

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO

Alessandra Cordeiro dos Santos

**Crescimento Urbano de Três Rios: Análise da ocorrência de Eventos Extremos e os
Impactos sobre as Áreas de Alagamento e Inundação**

Juiz de Fora

2026

Alessandra Cordeiro dos Santos

Crescimento Urbano de Três Rios: Análise da ocorrência de Eventos Extremos e os Impactos sobre as Áreas de Alagamento e Inundação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído.

Orientador: César Henrique Barra Rocha

Juiz de Fora

2026

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Cordeiro dos Santos, Alessandra.

Crescimento Urbano de Três Rios: Análise da ocorrência de Eventos Extremos e os Impactos sobre as Áreas de Alagamento e Inundação / Alessandra Cordeiro dos Santos. -- 2026.

94 p.

Orientador: César Henrique Barra Rocha

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, ICE/Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2026.

1. Crescimento Urbano. 2. ZCAS. 3. Uso e ