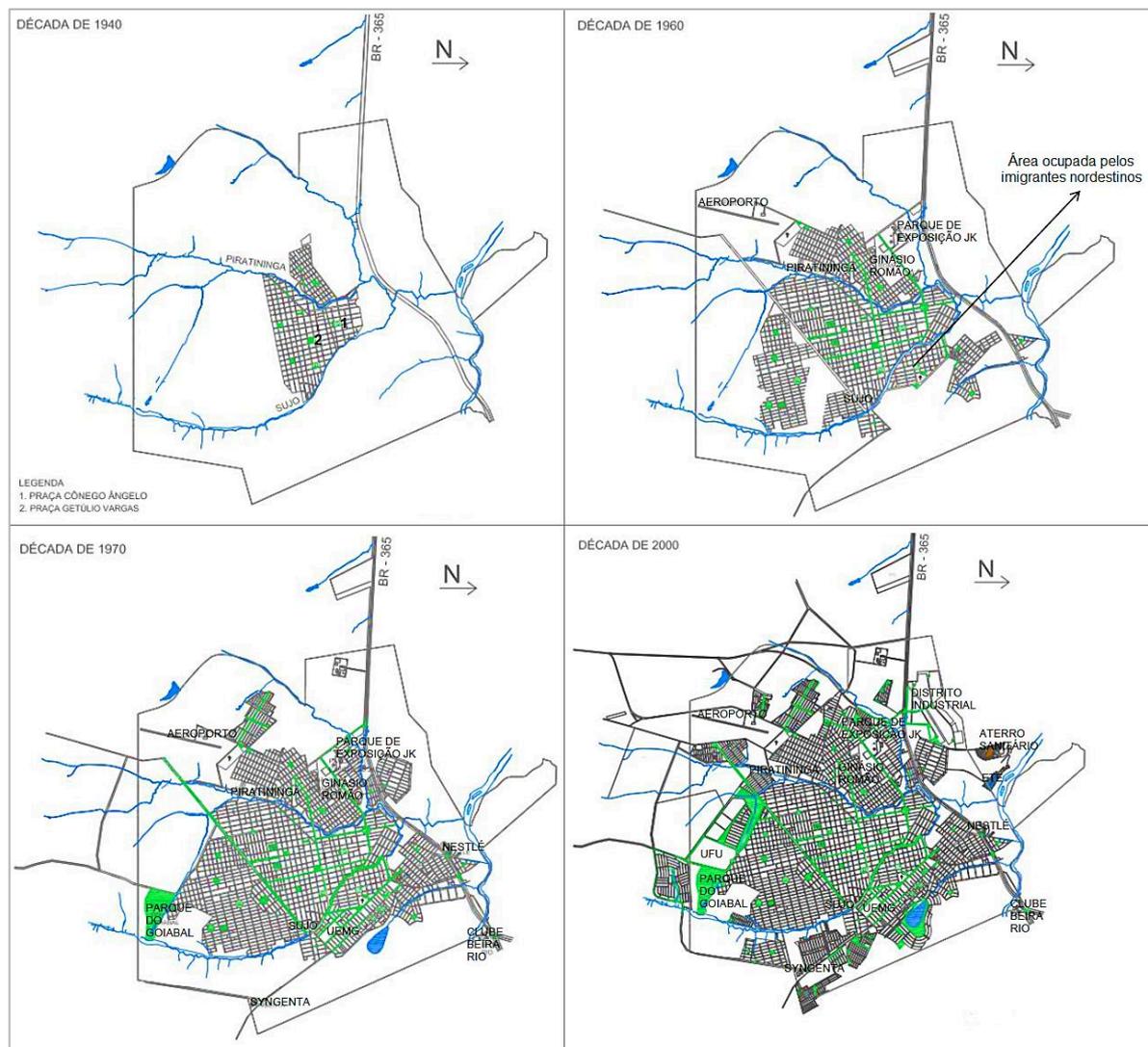
O desenvolvimento econômico do município influenciou o direcionamento do seu fluxo populacional, que antecedente a metade do século XX fixava-se majoritariamente em áreas rurais, sobretudo impulsionado pelo êxodo nordestino em função da agricultura (principalmente pelas culturas de arroz, milho, algodão, mandioca e feijão), pecuária (bovinos, suínos, ovinos e caprinos), silvicultura e indústria (manufatureira e fabril), que deram ao município prestígio econômico durante as décadas de 1941 a 1960; mas, que no decorrer da década de 1971 foi percorrendo caminho inverso devido aos efeitos da modernização de máquinas e equipamentos agrícolas que a Era Industrial ocasionou no Brasil (iniciado no final do século XIX), porém só abrangendo as cidades do interior no decorrer do século XX. O que ocasionou cada vez menos a necessidade da disponibilidade de mão de obra humana no campo, abrindo espaço para que a população residente e os migrantes a se deslocassem para a área urbana, motivados pelo surgimento e fixação de novas indústrias e tipos de comércios (varejista, atacadista e independentes).

O espaço geográfico de Ituiutaba (MG) foi reelaborado ao longo do tempo para atender as demandas sociais de produção e reprodução da vida humana e do capital a partir da evolução da economia e da sociedade. Nesta cidade, as exigências impostas pela produção agropecuária foram as responsáveis pelas dinâmicas espaciais e pelos processos urbanos recentes, uma vez que possibilitaram mudanças na estrutura técnica produtiva, nas atividades econômicas predominantes e na organização espacial do centro urbano (OLIVEIRA, 2020, p. 98 *apud* OLIVEIRA, 2013).

A década de 1971 marcou o processo de transformação territorial urbana do município de Ituiutaba, pois a dinâmica socioeconômica antecedente a este período originou a formação de novos espaços urbanos contínuos, partindo da área central representadas pelas praças Cônego Ângelo e Getúlio Vargas, para que fosse possível acomodar o crescimento populacional. Sendo a partir desse período que a intensa expansão urbana se estabeleceu nas décadas seguintes, apresentando entre as décadas de 1971 a 1990 crescimento principalmente nas direções leste e oeste (Figura 5).

E, a partir da década de 1991 ocorreu o estabelecimento de uma configuração urbana com padrão mais distanciado da área central, decorrente a criação de novos bairros, sobretudo, após a década de 2001 com o impulsionamento da instalação de usinas sucroalcooleiras na região e o regresso de novos migrantes atraídos pela divulgação massiva de trabalho. Contudo, principalmente devido à iniciativa do Governo Federal que promoveu nacionalmente o programa habitacional ‘Minha Casa, Minha Vida’ (BRASIL, 2009), que priorizava a população de baixa renda, mas que favoreceu o setor imobiliário privado, somado também a implantação de um campus da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) no ano de 2006, que movimentou fortemente o campo imobiliário no município (GUERRA; LIBERA, 2014; MIYAZAKI, 2018; PEREIRA, 2018).

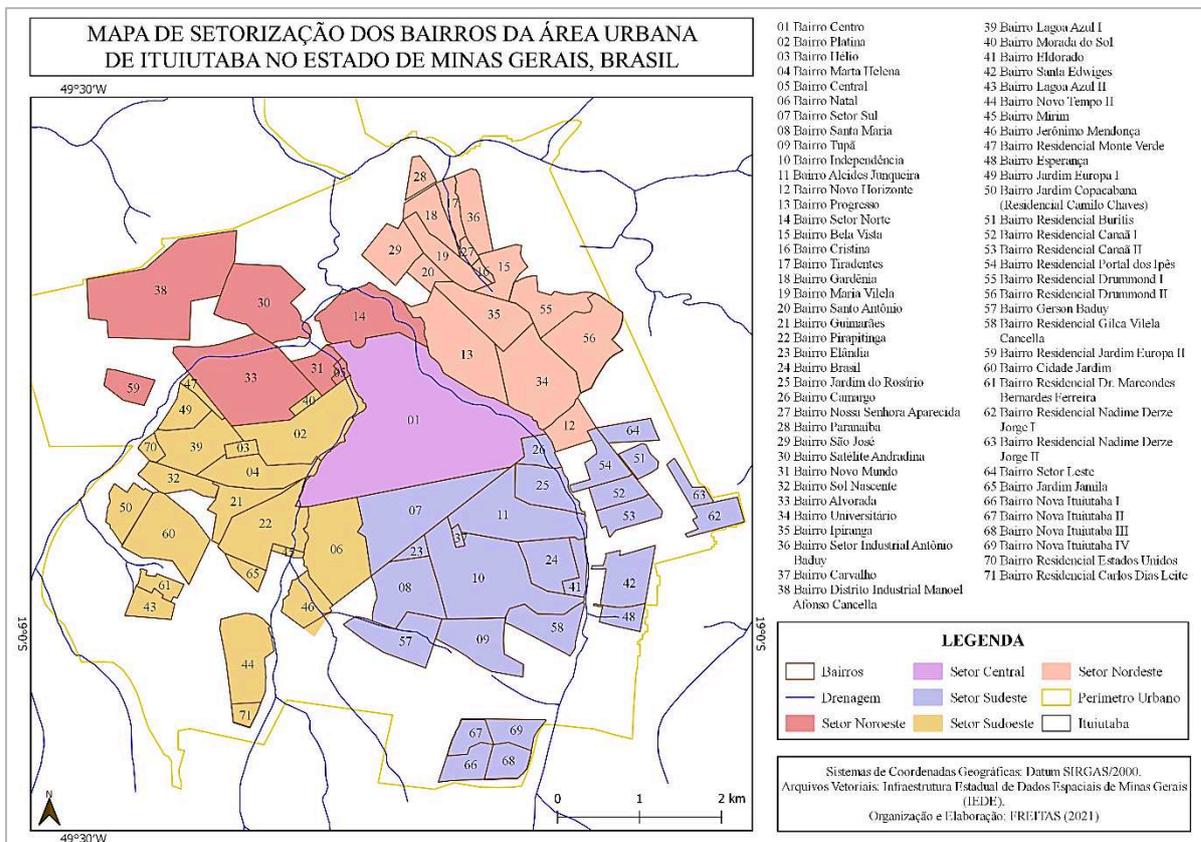
Figura 5: Evolução e surgimento de diferentes estruturas e espaços da área urbana do município de Ituiutaba/MG



Fonte: Adaptado de GUERRA e LIBERA (2014)

Já nas primeiras décadas do século XXI conforme Nascimento, Miyazaki e Melo (2012), Oliveira (2020) e, Demétrio Jorge e Miyazaki (2020) a área urbana de Ituiutaba foi marcada por expressiva expansão territorial, totalizando a construção de 2.895 habitações durante década de 2001 e aproximadamente 4.820 unidades residenciais durante a década de 2011, através da implantação dos bairros Jardim Europa I (2007), Residencial Canaã I e II (2009), Residencial Buritys (2009), Residencial Portal dos Ipês (2010), Residencial Carlos Dias Leite (2010), Residencial Jardim Europa I (2010), Residencial Jardim Copacabana (Residencial Camilo Chaves) (2010), Residencial Drummond I e II (2010), Residencial Gerson Baduy (2010), Residencial Jardim Europa II (2012), Residencial Nadime Derze Jorge I e II (2012), Residencial Gilca Vilela Cancelli (2013), Residencial Dr. Marcondes Bernardes Ferreira (2013), Residencial Nova Ituiutaba I, II, III e IV (2013) e Residencial Estados Unidos (2014). O que ao considerar a setorização de todos os bairros implementados, os setores sudeste e sudoeste foram os que mais se destacaram com essa expansão urbana nessas últimas décadas, como mostra Figura 6.

Figura 6: Mapa de setorização dos bairros da área urbana do município de Ituiutaba/MG (2021)



Fonte: IEDE (s/d). **Elaboração:** FREITAS (2021)

Assim, a ocupação do solo urbano do município foi estabelecida por um “processo de expansão territorial que passou a ocorrer de maneira mais dispersa e, em muitos casos, sem continuidade territorial em relação ao tecido urbano já consolidado (MIYAZAKI, 2018, p. 36)”, o que reproduziu nessas últimas décadas um processo de expansão urbana com padrões desordenados.

Fato este que constata que a formação recente do espaço urbano do município de Ituiutaba/MG pautou-se na “prosperidade vivida durante os anos do auge das lavouras de arroz, milho e algodão e a chegada do fluxo de trabalhadores, fizeram com que a cidade ganhasse dinâmica (JORGE; MIYAZAKI, 2020, p. 95 *apud* OLIVEIRA, 2003, p. 63)”. Ou seja, desde sua origem, a principal esfera que ditou os rumos dessa expansão urbana no município foi a econômica, o que ocasionou sobre o espaço ocupado falta de articulação com as outras esferas, principalmente em relação às especificidades ambientais locais em relação ao uso e ocupação intensa do solo, refletidos na própria organização atual do territorial urbano.

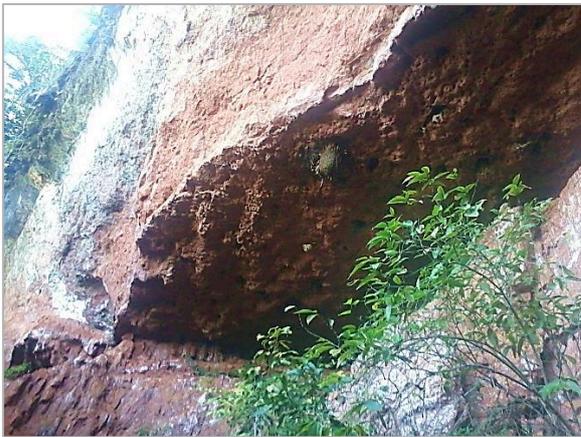
3.2. Características fisiográficas

O processo histórico de ocupação territorial urbana do município de Ituiutaba, associado ao sistema socioeconômico que define a dinamicidade do município, interferiu diretamente na dinâmica natural do meio físico ocupado, refletindo sobre atributos físicos naturais presentes no município. Aspecto este que gera cenários conflitantes entre homem *versus* natureza, por não considerar as especificidades que tais atributos físicos como a geologia e hidrografia, e também, do meio biótico vegetação, e à vista disso, entender a dinâmica que envolve esses atributos e suas especificidades garante um levantamento e compreensão mais precisa do meio físico a ser ocupado, com intuito de gerar diagnósticos e prognósticos acerca de resultantes procedentes da alteração nesse ambiente.

Com base nisso, serão descritos a seguir as especificidades individuais dos atributos físicos citados acima, bem como a inclusão de atributos interligados. A começar pela geologia, que em escala regional conforme Ab’Sáber (1983) e Martins e Costa (2014) o município de Ituiutaba/MG está inserido nos domínios dos Chapadões Tropicais do Brasil Central mais precisamente na borda nordeste da unidade estrutural da Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná, dispondo de formas de relevo com altitudes que variam de 500 a

950 metros, moldadas sobre rochas sedimentares do tipo arenito (Figura 7) das formações geológicas Marília e Adamantina, pertencentes ao Grupo Bauru (do Cretáceo Superior), e também sobre rochas do tipo basalto (Figura 8) da formação geológica Serra Geral, que afloram nos cursos d'água no município.

Figura 7: Rocha do tipo arenito da Formação Marília presente no relevo residual popularmente conhecido como 'Serra do Corpo Seco' no município de Ituiutaba/MG



Fonte: FREITAS (2015)

Figura 8: Rocha do tipo basalto da Formação Serra Geral apresentando afloramento no curso d'água do Córrego São Lourenço no município de Ituiutaba/MG



Fonte: FREITAS (2014)

Decorrente a forças exógenas, como a ação dos tipos climáticos no pretérito e presente, as tipologias no relevo de maior destaque são do tipo tabuliforme, que são elevações topográficas evidenciadas em superfícies planas resultantes da ação de processos erosivos (IBGE, 2009), com colinas de topos amplos e planos suavemente ondulados, bem como, superfícies levemente onduladas e vertentes inclinadas que convergem em direção aos cursos d'água, como vistos nas Figuras 9 e 10.

Figura 9: Vista aérea do Setor Central, entre as Ruas 26 até 16 da área urbana do município de Ituiutaba/MG



Fonte: Acervo midiático da empresa ‘Mega Drone Imagens Aéreas’ (2020)³

Figura 10: Vista aérea do Rio Tijucu no município de Ituiutaba/MG



Fonte: Acervo midiático da empresa ‘Mega Drone Imagens Aéreas’ (2017)⁴

Composição essa que, no âmbito pedológico, influencia na litologia e tipologia dos solos do município, dos quais apresentam diferenciações a depender dos processos geológicos (endógenos e exógenos) ocorridos, havendo maior ocupação territorial de Latossolo Vermelho caracterizado por presença excessiva de ferro em seu material de origem e pH baixo, com nível de profundidade elevada e acentuada porosidade devido ao avançado grau de

³ Acervo público disponível gratuitamente na plataforma de compartilhamento de vídeo YouTube, através do endereço eletrônico <https://www.youtube.com/channel/UCB0CQKhHepVCmpWfznDxjVg/videos> .

⁴ Acervo público disponível gratuitamente na plataforma de compartilhamento de vídeo YouTube, através do endereço eletrônico <https://www.youtube.com/channel/UCB0CQKhHepVCmpWfznDxjVg/videos> .

intemperismo, possuindo alta condutividade hidráulica (bem drenável) e predomínio de grupo textural argiloso (EMBRAPA, 2018). Tais características colaboram para na manutenção persistente das atividades agrícolas no município, pois como a tipologia deste solo ocorre predominantemente em áreas de relevo plano e suavemente ondulado, favorece o sistema de mecanização agrícola em regiões de sua ocorrência por apresentarem condições propícias para o bom desenvolvimento de raízes profundas da cultura implantada.

Relacionado aos processos exógenos de intemperismo e erosão no tempo geológico, a rede hidrográfica superficial e de interfluxo das águas pluviais que modelam a topografia urbana do município é composta pela bacia hidrográfica do Córrego São José ou Córrego Sujo (como popularmente é denominado) abrangendo três canais fluviais: o Córrego São José (com aprox. 13,3 km), o Córrego Pirapitinga (com aprox. 10,9 km) e o Córrego do Carmo (com aprox. 12,6 km); dos quais, todos possuem nascentes em áreas localizadas na zona rural que percorrem toda a área urbana e desaguam no Rio Tijuco (VENCESLAU; PEDRO MIYAZAKI, 2019).

E, no que tange ao tipo de vegetação natural, devido a inserção do município no domínio morfoclimático Cerrado, conforme classificação de Ab'Sáber (1958), anterior às intervenções antrópicas no meio físico havia o predomínio de vegetação do tipo Cerrado *sensu stricto* com formações florestais (cerradão), formações savânicas (campo cerrado e campo sujo) e formação campestre (campo limpo); o que no cenário atual, conforme a intensificação gradual da expansão urbana e de áreas agricultáveis, foram sendo desmatadas e substituídas por áreas de cultivo e pastagem, sobrando apenas da vegetação natural áreas de Preservação Permanente e Reservas Legais.

3.3. Clima e sistemas atmosféricos que mais influenciam na ocorrência das chuvas

Considerando sua localização geográfica, a inserção no domínio morfoclimático Cerrado (AB'SABER, 1958) e partindo da classificação climática definida por Köppen-Geiger (1928) o município de Ituiutaba/MG apresenta tipo de Clima Aw ou tropical de savana, no qual sua principal característica é a sazonalidade climática marcada pela manifestação de duas estações distintas: uma estação com escassez de chuvas e temperaturas amenas, com ocorrência anual por volta dos meses entre abril a setembro; e, uma estação com

excessivo volume de chuva e temperaturas elevadas, com ocorrência anual por volta dos meses entre outubro a março (COSTA; QUEIROZ, 2021).

Comportamentos determinados pela dinâmica atmosférica da região Sudeste do Brasil, situada na parte mais elevada do relevo do Planalto Atlântico (VERVLOET; ROSS, 2012), por conta dos fatores estáticos (geográficos) como a região da Serra da Mantiqueira (entre os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro), Serra do Mar (entre os estados do Rio de Janeiro até Santa Catarina na região Sul) e a Serra do Espinhaço (entre os estados de Minas Gerais e Bahia na região Nordeste), que exercem influência no posicionamento e distribuição dos elementos do clima como chuva, temperatura e umidade relativa do ar.

Além dos fatores estáticos, os fatores dinâmicos também influenciam na dinâmica climática do município de Ituiutaba, visto que as condições climáticas da Região Sudeste são determinadas por influência de sua posição geográfica que lhe mantém em uma região de transição entre “climas quentes das latitudes baixas e os climas mesotérmicos de tipo temperado das latitudes médias” (NIMER, 1989, p. 275), que associados à dinâmica das massas de ar determinam efetiva atuação de sistemas atmosféricos de origem tropicais e extratropicais, como ciclones e anticiclones. E, também, os sistemas meteorológicos de latitude durante o ano todo, dos quais, no outono e inverno, atuam no município principalmente os Sistemas Frontais e Polares; e na primavera e verão, os sistemas meteorológicos Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS (responsável pelo volume das chuvas nas regiões Centro-Oeste e Sudeste) e Zona de Convergência de Umidade – ZCOU (que se assemelha aos parâmetros físicos e dinâmicos da ZCAS, porém apresenta persistência inferior).

Mais especificamente no inverno há enorme influência da atuação do sistema de alta pressão Alta Subtropical do Atlântico Sul – ASAS, que ocasiona uma alteração da dinâmica das chuvas, pois a sua atuação bloqueia a passagem das Frentes causando "inversão térmica e concentração de partículas suspensas na atmosfera, atingindo principalmente as regiões Sudeste e Sul (BASTOS; FERREIRA, 2000, p.612)", ocasionando extensos períodos de estiagem. E, no verão, quando os Sistemas Frontais e os Sistemas Convectivos de Mesoescala – SCM, se associam ao sistema ZCAS e/ou ZCOU, produzem excessivo volume de chuvas.

A produção desse acúmulo excessivo de chuva é fator recorrente entre a primavera e verão, e influenciado principalmente pelo sistema ZCAS, pois este apresenta atuação típica na América do Sul e é caracterizado por uma faixa densa de nebulosidade acarretando elevada

produção no volume de chuva na região Sudeste. E, além da associação com os sistemas citados, as Correntes de Jatos Subtropicais e os Cavados Semi-estacionários que influenciam no comportamento da umidade relativa do ar, intensificando a atuação da ZCAS e resultando em episódios de chuva com elevados volumes pluviométricos (KODAMA, 1992; QUADRO, 1994).

E, em relação aos elementos do clima temperatura e umidade relativa do ar, Queiroz e Costa (2012) através do estudo “Caracterização e variabilidade climática em séries de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação em Ituiutaba – MG”, que abrangeu 32 anos (1980-2012) de observação de dados climáticos (condizente com o período mínimo de 30 anos), constataram que o município “apresenta elevadas temperaturas médias anuais, devido à influência da continentalidade e baixas altitudes (...). No que se refere às temperaturas máximas mensais e anuais, a média atinge 38,1°C (QUEIROZ; COSTA, 2012, p. 351)”, e em relação à umidade relativa do ar mínima varia aproximadamente entre 20% a 40% no decorrer do ano.

4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

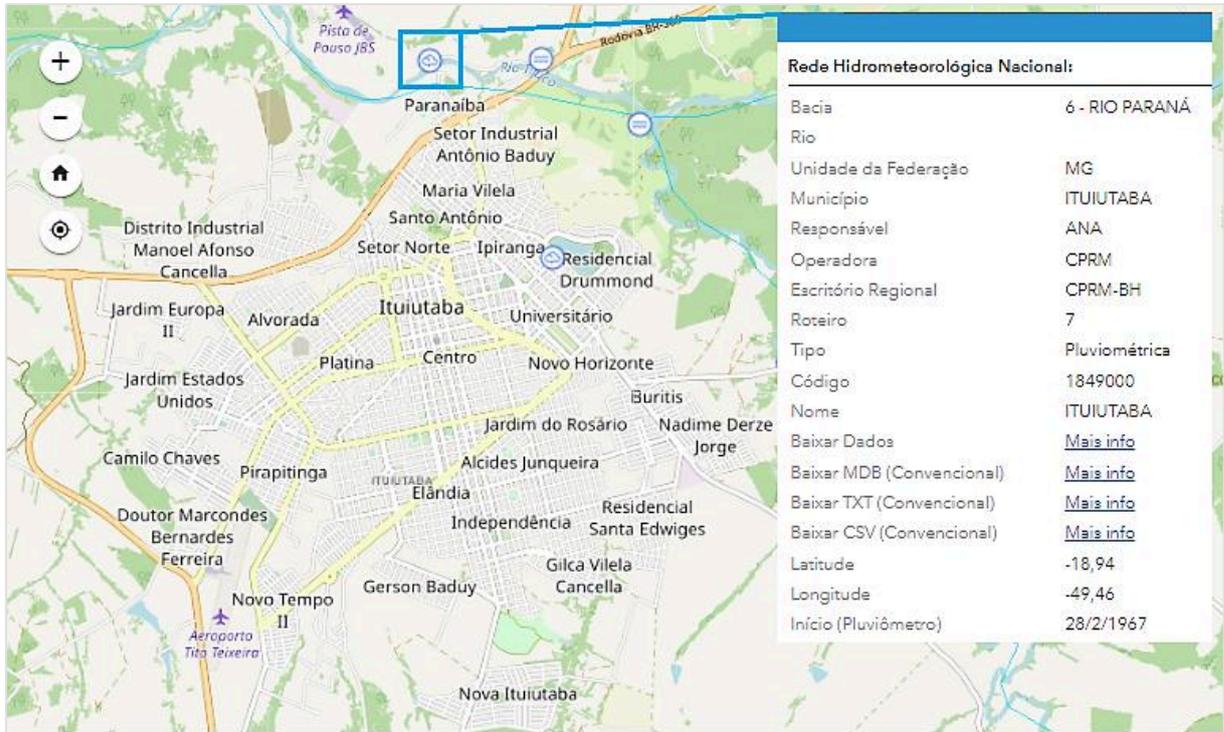
Considerando atingir os objetivos (geral e específicos) propostos, essa seção trará a descrição de todas as metodologias adequadamente selecionadas e utilizadas, desde a aquisição dos dados que compõem a série histórica (1967-2019) passando por cada etapa de aplicação das metodologias empregadas.

4.1. Aquisição e organização dos dados que compõem a série histórica

Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizada uma série histórica de dados pluviométricos diários entre 1967 a 2019 (53 anos). E ao considerar estudos em escala climática a série histórica supera o período mínimo de 30 anos de dados conforme regulamentação técnica da WMO (2018).

Os dados que compreendem a série histórica em análise fazem parte do banco de dados da Rede Hidrometeorológica da Agência Nacional das Águas - ANA, disponível na Estação Pluviométrica 1849000, situada na margem do perímetro urbano de Ituiutaba/MG em latitude 18°94'28''S e longitude 49°46'47''W, na bacia do Rio Paraná (Figura 11), cujo início de suas operações datou-se no dia 28 de fevereiro de 1967 e mantém-se operante até os dias atuais.

Figura 11: Localização da Estação Pluviométrica 1849000 da Agência Nacional das Águas – ANA



Fonte: ANA (2021)

A série selecionada (1967 a 2019) propiciou visualização ampla e melhor compreensão acerca do regime pluviométrico do município de Ituiutaba em nível mesoclimático, que de acordo com Ribeiro (1993).

“Nível mesoclimático: - Interação entre a energia disponível (para o processo de evaporação e de geração de campos de pressão) e as feições do meio terrestre. A mesoclimatologia está “preocupada com o estudo do clima em áreas relativamente pequenas, entre 10 a 100 quilômetros de largura, por exemplo, o estudo do clima urbano e dos sistemas climáticos locais severos tais como tornados e temporais” (RIBEIRO, 1993, p. 02)”.

Tais dados foram organizados e manuseados através do software Microsoft Office Excel - versão 2015, que é um editor de planilhas eletrônicas com ferramentas de cálculos e o software Hidro - versão 1.4, projetado especificamente para o gerenciamento de bases de dados hidrometeorológicas desenvolvido pela ANA. Ambos os softwares se destacam por apresentar uma linguagem acessível e ferramentas que permitem a realização de cálculos, testes estatísticos e análises exploratórias dos dados, culminando na produção de gráficos e tabelas que auxiliam as interpretações dos resultados obtidos.

No geral a série histórica resultou em uma gama de dados satisfatória que garantiu o desenvolvimento dos objetivos (geral e específicos) propostos nesta pesquisa através de técnicas e metodologias descritas nos tópicos a seguir.

4.2. Procedimentos estatísticos adotados preliminarmente

Após a seleção e organização da série histórica através de arquivo planilha no software Microsoft Office Excel - versão 2015, por meio do cálculo de soma e média aritmética dos dados diários, foram construídas três tabelas com intuito de otimizar a análise dos dados. A primeira tabela refere-se à análise dos totais e médias de chuva ao longo dos meses e anos, bem como a identificação dos meses com maior e menor concentração de chuva. Já a segunda tabela, contém as alturas pluviométricas máximas registradas no decorrer de um dia por mês e a maior altura pluviométrica máxima em cada ano. E a terceira tabela, contendo os totais e a média de dias de chuva registrados no decorrer dos meses e anos.

Ao final dessa etapa foi elaborado um gráfico contendo a junção das três variáveis destacadas preliminarmente, sendo: média mensal pluviométrica, alturas pluviométricas máximas e a média mensal de dias com chuva. O intuito foi analisar a dinâmica do regime pluviométrico do município de Ituiutaba associando com as características climáticas do município.

4.3. Metodologia dos Máximos de Precipitação

Com o propósito de identificar os episódios de eventos extremos diários de chuva no município de Ituiutaba, dentro da série histórica (1967 a 2019), bem como, categorizá-los e quantificá-los quanto ao nível de intensidade desses eventos, foi aplicada a metodologia estatística dos Máximos de Precipitação. Para tal, através de tabulação preliminar dos dados no *software* Hidro - versão 1.4, no qual foram organizados a relação das alturas pluviométricas máximas em uma tabela, que posteriormente foram baixados em arquivo no formato “*xlsx*” e ordenados no *software Microsoft Office Excel* - versão 2015.

Para a aplicação da metodologia, inicialmente foram selecionados os acumulados diários (24 horas) de chuva iguais ou superiores a 50 mm e organizados em ordem crescente, para facilitar a identificação dos acumulados que se enquadrarem no limiar, também estabelecido nos trabalhos de Frich et. al. (2002), Calvetti et. al. (2006), Gao, Jeremy e Fillipo (2006), Conti (2011), Silva (2012) e Monteiro (2016). Cujos estabelecem que “tal acumulado de chuva já pode ser considerado suficiente para ocasionar algum tipo de impacto em um município, principalmente naqueles mais urbanizados e com maior vulnerabilidade (MONTEIRO, 2016, p. 71)”.

Após a seleção dos acumulados dentro do limiar estabelecido, foi realizado o cálculo da média aritmética dos máximos e do desvio padrão e, posteriormente, realizada a aplicação das fórmulas apresentadas na Figura 12, com o propósito de definir os valores estimados de cada nível de intensidade dos extremos de chuva.

Figura 12: Fórmulas aplicadas na classificação dos níveis de intensidade das chuvas

Intensidade Muito Grande	NÍVEL IV	$\bar{M} \text{ máx} + 3\sigma \leq P$
Intensidade Grande	NÍVEL III	$\bar{M} \text{ máx} + 2\sigma \leq P < \bar{M} \text{ máx} + 3\sigma \leq P$
Intensidade Média	NÍVEL II	$\bar{M} \text{ máx} + 1\sigma \leq P < \bar{M} \text{ máx} + 2\sigma \leq P$
Intensidade Pequena	NÍVEL I	$M \text{ máx} \leq P < M \text{ máx} + 1\sigma$
	NORMAL	$P < M \text{ máx}$

Onde:
 $\bar{M} \text{ máx}$: Média dos maiores registros de chuva acima de 50 mm
 σ : Desvio Padrão dos Máximos
P: Precipitação a ser analisada pelo usuário

Fonte: Adaptado de MONTEIRO; ZANELLA (2017). **Org:** FREITAS (2021)

E, conforme Monteiro (2017), a aplicação de tais fórmulas expressou que:

Os eventos extremos de Nível I representam aqueles acumulados de chuva em que a média dos máximos valores é menor ou igual à precipitação avaliada e, ao mesmo, tempo menor que a média dos máximos ($M \text{ máx}$) mais uma vez o desvio padrão (σ) dos máximos valores.

Os eventos extremos de Nível II são aqueles valores maiores ou iguais à média dos máximos mais uma vez o desvio padrão dos máximos e, ao mesmo tempo, menor que a média dos máximos mais duas vezes o desvio padrão dos máximos.

Nos eventos extremos de Nível III consideram-se os eventos de precipitação maiores ou iguais a média dos máximos mais duas vezes o desvio padrão dos

máximos e menor que a média dos máximos mais três vezes o desvio padrão dos máximos.

Por fim, o nível IV representa aqueles valores que são superiores ou igual à média dos máximos mais três vezes o desvio padrão dos máximos (MONTEIRO, 2017, p. 72).

Com isso, foi possível contabilizar e categorizar os eventos de chuva a partir de cada nível de intensidade e data que ocorreram, evidenciando os maiores eventos extremos de chuva ocorridos em cada nível de intensidade, bem como identificar os sistemas atmosféricos mais evidentes que influenciaram a ocorrência desses eventos através de dados observacionais.

Para dar ênfase aos maiores episódios identificados, foi realizada solicitação de dados observacionais do tipo Cartas Sinóticas através do envio de um e-mail para o endereço eletrônico *chm.bndo@marinha.mil.br* da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, no qual as instruções para solicitação estão descritas no site <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-bndo/outros-dados-e-produtos> do Centro de Hidrografia da Marinha, da Marinha do Brasil. Ressalta-se que a escolha em utilizar as Cartas Sinóticas do DHN da Marinha foi determinada devido ao acervo contemplar dados desde o início do século XX e ter ocorrido a disponibilização de todo material utilizado em tempo hábil.

4.4. Curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência)

Frente aos danos humanos e/ou materiais que os episódios de eventos extremos de chuva podem ocasionar em superfície, optou-se na aplicação de um método que auxiliasse na quantificação das variáveis de Intensidade-Duração-Frequência das chuvas intensas, com a finalidade determinar a Curva de IDF para o município de Ituiutaba/MG, para averiguar como essas chuvas se distribuem temporalmente, visto que tais variáveis são de suma importância no que tange os aspectos de capacidade máxima quanto às estruturas hidráulicas urbanas, bem como, estimativa de disponibilidade hídrica para consumo humano, produção agrícola e empregada aos usos do setor industrial.

Para esse fim e baseado nos trabalhos de Bertoni e Tucci (2001), Collischonn e Tassi (2008) e, Arboit, Mancuso e Fioreze (2019), primeiramente foram selecionadas as maiores

alturas pluviométricas máximas diárias (24 horas) registradas em cada ano da série histórica (1967-2019). Após, foi realizado o ajuste desses dados através do método de distribuição estatística de Gumbel (também conhecido como Tipo I de Fisher-Tippett), definido por ser o método mais utilizado em análises que visam determinar a probabilidade da frequência de variáveis hidrológicas segundo Naghettini e Portela (2011).

Através do método de distribuição estatística de Gumbel, nos quais os valores obtidos a partir da relação das alturas pluviométricas máximas selecionadas (x_i) e da média aritmética (\bar{x}) foram obtidos através das Equações 2 e 3, que incluindo as Equações 4 e 5 determinaram os valores correspondentes às variáveis α e μ , sendo possível através da aplicação da Equação de Gumbel (6) obter os valores estimados de alturas pluviométricas máximas de um dia para os diferentes tempos de duração incorporados (horas, minutos).

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

\bar{x} = média aritmética (mm)

x_i = relação das alturas pluviométricas máximas (mm)

n = número total da amostra

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

\bar{x} = média aritmética (mm)

x_i = relação das alturas pluviométricas máximas (mm)

S = desvio padrão (mm)

n = número total da amostra

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

π = constante 3,141592

S = desvio padrão

$$u = \bar{x} - \gamma * \alpha \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

\bar{x} = média aritmética (mm)

$\gamma = 0,5772$ (constante de Euler-Mascheroni)

α = resultado obtido na Equação 3

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:

$F_{(x)}$ = função de densidade de probabilidade

x = variável aleatória associada as alturas pluviométricas máximas

μ e α = parâmetros relacionados ao desvio padrão e a média aritmética

e = base dos logaritmos neperianos

E, com intuito de aferir os valores estimados obtidos através das equações acima, optou-se por seguir o critério elaborado por Weiss (1964), partindo de experimentos e análises de mil estações de chuva, no qual cada valor obtido foi multiplicado pelo índice de 1,13, convertendo os valores estimados obtidos anteriormente para valores estimados que fossem limiares mais próximos da realidade, já que a variável chuva apresenta comportamento inconstante no espaço-tempo. E, também, para que houvesse estimativas desses valores partindo do período de retorno de e 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 e 500 anos e tempo de duração em 24, 18, 12, 8, 6, 5, 4, 3, 2 e 1 hora, foi adicionado os coeficientes fixos propostos por Campos-Aranda (1978), com o propósito de desagregar os valores estimados obtidos em tempo de duração menores (Quadro 1).

Quadro 1: Coeficientes proposto por Campos-Aranda (1978)

TEMPO DE DURAÇÃO EM ATÉ 24 HORAS DE CHUVA										
Horas	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
Coeficientes	0,30	0,39	0,46	0,52	0,57	0,61	0,68	0,80	0,91	1,0

Fonte: CAMPOS-ARANDA (1978)

A partir de tais aplicações, conforme método de distribuição de Gumbel (Equação 6), através da Equação 7 foi possível estabelecer os valores prováveis de intensidade (mm/h) para

cada períodos de retorno estabelecido em 24, 18, 12, 8, 6, 5, 4, 3, 2 e 1 hora, partindo da relação das alturas pluviométricas máximas (mm) com tempo de duração em 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 e 500 anos. Que propiciou obter estimativas de intensidade (mm/min) em 1440, 1080, 720, 480, 360, 300, 240, 180, 120 e 60 minutos.

$$I = \frac{P \text{ (mm)}}{t_{\text{duração}} \text{ (h)}} \quad \text{(Equação 7)}$$

Em que:

I = intensidade das chuvas máximas (mm/h)

P = valor correspondente a precipitação (mm)

t = tempo de duração (h)

Na sequência, baseado em Bernard (1932), foi aplicada a Equação de Chuvas Intensas (1) partindo dos valores de intensidade, duração e frequência, para definição dos índices ‘ a ’, ‘ b ’ e ‘ c ’ para a composição da Curva de IDF. E, após, foi aplicado o método de regressão potencial com a inclusão da constante A e do coeficiente B para cada período de retorno (anos), partindo dos testes realizados por Petrucci (2017) que concluiu que dentre os modelos testados a regressão potencial se ajustou melhor quanto ao tipo de dado analisado e com intuito de validar os valores que substituíram os índices da equação de chuvas intensas, foi substituído o indicador “ $a * T^b$ ” por “ d ” e incorporadas na aplicação das Equações 8 e 9. E, acerca de estimar como os eventos extremos de chuva evoluem no decorrer dos períodos de retorno (anos) estabelecidos, também foi incorporado o expoente Logaritmo Natural (\ln) para A e para B.

$$d = a * T^b \quad \text{(Equação 8)}$$

Em que:

a = constante de regressão

T^b = período de retorno elevado ao seu coeficiente de regressão

$$I = \frac{d}{t^c} \Rightarrow I = d * t^{-c} \quad (\text{Equação 9})$$

Em que:

I = intensidade da chuva (mm/h)

d = valor obtido da Equação 8

t^c = período de retorno elevado ao seu coeficiente de regressão negativo

Assim, foi possível validar os índices obtidos e compor uma Curva de IDF válida para o município de Ituiutaba/MG.

4.5. Teste não paramétrico de Mann-Kendall

Considerando que o objeto central desta pesquisa é a variável chuva e com propósito de verificar se a série histórica (1967-2019) apresenta indício de tendência, o método empregado para essa averiguação é o teste não paramétrico de Mann-Kendall, desenvolvido por Mann (1945) e Kendall (1975), que consiste em um teste não paramétrico baseado em um processo de hierarquização e classificação dos dados, com o objetivo de testar a presença ou não de tendência em séries históricas, baseando-se em duas hipóteses: H_0 (hipótese nula), que parte do pressuposto que os dados analisados são proporcionalmente independentes e ordenados aleatoriamente, não apresentando tendência; e H_1 (hipótese alternativa), que pressupõe que os dados analisados apresentam falhas mais consistentes (decrescente) ou falhas menos consistentes (crescente), dentro do tempo observado, apresentando tendência (MORAES et. al., 1998).

No estudo de tendência em séries históricas, assume-se que uma hipótese é nula (H_0) quando não existe tendência nos dados. O resultado do teste de tendência é uma escolha entre rejeitar H_0 ou não. Porém, rejeitar a hipótese nula não significa que foi provada a inexistência de tendência, pelo contrário, assim se constata que a evidência disponível não apresenta provas suficientes para concluir a existência de tendência (HELSEL et al., 2020). É importante lembrar também que as tendências são baseadas, principalmente, no comportamento de determinada série histórica progressa, sendo que não se pode afirmar que o comportamento apresentado até então continuará posteriormente.

As principais vantagens da utilização desse método é que não há interferência na aplicação do método quando os dados apresentam valores anormais em relação à média aritmética e ao desvio padrão, devido a mudanças abruptas ou distribuição de valores não homogêneos das variáveis. E, a correlação entre a ordem e classificação dos valores e ordenação destes no tempo analisado é considerada (MORAES et. al. 1998).

Porém, conforme Hamed e Rao (1998) quando um conjunto de dados analisados é correlacionado, os níveis de significância empírica dos resultados sobre H_0 ou H_1 (quanto à ocorrência ou não de tendência) são afetados. Por isso, após testes realizados pelos autores, com séries históricas de chuva no período de 1895 a 1992 (98 anos) dos estados de Indiana e Ohio (localizados no país Estados Unidos, na América do Norte), e através da série histórica de 1903 a 1992 (90 anos) da média anual do fluxo do rio Cedar (localizado na cidade de Cedar Rapids, nos Estados Unidos) - utilizando para ambos os testes o nível de significância (α) de 5%, pois, em análises estatísticas o nível de significância representa a discrepância dos valores entre a hipótese e dados observados, estabelecendo a probabilidade de cometer-se o erro de rejeitar a tal hipótese quando esta for verdadeira (HAMED; RAO, 1998). Assim, ao analisar os resultados obtidos constataram que somente a aplicação do Teste de Mann-Kendall poderia camuflar os resultados reais a serem obtidos, gerando a detecção de tendência quando na realidade não existem ou, o inverso, a não detecção de tendência quando na realidade existe.

E, assim, determinaram que antecedente a aplicação do Teste de Mann-Kendall é necessário realizar um Teste de Autocorrelação, no qual, o alcance de precisão dos resultados é condizente ao nível de significância empregado.

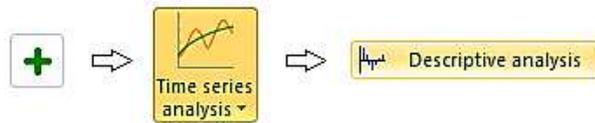
O Teste de Autocorrelação tem como base a correlação dos componentes de sazonalidade, ciclicidade e aleatoriedade, propiciando melhor averiguação de uma série histórica que compreende dados com característica independente, ou seja, que os valores que compõe o conjunto de dados analisados não irão predeterminar valores futuros em escala temporal (XLSTAT, 2021). Pois, se houver a constatação que os dados são dependentes e influenciados entre si, pode ocasionar discrepância entre os valores obtidos e os valores que realmente condizem com a realidade.

Sendo assim, para a realização de identificação quanto a indícios de tendência na série histórica (1967-2019), foi utilizado o *software XLSTAT Statistical Analysis* – versão 2021.2, que funcionou como suplemento estatístico dentro do *software Microsoft Office Excel*

- versão 2015. Ao baixar o complemento nota-se que a interface se apresenta em idioma inglês e dispõe de alto desempenho para o que se propõe, entretanto, a aquisição de sua licença depende de um custo que se diferencia quanto a origem (setor privado ou acadêmico) do requerente, podendo haver sua utilização no período máximo de 14 dias de maneira totalmente gratuita, somente com a execução de um cadastro inicial no website oficial da empresa responsável <<https://www.xlstat.com/en/order/xlstat>>.

Em sequência, preliminarmente, foi realizado a aplicação do Teste de Autocorrelação baseado em três fases: primeira – identificação de testes adequados com base na análise da autocorrelação; segundo – verificação da estimativa dos valores obtidos a partir de cada teste aplicado; e, terceiro - diagnóstico do resultado final através da análise sobre ruído branco, para saber se os dados analisados são adequados para o que se propõe. Assim, para a aplicação desses processos foram realizados os seguintes passo a passo:

- **1º passo:** Após abrir o *software Microsoft Office Excel* - versão 2015 e selecionar o complemento **XLSTAT**, foram selecionados os comandos:

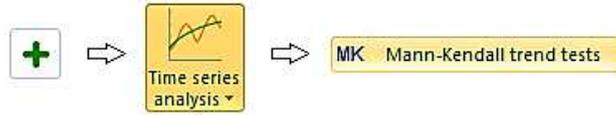


- **2º passo:** Na sequência exibiu-se uma pequena caixa de diálogo denominada *Descriptive analysis*, na qual na opção **General** é solicitado que em *Times series* fossem inseridas as células da planilha que compreendem os dados a serem analisados. E, é indicado que o campo *Series labels* seja mantido ativado devido a primeira linha dos dados dispostos na planilha *Excel* corresponder as informações do cabeçalho da variável em análise. Também, na mesma caixa de diálogo, nos comandos **Options**, **Missing data**, **Outputs** e **Charts**, as funções já aparecem selecionadas conforme objetivo do teste selecionado;
- **3º passo:** E, ao final dessas etapas uma nova caixa de diálogo é exibida, com descrição do nome do conjunto de dados e a quantidade de dados processados. Em seguida, clicando em **OK** foi gerada uma planilha no próprio *software Microsoft Office Excel*, contendo os resultados dos da aplicação do Teste de Autocorrelação.

Após, foi aplicado o Teste de Mann-Kendall nós mesmos dados utilizados na aplicação do Teste de Autocorrelação (e não nos resultados obtidos, pois estes serviram para testar o fator de independência e aleatoriedade), adotando o mesmo nível de significância (α) de 5% (mas convergido para 0,05) utilizado no teste com a variável chuva realizados por

Hamed e Rao (1998). Com isso, também, através do complemento XLSTAT, foi aplicado o Teste de Mann-Kendall através dos seguintes passo a passo:

- **1º passo:** Através do complemento XLSTAT, foram selecionados os seguintes



comandos:

;

- **2º passo:** Na sequência exibiu-se uma pequena caixa de diálogo denominada *Mann-Kendall trend test* e dentro do comando *General* no campo *Time series* foram adicionadas as células da planilha que compreendem os dados a serem analisados. Também, é indicado que o campo *Series labels* seja mantido ativado devido à primeira linha dos dados dispostos na planilha *Excel* corresponder às informações do cabeçalho da variável em análise, e o campo no *Seasonal Mann-Kendall Test* manter o período 12 (correspondente ao meses do ano). E, na mesma caixa de diálogo os comandos *Options, Missing data, Outputs e Charts*, já apresentam as funções especificadas conforme objetivo do teste selecionado, sendo que neste último ao clicar em **OK** foi gerada uma planilha no próprio *software Microsoft Office Excel*, contendo os resultados dos da aplicação do Teste de Mann-Kendall.

E, partindo da utilização de todos esses testes foi possível analisar mês a mês, a existência de tendência ou não, dos dados de chuva de Ituiutaba.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentadas todas as análises conjuntamente aos resultados obtidos após aplicação das metodologias utilizadas e descritas na seção ‘4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS’, de modo que a princípio destacou-se o comportamento da dinâmica pluviométrica no intuito de analisar a dinâmica do comportamento das chuvas e as características climáticas do município, o que possibilitou uma observação ampla e melhor entendimento sobre a variabilidade mensal e anual das chuvas. Depois, foram identificadas as alturas pluviométricas máximas (no período de 24 horas), para estatisticamente analisar quais os valores estimados das diferentes intensidades de eventos extremos de chuva, no intuito de correlacionar as ocorrências dos eventos de maior magnitude a possíveis impactos (com potencial de causar danos humanos e/ou materiais) por meio de desastres hidrometeorológicos divulgados pela imprensa local. Para que, ao final, fosse possível quantificar e estimar os valores que correspondem à intensidade, duração e frequência desses eventos, frente à capacidade máxima das estruturas hidráulicas urbanas, bem como a disponibilidade hídrica no futuro.

Salienta-se que as tabelas completas produzidas a partir dos dados se encontram em ANEXOS, pois, por se tratar de uma série histórica de 53 anos seria necessário dispor de muito espaço no corpo do texto e neste se encontram somente os valores e informações que se destacaram em cada análise realizada.

E, decorrente da ausência ou falha em medições identificadas quanto aos valores diários e mensais, alturas pluviométricas máximas e quantidade de dias registrados com chuvas, optou-se por não aplicar nenhuma técnica estatística que estimassem valores com a finalidade de preencher tais lacunas, mas diferenciando-as através do indicador ‘s/d’ (sem dados) com fonte em cor vermelha, mantendo unicamente a utilização das medições efetivas obtidas no banco de dados da ANA (2021).

5.1. Caracterização do regime pluviométrico

5.1.1. Distribuição pluviométrica mensal e anual

Considerando as características climáticas e os sistemas atmosféricos que influenciam a dinâmica dos elementos do clima no município de Ituiutaba, o registro completo da organização e tratamento estatístico preliminar dos dados encontra-se expresso em ‘Anexo 1: Tabela dos totais e médias de chuva ao longo dos meses e anos que compõem a série histórica’. No entanto, a Tabela 1 apresenta a relação dos totais anuais e valores mensais máximos e mínimos das chuvas registrados em toda a série histórica (1967-2019).

Tabela 1: Totais anuais e valores mensais máximos e mínimos registrados em Ituiutaba/MG (1967-2019)

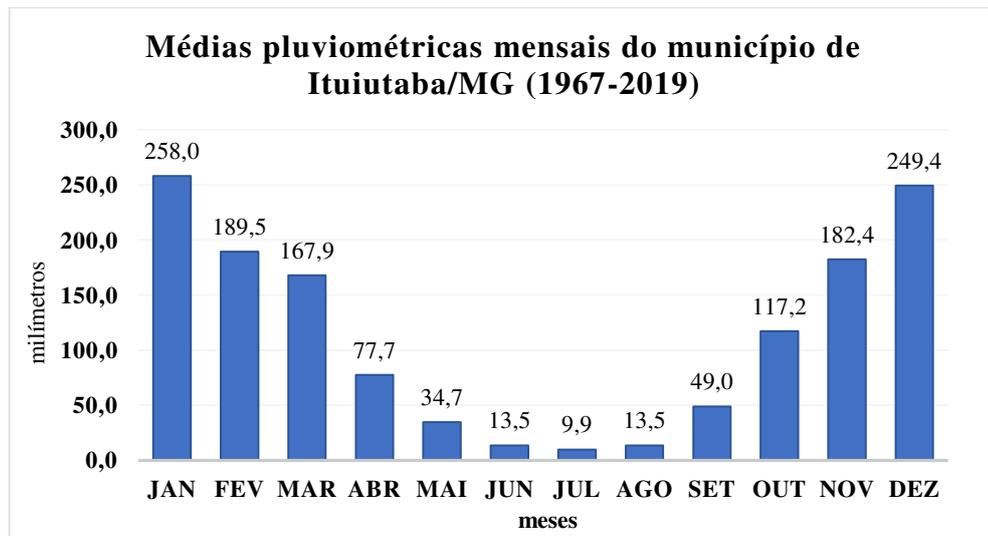
ANO	Total anual (mm)	Mês com maior acúmulo pluviométrico	Valor máx. registrado (mm)	Mês com menor acúmulo pluviométrico	Valor mín. registrado (mm)
1967	818,7	NOV	295,1	MAI	17,9
1968	1153	FEV	349,1	MAI	3,5
1969	1117,9	OUT	268	MAI	1,2
1970	1176,4	FEV	370,4	MAI	0,8
1971	1057,6	DEZ	350,8	MAI	7,8
1972	1579,5	NOV	355,4	ABR	21,6
1973	1336,8	MAR	316,2	MAI	2
1974	1186,5	DEZ	319,3	FEV	2,4
1975	1111,2	NOV	239,8	SET	9
1976	1553,7	FEV	343,8	JUN	6,8
1977	1294,6	JAN	282,3	AGO	3,7
1978	1417,4	JAN	378	JUN	13,3
1979	1823,3	DEZ	445,9	AGO	16,7
1980	1745,9	FEV	483,2	JUN	10,2
1981	802,9	JAN	252,6	ABR	16,6
1982	1276,2	MAR	257	JUL	8,3
1983	1726,6	JAN	399,2	JUN	21,6
1984	1064,3	JAN	200,6	JUN	2,4
1985	967,1	JAN	286,9	AGO	6,3
1986	1408,4	MAR	270,6	JUL	25,7
1987	1749,1	DEZ	435,7	AGO	2,2
1988	1281,3	DEZ	255	SET	5
1989	2027,3	DEZ	913	JUN	12,2
1990	1357,5	JAN	361,6	JUN	12
1991	1462,7	MAR	398,4	MAI	4,3
1992	1131,3	JAN	268,6	AGO	1,8
1993	1559,6	FEV	385,8	JUN	31,4
1994	1375,7	DEZ	369,5	MAI	14
1995	1773,4	FEV	517,2	JUN	29,1
1996	1408,8	JAN	354,8	JUL	2,2
1997	1630,3	JAN	382,4	MAI	51,6
1998	1575,6	OUT	290	JUN	1,4
1999	1147,1	JAN	321	JUL	0,2
2000	1505,8	FEV	378,6	MAI	1,9
2001	1319,8	DEZ	248,3	JUN	3,2
2002	1024,5	FEV	317,9	JUL	3,7
2003	1361	JAN	309,7	JUL	2

2004	1336	DEZ	418,5	MAI	2,5
2005	1780,4	JAN	629	JUL/AGO	0,2
2006	1623,5	MAR	307,5	MAI	2,8
2007	1827,1	NOV	442,5	JUN	8,6
2008	1544,6	JAN	518,6	JUN	0,3
2009	1475,2	DEZ	366,2	AGO	2
2010	976,4	JAN	212,5	AGO	0,2
2011	1220,4	MAR	295,6	JUN	2
2012	1212	JAN	311,4	JUL	4,8
2013	1417,7	DEZ	327,2	JUL	3
2014	647,8	JAN	209,8	JUN	1,2
2015	956,1	MAI	201,5	JUL	8
2016	1328,6	DEZ	334,5	MAI	24
2017	1350,8	NOV	344,9	MAI	53,3
2018	873,7	JAN	347	MAI	14,8
2019	882,9	NOV	217,1	AGO	9,7
Média	1362,6				

Fonte: ANA (2021). **Org.:** FREITAS (2021)

Após análise dos dados, constatou-se que Ituiutaba apresenta, em média, precipitação de 1362,6 mm/ano, evidenciando o ano de 1989 com maior acúmulo pluviométrico totalizando 2027,3 mm e o ano de 2014 com menor acúmulo pluviométrico totalizando 647,8 mm. Todos os valores que correspondem aos acúmulos máximos mensais ultrapassam os 200 mm, sobressaindo o mês de dezembro de 1989 com o total de 913 mm, valor atípico quando comparado aos demais totais máximos, mas, seguindo correlacionado ao ano que atingiu o maior total na série histórico (1967-2019). E, quanto aos acúmulos mínimos mensais registrados em 0,2 mm, destacaram-se o mês de julho de 1999, julho e agosto de 2005 e agosto de 2010.

Como disposto no Gráfico 1, o município apresenta regime pluviométrico condizente ao Clima Aw ou Tropical, caracterizado pela delimitação de duas estações com durabilidade aproximada de seis meses cada, sendo uma estação chuvosa que persiste nos meses de outubro a março, e uma estação seca entre os meses de abril a setembro. Essas especificidades resultam em uma dinâmica cujas chuvas concentram-se em meses específicos, ocasionando supostamente ao município distribuição pluviométrica “regular” quanto ao período de início e final das chuvas. E, em relação à distribuição mensal das médias pluviométricas, se destacam dezembro com 249,4 mm e janeiro com 258 mm, e os meses com menores médias mensais são julho com 9,9 mm e junho e agosto com valores iguais em 13,5 mm. Estes últimos valores resultaram em igualdade por razões eventuais, visto que a distribuição dos totais de chuvas durante a série histórica ocorreu aleatoriamente.

Gráfico 1: Médias pluviométricas mensais do município de Ituiutaba/MG (1967-2019)

Fonte: ANA (2021). Org.: FREITAS (2021)

Ao considerar as especificidades marcantes do Clima Tropical no município, quanto à existência de duas estações bem definidas, é possível identificar que sobre a média pluviométrica anual de 1362,6 mm, durante a estação chuvosa (outubro a março) registra-se em média 1164,4 mm, equivalente a 85,5% das chuvas, e na estação seca (abril a setembro) ocorre declínio acentuado dessas médias registrando o valor de 198,3 mm, que equivale a 14,5% das chuvas no município. E, analisando os meses que configuram os maiores acúmulos pluviométricos, dezembro e janeiro totalizam 447,5 mm, representando juntos 32% das chuvas, e os meses que configuram os menores acúmulos (junho, julho e agosto) totalizam 36,9 mm, representando 2,7% das chuvas em Ituiutaba.

Ainda em relação às estações, na chuvosa, em média, todos os meses que englobam a estação atinge totais pluviométricos acima de 100 mm no mês, ao contrário da estação seca, cujos meses apresentam declínio evidente nos valores que correspondem aos totais pluviométricos de chuva. Contudo, vale ressaltar que os meses outubro e abril, por estarem situados no meio do período de transição das estações, podem manifestar mudanças mais significativas quanto à frequência das chuvas, visto que em abril ocorre a transição de um período úmido para período seco, havendo menos ocorrência das chuvas; e, em outubro, por marcar a transição do período seco para o período úmido, principalmente como a influência que a primavera exerce, a ocorrência das chuvas são novamente potencializadas.

5.1.2. Alturas pluviométricas máximas em intervalos diários

As alturas pluviométricas máximas registradas em um determinado local e unidade de tempo são de suma importância para uma melhor compreensão acerca da intensidade das chuvas. É um dos parâmetros que pode auxiliar na caracterização das chuvas a partir do seu nível de intensidade, no qual serão originadas informações de previsibilidade quanto a futuras ocorrências que possam impactar a população e os setores econômicos (MONTEIRO, 2016).

Assim, para melhor análise quanto à distribuição das ocorrências das máximas, os dados completos utilizados nestas análises se encontram em ‘Anexo 2: Tabela das alturas pluviométricas máximas registradas no decorrer de um dia (24 horas) por mês e a maior altura pluviométrica máxima em cada ano’, no qual consta a organização e relação de todos os valores registrados mensalmente e anualmente no decorrer da série histórica (1967-2019). Já a Tabela 2 mostra uma síntese da relação das maiores alturas pluviométricas máximas no município de Ituiutaba, conforme os anos que compreendem a série histórica.

Tabela 2: Maiores alturas pluviométricas máximas registradas no decorrer de um dia (24 horas) em cada ano do município de Ituiutaba/MG (1967-2019)

ANO	MÊS	DIA	Altura pluviométrica máximas (mm)
1967	NOV	16	50
1968	DEZ	4	77
1969	OUT	20	104,5
1970	DEZ	2	88,6
1971	DEZ	22	75,2
1972	JAN	26	75,4
1973	JAN	18	75,6
1974	JAN	8	75,2
1975	ABR	9	94,3
1976	JAN	23	60
1977	ABR	4	120,2
1978	MAR	8	97,4
1979	NOV	3	141,6
1980	FEV	3	87,2
1981	JAN	12	56,2
1982	ABR	14	29,1
1983	OUT	14	52,9
1984	JAN	24	24,3
	MAR	23	
	ABR	28	
	OUT	10	
1985	NOV	28	74,2
1986	MAR	3	77

1987	MAR	9	85
1988	MAR	7	98,4
1989	MAR	14	68,2
1990	SET	1	53
1991	JAN	16	102,2
1992	ABR	12	72
1993	NOV	10	52,4
1994	NOV	20	65,1
1995	FEV	1	71,8
1996	FEV	7	50
1997	DEZ	2	61,2
1998	OUT	16	99,8
1999	FEV	26	91,2
2000	JAN	3	108,6
2001	ABR	2	108,4
2002	FEV	19	75,4
2003	NOV	26	96
2004	ABR	15	85,6
2005	JAN	18	120
2006	JAN	2	55,1
2007	MAR	19	63
2008	DEZ	15	53,9
2009	JAN	27	49,4
2010	MAR	28	41,2
2011	NOV	22	58,9
2012	FEV	23	83
2013	JAN	26	90
2014	FEV	17	70,2
2015	FEV	6	70
	MAI	10	
	NOV	24	
2016	DEZ	5	91
2017	FEV	27	80
2018	JAN	8	98
2019	FEV	28	57,2

Fonte: ANA (2021). **Org.:** FREITAS (2021)

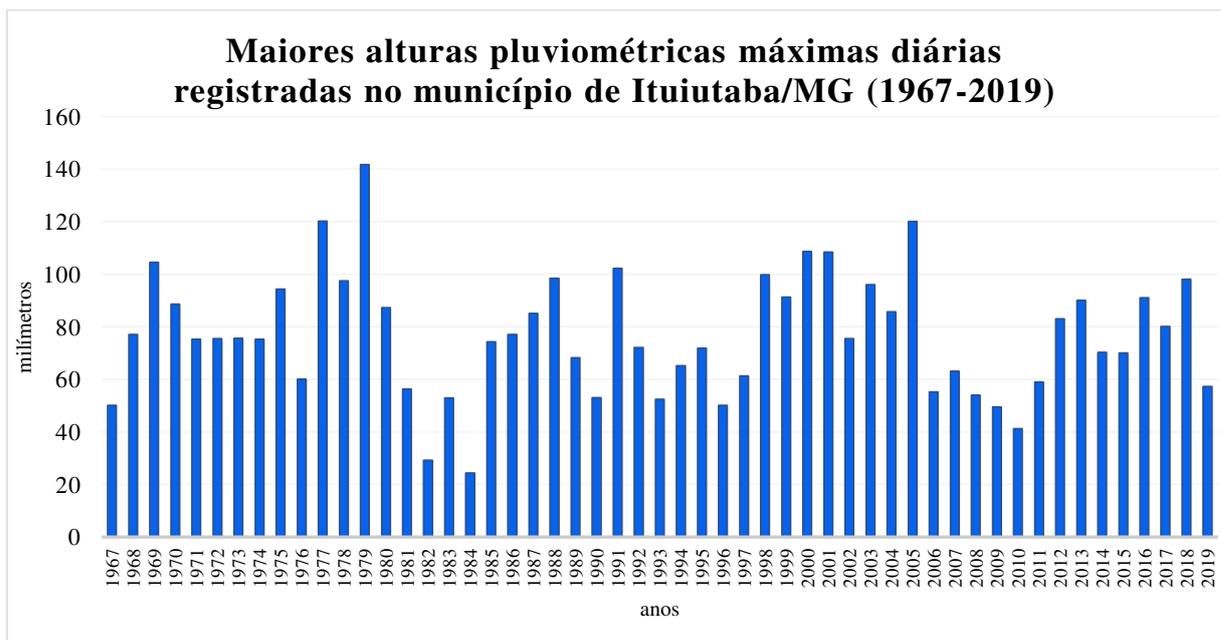
A distribuição das ocorrências de maiores alturas pluviométricas máximas em 24 horas contemplou os meses de: setembro com 1, outubro com 4, novembro com 8, dezembro com 6, janeiro com 13, fevereiro com 10, março com 8, abril com 7 e maio com 1, totalizando 58 ocorrências. Os meses que compreendem a estação chuvosa (outubro a março) contam com o percentual total de 84,4% das ocorrências dos registros de alturas pluviométricas máximas, com destaque para os meses de janeiro e fevereiro que registram 39,6% desses totais.

Nota-se, também, que além dos meses que compreendem a estação chuvosa, os meses de setembro, abril e maio apresentam registros de ocorrências máximas. Dado que

setembro corresponde ao mês de início da primavera (dia 22), o que marca o início das chuvas isoladas, abril é o mês já citado cujo é marcado pela dinâmica da transição entre período úmido para seco, e o mês de maio é marcado pelo caimento gradual da temperatura, por conta da transição entre o outono para o inverno e significativa atuação dos sistemas frontais vindos da região Sul do Brasil, o que excepcionalmente, influencia na ocorrência de chuvas no município.

E, conforme Gráfico 2, foi realizada a organização da relação das maiores máximas registradas em cada ano da série histórica (1967-2019). Em um contexto geral, não há uma homogeneidade nessas ocorrências, mas um comportamento específico em cada ano, considerando o grau de influência dos mecanismos atmosféricos associados à formação e manutenção das chuvas.

Gráfico 2: Relação das maiores alturas pluviométricas máximas diárias de Ituiutaba/MG (1967-2019)



Fonte: ANA (2021). **Org.:** FREITAS (2021)

Como mostra no Gráfico 2, o registro no período de 24 horas da maior altura pluviométrica máxima é de 141,6 mm ocorrido dia 3 de novembro de 1979 e, a menor altura pluviométrica máxima registrada é de 24,3 mm ocorrida no ano de 1984 e registrada no dia 24 de janeiro, dia 23 de março, dia 28 de abril e no dia 10 de outubro. A reincidência do registro

da menor máxima também se justifica pela aleatoriedade quanto aos valores das medições obtidas, sem qualquer conexão entre si.

5.1.3. Registro dos dias ao mês com ocorrência de chuva

Englobando o conjunto de características analisadas quanto ao comportamento das chuvas no município de Ituiutaba, foram organizados a distribuição dos dias ao mês que registraram ocorrências de chuvas e no ‘Anexo 3: Tabela dos totais e a média de dias de chuva registrados no decorrer durante os meses e o mês com mais registro de dias com chuva em Ituiutaba/MG (1967-2019)’, encontra-se a relação de todos esses dados. Mas, na Tabela 3, apresenta-se uma síntese de ocorrência de dias de chuva no ano e os meses que mais registraram dias de chuva no município.

Tabela 3: Síntese do número de dias e dos meses que mais registraram dias de chuva em Ituiutaba/MG (1967-2019)

ANO	TOTAL DE DIAS	Mês com maior registro de dias	TOTAL
1967	44	NOV	16
1968	96	FEV	24
1969	84	NOV	16
1970	80	FEV	19
1971	92	DEZ	22
1972	112	NOV	19
1973	93	MAR	17
1974	96	DEZ	20
1975	107	MAR	19
1976	123	DEZ	23
1977	105	JAN / NOV	20
1978	102	JAN	17
1979	103	DEZ	22
1980	73	FEV	15
1981	71	MAR	14
1982	84	MAR / DEZ	16
1983	104	JAN	22
1984	67	DEZ	11
1985	65	JAN	17
1986	104	DEZ	18
1987	90	JAN / DEZ	16
1988	41	FEV	16
1989	90	DEZ	26
1990	55	JAN	19
1991	79	JAN	19
1992	105	JAN	18

1993	104	FEV	21
1994	64	JAN	23
1995	89	FEV	21
1996	93	JAN	21
1997	94	JAN	19
1998	117	DEZ	25
1999	108	JAN	22
2000	121	FEZ	22
2001	108	DEZ	21
2002	111	FEV	22
2003	137	JAN	24
2004	113	DEZ	20
2005	105	JAN	23
2006	133	MAR	26
2007	128	JAN	29
2008	150	JAN	27
2009	153	DEZ	29
2010	133	DEZ	29
2011	112	JAN	28
2012	61	JAN	15
2013	69	MAR	13
2014	51	JAN	15
2015	62	NOV	13
2016	70	JAN	17
2017	82	NOV	17
2018	43	JAN	11
2019	50	MAR / NOV	11
Média	93		

Fonte: ANA (2021). Org.: FREITAS (2021)

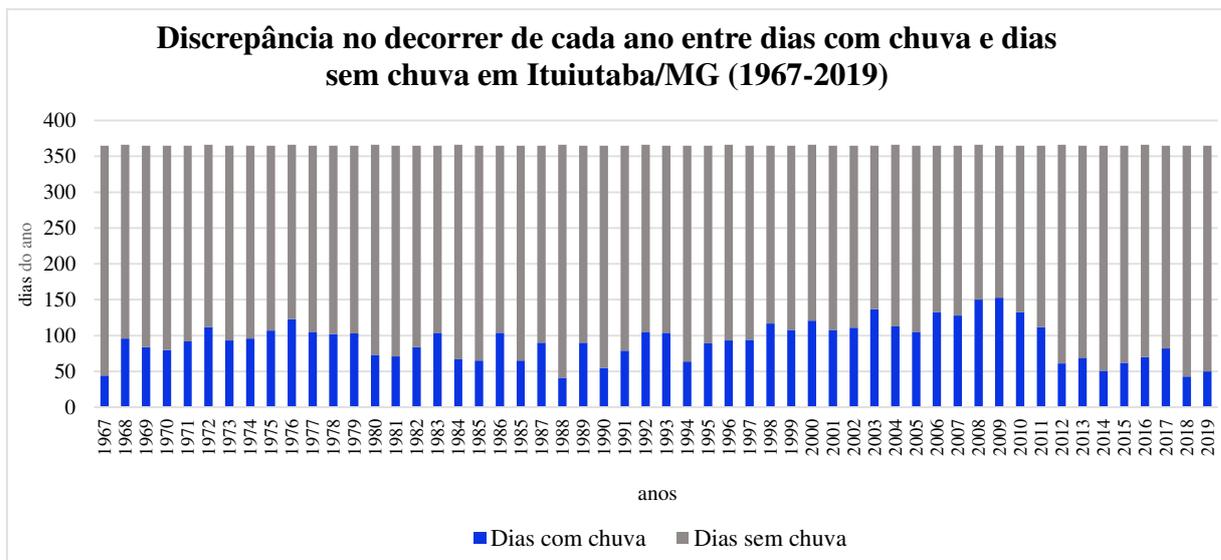
Os anos com os maiores registros de dias de chuva contabilizaram um total de 29 dias, dos quais ocorreram em janeiro de 2007, dezembro de 2009 e dezembro de 2010. Contudo, tanto o ano de 2009 e 2010 tiveram as maiores ocorrências de dias de chuva, totalizando 153 dias, ultrapassando em 64% a ocorrência de dias de chuvas em relação à média de 93 dias de chuva no ano.

Observa-se também que dos meses que compreendem a estação chuvosa apenas outubro não apresenta valores que se destacam e os meses com maiores registros de dias de chuva no ano são dezembro e janeiro atingindo a média de 16 dias cada um, condizente com a particularidade que estes meses apresentam como os meses que, em média, configuram os maiores acúmulos pluviométricos durante o ano.

Como elucidado na Tabela 3, a média anual de dias com chuva é de 93 o que corresponde a 25,4% sobre o total de dias no ano (365 ou 366), resultando em uma discrepância expressiva quanto à quantidade de dias sem chuva durante o ano (74,6%), visto

que é na estação chuvosa (outubro a março) que mais se concentram dias com chuva, sendo 81 no total, condensando 87% dos dias ao longo do ano, comportamento contrário identificado durante a estação seca (abril a setembro) que, em média, registra 18 dias com chuva ou 13% dos dias ao longo do ano. No Gráfico 3 é possível verificar essa discrepância conforme a distribuição temporal da ocorrência dos dias com chuva e dias sem chuva.

Gráfico 3: Discrepância no decorrer de cada ano entre dias com chuva e dias sem chuva no município de Ituiutaba/MG



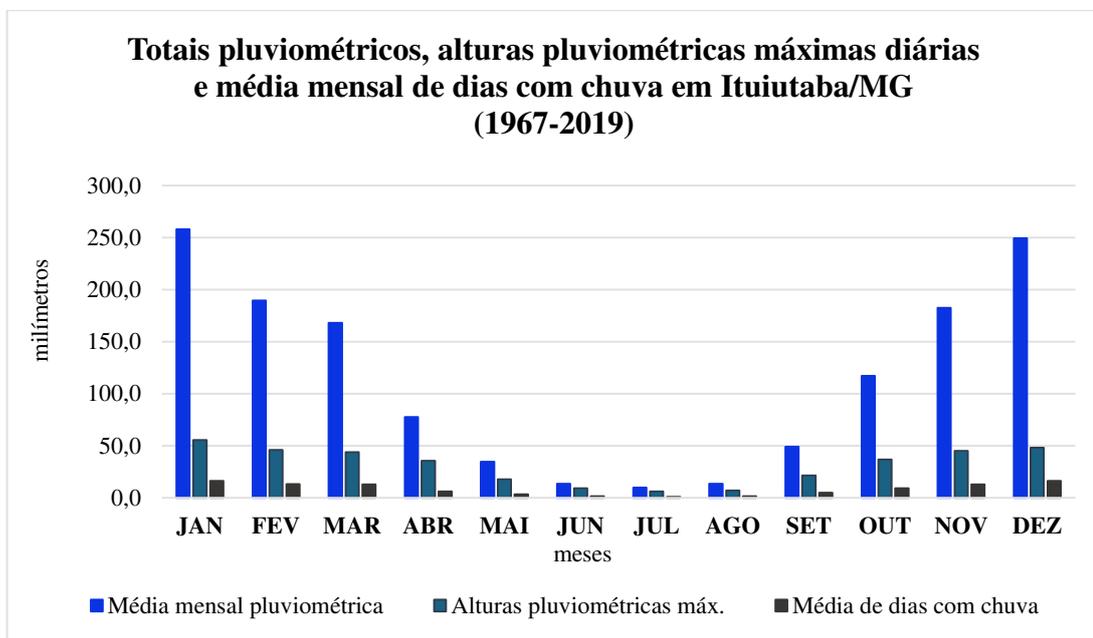
Fonte: ANA (2021). Org.: FREITAS (2021)

Nota-se que houveram três comportamentos distintos quanto à distribuição dos dias com chuva e dos dias sem chuva. Entre 1968 e 1979 (12 anos) a quantidade de dias manteve-se numa escala de pouca variação, registrando totais entre 80 a 125 dias. Já o período entre 1980 a 1997 (18 anos) é marcado por registrar os menores totais de dias com chuva e marcante oscilação da manutenção desses valores registrados de 41 a 105 dias. Diferente dos totais registrados de 1998 a 2011 (14 anos), cujo período é marcado pela ocorrência de totais que ultrapassam a média anual com registros totais entre 105 a 153. O que no período entre 2012 a 2019 (8 anos), volta a apresentar declínio desses totais, com variações registradas de 43 a 82 dias.

5.1.4. Síntese do regime pluviométrico

Visando sintetizar a correlação das três variáveis preliminarmente destacadas, o Gráfico 4 traz a relação da distribuição dos totais mensais das chuvas com as alturas pluviométricas máximas diárias e a média de dias de chuvas mensais, com o propósito de simplificar a análise da dinâmica do regime pluviométrico do município de Ituiutaba associando as características climáticas do município.

Gráfico 4: Totais pluviométricos, alturas pluviométricas máximas diárias e média mensal de dias com chuva em Ituiutaba/MG (1967-2019)



Fonte: ANA (2021). Org.: FREITAS (2021)

Observa-se que os meses de junho a agosto comumente registram os índices mais baixos das três variáveis descritas, apresentando média mensal pluviométrica inferior a 13,5 mm/mês ocorrendo em até 2 dias em cada mês e com altura pluviométrica máxima inferior a 9,2 mm/dia. Contexto que vai se modificando a partir de setembro, mês de início da primavera, que apresenta gradual acréscimo quanto à média mensal pluviométrica e dos dias com ocorrência de chuva, com durabilidade até janeiro, mês que culmina no auge dos índices elevados das variáveis, atingindo média mensal pluviométrica de 258 mm/mês com duração de 16 dias. E, de fevereiro a março, houve declínio gradual das variáveis, principalmente em maio, que apresenta média mensal pluviométrica inferior a 34,7% com média de ocorrência de 3 dias com chuva.

Em um contexto geral, como o município de Ituiutaba está inserido em clima Aw, especificamente tropical de savana, a dinâmica do comportamento pluviométrico é evidenciada por um regime definido de duas estações, com durabilidade aproximada de seis meses cada, sendo uma com inverno seco e baixo índice pluviométrico e outra com verão úmido e elevados registros totais de chuva. Condições determinadas pela dinâmica atmosférica da região Sudeste, que recebe forte influência dos sistemas de circulação subtropical influenciando diretamente nos totais mensais pluviométricos da estação chuvosa e durante esse período “como o aquecimento do continente é mais intenso, propiciam condições para a ampliação e expansão dos sistemas atmosféricos continentais de baixa pressão (BORSATO, 2016, p. 95)”.

Durante a estação chuvosa (outubro a março), os mecanismos atmosféricos que mais influenciam na ocorrência de chuva no município de Ituiutaba são massa Equatorial continental (mEc), quente e úmida, a massa Tropical continental (mTc), quente e seca, a Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS (responsável pelo volume das chuvas nas regiões Centro-Oeste e Sudeste), a Zona de Convergência de Umidade - ZCOU (que se assemelha aos parâmetros físicos e dinâmica da ZCAS, mas apresenta persistência inferior) e as Linhas de Instabilidade – LI (células convectivas de mesoescala), produzindo excessiva ocorrência de chuvas. E, durante a estação seca (abril a setembro), a massa Tropical atlântica (mTa), quente e úmida, a massa Polar atlântica (mPa), fria e seca, sistemas frontais e também o sistema atmosférico de alta pressão Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que no inverno influencia diretamente na manutenção e deslocamento dos ventos, ocasionando amplitude térmica (noite muito fria, dia muito quente) decorrente a bloqueios quanto aos ventos vindos da região Sul para o Sudeste, desregulando a ocorrência de episódios de frio no município e queda acentuada da umidade relativa do ar.

Contudo, ao considerar o comportamento habitual das chuvas em Ituiutaba, ressalta-se que a distribuição das chuvas apresenta expressiva concentração em determinados meses do ano, resultando em uma disponibilidade hídrica e, respectivamente, recarga dos mananciais totalmente dependentes das variações climáticas em escala local, por não se manter constante durante o ano. O que influencia nas questões de demanda hídrica entre sociedade, setor de indústria e setor agropecuário, já que o município possui como fonte de abastecimento principal o Ribeirão São Lourenço e em períodos críticos realiza a captação de água do Rio Tijuco, manifestando a questão da importância de conhecer e entender o papel das chuvas

frente a cenários futuros, visto que a disponibilidade hídrica se faz tópico de discussões cada vez mais essencial.

5.2. Análise sinótica dos diferentes níveis de eventos extremos diários de chuva

Com o propósito de identificar os episódios de eventos extremos diários de chuva no município de Ituiutaba, dentro da série histórica (1967 a 2019), esta seção será voltada a categorização e quantificação quanto ao nível de intensidade desses eventos considerados extremos de chuva, abordando principalmente as condições de gênese que influenciaram a ocorrência desses eventos. A relação completa com a organização dos dados e categorizados quanto aos seus respectivos níveis de intensidade encontra-se na seção ANEXOS, em ‘Anexo 4: Quadro da categorização dos níveis de intensidade dos eventos extremos de chuva em Ituiutaba/MG (1967-2019)’.

Baseado na Metodologia dos Máximos de Precipitação, os anos de 1976, 1982, 1984, 1992, 1996, 2009 e 2010 (totalizando 7 anos) não apresentaram valor acumulado diário (24 horas) igual ou superior ao limiar definido de 50 mm, ocasionando a não inclusão desses anos nas análises que se sucederam. Contudo, no Quadro 2 está expressa a relação dos valores que correspondem à categoria de cada nível de intensidade dos eventos extremos de chuva ocorridos em Ituiutaba, a partir da média aritmética de 69,1 mm e o desvio padrão de 18,3 mm.

Quadro 2: Relação dos níveis de intensidade de eventos extremos de chuva diária no município de Ituiutaba/MG (1967-2019)

NÍVEL	INTENSIDADE	VALOR (mm)
Nível IV	Muito Grande	124,0
Nível III	Grande	105,7
Nível II	Média	87,4
Nível I	Pequena	69,1

Fonte: Adaptado de MONTEIRO (2016). **Org.:** FREITAS (2021)

E, com base nesses valores definidos no Quadro 2 está disposto no Quadro 03 o número de episódios de eventos extremos de chuva identificados acerca de cada nível de intensidade categorizado.

Quadro 3: Número de ocorrência dos eventos extremos de chuva quanto à categoria do nível de intensidade identificados no município de Ituiutaba/MG (1967-2019)

NÍVEL	INTENSIDADE	NÚMERO DE OCORRÊNCIA
Nível IV	Muito Grande	2
Nível III	Grande	5
Nível II	Média	13
Nível I	Pequena	41
Total de Eventos		61

Fonte: elaborado por FREITAS (2021)

Observa-se que os eventos extremos de chuva de Nível I (intensidade pequena) registram maior número de ocorrências de eventos extremos de chuva, havendo tendência de queda desses episódios registrados conforme aproximação com o Nível IV (intensidade muito grande).

Baseado nas categorizações estabelecidas no Quadro 2, nos próximos subitens foram apontados e descritos os maiores eventos extremos de chuva ocorridos em cada nível de intensidade: Nível I – total 87,2 mm, no dia 03/02/1980; Nível II – total 104,5 mm, no dia 20/10/1969; Nível III – total 120,2 mm, no dia 04/04/1977; e os dois episódios de maior magnitude identificados na série histórica no Nível IV – o primeiro com total de 141,6 mm, no dia 03/11/1979, e o segundo (mas de maior acúmulo) com total de 142,3 mm, no dia 06/12/2019. Através de dados observacionais oriundos de Cartas Sinóticas provenientes da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, foram identificados os sistemas atmosféricos que influenciam suas ocorrências, e quanto aos episódios de maior magnitude, foram elucidados alguns registros noticiados pela mídia quanto ao alerta sobre chuvas de intensidade muito grande.

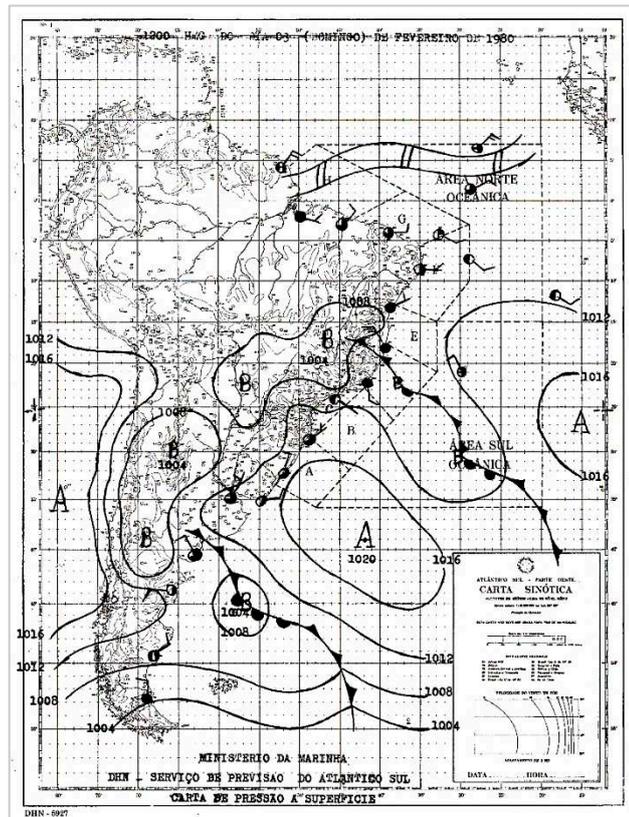
As Cartas Sinóticas utilizadas para compor as análises observacionais do tempo acompanharam evolução temporal quanto à inclusão de detalhes e diferenciações por cores e devido a isso destaca-se que os episódios analisados que apresentam cartas em padrão de cores preto e branco (sem muitos detalhes) não foi possível aprofundar a descrição de todos os sistemas atmosféricos atuantes em Ituiutaba por limitação de interpretação visual, mas manteve-se ao máximo de foco no sistema mais evidente e que contribuiu para a ocorrência dos episódios de eventos extremos de chuva analisado. Circunstância diferente da Carta Sinótica do episódio de maior magnitude do Nível IV, que apresentou melhorias quanto à

inclusão de cores e maior escala de detalhes sobre o comportamento do tempo no momento de sua elaboração, o que facilitou a interpretação das condições da atmosfera desse evento extremo de chuva de intensidade muito grande.

5.2.1. Nível I – intensidade pequena

Os eventos categorizados em Nível I apresentaram limiares no intervalo de 24 horas entre 69,1 mm até 87,4 mm de chuva, no qual o maior evento registrado totalizou acúmulo de 87,2 mm de chuva/24h no dia 03 de fevereiro de 1980. E, conforme Figura 13, o sistema mais evidente que influenciou a origem desse evento foi um centro de baixa pressão (B) que ocasiona formação de nuvens que favorecem a ocorrência de chuvas, pois há maior concentração da umidade relativa do ar e de calor no seu centro.

Figura 13: Carta Sinótica do território brasileiro do dia 03 de fevereiro de 1980



Fonte: Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil (2021)

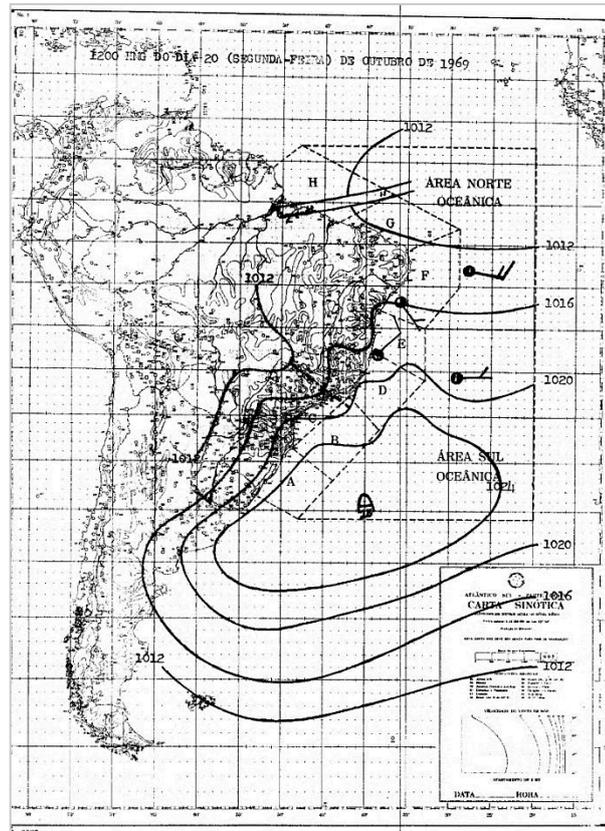
Nota-se que a sudeste e sudoeste do Triângulo Mineiro há uma movimentação intensa dos ventos, devido à proximidade das linhas isóbaras com o centro de baixa pressão

que está ao sul de Ituiutaba e outro que está a sudoeste; como também a um centro de alta pressão (A) a sudoeste de Ituiutaba, no Oceano Pacífico. Como habitualmente durante a estação chuvosa, no mês de fevereiro, a região Sudeste está sob atuação da mEc (quente e úmida), a mTc (quente e seca) e interação dos sistemas convectivos (primavera-verão), estatisticamente são altas as chances de ocorrência de chuvas, principalmente em regiões de clima tropical como Ituiutaba se insere.

5.2.2. Nível II – intensidade média

Os eventos categorizados em Nível II apresentaram limiares no intervalo de 24 horas entre 87,4 mm a 105,7 mm de chuva, no qual o maior registro identificado totalizou acúmulo de 104,5 mm de chuva/24h no dia 20 de outubro de 1969. E, conforme Figura 14, o sistema mais evidente que influenciou na ocorrência desse evento foi um cavado (região na atmosfera que apresenta tendência na queda da pressão atmosférica) acompanhando a leste de Ituiutaba por linhas de instabilidade, influenciadas por um centro de alta pressão (A) no Oceano Atlântico.

Figura 14: Carta Sinótica do território brasileiro do dia 20 de outubro de 1969



Fonte: Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil (2021)

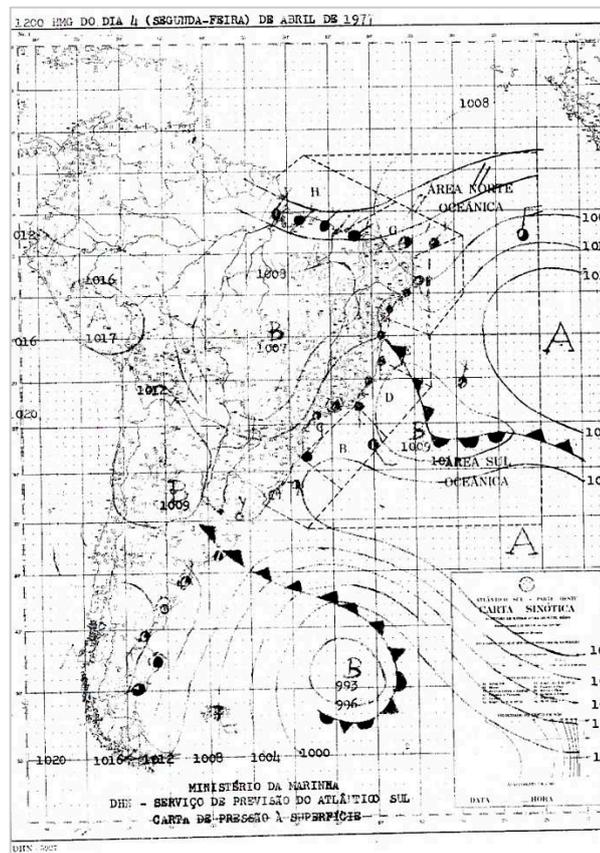
Em regiões que se formam um sistema de cavado, na parte dianteira desse sistema sempre se forma uma concentração de nebulosidade se houver o levantamento do ar quente e úmido, produzindo áreas de instabilidades propensas à formação de chuvas. Mas, caso houver a presença de ar seco e frio, dificilmente ocorrerá a formação de chuva (BORSATO, 2016).

E, como o mês de outubro representa a transição entre a estação seca (abril a setembro) para a estação chuvosa (outubro a março), a previsibilidade das chuvas nesse mês é influenciada pela inconstância na atuação dos sistemas atmosféricos, decorrente do efeito da transição. Contudo, o movimento convectivo (transmissão de calor) originários dos ventos alísios influencia na presença da mEc (quente e úmida), provocando principalmente a ocorrência de chuvas torrenciais (pouco tempo de duração, mas intensas) durante o verão.

5.2.3. Nível III – intensidade grande

Os eventos categorizados em Nível III apresentaram limiares no intervalo de 24 horas entre 105,7 mm a 124,0 mm de chuva, no qual o maior registro identificado totalizou acúmulo de 120,2 mm de chuva/24h no dia 04 de abril de 1977. E, conforme Figura 15, o sistema atuante mais evidente foi um centro de baixa pressão (B), estando o município de Ituiutaba mais próximo a ‘borda’ desse sistema, que tem no seu centro linha isóbara de 1007 hPa e na borda linha isóbara de 1008 hPa.

Figura 15: Carta Sinótica do território brasileiro do dia 04 de abril de 1977



Fonte: Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil (2021)

Como o ar leva mais tempo para mover-se em direção ao centro (movimento de convergência), a força aplicada pela pressão atmosférica é maior na ‘borda’ do que no próprio centro, o que potencializa os mecanismos de formação das nuvens de chuva que absorvem mais energia em forma de calor e umidade relativa do ar (BORSATO, 2016). Observa-se a presença de um sistema frontal acompanhado por uma frente fria estacionário a leste de

Ituiutaba no Oceano Atlântico, entre dois centros de alta pressão a leste e no meio de um centro de baixa pressão, bem como, outro centro de baixa pressão a oeste, intensificando ocorrências de chuvas em uma área com extensão significativa.

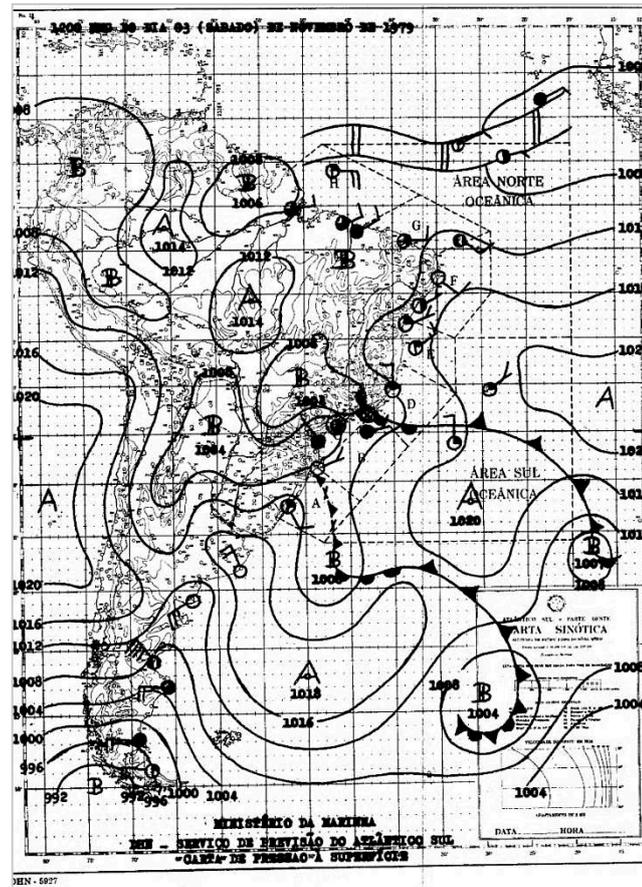
Vale a pena ressaltar que, assim como outubro, abril é um mês de transição, mas correspondendo transição entre a estação chuvosa (outubro a março) para a estação seca (abril a setembro), o que ocasiona queda nos volumes de chuva e irregularidade quanto às ocorrências das chuvas que são registradas neste mês. Condições influenciadas pelo início da atuação da mTa (fria e seca) e mPa (fria e úmida), no município.

5.2.4. Nível IV – intensidade muito grande

Os eventos categorizados em Nível IV apresentaram limiares no intervalo de 24 horas iguais ou superiores a 124,0 mm de chuva, dos quais foram identificados a ocorrência de dois eventos de magnitude relativamente maior quanto aos registros dos outros níveis.

O primeiro totalizou acúmulo de 141,6 mm de chuva/24h no dia 03 de novembro de 1979, e conforme Figura 16, é possível identificar que o sistema mais evidente que contribui para esse acúmulo de chuva foi um centro de baixa pressão (B) onde Ituiutaba localiza-se bem ao meio desse sistema, que conta com influência de intensa atividade convectiva nas regiões adjacentes, seguindo caminho que se inicia desde a região Norte, perpassando pelo Centro-Oeste e Sudeste, e dispersando-se no Oceano Atlântico. Como a figura não exhibe diferenciações de cores e nem maiores detalhes quanto à presença de outros sistemas, deduz-se que possa haver a atuação de alguma zona de convergência, não só baseado no ‘caminho’ que as atividades convectivas sinalizam, mas na presença marcada de intensa nebulosidade devido a uma frente estacionária a leste de Ituiutaba e muita proximidade das linhas isóbaras que quanto mais próximas mais circulação de vento ocorre, tudo isso a leste de Ituiutaba.

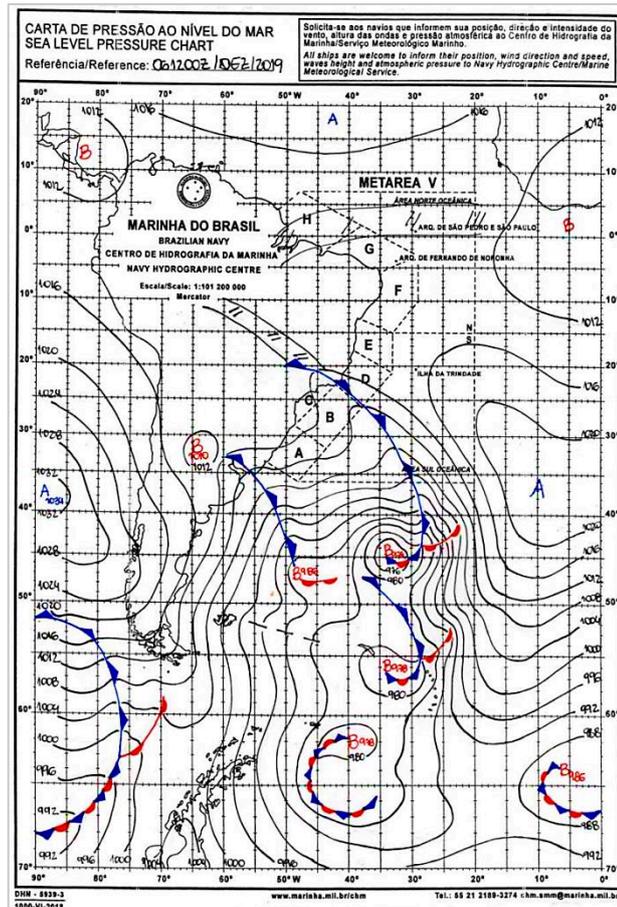
Figura 16: Carta Sinótica do território brasileiro no dia 03 de novembro de 1979



Fonte: Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil (2021)

Já o segundo evento (que representou o maior acúmulo pluviométrico de todos dentro da série histórica, 1967-2019) totalizou 142,3 mm de chuva no dia 06 de dezembro de 2019, e conforme a Figura 17 é possível identificar com maior precisão (visto que a Carta Sinótica detém de mais detalhes e diferenciações por cores) quando comparado ao episódio anterior, que o sistema mais evidente que contribuiu para esse acúmulo foi a ZCAS.

Figura 17: Carta Sinótica do território brasileiro no dia 06 de dezembro de 2019



Fonte: Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil (2021)

De acordo com Kodama (1992) e Quadro (1994) ZCAS é um importante sistema meteorológico atuante no verão do Hemisfério Sul, e marca a estação chuvosa devido aos períodos associados de intensa precipitação. Sua principal característica é a persistência de uma faixa nebulosa estacionária de noroeste-sudeste, oriunda de um cavado em nível alto na atmosfera, tornando-se importante fonte de transporte de umidade relativa do ar e calor da região Norte para o Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. É também responsável por um regime de precipitações que ocasiona altos índices pluviométricos, pois sua atuação apresenta durabilidade de quatro dias ou mais, principalmente devido a influência de Frentes Frias que ocasionam seu deslocamento lento na atmosfera.

Como o município de Ituiutaba não possui Defesa Civil e nenhum outro órgão que monitora e emita alertas de atenção quanto à ocorrência de chuvas no nível de grande intensidade, para elucidar a repercussão de previsões meteorológicas quanto à ocorrência de chuvas de grande intensidade, o Quadro 4 apresenta alguns registros de notícias divulgados

pela mídia alertando a população para dispor de mais atenção acerca da ocorrência dessas chuvas. Mesmo com muita pesquisa acerca de registros em mídias físicas e online, não houveram registros sobre a repercussão do episódio de chuva do dia 06 de dezembro de 2019 na área urbana de Ituiutaba. Por isso, optou-se por fazer um recorte dos registros de alertas divulgados pela mídia, entre os dias 02 e 07 de dezembro de 2019, sobre a Região Geográfica Intermediária (RGI) de Uberlândia, na qual inclui-se o município de Ituiutaba.

Quadro 4: Notícias divulgados pela mídia alertando a população sobre ocorrências de chuvas em dezembro de 2019



Fonte: Jornal online G1⁵ e Climatempo⁶. Org.: FREITAS (2021)

Em regiões tropicais, como a área em estudo, um dos principais causadores de impactos em superfície são as chuvas, principalmente advindos dos episódios de chuva com maiores magnitudes. Por isso, faz-se imprescindível compreender a dinâmica atmosférica local através de dados meteorológicos e observacionais, como fontes que mapeiam informações locais em escala temporal (hora, dia, mês e ano), pois contribuem como base para o desenvolvimento de diversos mecanismos de alertas e procedimentos a serem tomados pelo poder público frente a ocorrência desses eventos, tornando a população mais resguardada

⁵ Endereço eletrônico: <https://g1.globo.com/>.

⁶ Endereço eletrônico: <https://www.climatempo.com.br/>.

da repercussão em superfície da atuação dessas chuvas em diferente escala espaço-tempo, possibilitando prognósticos da frequência desses eventos.

5.3. Análise geoestatística dos eventos extremos diários de chuva

Frente a intensidade dos episódios identificados de eventos extremos diários de chuva no município de Ituiutaba e visando quantificar as variáveis de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), com a finalidade de averiguar como esses eventos se distribuem temporalmente, neste subitem serão apresentados os valores de Intensidade-Duração-Frequência, para definição dos índices para a composição da Curva de IDF. Para tal, foram utilizados os dados dispostos na seção ANEXO, em ‘Anexo 2: Tabela das alturas pluviométricas máximas registradas no decorrer de um dia (24 horas) por mês e a maior altura pluviométrica máxima em cada ano’, nos quais foram selecionados e dispostos em ‘Anexo 5: Probabilidade do período de retorno da ocorrência de eventos extremos de chuva em Ituiutaba/MG (1967-2019)’.

5.3.1. Quantificação e distribuição temporal das variáveis de Intensidade-Duração-Frequência dos eventos extremos diários de chuva

Através da seleção das maiores alturas pluviométricas máximas diárias (24 horas) registradas em cada ano da série histórica, foi realizado o ajuste desses dados por meio do método de distribuição estatística de Gumbel (Equação 6), que a partir dos valores obtidos da relação das alturas pluviométricas máximas selecionadas (x_i) e da média aritmética (\bar{x}), resultaram no ajuste dessa distribuição (vide Anexo 5), do qual obteve-se os valores correspondentes às equações 2, 3, 4 e 5.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 75,68 \text{ mm} \quad (\text{Equação 2})$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 23,10 \text{ mm} \quad (\text{Equação 3})$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 18,01 \text{ mm} \quad (\text{Equação 4})$$

$$u = \bar{x} - \gamma * \alpha = 65,28 \text{ mm} \quad (\text{Equação 5})$$

Partindo dos valores obtidos acima, os resultados foram multiplicados pelo índice de 1,13 (XT), seguindo Weiss (1964), com o propósito de gerar valores em limiares mais próximo da realidade e considerando os intervalos fixos para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 e 500 anos, conforme Tabela 4. Ressalta-se que YT é a variável reduzida (que mede o desvio padrão de cada observação da amostra) e XT é o valor da altura pluviométrica máxima estimada em cada período de retorno.

Tabela 4: Limiar provável e corrigido das alturas pluviométricas máximas nos diferentes períodos de retorno para o município de Ituiutaba/MG

PERÍODO DE RETORNO	VARIÁVEL REDUZIDA	PRECIPITAÇÃO (mm)	VALORES DE PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA (Gumbel)	CORREÇÃO INTERVALOS FIXO - 1.13 (Weiss) (mm)
Anos	YT	XT (mm)		
2	0,3665	71,89	0,5000	81,23
5	1,4999	92,30	0,8000	104,30
10	2,2504	105,82	0,9000	119,57
25	3,1985	122,90	0,9600	138,87
50	3,9019	135,57	0,9800	153,19
75	4,3108	142,93	0,9867	161,51
100	4,6001	148,14	0,9900	167,40
500	6,2136	177,20	0,9980	200,24

Fonte: FREITAS (2021)

Adicionando os coeficientes fixos de chuva propostos por Campos-Aranda (1978), no intuito de desagregar os valores de chuva estimados com menor tempo de duração,

considerou-se os tempos de duração em 24, 18, 12, 8, 6, 5, 4, 3, 2 e 1 hora, no intuito de prever a recorrência de eventos extremos de chuva, e também, através da Equação 7 foram determinados na Tabela 5, as prováveis alturas pluviométricas máximas obtidas para os diferentes tempos de duração e conforme períodos de retorno (anos) estabelecidos. E, na Tabela 6 partindo da relação entre as alturas pluviométricas máximas (mm) e seus respectivos tempos de duração (h), as estimativas de valores de intensidade (mm/min) em 1440, 1080, 720, 480, 360, 300, 240, 180, 120 e 60 minutos com período de retorno em 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 e 500 anos.

Tabela 5: Alturas pluviométricas máximas (mm) para as diferentes durações (horas) de chuvas de acordo com períodos de retornos (anos) estabelecidos para o município de Ituiutaba/MG

Tempo de Duração (horas)	Coeficiente (% provável)	Altura pluviométrica máxima (mm) para diferentes tempos de durações (horas) da chuva de acordo com períodos de retornos (anos) estabelecidos							
		2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	75 anos	100 anos	500 anos
24	100%	81,23	104,30	119,57	138,87	153,19	161,51	167,40	200,24
18	91%	73,92	94,91	108,81	126,37	139,40	146,98	152,33	182,22
12	80%	64,99	83,44	95,66	111,10	122,55	129,21	133,92	160,19
8	68%	55,24	70,92	81,31	94,43	104,17	109,83	113,83	136,16
6	61%	49,55	63,62	72,94	84,71	93,45	98,52	102,11	122,15
5	57%	46,30	59,45	68,16	79,16	87,32	92,06	95,42	114,14
4	52%	42,24	54,24	62,18	72,21	79,66	83,99	87,05	104,13
3	46%	37,37	47,98	55,00	63,88	70,47	74,30	77,00	92,11
2	39%	31,68	40,68	46,63	54,16	59,74	62,99	65,29	78,09
1	30%	24,37	31,29	35,87	41,66	45,96	48,45	50,22	60,07

Fonte: FREITAS (2021)

Tabela 6: Intensidade das chuvas (mm) conforme a duração (minutos) e o período de retorno (anos) estabelecidos para o município de Ituiutaba/MG

Tempo de duração		Intensidade das chuvas (mm/h) conforme a duração (minutos) e o período de retorno (anos) estabelecidos							
Horas	Minutos	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	75 anos	100 anos	500 anos
24	1440	3,38	4,35	4,98	5,79	6,38	6,73	6,98	8,34
18	1080	4,11	5,27	6,05	7,02	7,74	8,17	8,46	10,12
12	720	5,42	6,95	7,97	9,26	10,21	10,77	11,16	13,35
8	480	6,90	8,87	10,16	11,80	13,02	13,73	14,23	17,02
6	360	8,26	10,60	12,16	14,12	15,57	16,42	17,02	20,36
5	300	9,26	11,89	13,63	15,83	17,46	18,41	19,08	22,83
4	240	10,56	13,56	15,54	18,05	19,91	21,00	21,76	26,03
3	180	12,46	15,99	18,33	21,29	23,49	24,77	25,67	30,70
2	120	15,84	20,34	23,32	27,08	29,87	31,49	32,64	39,05
1	60	24,37	31,29	35,87	41,66	45,96	48,45	50,22	60,07

Fonte: FREITAS (2021)

Observa-se na Tabela 5 à medida que o tempo de duração de um episódio de chuva aumenta, maior será o acúmulo total dessa chuva em escala crescente, como demonstrado nas colunas que compreendem os anos *versus* as linhas que compreendem o tempo de duração dessas chuvas. Ocorre comportamento inverso quando se considera o período de retorno com menos anos e horas, resultando em registros de chuva com menores acúmulos.

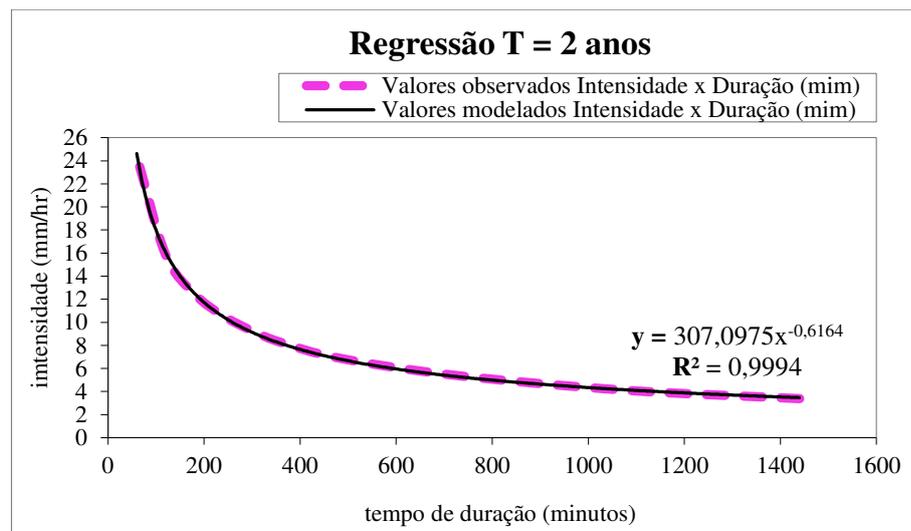
Considerando a Tabela 6 nota-se uma mesma dinâmica apresentada na Tabela 5 sobre a relação sobre quanto maior o tempo de duração de um episódio de chuva, maior será o acumulado no período de retorno. Contudo, ao analisar as variáveis intensidade, período de retorno e tempo de duração, há um comportamento contrário, visto que a intensidade da chuva varia de maneira inversamente proporcional em um mesmo tempo de retorno, manifestando de forma crescente (2, 5, 10, 15, 25, 50, 75, 100 e 500 anos) um grau de maior magnitude em período de retorno mais longo e decrescente (500, 100, 75, 50, 25, 15, 10, 5 e 2 anos) em grau de menor magnitude em período de retorno menos longo.

Assim, com base nos valores obtidos de intensidade (mm/h) para cada período de retorno e tempo de duração de um episódio de chuva, foi aplicada a Equação das Chuvas Intensas (Equação 1) partindo dos valores de intensidade, duração e frequência, para definição dos índices ‘*a*’, ‘*b*’ e ‘*c*’ da equação. Para tal, baseado em Petrucci (2017), utilizou-se o método de regressão potencial que resultou em $R^2 = 0,9994$ e foi aplicado para cada período de retorno, nos quais a constante de regressão A equivale ao índice ‘*a*’ e o coeficiente de regressão B ao índice ‘*b*’. Os valores obtidos para cada período de retorno foram evidenciados nas Tabelas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14, acompanhado dos respectivos Gráficos 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 de ajuste dos dados analisados. E, acerca de estimar como os eventos extremos de chuva evoluem no decorrer dos períodos de retorno (anos) estabelecidos, foi incorporado o expoente Logaritmo Natural (*ln*) para A e para B, em que: $ln(x)$ – período de retorno em minutos; $ln(y)$ – intensidade estimada; $ln(x)*ln(y)$ – produto entre $ln(x)$ e $ln(y)$; e, $(ln(x))^2$ – potência da duração em minutos, com o propósito de mostrar de maneira precisa os dados resultante da aplicação do método de regressão a partir das alturas pluviométricas máximas agregadas pelos parâmetros propostos por Campos-Aranda (1978).

Tabela 7: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 2 anos

Ordem	x	y	ln(x)	ln(y)	ln(x)*ln(y)	(ln(x)) ²
1	1440	3,3846	7,2724	1,2192	8,8669	52,8878
2	1080	4,1067	6,9847	1,4126	9,8668	48,7863
3	720	5,4154	6,5793	1,6893	11,1140	43,2865
4	480	6,9047	6,1738	1,9322	11,9290	38,1156
5	360	8,2585	5,8861	2,1112	12,4270	34,6462
6	300	9,2604	5,7038	2,2257	12,6952	32,5331
7	240	10,5601	5,4806	2,3571	12,9183	30,0374
8	180	12,4555	5,1930	2,5222	13,0975	26,9668
9	120	15,8401	4,7875	2,7625	13,2257	22,9201
10	60	24,3694	4,0943	3,1933	13,0746	16,7637
Total	4980	100,5555	58,1555	21,4254	119,2148	346,9435
ln(A) = 5,7272		A = 307,0975		B = -0,6164		

Fonte: FREITAS (2021)

Gráfico 5: Intensidade estimada no período de retorno de 2 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos

Fonte: FREITAS (2021)

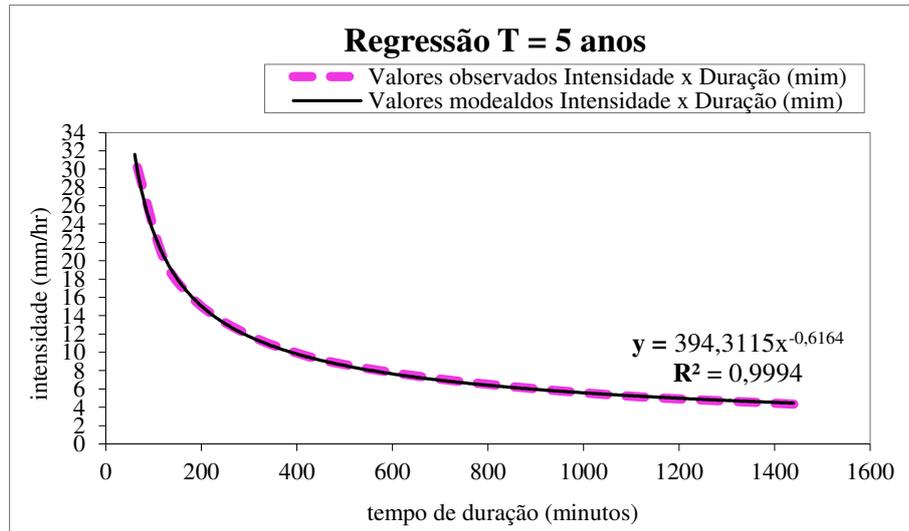
Tabela 8: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 5 anos

Ordem	x	y	ln(x)	ln(y)	ln(x)*ln(y)	(ln(x)) ²
1	1440	4,3459	7,2724	1,4692	10,6848	52,8878
2	1080	5,2730	6,9847	1,6626	11,6128	48,7863
3	720	6,9534	6,5793	1,9392	12,7587	43,2865
4	480	8,8656	6,1738	2,1822	13,4723	38,1156
5	360	10,6039	5,8861	2,3612	13,8984	34,6462
6	300	11,8903	5,7038	2,4757	14,1210	32,5331
7	240	13,5591	5,4806	2,6071	14,2883	30,0374
8	180	15,9928	5,1930	2,7721	14,3956	26,9668
9	120	20,3386	4,7875	3,0125	14,4224	22,9201
10	60	31,2902	4,0943	3,4433	14,0981	16,7637

Total	4980	129,1127	58,1555	23,9252	133,7523	346,9435
ln (A) = 5,9771	A = 394,3115		B = -0,6164			

Fonte: FREITAS (2021)

Gráfico 6: Intensidade estimada no período de retorno de 5 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos



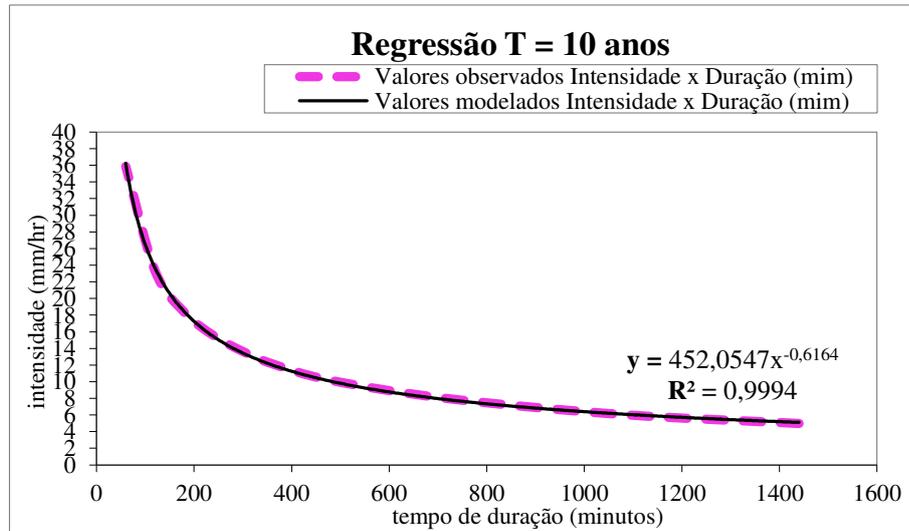
Fonte: FREITAS (2021)

Tabela 9: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 10 anos

Ordem	x	y	ln(x)	ln(y)	ln(x)*ln(y)	(ln(x)) ²
1	1440	4,9823	7,2724	1,6059	11,6786	52,8878
2	1080	6,0452	6,9847	1,7993	12,5673	48,7863
3	720	7,9716	6,5793	2,0759	13,6578	43,2865
4	480	10,1638	6,1738	2,3188	14,3160	38,1156
5	360	12,1567	5,8861	2,4979	14,7028	34,6462
6	300	13,6315	5,7038	2,6124	14,9005	32,5331
7	240	15,5447	5,4806	2,7437	15,0373	30,0374
8	180	18,3348	5,1930	2,9088	15,1053	26,9668
9	120	23,3170	4,7875	3,1492	15,0767	22,9201
10	60	35,8724	4,0943	3,5800	14,6576	16,7637
Total	4980	148,0200	58,1555	25,2918	141,6999	346,9435
ln (A) = 6,1138	A = 452,0547		B = -0,6164			

Fonte: FREITAS (2021)

Gráfico 7: Intensidade estimada no período de retorno de 10 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos



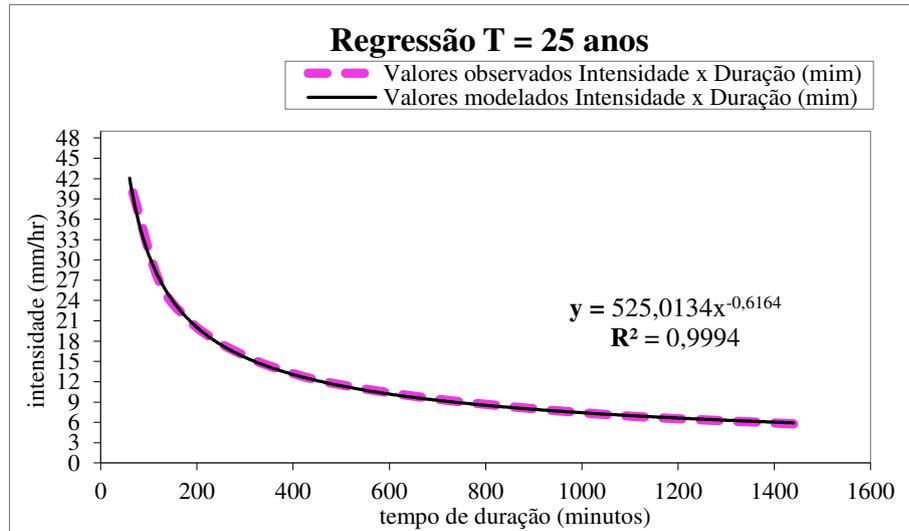
Fonte: FREITAS (2021)

Tabela 10: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 25 anos

Ordem	x	y	ln(x)	ln(y)	ln(x)*ln(y)	(ln(x)) ²
1	1440	5,7864	7,2724	1,7555	12,7667	52,8878
2	1080	7,0208	6,9847	1,9489	13,6124	48,7863
3	720	9,2582	6,5793	2,2255	14,6422	43,2865
4	480	11,8042	6,1738	2,4685	15,2397	38,1156
5	360	14,1188	5,8861	2,6475	15,5835	34,6462
6	300	15,8315	5,7038	2,7620	15,7539	32,5331
7	240	18,0535	5,4806	2,8933	15,8574	30,0374
8	180	21,2939	5,1930	3,0584	15,8822	26,9668
9	120	27,0803	4,7875	3,2988	15,7930	22,9201
10	60	41,6619	4,0943	3,7296	15,2702	16,7637
Total	4980	171,9095	58,1555	26,7880	150,4012	346,9435
ln(A) = 6,2634		A = 525,0134		B = -0,6164		

Fonte: FREITAS (2021)

Gráfico 8: Intensidade estimada no período de retorno de 25 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos



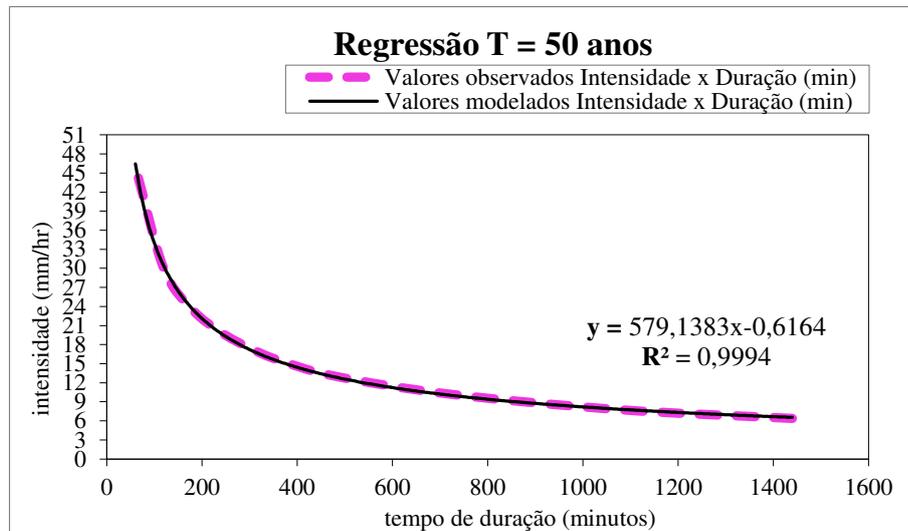
Fonte: FREITAS (2021)

Tabela 11: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 50 anos

Ordem	x	y	$\ln(x)$	$\ln(y)$	$\ln(x) \cdot \ln(y)$	$(\ln(x))^2$
1	1440	6,3829	7,2724	1,8536	13,4803	52,8878
2	1080	7,7446	6,9847	2,0470	14,2977	48,7863
3	720	10,2127	6,5793	2,3236	15,2877	43,2865
4	480	13,0211	6,1738	2,5666	15,8455	38,1156
5	360	15,5743	5,8861	2,7456	16,1610	34,6462
6	300	17,4637	5,7038	2,8601	16,3135	32,5331
7	240	19,9147	5,4806	2,9915	16,3951	30,0374
8	180	23,4891	5,1930	3,1565	16,3918	26,9668
9	120	29,8720	4,7875	3,3969	16,2627	22,9201
10	60	45,9570	4,0943	3,8277	15,6719	16,7637
Total	4980	189,6321	58,1555	27,7692	156,1073	346,9435
$\ln(A) = 6,3615$		$A = 579,1383$		$B = -0,6164$		

Fonte: FREITAS (2021)

Gráfico 9: Intensidade estimada no período de retorno de 50 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos



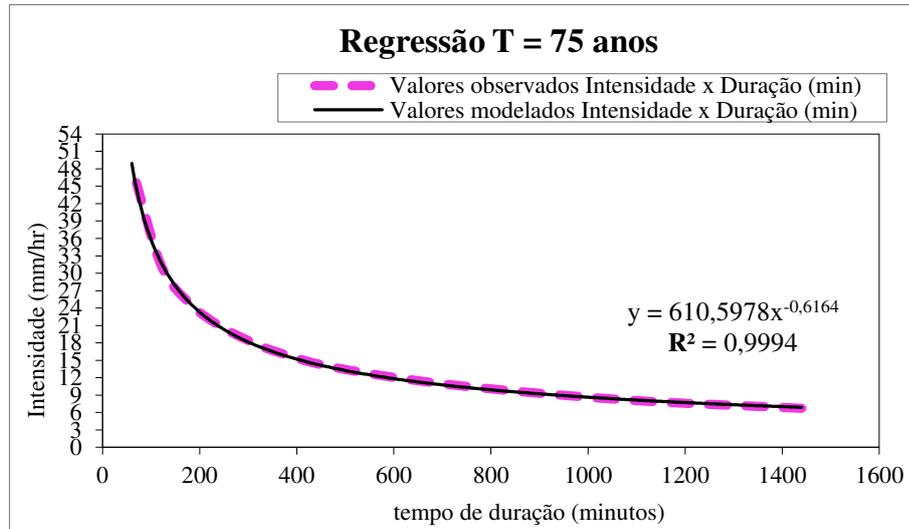
Fonte: FREITAS (2021)

Tabela 12: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 75 anos

Ordem	x	y	$\ln(x)$	$\ln(y)$	$\ln(x) \cdot \ln(y)$	$(\ln(x))^2$
1	1440	6,7296	7,2724	1,9065	13,8650	52,8878
2	1080	8,1653	6,9847	2,0999	14,6672	48,7863
3	720	10,7674	6,5793	2,3765	15,6358	43,2865
4	480	13,7285	6,1738	2,6195	16,1721	38,1156
5	360	16,4203	5,8861	2,7985	16,4724	34,6462
6	300	18,4123	5,7038	2,9130	16,6152	32,5331
7	240	20,9965	5,4806	3,0444	16,6850	30,0374
8	180	24,7651	5,1930	3,2094	16,6665	26,9668
9	120	31,4947	4,7875	3,4498	16,5160	22,9201
10	60	48,4534	4,0943	3,8806	15,8885	16,7637
Total	4980	199,9331	58,1555	28,2982	159,1835	346,9435
$\ln(A) = 6,4144$		$A = 610,5978$		$B = -0,6164$		

Fonte: FREITAS (2021)

Gráfico 10: Intensidade estimada no período de retorno de 75 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos



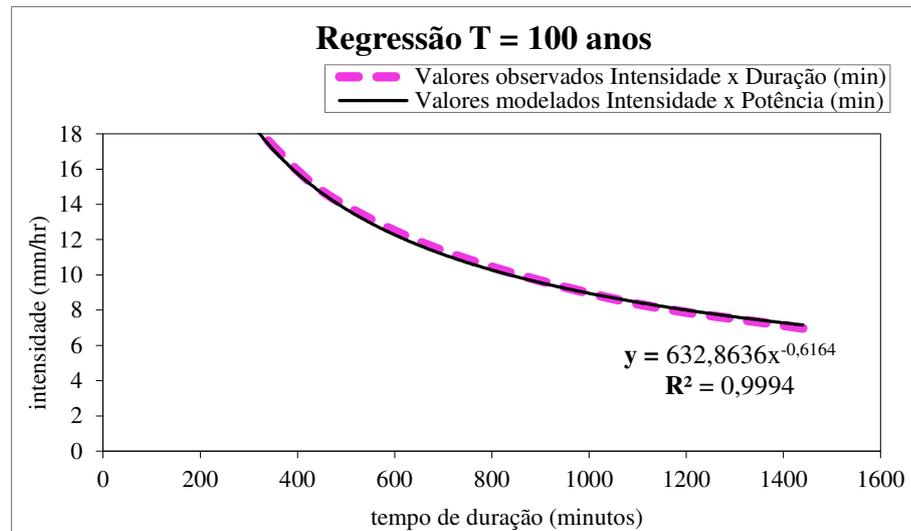
Fonte: FREITAS (2021)

Tabela 13: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 100 anos

Ordem	x	y	ln(x)	ln(y)	ln(x)*ln(y)	(ln(x)) ²
1	1440	6,9750	7,2724	1,9423	14,1255	52,8878
2	1080	8,4630	6,9847	2,1357	14,9173	48,7863
3	720	11,1601	6,5793	2,4123	15,8714	43,2865
4	480	14,2291	6,1738	2,6553	16,3932	38,1156
5	360	17,0191	5,8861	2,8343	16,6832	34,6462
6	300	19,0837	5,7038	2,9488	16,8195	32,5331
7	240	21,7621	5,4806	3,0802	16,8813	30,0374
8	180	25,6682	5,1930	3,2453	16,8524	26,9668
9	120	32,6432	4,7875	3,4856	16,6875	22,9201
10	60	50,2203	4,0943	3,9164	16,0352	16,7637
Total	4980	207,2238	58,1555	28,6563	161,2665	346,9435
ln(A) = 6,4503		A = 632,8636		B = -0,6164		

Fonte: FREITAS (2021)

Gráfico 11: Intensidade estimada no período de retorno de 100 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos



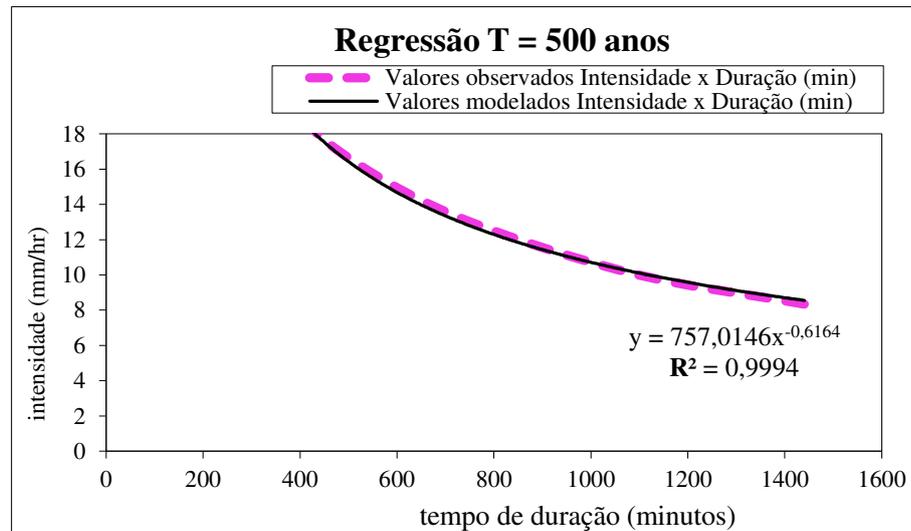
Fonte: FREITAS (2021)

Tabela 14: Valores obtidos de A e B para período de retorno de 500 anos

Ordem	x	y	ln(x)	ln(y)	ln(x)*ln(y)	(ln(x)) ²
1	1440	8,3434	7,2724	2,1215	15,4281	52,8878
2	1080	10,1233	6,9847	2,3148	16,1685	48,7863
3	720	13,3494	6,5793	2,5915	17,0499	43,2865
4	480	17,0204	6,1738	2,8344	17,4991	38,1156
5	360	20,3578	5,8861	3,0135	17,7376	34,6462
6	300	22,8274	5,7038	3,1280	17,8412	32,5331
7	240	26,0313	5,4806	3,2593	17,8630	30,0374
8	180	30,7036	5,1930	3,4244	17,7826	26,9668
9	120	39,0469	4,7875	3,6648	17,5450	22,9201
10	60	60,0722	4,0943	4,0955	16,7686	16,7637
Total	4980	247,8756	58,1555	30,4476	171,6837	346,9435
ln(A) = 6,6294		A = 757,0146		B = -0,6164		

Fonte: FREITAS (2021)

Gráfico 12: Intensidade estimada no período de retorno de 500 anos com tempo de duração até 24 horas/1440 minutos



Fonte: FREITAS (2021)

Partindo dos valores obtidos de A e B e das intensidades estimadas para cada período de retorno com tempo de duração de até 24 horas e até 1440 minutos, foi possível extrair os valores correspondentes a constante de regressão A e coeficiente B, aplicando a Equação 8 e 9, com intuito de substituir as variáveis A por 'd' e B por 'c', através da regressão potencial entre período (T) de retorno e término constante da regressão A (d), como consta na Tabela 15.

Tabela 15: Valores das variáveis A substituído por 'd' e B substituído por 'c'

Período de Retorno (anos)	Término constante de regressão (d)	Coefficiente de regressão B (c)
2	307,09754265039	-0,6163860881
5	394,31148107241	-0,6163860881
10	452,05469704299	-0,6163860881
25	525,01340349609	-0,6163860881
50	579,13833976409	-0,6163860881
75	610,59781625818	-0,6163860881
100	632,86362599876	-0,6163860881
500	757,01456090372	-0,6163860881
Média	532,26143339833	-0,6163860881

Fonte: FREITAS (2021)

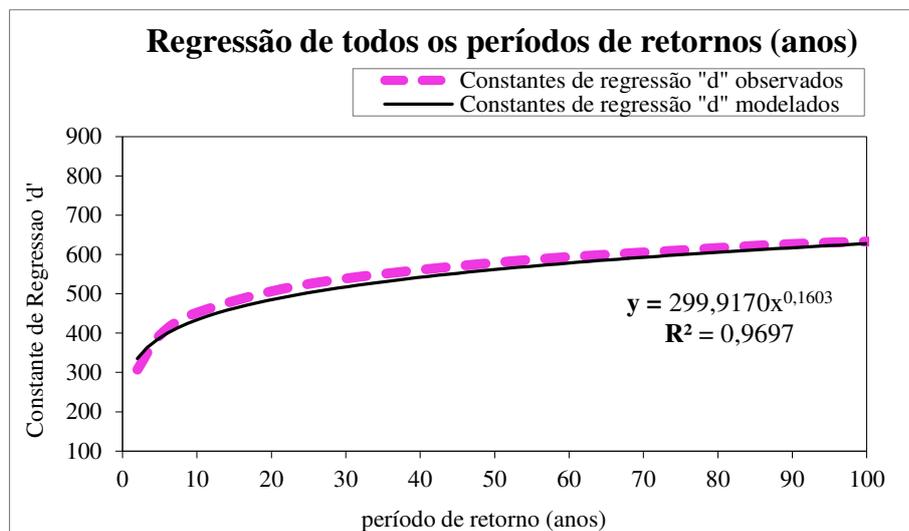
Assim, foi possível realizar outra regressão potencial para obter os valores correspondente a cada período de retorno como consta na Tabela 16 e o ajuste desses valores no Gráfico 13.

Tabela 16: Valores obtidos de A e B para todos os períodos de retorno (anos)

Ordem	x	y	ln(x)	ln(y)	ln(x)*ln(y)	(ln(x)) ²
1	2	307,0975	0,6931	5,7272	3,9698	0,4805
2	5	394,3115	1,6094	5,9771	9,6198	2,5903
3	10	452,0547	2,3026	6,1138	14,0776	5,3019
4	25	525,0134	3,2189	6,2634	20,1612	10,3612
5	50	579,1383	3,9120	6,3615	24,8865	15,3039
6	75	610,5978	4,3175	6,4144	27,6943	18,6407
7	100	632,8636	4,6052	6,4503	29,7045	21,2076
8	500	757,0146	6,2146	6,6294	41,1990	38,6214
Total	767	4258,0915	26,8733	49,9372	171,3126	112,5074
ln(A) = 5,7035		A = 299,9170		B = 0,1603		

Fonte: FREITAS (2021)

Gráfico 13: Regressão entre valores obtidos da regressão 'd' observadas e modeladas e os respectivos períodos de retorno (anos)



Fonte: FREITAS (2021)

E, por meio da relação de intensidade, duração e período de retorno, com base nos valores de chuvas estimadas e observadas, foi possível obter os valores de parâmetros da Equação das Chuvas Intensas (1), sendo os valores obtidos: 'a' = 299,9170; 'b' = 0,1603 e 'c' = 0,6164, foi obtido a base válida da equação de chuvas intensas para o município de Ituiutaba/MG.

$$I = \frac{a * T^b}{t^c} = I = \frac{299,9170 * T^{0,1603}}{t^{0,6164}} \quad (\text{Equação 1})$$

Logo, a composição da equação é fundamentada em:

I = intensidade da chuva minuto/hora;

$a = 299,910$ sendo a constante da regressão para todos os períodos de retornos (anos);

$T^b = T$: corresponde ao período de retorno (anos) e b : é o coeficiente de regressão de todos os períodos de retorno (anos);

$t^c = t$: corresponde ao tempo de duração da chuva em minutos e c : é o coeficiente de regressão aplicado à cada período de retorno (anos).

Em síntese, equação foi obtida baseando-se na utilização de diferentes tempos de durações, que variam em 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 e 24 horas e em 60, 120, 180, 240, 300, 360, 480, 720, 1080 e 1440 minutos, além de serem empregados valores significativos quanto ao tempo de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Dado a este fato, a equação determinada possui uma grande faixa de aplicação, podendo ser empregada em estimativas de alturas pluviométricas máximas no município de Ituiutaba/MG, uma vez que os fatores como a quantificação estimada quanto às ocorrências de chuvas com magnitude muito intensas e o conhecimento da forma como essas chuvas se distribuem no espaço-tempo são de extrema importância. São particularmente úteis em estudos e projetos hidráulicos como aqueles que estimam a disponibilidade hídrica para o abastecimento doméstico e industrial, e obras fluviais urbanas, mecanismos de irrigação no campo, sejam viáveis do ponto de vista técnico e econômico, e principalmente, que amparem a população frente a possíveis impactos decorrentes de eventos extremos de chuva.

5.3.2. Determinação de Curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência) dos eventos extremos de chuva

Baseado na série de variáveis e parâmetros calculados no subitem anterior, de acordo com as metodologias proposta foram obtidos índices ajustados válidos de Intensidade-Duração-Frequência para o município de Ituiutaba/MG, iniciativa possível principalmente

devido a utilização de uma longa série histórica (53 anos de dados diários), que auxiliou na obtenção de valores de chuva para tempos de durações inferiores a 1 hora com boa convicção. Decorrente a isso e, considerando o período de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 e 500 anos com tempo de duração de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 e 60 minutos, na Tabela 17 constam as estimativas do índice IDF em minutos.

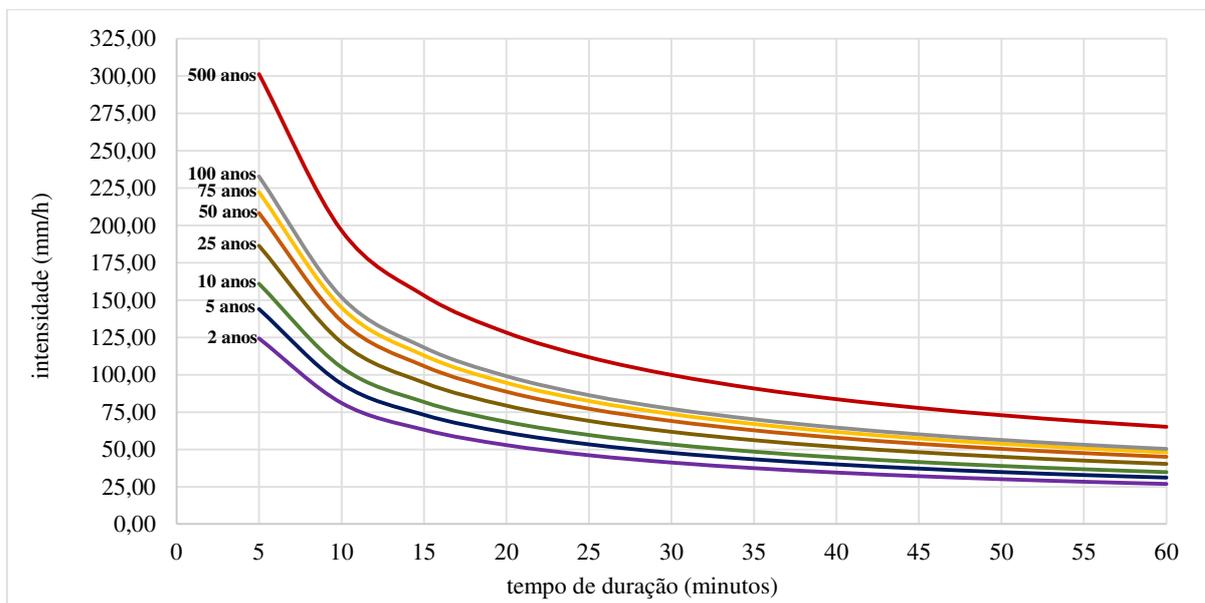
Tabela 17: Índices de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) das chuvas no município de Ituiutaba/MG

Período de retorno (anos)	Índices IDF de duração em minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	124,29	81,07	63,15	52,89	46,09	41,19	37,46	34,50	32,08	30,06	28,35	26,87
5	143,96	93,91	73,14	61,26	53,38	47,71	43,38	39,96	37,16	34,82	32,84	31,12
10	160,88	104,95	81,74	68,46	59,66	53,32	48,49	44,65	41,53	38,92	36,70	34,78
25	186,35	121,56	94,67	79,29	69,10	61,76	56,16	51,72	48,10	45,08	42,50	40,28
50	208,25	135,84	105,80	88,61	77,23	69,02	62,76	57,80	53,75	50,37	47,50	45,02
75	222,24	144,97	112,91	94,56	82,41	73,65	66,98	61,68	57,37	53,76	50,69	48,04
100	232,74	151,81	118,24	99,03	86,30	77,13	70,14	64,60	60,07	56,30	53,08	50,31
500	301,26	196,51	153,06	128,19	111,71	99,84	90,79	83,62	77,76	72,87	68,71	65,13

Fonte: FREITAS (2021)

E, partindo da tabela acima, foi elaborado um gráfico da Curva IDF (Gráfico 14) referente à determinação da quantificação das chuvas a partir das variáveis de intensidade, duração e frequência de ocorrência, de um episódio de chuva em determinado período de retorno.

Gráfico 14: Curva de IDF (Intensidade-Duração-Frequência) do município de Ituiutaba/MG (2021)



Fonte: FREITAS (2021)

O Gráfico 14 apresenta a constituição da relação das variáveis que compõem a Curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência) para o município de Ituiutaba/MG, com durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 e 60 minutos, com períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 e 500 anos, com a dinâmica partindo dos diversos níveis de intensidade (mm/min) de chuva.

Observa-se na Tabela 17 que o tempo de duração de 5 minutos de intensidade das chuvas é absolutamente superior aos outros tempos de durações, que vão reduzindo de maneira decrescente conforme maior tempo de duração das chuvas. E no Gráfico 14, nota-se que os episódios de chuva com tempo de duração até 10 minutos apresentam dinâmica de intensidade muito extrema e de acordo com os espaçamentos das linhas que correspondem aos períodos de retorno, de 5 a em torno de 30 minutos de duração de um episódio de chuva o nível de intensidade apresenta comportamento bastante energético e vai gradualmente reduzindo seu nível de intensidade a partir dos 40 minutos.

Constata-se na Tabela 17 e o Gráfico 14 que conforme menor a duração em minutos de um episódio de chuva extrema, com maior volume será o escoamento superficial, havendo comportamento inverso quanto à ocorrência de um episódio de chuva com horas de duração manifestar-se dentro da normal climatológica, no qual o volume do escoamento superficial será normal. Logicamente existem outras variáveis a serem consideradas nestas relações, contudo, em relação ao período de retorno (anos) há um comportamento “associativo” entre a variável tempo e frequência, ou seja, quanto maior for o período de retorno de em episódios de chuva extremo maior será a probabilidade de sua recorrência, e quanto menor for o período de retorno de um episódio de chuva extrema menor será a probabilidade de sua recorrência.

E, considerando o clima que se insere o município de Ituiutaba e fazendo uma associação do comportamento do regime pluviométrico *versus* intensidade, duração e frequência das chuvas, é imprescindível conhecer a dinâmica dessas chuvas para que se desenvolva mecanismos que estimem e monitorem a propagação dos efeitos de episódios com magnitude muito grande ou grande das chuvas na superfície.

Como já citado na seção de ‘2. REVISÃO DE LITERATURA’, devido a dinâmica das chuvas estar associada diretamente com a Circulação Geral da Atmosfera, existe muita troca de energia nesse processo o que ocasiona a necessidade de monitoramento constante

quanto sua atuação e distribuição no espaço-tempo. Fator que é reforçado, principalmente, a partir dos anos 2000 devido maior preocupação por parte dos cientistas e órgãos nacionais e internacionais que acompanham a evolução dos eventos extremos climáticos em escala temporal, pois, a quantificação das ocorrências e níveis de intensidade dos eventos extremos de chuva, principalmente em áreas urbanizadas, afloram cada vez mais as discussões acerca do papel das ações antrópicas frente à repercussão em superfície desses eventos e se há sinais de tendência (crescente ou decrescente) quanto à ocorrência de chuvas que se categorizam em níveis de intensidade além do “convencional”.

5.4. Tendência na ocorrência de eventos extremos de chuva

Neste subitem serão apresentados os resultados da análise de tendência da série histórica utilizada na pesquisa. Primeiramente foi necessário validar o fator de independência dos dados através da aplicação do Teste de Autocorrelação para que, ao aplicar o Teste não paramétrico de Mann-Kendall, não fossem camuflados os resultados reais, gerando a detecção de tendência quando na realidade não existem ou, o inverso, a não detecção de tendência quando na realidade ela existe. Para isso, a base dos dados utilizados encontra na seção ANEXOS em “Anexo 1: Tabela dos totais e médias de chuva ao longo dos meses e anos que compõem a série histórica”.

5.4.1. Validação estatística para legitimar fator de independência dos dados

Como mencionado na seção “4. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS”, antecedente à verificação quanto ao indício de tendência na série histórica, foi aplicado o Teste de Autocorrelação, através do *software* XLSTAT no qual na Tabela 18, em um primeiro momento com base no nível de significância (α) de 0,05, foram executados o teste de normalidade através do teste estatístico de Jarque-Bera, com o propósito de apurar se existe normalidade na distribuição dos dados; e, o teste de ruído branco através dos testes Box-Pierce, Ljung-Box e McLeod-Li, com o propósito de verificar o fator de variação aleatória e independência dos dados. Salienta-se que os seguintes dizeres correspondem a: *Statistical tests*: testes estatísticos utilizados; *DF*: número aceitável de erro estabelecido para cada teste; *Value*: estimativa da distribuição normal dos dados; e, *P-Value* (sendo representando pelo teste qui-quadrado no qual ajusta a variável ano (linha) e mês

(coluna) de forma adequada): probabilidade de erro em rejeitar a hipótese nula (H_0) em relação à normalidade da distribuição dos dados.

Tabela 18: Aplicação dos testes de normalidade e de ruído branco na série histórica (1967-2019) de Ituiutaba/MG

	<i>STATISTICAL TESTS</i>	<i>DF</i>	<i>VALUE</i>	<i>P-VALUE (Qui-quadrado)</i>
1° intervalo de tempo	Jarque-Bera	2	0,475	0,788
	Box-Pierce	6	8,240	0,221
	Ljung-Box	6	9,163	0,165
2° intervalo de tempo	McLeod-Li	6	8,603	0,197
	Box-Pierce	12	10,207	0,598
	Ljung-Box	12	11,697	0,470
	McLeod-Li	12	11,326	0,501

Org: FREITAS (2021)

Quanto maior é o valor que corresponde a *P-value* com relação ao nível de significância (α) de 0,05, maior é a probabilidade de rejeição da H_0 sobre os dados estiverem normalmente distribuídos (XLSTAT, 2021). Por isso, com base na Tabela 18, a probabilidade de erro ao rejeitar a hipótese nula foi descartada, pois com a aplicação do Teste de Jarque-Bera o valor obtido de *P-value* foi de 0,788, ultrapassando α .

Em relação ao teste de ruído branco, partindo da aplicação dos testes de Box-Pierce, Ljung-Box e McLeod-Li, nota-se que na Tabela 18 houve a aplicação dos testes em dois intervalos distintos, alterando o valor de DF (número aceitável de erro estabelecido para cada teste) do primeiro para o segundo intervalo, o que de acordo com XLSTAT (2021) não influencia no valor obtido do teste de Jarque-Bera, mas confirma a autenticidades dos resultados. Com isso, o teste Ljung-Box destacou-se por resultar em *Value* (no primeiro intervalo 9,163 e no segundo intervalo 11,697) maior credibilidade quanto à distribuição normal dos dados, e em *P-value* (no primeiro intervalo 0,165 e no segundo intervalo 0,470) menos imprecisão quanto à probabilidade de haver resíduos (estimativas) de ruído branco, sendo o teste considerado como parcimonioso, isto é, não apresenta parâmetros em excesso para estimar o comportamento de determinada variável, o que nesse tipo de teste em estatística, conforme Bozdogan (1987) corresponde a um modelo que se adequa melhor a análise da variável em evidência.

E, correspondendo aos resíduos de ruído branco, na Tabela 19 encontra-se a análise descritiva da relação desses resíduos apresentados em diferentes intervalos de tempo (*Lag*) em que foram calculados, definidos com base nos coeficientes (amostras) independentes e aleatórios correlacionados. Bem como, os valores atribuídos desses intervalos de tempo em relação à probabilidade de *Autocorrelations* (que apresenta valor definido em 1,000), *Standard error* (erro padrão dos resíduos), *Lower bound* (limite inferior com intervalo de confiança de 95% acerca dos valores obtidos) e *Upper bound* (limite superior com intervalo de confiança de 95% acerca dos valores obtidos).

Tabela 19: Relação dos resíduos de ruído branco com a condição de autocorrelação em diferentes intervalos de tempo com base na série histórica (1967-2019) de Ituiutaba/MG

LAG	AUTOCORRELATION	STANDARD ERROR	LOWER BOUND (95%)	UPPER BOUND (95%)
0	1,000	0,000		
1	0,191	0,137	-0,269	0,269
2	0,055	0,142	-0,279	0,279
3	0,094	0,143	-0,280	0,280
4	0,250	0,144	-0,282	0,282
5	-0,212	0,152	-0,297	0,297
6	-0,018	0,157	-0,308	0,308
7	0,074	0,157	-0,308	0,308
8	0,042	0,158	-0,310	0,310
9	-0,064	0,158	-0,310	0,310
10	0,082	0,159	-0,311	0,311
11	0,075	0,159	-0,312	0,312
12	-0,116	0,160	-0,314	0,314
13	-0,132	0,162	-0,317	0,317
14	0,002	0,164	-0,321	0,321
15	0,013	0,164	-0,321	0,321
16	0,001	0,164	-0,321	0,321
17	0,117	0,164	-0,321	0,321

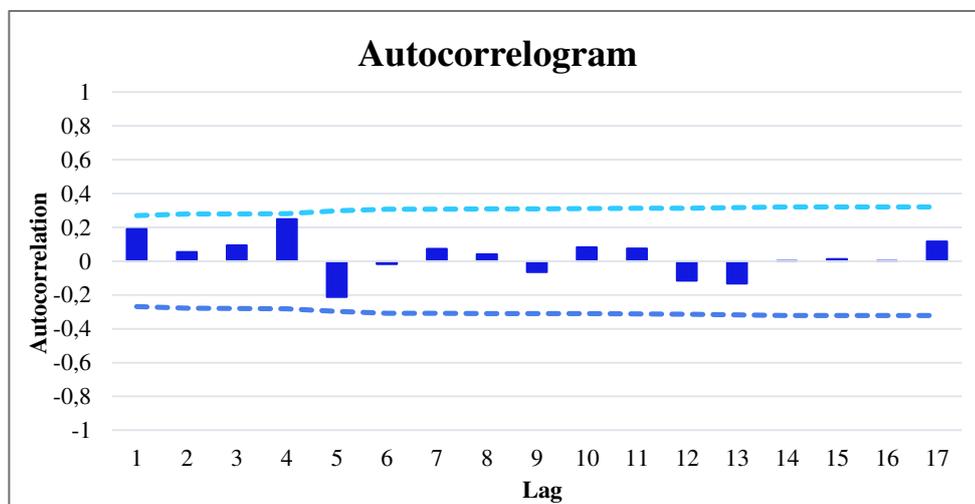
Org: FREITAS (2021)

É possível observar na Tabela 19 que partindo dos intervalos de tempo (*Lag*), os valores obtidos ao aplicar a condição de autocorrelação (*Autocorrelation*) não apresentam superioridade quanto ao limiar de 1,000, mantendo-se em: valor mínimo de -0,212 com limite inferior de -0,269 e limite superior de 0,269; e, valor máximo de 0,250 com limite inferior de -0,321 e limite superior de 0,321. Não representando valores significativos em relação a cada amostra *versus* o intervalo de tempo em que foram correlacionadas, o que reforça o fator

independência e aleatoriedade, já que tais valores estão próximos de 0 (HAMED; RAO, 1998).

E, baseado na Tabela 19, o Gráfico 15 traz a síntese da condição de autocorrelação (*Autocorrelation*), representada pelos numeradores em posição vertical, e a defasagem de cada intervalo de tempo (*Lag*), representado pelos numeradores em posição horizontal somado aos comportamentos das linhas tracejadas, em posição superior e inferior, com diferentes tons de cor azul.

Gráfico 15: Autocorrelação em relação à defasagem de cada intervalo de tempo (*Lag*)



Org.: FREITAS (2021)

A análise do Gráfico 15 demonstra que os resíduos de ruído branco apresentam comportamento aleatório, não revelando a existência de um padrão específico, o que confirma a adequação dos testes aplicados. E, quanto os valores obtidos acerca da probabilidade de *Autocorrelation* como visto na Tabela 19, no Gráfico 15 encontram-se dentro do limite das linhas tracejadas, em tons de azul em posição superior e inferior, reforçando que a série histórica analisada apresenta fator marcante de aleatoriedade e condição de autocorrelação igual a 0. Ressalta-se que a posição e o comportamento das linhas tracejadas são determinados pelos coeficientes da amostra utilizados nas análises.

Por isso, com base nos valores obtidos com a aplicação do teste de Jarque-Bera e com o teste de Ljung-Box, partindo da seleção de coeficientes aleatórios dispostos na série histórica e que foram correlacionados entre si, com base em todos os resultados não houve nenhuma identificação de condição de autocorrelação, ou seja, a probabilidade de ocorrência temporal da variável analisada (chuva) apresenta fator de independência e aleatoriedade,

quanto a valores obtidos anteriores a série histórica analisada e, possivelmente, posterior a estes que foram analisados no presente.

5.4.2. Análise de tendência na série histórica

Após a validação dos dados que compreendem a série histórica (1967-2019), foi possível aplicar o Teste de Mann-Kendall, com o propósito de verificar se há ou não indícios de tendências e qual o tipo dessa tendência (crescente, decrescente ou linear). Para tal, foram considerados os totais mensais e anuais, sendo mantido um nível de significância (α) de 0,05 = 5%, como indicado por Hamed e Rao (1998), e intervalo de confiança de 95%.

Então, dispostos na Tabela 20 estão os resultados da aplicação do teste de Mann-Kendall e na sequência nos Gráficos 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 e 28, produzidos quanto aos valores obtidos em relação às variáveis correlacionadas no estudo (chuva versus tempo), durante todo o período analisado. Em prol de facilitar a interpretação dos coeficientes adotados, com relação ao: coeficiente de correlação de classificação Kendall's tau - (mede a força da relação entre duas variáveis), os valores obtidos entre -1 (correlação negativa) condiz que uma variável é aumentada quanto outra está diminuindo, e os valores obtidos entre 1 (correlação positiva) significa que as duas variáveis estão aumentando simultaneamente; aos valores da estatística de S – valor negativo indica tendência decrescente, valor positivo indica tendência crescente de valor igual a zero indica ausência de tendência; de $Var(S)$ – nível de variação que determinado dado analisado pode alcançar em relação à média; conforme o valor obtido em P -value – se $p \leq \alpha$ pode-se rejeitar H_0 ; e, por último, a quantificação da magnitude (mm/ano) obtida com através do Estimador de declive de *Sen's Slope*, proposto por Sen (1968).

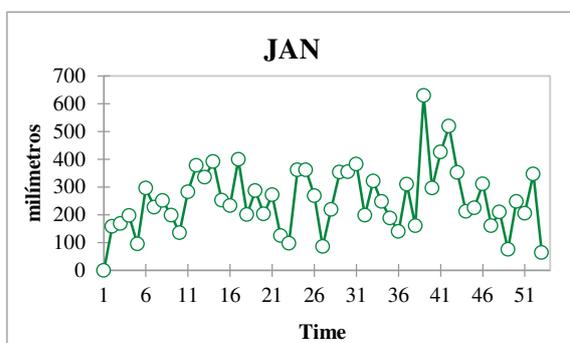
Tabela 20: Resultado da aplicação do teste estatístico de Mann-Kendall na série histórica (1967-2019) do município de Ituiutaba/MG

MÊS	Kendall's tau	S	Var(S)	P-VALUE (Two-tailed)	α	H_0	H_1	Sen's Slope
JAN	0,075	104,000	16995,333	0,429	0,05	aceita	rejeita	0,906
FEV	0,058	80,000	16995,333	0,545	0,05	aceita	rejeita	0,549
MAR	0,005	7,000	16994,333	0,963	0,05	aceita	rejeita	0,023
ABR	0,093	128,000	16991,333	0,330	0,05	aceita	rejeita	0,364

MAI	0,001	1,000	16975,667	1,000	0,05	aceita	rejeita	0,000
JUN	-0,143	-191,000	16723,667	0,142	0,05	aceita	rejeita	-0,095
JUL	-0,010	-12,000	15160,000	0,929	0,05	aceita	rejeita	0,000
AGO	-0,025	-31,000	15369,000	0,809	0,05	aceita	rejeita	0,000
SET	-0,088	-121,000	16977,667	0,357	0,05	aceita	rejeita	-0,271
OUT	-0,298	-410,000	16995,333	0,002	0,05	rejeita	aceita	-1,716
NOV	0,042	58,000	16995,333	0,662	0,05	aceita	rejeita	0,340
DEZ	-0,033	-46,000	16995,333	0,730	0,05	aceita	rejeita	-0,315
TOTAL	-0,003	-4,000	16995,333	0,982	0,05	aceita	rejeita	-0,170

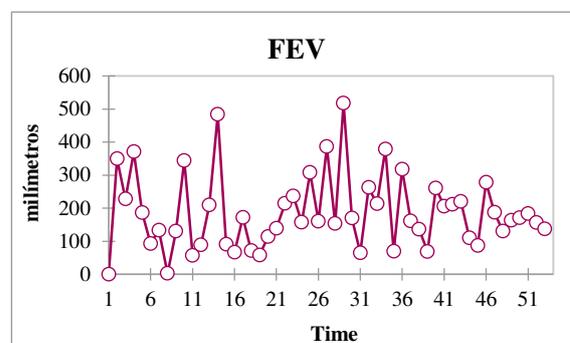
Org.: FREITAS (2021)

Gráfico 16: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de janeiro



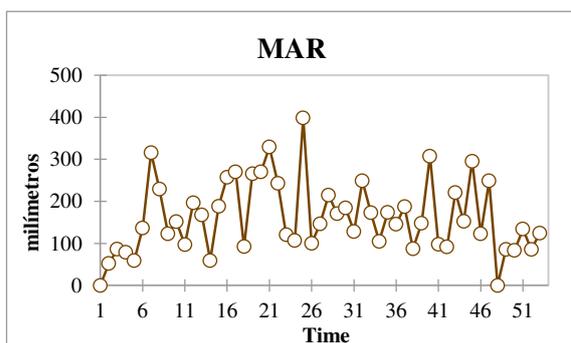
Org.: FREITAS (2021)

Gráfico 17: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de fevereiro



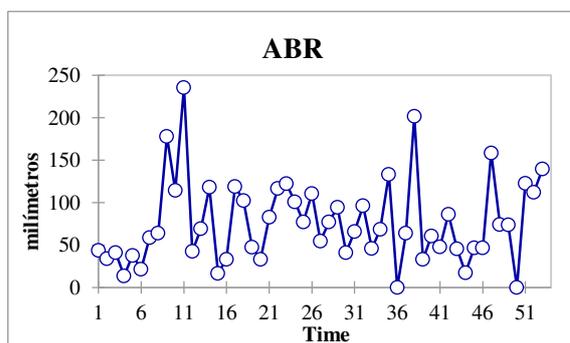
Org.: FREITAS (2021)

Gráfico 18: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de março



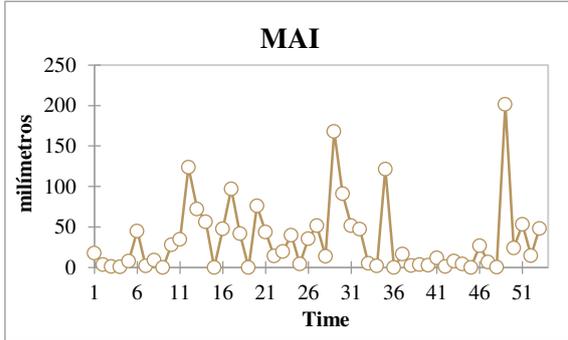
Org.: FREITAS (2021)

Gráfico 19: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de abril



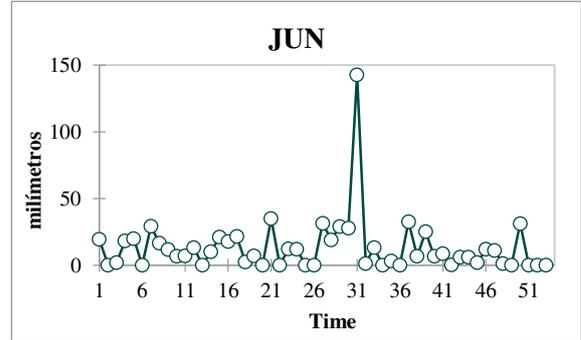
Org.: FREITAS (2021)

Gráfico 20: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de maio



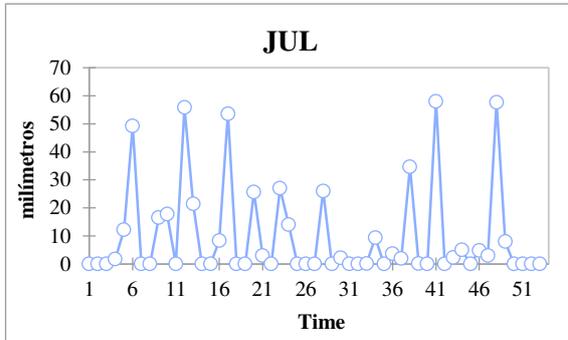
Org.: FREITAS (2021)

Gráfico 21: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de junho



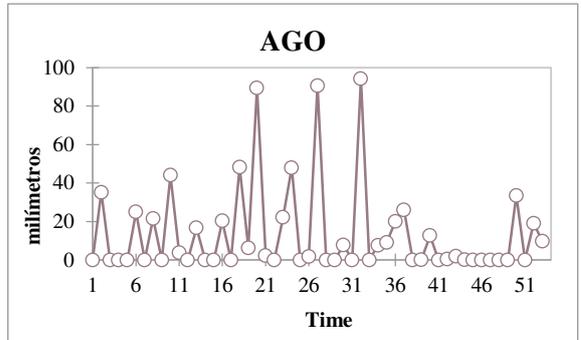
Org.: FREITAS (2021)

Gráfico 22: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de julho



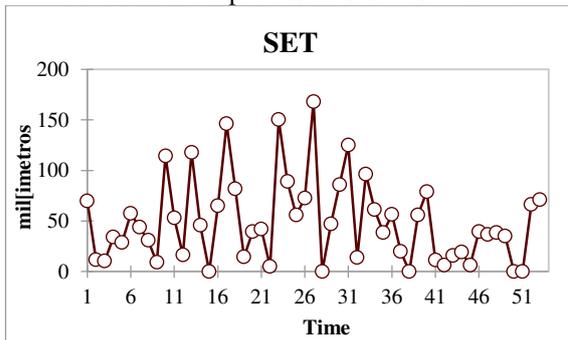
Org.: FREITAS (2021)

Gráfico 23: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de agosto



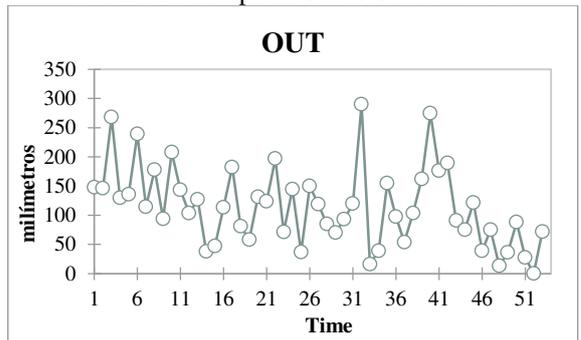
Org.: FREITAS (2021)

Gráfico 24: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de setembro



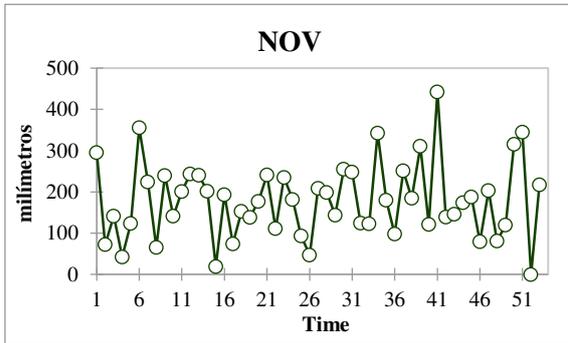
Org.: FREITAS (2021)

Gráfico 25: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de outubro



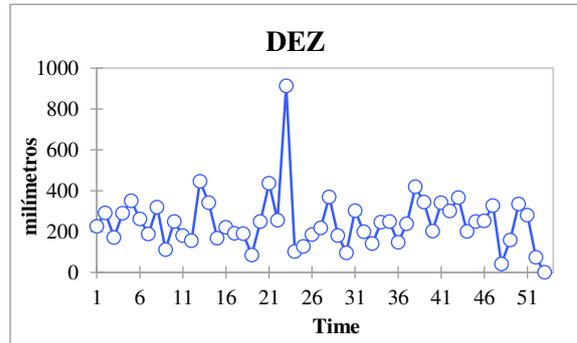
Org.: FREITAS (2021)

Gráfico 26: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de novembro



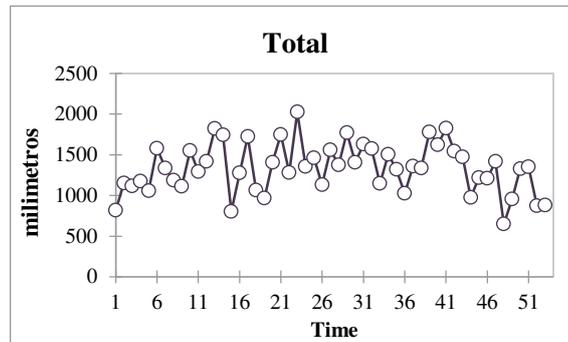
Org.: FREITAS (2021)

Gráfico 27: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os meses de dezembro



Org.: FREITAS (2021)

Gráfico 28: Resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os totais acumulados mensais na série histórica



Org.: FREITAS (2021)

Partindo de todos os dados analisados, como a aplicação do teste considerou a relação entre a variável chuva (objeto central analisado) e variável tempo (meses e anos que foram analisados), com base nos valores da estatística de S os meses de JAN (104,000), FEV (80,000), MAR (7,000), ABR (128,000), MAI (1,000) e NOV (58,000), obtiveram valores superiores a 0, dos quais todos apresentaram indícios de tendência crescente com destaque para JAN que resultou em uma inclinação do $Sen's$ em 0,906 mm/ano. E, considerando as variáveis chuva e tempo, esses meses apresentam correlação positiva havendo aumento simultâneo dessas variáveis, ou seja, a cada ano que se passa a possibilidade desses meses apresentarem maior acúmulo pluviométrico em relação ao ano anterior, é considerável.

Já, em relação aos meses de JUN (-191,000), JUL (-12,000), AGO (-31,000), SET (-121,000), OUT (-410,000) e DEZ (-46,000), todos obtiveram valores negativos abaixo de 0, apresentando também indícios de tendência, mas do tipo decrescente, com destaque para o mês de OUT que apesar de registrar $P-value \leq \alpha$ e ter H_0 rejeitada e H_1 aceita, conforme

Sen's resultou em uma inclinação negativa de -1,716 mm/ano. E, a relação entre chuva e tempo apresenta correlação negativa, havendo oscilação de uma variável em associação a outra, como por exemplo, quanto maior a escala temporal utilizada para analisar a chuva, a probabilidade de acúmulo pluviométrico nesses meses ser menor do que ao analisar uma escala temporal menor, ou ao inverso também.

Ainda assim, ao verificar os valores obtidos com relação aos os totais mensais acumulados na série histórica, observa-se que o valor da estatística de *S* é de -4,000, originando uma inclinação do *Sen's* em -0,170 mm/ano. Fato este que pode ser originário de duas eventualidades: primeira, decorrente a tendência decrescente verificada no mês de OUT, no qual durante toda a série histórica apresenta queda gradual em seus acumulados mensais, principalmente ao considerar o início da década de 2000 que marcou intensa queda dos acumulados pluviométricos no decorrer de cada ano, mesmo que já tenha sido registrados picos significativos de acúmulo pluviométrico (como o registrado no ano de 1998 cujo mês de outubro registrou o total de 290 mm, sendo o valor máximo registrado naquele ano); e segundo, devido o mês de DEZ, um mês marcado pela ocorrência anual de chuvas e que registra comumente a ocorrência de eventos extremos de chuva, ser constatada indício de tendência decrescente e apresentar índice negativo de inclinação do *Sen's* de -0,315 mm/ano, estando atrás somente do mês de OUT.

E, outro fator observado é a característica de não estacionariedade na série histórica, visto que as alterações associadas à série e aos coeficientes de variação apresentaram mudanças graduais estatisticamente fracas, os valores obtidos mantêm-se próximos a limiar de *Kendall's tau* entre 1 e -1, correspondendo à força da relação entre as variáveis chuva e tempo. Nesse raciocínio, quando consideramos a ocorrência das chuvas durante estação chuvosa (entre os meses de outubro a abril) verificamos que está havendo uma redução no total registrado de chuva nessa estação, fator este embasado pelo comportamento dos meses de OUT e DEZ, dos quais são integrantes da estação chuvosa. Mas, principalmente, se intensifica o cenário de estiagem com o passar dos anos, sobretudo entre os meses de JUN a SET, dentre os quais JUN/SET apresentam valores negativos de inclinação do *Sen's* mm/ano e JUL/AGO apresenta o valor de inclinação 0 mm/ano.

De modo geral, com base nos dados analisados e na escala temporal definida, é notório que existam variações quanto ao comportamento em escala temporal das chuvas no município de Ituiutaba/MG. Entretanto, a origem por trás dessas variações podem ser decorrentes da dinâmica natural do clima, das alterações induzidas por ações antrópicas ou a

relação entre ambas; e para afirmar com exatidão a origem dessas variações é necessário a inclusão de outros dados como: monitoramento e registro contínuo da influência de fatores endógenos e exógenos que impõem a dinâmica climática no município, bem como, o comportamento temporal dos elementos do clima, no decorrer dos processos de uso e ocupação territorial. Pois, conforme Morettin e Pinto (1981) ao analisarmos o fator tendência é válido considerar que aquilo que denominamos de tendência em uma série histórica de dados “pode ser parte de um ciclo com período muito grande, que não é detectável devido ao fato de estarmos observando a série em um intervalo de tempo pequeno comparado com o período do ciclo (Morettin; Pinto, 1981, p. 37)”.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como a presente pesquisa trouxe como objeto central de análise a variabilidade pluviométrica, optou-se assim por não incluir nestas análises quesitos socioeconômicos, demográficos, de saúde e urbanos, pois, almejou-se, sobretudo, compreender espacialmente a dinâmica do elemento citado no município de Ituiutaba/MG, por ser uma área que apresenta escassez quanto à aplicação dessa categoria de estudo. Mesmo que se encontre descritos nos textos que compõem essa pesquisa, aspectos que relacionam o uso e ocupação do território que compreende o município, restringiu-se em considerar o desenvolvimento temporal de sua área urbana, com o propósito de trazer para o leitor um recorte acerca das especificidades históricas e locais do município.

Buscou-se apontar fatores como a frequência, que é muito presente em estudos sobre eventos extremos de chuva devido a constante tentativa em mensurar temporalmente a ocorrência desses eventos, o que produziu a exposição dos motivos centrais do grande interesse científico nestes eventos, que são: os diferentes graus de intensidade em eventos extremos de chuva distintos e a investigação de indícios de tendências partindo da análise de dados que monitoram a chuva. Uma vez que, mediante aos estudos citados na pesquisa, há grande preocupação em escala global quanto às condições de exposição das populações frente à ocorrência de eventos extremos de chuva e com base na utilização de séries históricas que otimizam e organizam informações acerca da dinâmica das chuvas em escala diária, mensal e anual, é possível haver importante contribuição para o desenvolvimento de procedimentos com base na caracterização da frequência das chuvas em diferentes escalas espaço-temporais, possibilitando assim a elaboração de prognósticos a serem analisados com intuito de respaldar ações no futuro.

Deste modo, a partir da distribuição das chuvas no município de Ituiutaba/MG, no qual apresenta a manifestação de uma estação chuvosa (outubro a março) e uma estação seca (abril a setembro), constata-se que devido a esse comportamento as chuvas apresentam certa “regularidade” em seu período previsto para ocorrência, condicionando anualmente o cotidiano da população frente a picos de estiagens e episódios de chuvas extremas. Informações que se fossem utilizadas como base para mitigação dos efeitos desses fatores, contribuíram no desenvolvimento de diversas ações por parte do poder público, sobretudo, frente a ocorrência de chuvas que originam os eventos extremos, tornando a população mais

preservada da repercussão em superfície da atuação desses eventos, inclusive possibilitando o desenvolvimento de indicadores quanto suas frequências.

Dado a este fato, os índices calculados e validados que compuseram a Curva de IDF para o município, possuem aplicabilidade direta sobre a estimativa e quantificação quanto às ocorrências de chuvas superiores à normal climatológica, sendo que sua utilização pode subsidiar o poder público local com medidas que ampararem a população frente a impactos oriundos dos eventos extremos de chuva, visto que, a partir das análises realizadas observou-se que quanto maior a intensidade de ocorrência de um evento extremo de chuva maior será o tempo de retorno para sua recorrência. Entretanto, deve-se considerar o monitoramento contínuo em relação a dinâmica desses eventos já que existem outras variáveis a serem consideradas nessa relação, como por exemplo, a intensidade e duração da chuva, se a chuva foi igualada ou superada em um determinado período, e a distribuição temporal da chuva; dos quais, influenciam quanto a necessidade de atualização periódica dos índices da Curva IDF.

Também, em relação às análises dos dados, outro fator importante observado foi a tendência decrescente com indicativo de mudanças estatisticamente fraca, porém gradual, sobre o comportamento da ocorrência das chuvas durante o mês de dezembro, apontado pelos dados analisados nesta pesquisa como um mês importante durante a estação chuvosa por apresentar média com excepcional acúmulo pluviométrico. Aspectos estes que geram no tempo presente indagações acerca de prováveis cenários quanto a ocorrência das chuvas no município de Ituiutaba/MG, principalmente, porque o regime pluviométrico das chuvas no município é pautado nos meses que compõe a estação chuvosa e quaisquer alterações identificadas desse comportamento deve ser plausível de atenção e do desdobramento de novas pesquisas por parte de pesquisadores em conjunto com o poder público e também da população, que sumariamente são aqueles que mais dependem da chuva em seu cotidiano.

Considerando que o município de Ituiutaba/MG dispõe de uma rede com efetivo monitoramento das chuvas e dos demais elementos do clima, ainda se faz muito limitado o desenvolvimento de estudos que agregam novas informações sobre sua dinâmica climática. Sendo isso um reflexo do modo como no Brasil, apesar dos vastos bancos de dados de diversos institutos, faculdades, universidades, centros de pesquisas e organizações (nacionais e internacionais), que registram e monitoram a ocorrência das chuvas, os estudos em relação a dinâmica das chuvas além de não abarcar todo o território brasileiro, quando é desenvolvido em municípios localizados no interior tendem a ser condicionados como referenciais bibliográficos, mas sem contar com sua aplicabilidade por parte dos gestores que podem

utilizar a base desses estudos para melhor adequar as condições que ainda mantêm as populações expostas frente à ocorrência de eventos extremos de chuva. Sobretudo, em áreas urbanizadas, onde estão localizadas as superfícies que mais se concentram intervenções que modificam os atributos físicos do meio sem considerar a dinâmica originária.

Frente a este fato, torna-se fundamental que todas as esferas que compõem a sociedade entendam que os elementos do clima são moduladores do território. Portanto, conhecer a dinâmica e variabilidade espaço-temporal dos sistemas que determinam a ocorrência de eventos extremos climáticos é estabelecer o desenvolvimento de ações que visem melhor adequação dos espaços antropizados, através de planos e ações que visam o monitoramento e a previsibilidade acerca da ocorrência desses eventos no tempo.

E, considerando a experiência adquirida em todo o processo de desenvolvimento dessa pesquisa, foi possível notar que ainda existe um longo caminho a ser percorrido no que tange o alcance do saber com relação à dinâmica climática, por todas as esferas da sociedade, entretanto, não é algo que tornar-se impossível quando pesquisas como esta possibilitam abrir margem para o desenvolvimento de diversas outras, inclusive na criação de mecanismos concretos que objetivam minimizar os efeitos da ocorrência dos eventos extremos de chuva que impactam o cotidiano da própria sociedade.

REFERÊNCIAS

- AB’SÁBER, A. N. **O domínio dos cerrados**: introdução ao conhecimento. Revista Servidor Público, Brasília – DF, v. 3, n. 4, p. 41-55, 1983. Disponível em: < <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/3697/1/1983%20RSP%20ano40%20v111%20n4%20Out-Dez%20p.41-56.pdf>>. Acesso em: 25 abril 2021.
- AB’SÁBER, A. N. A Geomorfologia no Brasil. Notícia Geomorfológica, Campinas, n. 2, p. 1- 18, 1958.
- ADDINSOFT. Basic: **XLSTAT**. 2021. Disponível em: < <https://www.xlstat.com/en/>>. Acesso em: 04 abr. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Hidroweb**: Sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>.
- AMORIM, M. C. de C. T. **Ritmo Climático e Planejamento Urbano**. In: AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade *et al* (Org.). Climatologia Urbana e Regional: Questões teóricas e estudos de caso. São Paulo: Outras Expressões, 2013. p. 173-190.
- ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Variabilidade, tendência, anomalia e mudança climática**. Material didático de uso na disciplina LCE 306 – Meteorologia Agrícola. Departamento de Engenharia de Biosistemas - setor de Agrometeorologia, ESALQ/USP, 2010. 8 p. Disponível em: < http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Variabilidade_e_mudanca_climatica.pdf>. Acesso em: 18 out. 2020.
- ARBOIT, N. K. S.; MANCUSO, M. A.; FIOREZE, M. Ajuste de Equação IDF por desagregação de chuvas diárias para o Município de Iraí, RS. **Anuário do Instituto de Geociências** - UFRJ, v. 40, n. 3, 2017. p. 248-253. Disponível em: < https://doi.org/10.11137/2017_3_248_253>. Acesso em: 14 abr. 2021.
- AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1996. 332p.
- BASTOS, C. C.; FERREIRA, N. J. Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro. **Anais**. 2000. p. 612-619. Disponível: < http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/03.15.19.20/doc/Bastos_Analise%20climatologica.pdf>. Acesso em: 13 out. 2020.
- BERNARD, M. M. **Formulas for rainfall intensities of long durations**. Trans. ASCE, v. 96, 1932. p. 592– 624. Disponível em: <<https://doi.org/10.1061/TACEAT.0004323>>. Acesso em: 05 mai. 2021.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos/Editora Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. p. 177-242.
- BORSATO, V. da A. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. 1, ed. Curitiba, PR: CRV, 2016. 184p.

BOZDOGAN, H. Model selection and Akaike's Information Criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions. **Psychometrika**. v.52, n.3, 345-370, Sep. 1987. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF02294361>>. Acesso em: 15 mai. 2021.

BRAGA, L. C. **Variações espaciais do campo térmico da cidade de Limeira/SP: um estudo do clima urbano no contexto das mudanças ambientais**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Campinas – Departamento de Geociências. 2015. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=000968114>>. Acesso em: 11 jul. 2019.

BRAGHIROLI, T. L. P. ; ALVES, L. B. ; QUEIROZ, A. T. . Análise geoestatística das precipitações extremas de Ituiutaba/MG. **Revista Geonorte**, v. 1, p. 893-906, 2012. Disponível em: < <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/arrumar%20pg>>. Acesso em: 02 mai. 2021.

BRASIL. **Cartilha Minha Casa Minha Vida**. Caixa Econômica Federal, Governo Federal, 2009. Disponível em: < <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/385446/Programa%20Minha%20Casa%20Minha%20Vida.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 abril 2021.

CALVETTI, L. *et al* . Definição de Classes de Precipitação para utilização em previsões por Categoria e Hidrológica. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2006, Florianópolis - SC. **Anais...** Florianópolis-SC, 2006.

CAMPOS-ARANDA, D. F. **Cálculo de las Curvas Intensidad-Duración-Período de Retorno, a partir de Registros de Lluvia Máxima en 24 horas y Relaciones Duración Lluvia Promedio**. Subdirección Regional Noreste de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural. San Luis Potosí, Septiembre 1978. 550p.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS – CPTEC / INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Princípios de Meteorologia e Meio Ambiente**. 2018. Disponível em: <<https://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#3>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES – CEPED / UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012: volume Minas Gerais**. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2012. 166p. Disponível em: < <http://www.ceped.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-1991-a-2012/>>. Acesso em: 16 jul. 2019.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Apostila IPH/UFRGS. 2009. 274 p.

CONTI, J. B. **Clima e meio ambiente**. 7. ed. São Paulo: Atual, 2011. 96 p.

COSTA, R. A. ; QUEIROZ, A. T. . Definição da duração da estação seca e estação chuvosa e sua influência na agricultura no município de Ituiutaba - MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 391-405, 2021. Disponível em: < <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/76418>>. Acesso em: 15 abril 2021.

DEMÉTRIO JORGE, R. M.; MIYAZAKI, V. K. Análise sobre os impactos do Programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Ituiutaba-MG. **GeoUECE** , v. 09, n. 17, p. 87-103,

2020. Disponível em: < <https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/4469>>. Acesso em: 29 abril 2021.

DENARDIN, J. E.; FREITAS, P.L.; WÜNCHE, W.A. & WENDT, W. Características fundamentais da chuva no Brasil: I. Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 15:419-421, 1980. Disponível em: < <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/16602/10890>>. Acesso em: 08 mai. 2021.

DENARDIN, J. E.; FREITAS, P. L. (1982). Características fundamentais da chuva no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 1982. 1409-1416 p. Disponível em: < <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/16306>>. Acesso em: 08 mai. 2021.

DIAS, M. A. F. da S. Eventos Climáticos Extremos. **Revista USP**, n 103. 2014. 33-40 p. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p33-40>>. Acesso em: 17 jan. 2021.

DIAS, M. A. F. da S.; SILVA, M. G. A. Para entender tempo e clima. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque *et al* (Org.). **Tempo e Clima: No Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 15-22.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Org: Humberto Gonçalves dos Santos [*et al.*]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2018. 356 p

FRICH, P. *et al.* Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, 2002, p 193-212. Disponível em: <<https://doi.org/10.3354/cr019193>>. Acesso em: 23. abril 2021.

GAO, X.; JEREMY S. P.; FILIPPO G. Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation. **Geophysical Research Letters**, 33. 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2005GL024954>>. Acesso em: 23 abril 2021.

HAFFER, J. **Ciclos de tempo e indicadores de tempos na história da Amazônia**. Estud. av., São Paulo, v. 6, n. 15, pág. 7-39. 1992. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0103-40141992000200002>>. Acesso em: 06 nov. 2020.

HAMED, K.H.; RAO, R. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. **Journal of Hydrology**, v.204, 1998. p.182-196. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)> Acesso em: 28 abr. 2021.

HELSEL, D.R. *et al.* **Statistical methods in water resources**. U.S. Geological Survey Techniques and Methods. 458 p. 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.3133/tm4A3>>. Acesso em: 28 abr. 2021.

HOFFMANN, T. C. P.; MENDONÇA, F. de A. **Tipos de tempo e eventos hidrometeorológicos extremos em Foz do Iguaçu/PR**. Revista GeoNorte, Manaus, p.1141-1150, 2012. Semestral. Edição Especial 2. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2458>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Climas do Brasil**. (S.d.). Disponível em: < <https://educa.ibge.gov.br/images/educa/clima.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2020.

_____. **Cidades e Estados**. 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

_____. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias**: 2017 / IBGE, Coordenação de Geografia. - Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 82p. Disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2021.

_____. **Enciclopédia dos municípios brasileiros**. Rio de Janeiro, 1959. v. 25. p. 304-309. Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv27295_25.pdf. Acesso em: 10 abril 2021.

_____. **Manual técnico de geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro - RJ, 2009. 182 p.

_____. **Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira**. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 146 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98965.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC . **Alterações Climáticas, Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**: Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas. 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wg2_spmport-1.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2019.

KODAMA, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones, (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal Meteorological of the Society Japan**, v. 70, n. 4, p. 813-836, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4_813>. Acesso em: 23 set. 2019.

KONRAD, C. E. Synoptic-scale features associated with warm season heavy rainfall over the interior southeastern United States. **Weather and Forecasting**, v. 12, n. 3, p. 557-571. 1997. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/configurable/content/journals\\$002fwefo\\$002f12\\$002f3\\$002f150434_1997_012_0557_ssfaww_2_0_co_2.xml?t:ac=journals%24002fwefo%24002f12%24002f3%24002f1520-0434_1997_012_0557_ssfaww_2_0_co_2.xml](https://journals.ametsoc.org/configurable/content/journals$002fwefo$002f12$002f3$002f150434_1997_012_0557_ssfaww_2_0_co_2.xml?t:ac=journals%24002fwefo%24002f12%24002f3%24002f1520-0434_1997_012_0557_ssfaww_2_0_co_2.xml)>. Acesso em: 13 mar. 2021.

LATORRE, M. do R. D. de O.; CARDOSO, M. R. A. Análise de séries temporais em epidemiologia: uma introdução sobre os aspectos metodológicos. **Revista Brasileira Epidemiológica**. [online]. 2001, vol.4, n.3, pp.145-152. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2001000300002>>. Acesso em: 13 mar. 2021.

LIBERA, I. I. M. D.; GUERRA, M. E. A. **Agentes produtores da forma urbana nas cidades médias do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba** - Estudo de caso: Ituiutaba. 2014.

(Relatório de pesquisa). 22p. Disponível em: < <http://quapa.fau.usp.br/wordpress/wp-content/uploads/2016/03/Agentes-produtores-da-forma-urbana-nas-cidades-m%C3%A9dias-do-tri%C3%A2ngulo-mineiro-e-alto-Parana%C3%ADba-%E2%80%93-estudo-de-caso-Ituiutaba.pdf>>. Acesso em: 29 abril 2021.

MARENGO, J. A. *et al.* Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. **Relatório 5**, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). 2007. 77p. Disponível em: < http://www.grec.iag.usp.br/link_grec_old/outros/ambrizzi/relatorio5.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2021.

MARENGO, J. A. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima: Impactos sociais e econômicos. 2009. **Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas - GPMC**. Número 08. Disponível em: < http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmlima/pdfs/newsletters/Boletim_No8_Port.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2019.

MARQUES, G. B.; SILVA, T. dos S.; MOURA, M. de O. Ocorrências de desastres naturais nos principais arranjos populacionais da Sub-região Leste do Nordeste brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, p. 31-44. 2018. Disponível em: < <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/14020>>. Acesso em: 06 out. 2020.

MARTINEZ, F. J.; MAGNI, N. L. G. **Equações de chuvas intensas do estado de São Paulo**. São Paulo – SP. Departamento de Água e Energia Elétrica – Publicação em Convênio com a USP – Universidade de São Paulo, 1999, 141p. Disponível em: < http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%203/DAEE_Eq_Chuvas_SP.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2021.

MARTINS, F. P.; COSTA, R. A. A compartimentação do relevo como subsídio aos estudos ambientais no município de Ituiutaba-MG. **Sociedade & Natureza**, vol. 26, núm. 2, 2014, p. 317-33. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/1982-451320140209>>. Acesso em: 14 abril 2021.

MCBEAN, G. Climate Change and Extreme Weather: A Basis for Action. **Natural Hazards** 31, 177–190 (2004). Disponível em: < <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000020259.58716.0d>>. Acesso em: 16 jan. 2021.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.

MICROSOFT. Office: **Microsoft Excel**. 2015

MIYAZAKI, V. K. Morfologia urbana e estruturação da cidade em Ituiutaba-MG. **Brazilian Geographical Journal**. v. 9, n. 1, 2018. p. 23-39. Disponível em: < <http://www.seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/50591>>. Acesso em: 29 abril 2021.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima e excepcionalismo**: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1991. 233p.

- MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. E. A metodologia dos máximos de precipitação aplicada ao estudo de eventos extremos diários nos municípios de Crato, Fortaleza e Sobral-CE. **GEOTEXTOS**, v. 13, p. 135-159, 2017. Disponível em: < <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/24011>>. Acesso em: 18 jul. 2019.
- MORAES, J.M *et al.* Trends in Hydrological Parameters of a Southern Brazilian Watershed and its Relation to Human Induced Changes. **Water Resources Management** 12: 295-311, 1998. Disponível em: < <https://doi.org/10.1023/A:1008048212420>>. Acesso em: 28 abril 2021.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Modelos para previsão de séries temporais**. 1981. 372p.
- MOURA, M. O.; *et al.* Desastres hidrometeorológicos na região Nordeste do Brasil: distribuição espaço-temporal dos reconhecimentos de Estado de Calamidade Pública. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 26, n. 2, p. 259-271. 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2016v26nesp2p259>>. Acesso em: 15 jul. 2019
- NAGHETTINI, M; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.
- NASCIMENTO JÚNIOR, L. **Dinâmica pluviométrica e impacto das chuvas no estado do Paraná: a natureza dos eventos extremos**. In: João Lima Sant'Anna Neto; Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim; Charlei Aparecido da Silva. (Org.). **Clima e Gestão do Território**. 1ed.Jundiaí - SP: Paco Editorial, 2016, v. 1, p. 113-136.
- NASCIMENTO, P. A. G. do; MIYAZAKI, V. K.; MELO, N. A. de. **Ituiutaba (MG): dinâmica da produção do espaço urbano e habitação popular**. Relatório de Iniciação Científica PIBIC/CNPq. UFU. 2011. p. 90-115. Disponível em: < <http://www.facip.ufu.br/sites/facip.ufu.br/files/Anexos/Bookpage/Plinio%20Nascimento.pdf>> . Acesso em: 29 abril 2021.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. **A Paleo Perspective on Global Warming**. (s/d). Disponível em: < <https://www.ncdc.noaa.gov/global-warming>>. Acesso em: 15 jan. 2021.
- NERY, J. T.; SILVA, E. S.; CARFAN, A. C. **Distribuição da Precipitação Pluvial no Estado de São Paulo**. In: VI SBCG: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2004, Aracaju. Diversidades Climáticas. Aracaju: Editora da UFS, 2004. v. 01. p. 01-09. Disponível em: < <https://www.ourinhos.unesp.br/Home/Pesquisa/GruposdeEstudo/Clima/Simposios/084.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2021.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422 p.
- NUNES, L. H. Mudanças Climáticas, Extremos Atmosféricos e Padrões de Risco a Desastres Hidrometeorológicos. In: **Populações e Mudanças Climáticas: Dimensões Humanas das Mudanças Ambientais Globais**. Hogan, D. J. & Marandola Jr, E. (org.), Campinas: NEPO/Unicamp, p. 53-74. 2009.

OLIVEIRA, H. C. M. de. Expansão urbana e desigualdades socioespaciais em Ituiutaba (MG). **Brazilian Geographical Journal**. v. 11, n. 1, 2020. p. 97-112. Disponível em: <<https://doi.org/10.14393/BGJ-v11n1-a2020-57198>>. Acesso em: 29 abril 2021.

OSCAR JÚNIOR, A. C. da S. Extremos atmosféricos e desastres hidrometeorológicos em Duque de Caxias (RJ). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 17, p.189-205, 03 abr. 2015. Semestral. Disponível em: <<https://doi.org/10.5380/abclima.v17i0.40658>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

PEREIRA, A. R. M. dos S. **Campus Pontal da UFU: espaço socialmente reproduzido a partir das políticas de expansão do acesso a permanência ao ensino superior**. 2018. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Pontal, Ituiutaba, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21161/5/CAMPUSPONTALUFU.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Versão Digital. São Paulo, 202p. 2007.

PETRUCCI, E. **Características do clima de Uberlândia-MG: análise da temperatura, precipitação e umidade relativa - Uberlândia**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. 245 f. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20810>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

QUADRO, M. F. L. de. Estudo de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. 1994. 124 f. **Dissertação** (Mestrado) – Curso de Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993.

QUEIROZ, A. T.; COSTA, R. A. . Caracterização e variabilidade climática em séries de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação em Ituiutaba - MG. **Caminhos de Geografia** (UFU), v. 13, p. 346-357, 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/19555>>. Acesso em: 15 abril 2021.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim Geografia Teorética**, Rio Claro, v. 23, p. 45-49, 1993.

SANT'ANNA NETO, J. L. **História da Climatologia no Brasil: gênese, paradigmas e a construção de uma Geografia do Clima**. Tese de Livre-Docência. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2001. 52p.

SANTOS, D. D. S.; GALVANI, E. Distribuição sazonal e horária das precipitações em Caraguatatuba-SP e a ocorrência de eventos extremos nos anos de 2007 a 2011. **Ciência e Natura**, v. 36 n. 2, 2014, p. 214–229. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/2179460X11891>>. Acesso em: 18 out. 2020.

SANTOS, I.; *et al.* **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento, 2001. 372p

SANTOS, Irani *et. al.* **Hidrometria Aplicada**. LACTEC-Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba-PR, 2001, 372p.

SERRA, A.; Ratisbonna, L. **As massas de ar da América do Sul:** (primeira parte). *Revista Geográfica* (Rio de Janeiro), Instituto Pan-Americano de Geografia e História, p. 67-129. 1959. Disponível em: < <https://www.jstor.org/stable/40996533?seq=1>>. Acesso em: 13 out. 2020.

SIMAS, I. T. H. **Eventos extremos de chuva na cidade de São Paulo.** In: João Lima Sant'Anna Neto; Margarete C. de C. Trindade Amorim; Charlei Aparecido da Silva. (Org.). *Clima e Gestão do Território*. 1ed.Jundiaí: Paco Editorial, 2016, v. 1, p. 155-178.

VAN DER WIEL, K.; BINTANJA, R. Contribution of climatic changes in mean and variability to monthly temperature and precipitation extremes, **Communications Earth & Environment**, 2, p. 1–11. Disponível em: < <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00077-4>>. Acesso em: 23 mar. 2021.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia.** Recife: 2006. Versão Digital, 443p.

VENCESLAU, F. R. ; PEDRO MIYAZAKI, L.C. . Processos, análises e gestão de bacias hidrográficas em ambientes urbanos: o caso do córrego São José - Ituiutaba/MG. **GEOGRAFIA EM ATOS**, v. 2, p. 71-92-92, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.35416/geoatos.v2i9.6342>>. Acesso em: 21 set. 2019.

VERVLOET, R. J. H. M.; ROSS, J. L. S. Revisão dos conhecimentos sobre o relevo do Planalto Atlântico Brasileiro: incógnitas que ainda persistem. **Revista do Departamento de Geografia**, 23, 2012. 187-216 p. Disponível em: < <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0023.0008>>. Acesso em: 15 mai. 2021.

WEISS, L. L. Ratio of true to fixed-interval maximum rainfall. **Journal of Hydraulics Division**, v. 90, 1964. p. 77-82. Disponível em: < <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0001008>>. Acesso em: 05 mai. 2021.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANISATION - WMO. **Guide to Climatological Practices.** n 100, 2018. 153p. Disponível em: < https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5541>. Acesso em: 03 mar. 2021.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANISATION - WMO. **The Global Climate 2001-2010, A Decade of Climate Extremes.** n. 1103. 2013. 119p. Disponível em: < https://docs.google.com/document/d/1_ZQWfo_yYrMA_3aZaECrhS5J5wJUmcXp/edit>. Acesso em: 10 jan. 2021.

ANEXOS

Anexo 1: Tabela dos totais e médias de chuva ao longo dos meses e anos que compõem a série histórica

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
1967	s/d	s/d	s/d	43,7	17,9	19,4	0	0	69,6	148	295,1	225	818,7
1968	158,2	349,1	52	33,7	3,5	0	0	35,2	11,6	146,2	72,2	291,3	1153
1969	168,4	227,6	86,8	41,2	1,2	2	0	0	10,5	268	141,3	170,9	1117,9
1970	197	370,4	78,8	13,6	0,8	18,2	1,8	0	34	129,6	42,4	289,8	1176,4
1971	95	186,4	59,4	37,8	7,8	20	12,2	0	28,8	135,9	123,5	350,8	1057,6
1972	295,6	92,6	136,9	21,6	45,2	0	49,2	25	57,4	239	355,4	261,6	1579,5
1973	227,6	133,4	316,2	58,6	2	29,2	0	0	44	114,6	224	187,2	1336,8
1974	250,6	2,4	229	63,8	9,3	16,5	0	21,6	30,8	178	65,2	319,3	1186,5
1975	198,5	129,8	122,7	178	0	11,7	16,5	0	9	93,8	239,8	111,4	1111,2
1976	135,5	343,8	151,6	114,2	28	6,8	17,8	44,1	114,4	208	140,9	248,6	1553,7
1977	282,3	56,7	96,8	235,7	34,8	7	0	3,7	53,1	143,4	200,5	180,6	1294,6
1978	378	88,7	196,4	42,5	124,1	13,3	55,8	0	16,5	103,6	243,5	155	1417,4
1979	335,1	209,6	167,7	69,3	72,4	0	21,4	16,7	117,8	127,1	240,3	445,9	1823,3
1980	391,5	483,2	59,3	118	56,6	10,2	0	0	45,9	38,1	201,9	341,2	1745,9
1981	252,6	90,7	188,1	16,6	0	21,2	0	0	0	47,1	19	167,6	802,9
1982	232,8	66,1	257	33,3	47,7	17,9	8,3	20,3	64,9	113,6	193,5	220,8	1276,2
1983	399,2	171,8	270,4	119	97,2	21,6	53,6	0	146,1	182,5	74	191,2	1726,6
1984	200,6	70,9	92,4	102,2	41,7	2,4	0	48,2	81,9	81,4	152,7	189,9	1064,3
1985	286,9	58,2	265,8	47,3	0	7,1	0	6,3	14,4	58	138,5	84,6	967,1
1986	202,7	113,4	270,6	33,1	76,2	0	25,7	89,4	39,5	131,6	176,9	249,3	1408,4
1987	271,6	138,5	329,3	82,7	43,8	35	3	2,2	42	123,9	241,4	435,7	1749,1
1988	125,3	213,8	243,3	116,6	14,3	0	0	0	5	197	111	255	1281,3
1989	97	236,9	120,6	122,1	19,8	12,2	27	22,2	150,2	71,4	234,9	913	2027,3
1990	361,6	157	107	101	40	12	14	48	88,9	144,8	181,6	101,6	1357,5
1991	361,8	307,7	398,4	77,1	4,3	0	0	0	56	36,8	93,2	127,4	1462,7
1992	268,6	160,6	99,9	110,7	35,6	0	0	1,8	72,5	149,9	47	184,7	1131,3
1993	86,2	385,8	146,4	54,6	51,6	31,4	0	90,6	168,1	118,8	208,9	217,2	1559,6
1994	219,2	153	215	77	14	19	26	0	0	84,8	198,2	369,5	1375,7
1995	352,9	517,2	170,6	94,6	168,3	29,1	0	0	47	70	143,6	180,1	1773,4
1996	354,8	169,7	184,7	41,2	91,2	27,8	2,2	7,8	85,9	93	255	95,5	1408,8
1997	382,4	64,6	128,6	65,8	51,6	142,6	0	0	124,9	119,8	247,8	302,2	1630,3
1998	197,8	262,4	248,8	96,2	47,4	1,4	0	94,2	13,8	290	124,2	199,4	1575,6
1999	321	212,8	173,1	45,8	5,2	13,2	0,2	0	96,4	16,2	122,6	140,6	1147,1
2000	247,4	378,6	104,9	68,4	1,9	0	9,4	7,6	61,2	38,8	342,6	245	1505,8
2001	188,4	69,2	173,5	133,2	121,6	3,2	0	9,1	38,6	154,9	179,8	248,3	1319,8
2002	139,3	317,9	145,4	s/d	s/d	s/d	3,7	20	56,5	97,3	97,6	146,8	1024,5
2003	309,7	161,1	187,4	63,8	16,5	32,6	2	26,1	19,9	53,9	250,8	237,2	1361
2004	160,6	136,1	87,5	201,5	2,5	6,7	34,6	0	0	103,7	184,3	418,5	1336
2005	629	68,9	147,9	33,1	3,7	25,2	0,2	0,2	55,9	162,2	310,6	343,5	1780,4
2006	296,5	260,4	307,5	60,5	2,8	6,7	0	12,7	79	274,7	120,9	201,8	1623,5

2007	426,2	205,6	98,2	47,9	12,1	8,6	58	0	11,2	176,3	442,5	340,5	1827,1
2008	518,6	211,4	91,7	86,2	1,1	0,3	0	0,4	6,4	189,2	138,9	300,4	1544,6
2009	352	219,7	221	45,4	7,8	6	2,3	2	15,7	91	146,1	366,2	1475,2
2010	212,5	110,3	152,5	17,3	4,3	6,1	5	0,2	19,2	75,3	173,6	200,1	976,4
2011	225	86,9	295,6	46,5	0	2	0	0	6,4	121,4	187,7	248,9	1220,4
2012	311,4	277,8	123	46,7	26,8	12	4,8	0	39,3	39	79,2	252	1212
2013	160,5	186,8	249	158,4	6,7	11	3	0	36,5	75,4	203,2	327,2	1417,7
2014	209,8	130,3	s/d	74,3	0,3	1,2	57,6	0	38,5	13,2	81,1	41,5	647,8
2015	75,3	163	86,1	73,6	201,5	0	8	0	34,9	36,5	119,5	157,7	956,1
2016	248,2	170,5	83,1	0	24	31,2	0	33,5	0	88,2	315,4	334,5	1328,6
2017	205,4	183,1	134,2	122,6	53,3	0	0	0	0	27,3	344,9	280	1350,8
2018	347	155,9	85,7	112,2	14,8	0	0	19,1	66,2	s/d	s/d	72,8	873,7
2019	63,9	137,3	124,4	139,5	48,1	0	0	9,7	70,9	72	217,1	s/d	882,9
Média	258,0	189,5	167,9	77,7	34,7	13,5	9,9	13,5	49,0	117,2	182,4	249,4	1362,6

Total máximo registrado  Total mínimo registrado 

Fonte: Dados ANA (2021). Org.: FREITAS (2021)

Anexo 2: Tabela das alturas pluviométricas máximas registradas no decorrer de um dia (24 horas) por mês e a maior altura pluviométrica máxima em cada ano

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Máxima
1967	s/d	s/d	s/d	10,2	12,4	6,8	0	0	49,2	49	50	s/d	50
1968	37,2	50,8	12	26,7	2,3	0	0	22	10,2	62,5	17	77	77
1969	39	54,2	21,6	20,4	1,2	2	0	0	5,3	104,5	29,2	50,2	104,5
1970	66,8	78,4	48	9,4	0,8	10,4	1,8	0	17,2	37,4	6,4	88,6	88,6
1971	41	66,6	25,2	25,4	6,2	13,8	12,2	0	13,2	30,2	31,2	75,2	75,2
1972	75,4	16,2	30,2	13,2	34,2	0	20,6	13,2	17	35,2	75,2	49,2	75,4
1973	75,6	25,2	75,4	13,2	0,8	16,2	0	0	25,2	22,2	70,6	62,4	75,6
1974	75,2	0,8	75,2	13,2	9,3	14,8	0	15,8	22,8	69,6	28	59,7	75,2
1975	44,5	32,5	24	94,3	0	11,7	8,5	s/d	s/d	20,6	79,6	30,8	94,3
1976	60	53,4	33,4	35,6	22,4	6,8	17,8	16,8	28,6	40,2	21,6	38,2	60
1977	60	21,6	38	120,2	26,3	6,2	0	3,7	33,8	33,6	40,6	37,8	120,2
1978	60,9	20,8	97,4	13,6	40	13,3	28,4	0	8,8	36,8	57,8	37,3	97,4
1979	116,4	40,8	38,8	25,4	40,2	0	13,2	12,6	54,8	69,2	141,6	42,8	141,6
1980	82,6	87,2	25,3	s/d	45,2	6,2	0	0	20,2	14	54,2	87	87,2
1981	56,2	32	47	7,4	0	16,1	0	0	0	13,3	3,2	24,3	56,2
1982	24,3	20,3	24,5	29,1	21,2	9,2	8,3	20,3	23,2	24,3	25,2	24,3	29,1
1983	24,4	24,2	24,3	25	24,2	16,3	24,3	0	24,3	52,9	19,4	24,4	52,9
1984	24,3	24,1	24,3	24,3	23,2	2,4	0	16,3	22,1	24,3	23,1	23,4	24,3
1985	25,1	18,3	24,4	15,3	0	7,1	0	6,3	14,4	s/d	74,2	21	74,2
1986	75,4	30	77	17	41,2	0	9,8	32,3	31,6	43,4	45,3	51,5	77
1987	64,5	22,7	85	37	24,3	35	3	2,2	17,4	50,5	58,2	77,7	85
1988	35,5	47,2	98,4	37	11,3	0	0	0	s/d	s/d	s/d	s/d	98,4

1989	36,9	50	68,2	63	19,8	8,4	27	18,2	42	48	49	57	68,2
1990	32	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	53	26,1	46	20,2	53
1991	102,2	69	90,6	19	2,7	0	0	0	26,4	25,2	38,8	30	102,2
1992	62,5	48,3	32,1	72	23,4	0	0	0,8	18,8	19,2	8,2	35,4	72
1993	15,8	43,8	32,2	32,8	34,2	31,4	0	33,5	35,2	32,6	52,4	28,6	52,4
1994	21,3	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	24,5	0	0	54,4	65,1	51,2	65,1
1995	57,7	71,8	32,1	49,6	45,6	10	0	s/d	s/d	s/d	41,6	28,6	71,8
1996	44,6	50	35,8	27,6	27,8	27,8	2,2	7,8	40	40	46,2	41,2	50
1997	57,2	19,4	32,4	36,2	19,4	54,2	0	0	57,4	42,2	58,2	61,2	61,2
1998	68,2	49,6	97,6	36,2	32,2	0,4	0	42,4	6,8	99,8	18,8	27,4	99,8
1999	47,2	91,2	40,7	14,4	4,6	8,4	0,2	0	30	7,2	42,2	46,4	91,2
2000	108,6	78,6	22,6	51,2	1,6	0	4,6	4,2	22,4	16,2	81,2	42,6	108,6
2001	60	22,8	51,4	108,4	61	3,2	0	2,8	22,4	53,6	29,6	35,4	108,4
2002	61,2	75,4	38,8	s/d	s/d	s/d	2,8	14,6	11,4	60,4	23,9	72,6	75,4
2003	51,7	36,7	51	18,7	8,4	32,2	2	9,8	14,7	24,1	96	44	96
2004	47	22,2	36,5	85,6	1,7	6,7	32,8	0	0	44,1	45,3	70,6	85,6
2005	120	25,2	33,9	28,2	2,8?	15,2	0,2	0,2	16,9	27,2	42,8	59,3	120
2006	55,1	37,9	41,6	21,1	2,8	6,7	0	12,6	27,1	37,4	27,4	49,7	55,1
2007	39,3	41,8	63	14,1	12,1	8,6	26,3	0	11,2	32,2	49,2	62,1	63
2008	47,9	51	20,6	33,5	0,4	0,2	0	0,4	5,1	39,2	24	53,9	53,9
2009	49,4	41,4	29,2	16	6,1	6	2,3	2	8,1	20,9	21,9	49,3	49,4
2010	32	20,2	41,2	11	2,2	4,4	5	0,2	7,2	23,7	29	26	41,2
2011	29,2	27,3	43,1	27,1	0	2	0	0	6,4	33,5	58,9	44,9	58,9
2012	57,5	83	35	28	14,6	12	4,2	0	31	39	24,6	62	83
2013	90	52	72	80	6,7	8	3	0	19	28,1	50	60,4	90
2014	66,3	70,2	s/d	40,9	0,3	1,2	20,9	0	s/d	8,8	18,6	15	70,2
2015	40	70	s/d	50	70	0	8	0	10,3	9,9	70	50	70
2016	50	90	30	0	15	20	0	25	0	30	64	91	91
2017	37	80	23,9	60	20	0	0	0	0	14,2	66,4	75,2	80
2018	98	50,3	29,1	47,7	14,8	0	0	12	38,2	s/d	s/d	27,9	98
2019	29,3	57,2	32,3	50	29	0	0	5	45	34	55	s/d	57,2
Média	55,4	45,9	43,9	35,4	17,6	9,2	6,0	7,1	21,3	36,8	45,0	48,0	

Alturas máximas pluviométricas

Fonte: Dados ANA (2021). Org.: FREITAS (2021)

Anexo 3: Tabela dos totais e a média de dias de chuva registrados no decorrer durante os meses e o mês com mais registro de dias com chuva em Ituiutaba/MG (1967-2019)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total Dias
1967	s/d	s/d	s/d	11	2	4	0	0	3	8	16	s/d	44
1968	17	24	9	2	2	0	0	5	2	10	8	17	96
1969	15	10	8	3	1	1	0	0	2	14	16	14	84
1970	16	19	7	3	1	2	1	0	6	9	8	8	80
1971	9	9	7	3	3	2	1	0	5	18	13	22	92

1972	15	14	12	5	3	0	3	4	6	13	19	18	112
1973	11	14	17	6	3	3	0	0	3	8	14	14	93
1974	16	3	16	8	1	3	0	3	3	17	6	20	96
1975	18	15	19	12	0	1	3	s/d	s/d	11	15	13	107
1976	12	20	17	6	3	1	1	5	10	10	15	23	123
1977	20	9	11	8	6	2	0	1	5	10	20	13	105
1978	17	12	14	5	8	1	6	0	4	9	12	14	102
1979	14	13	13	3	4	0	3	2	12	7	10	22	103
1980	15	15	4	s/d	4	2	0	0	4	5	11	13	73
1981	13	8	14	4	0	2	0	0	0	11	8	11	71
1982	13	5	16	2	3	3	1	1	4	8	12	16	84
1983	22	11	14	6	6	2	3	0	9	10	8	13	104
1984	10	5	6	7	3	1	0	4	5	6	9	11	67
1985	17	4	16	4	0	1	0	1	1	s/d	11	10	65
1986	13	13	17	4	8	0	6	6	3	7	9	18	104
1987	16	11	10	5	4	1	1	1	7	7	11	16	90
1988	7	16	8	8	2	0	0	0	s/d	s/d	s/d	s/d	41
1989	8	13	8	6	1	2	1	2	6	4	13	26	90
1990	19	s/d	5	10	10	11	55						
1991	19	13	14	6	2	0	0	0	3	3	8	11	79
1992	18	14	9	6	3	0	0	3	14	16	9	13	105
1993	11	21	16	5	4	1	0	4	9	6	9	18	104
1994	23	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	2	0	0	9	10	20	64
1995	14	21	12	6	8	4	0	s/d	s/d	s/d	9	15	89
1996	21	10	13	4	5	1	1	1	7	5	15	10	93
1997	19	11	10	3	5	5	0	0	5	6	14	16	94
1998	13	17	8	8	4	5	0	6	4	14	13	25	117
1999	22	15	21	7	3	2	1	0	8	4	9	16	108
2000	20	22	16	6	2	0	3	3	9	6	14	20	121
2001	14	11	15	9	6	1	0	4	4	10	13	21	108
2002	19	22	12	s/d	s/d	s/d	s/d	4	12	9	16	17	111
2003	24	19	19	11	6	2	1	6	4	9	16	20	137
2004	17	15	9	17	5	1	2	0	0	8	19	20	113
2005	23	8	12	3	3	5	1	1	14	14	22	22	105
2006	13	23	26	8	1	1	0	2	7	22	13	17	133
2007	29	20	5	6	1	1	4	0	1	12	23	26	128
2008	27	21	18	14	4	2	0	1	2	18	18	25	150
2009	23	18	24	8	5	1	1	1	6	16	21	29	153
2010	26	16	10	6	4	2	1	1	5	10	23	29	133
2011	28	17	25	7	0	1	0	0	1	12	8	13	112
2012	15	10	5	2	9	1	2	0	2	1	6	8	61
2013	7	10	13	4	1	2	1	0	3	6	10	12	69
2014	15	10	s/d	s/d	1	1	s/d	0	s/d	3	11	10	51
2015	7	9	s/d	4	4	0	1	0	5	8	13	11	62
2016	17	7	6	0	4	3	0	2	0	9	13	9	70
2017	14	10	15	4	5	0	0	0	0	4	17	13	82
2018	11	7	4	5	1	0	0	2	6	s/d	s/d	7	43

2019	4	5	11	8	3	0	0	2	3	3	11	s/d	50
Média	16	13	13	6	3	2	1	2	5	9	13	16	93

Maior registro de dias

Fonte: ANA (2021). Org.: FREITAS (2021)

Anexo 4: Quadro da categorização dos níveis de intensidade dos eventos extremos de chuva em Ituiutaba/MG (1967-2019)

ANO	MÊS	DIA	TOTAL (mm)	NÍVEL DE INTENSIDADE
1967	NOV	16	50	Normal
1968	DEZ	4	77	Nível I
		24	62,5	Normal
		27	50,8	Normal
1969	OUT	1	58	Normal
	FEV	19	54,2	Normal
	OUT	20	104,5	Nível II
	DEZ	25	50,2	Normal
1970	DEZ	1	80,4	Nível I
	DEZ	2	88,6	Nível II
	JAN	21	66,8	Normal
1971	DEZ	22	75,2	Nível I
	FEV	25	66,6	Normal
1972	NOV	2	62,8	Normal
	JAN	26	75,4	Nível I
1973	MAR	2	75,4	Nível I
	MAR	10	75,2	Nível I
	JAN	18	75,6	Nível I
1974	DEZ	5	52,8	Normal
	JAN	8	75,2	Nível I
	MAR	13	75,2	Nível I
	DEZ	25	59,7	Normal
	OUT	30	69,6	Nível I
1975	ABR	9	94,3	Nível II
	NOV	27	79,6	Nível I
1976	-	-	-	-
1977	ABR	4	120,2	Nível III
1978	JAN	4	60,9	Normal
	MAR	8	97,4	Nível II
1979	NOV	3	141,6	Nível IV
	JAN	11	70,4	Nível I
	OUT	15	69,2	Nível I
	SET	22	54,8	Normal
	JAN	27	116,4	Nível III

1980	DEZ	1	87	Nível I
	FEV	3	87,2	Nível I
	FEV	8	60,2	Normal
	JAN	13	82,6	Nível I
	DEZ	13	55	Normal
	DEZ	14	59	Normal
	NOV	20	54,2	Normal
	JAN	25	71,2	Nível I
	FEV	25	50,2	Normal
	DEZ	26	54	Normal
JAN	27	50,8	Normal	
1981	JAN	1	53	Normal
	JAN	12	56,2	Normal
1982	-	-	-	-
1983	OUT	14	52,9	Normal
1984	-	-	-	-
1985	NOV	28	74,2	Nível I
1986	JAN	2	75,4	Nível I
	DEZ	14	51,5	Normal
1987	OUT	2	50,5	Normal
	DEZ	4	76	Nível I
	MAR	7	70,4	Nível I
	MAR	9	85	Nível I
	DEZ	17	50	Normal
	DEZ	18	77,7	Nível I
	JAN	24	64,5	Normal
	NOV	26	58,2	Normal
1988	MAR	7	98,4	Nível II
1989	ABR	13	63	Normal
	MAR	14	68,2	Normal
	DEZ	25	57	Normal
	DEZ	29	53	Normal
1990	SET	1	53	Normal
1991	MAR	5	50,2	Normal
	JAN	14	52,1	Normal
	FEV	15	60,1	Normal
	JAN	16	102,2	Nível II
	FEV	18	68,3	Normal
	MAR	25	90,6	Nível II
1992	-	-	-	-
1993	NOV	10	52,4	Normal
1994	NOV	20	65,1	Normal
	OUT	21	54,4	Normal
1995	FEV	1	71,8	Nível I
	FEV	18	55,2	Normal
	JAN	26	50,9	Normal
1996	-	-	-	-

1997	DEZ	2	61,2	Normal
	DEZ	9	54,2	Normal
	JAN	23	53,2	Normal
	JAN	26	57,2	Normal
	NOV	29	58,2	Normal
	SET	30	57,4	Normal
1998	JAN	10	68,2	normal
	OUT	16	99,8	Nível II
	MAR	18	54,2	Normal
	MAR	19	97,6	Nível II
1999	FEV	26	91,2	Nível II
2000	JAN	3	108,6	Nível III
	NOV	14	74,4	Nível I
	ABR	19	51,2	Normal
	NOV	23	81,2	Nível I
	FEV	29	78,6	Nível I
2001	OUT	1	53,6	Normal
	ABR	2	108,4	Nível III
	JAN	3	60	Normal
	MAR	7	51,4	Normal
2002	FEV	7	55,2	Normal
	DEZ	11	72,6	Nível I
	JAN	15	61,2	Normal
	FEV	19	75,4	Nível I
	FEV	21	54,4	Normal
2003	JAN	4	51,7	Normal
	NOV	6	66,1	Normal
2004	DEZ	19	70,6	Nível I
2005	DEZ	4	59,3	Normal
	DEZ	8	52,1	Normal
	JAN	10	64	Normal
	JAN	18	120	Nível III
2006	JAN	2	55,1	Normal
2007	DEZ	19	62,1	Normal
2008	FEV	2	51	Normal
	DEZ	15	53,9	Normal
2009	-	-	-	-
2010	-	-	-	-
2011	NOV	22	58,9	Normal
2012	JAN	9	57,5	Normal
	FEV	11	78,4	Nível I
	DEZ	14	62	Normal
	FEV	23	83	Nível I
2013	FEV	1	52	Normal
	MAR	1	72	Nível I
	ABR	6	70	Nível I
	DEZ	24	60,4	Normal

2014	JAN	17	66,3	Normal
	FEV	17	70,2	Nível I
2015	MAI	5	61,5	Normal
	FEV	6	70	Nível I
	MAI	10	70	Nível I
	MAR	20	50	Normal
2016	DEZ	5	91	Nível II
	DEZ	11	82	Nível I
	NOV	19	60,6	Normal
	NOV	17	64	Normal
	FEV	29	90	Nível II
2017	DEZ	5	69,1	Nível I
	DEZ	7	75,2	Nível I
	NOV	22	66,4	Normal
	ABR	26	52,6	Normal
	FEV	27	80	Nível I
2018	JAN	1	90,3	Nível II
	FEV	2	50,3	Normal
2019	DEZ	6	142,3	Nível IV
	NOV	20	55	Normal
	FEV	28	57,2	Normal

Nível IV	Nível III	Nível II	Nível I	Normal
Intensidade Muito Grande	Intensidade Grande	Intensidade Média	Intensidade Pequena	Abaixo de 69,1 mm

Fonte: Dados ANA (2021) Org.: FREITAS (2021)

Anexo 5: Probabilidade do período de retorno da ocorrência de eventos extremos de chuva em Ituiutaba/MG (1967-2019)

ANO	MÊS DE REGISTRO PRECIPITAÇÃO MÁXIMA	PRECIPITAÇÃO MÁXIMA (mm)	
		x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
1967	NOV	50	659,52
1968	DEZ	77,0	1,74
1969	OUT	104,5	830,53
1970	DEZ	88,6	166,90
1971	DEZ	75,2	0,23
1972	JAN	75,4	0,08
1973	JAN	75,6	0,01
1974	JAN	75,2	0,23
1975	ABR	94,3	346,66
1976	JAN	60,0	245,90
1977	ABR	120,2	1981,93
1978	MAR	97,4	471,71

1979	NOV	141,6	4345,30
1980	FEV	87,2	132,68
1981	JAN	56,2	379,51
1982	ABR	29,1	2169,80
1983	OUT	52,9	518,98
1984	JAN/ MAR/ ABR/ OUT	24,3	2640,02
1985	NOV	74,2	2,19
1986	MAR	77,0	1,74
1987	MAR	85,0	86,84
1988	MAR	98,4	516,15
1989	MAR	68,2	55,97
1990	SET	53,0	514,43
1991	JAN	102,2	703,25
1992	ABR	72,0	13,55
1993	NOV	52,4	542,01
1994	NOV	65,1	111,96
1995	FEV	71,8	15,06
1996	FEV	50,0	659,52
1997	DEZ	61,2	209,70
1998	OUT	99,8	581,72
1999	FEV	91,2	240,84
2000	JAN	108,6	1083,65
2001	ABR	108,4	1070,52
2002	FEV	75,4	0,08
2003	NOV	96,0	412,86
2004	ABR	85,6	98,38
2005	JAN	120,0	1964,16
2006	JAN	55,1	423,58
2007	MAR	63,0	160,81
2008	DEZ	53,9	474,42
2009	JAN	49,4	690,70
2010	MAR	41,2	1188,95
2011	NOV	58,9	281,61
2012	FEV	83,0	53,57
2013	JAN	90,0	205,03
2014	FEV	70,2	30,04
2015	FEV/ MAI/ NOV	70,0	32,28
2016	DEZ	91,0	234,67
2017	FEV	80,0	18,65
2018	JAN	98,0	498,13
2019	FEV	57,2	341,55

x_i	precipitação máxima no ano	\bar{x}	média aritmética
-------	----------------------------	-----------	------------------

Fonte: ANA (2021). Org.: FREITAS (2021)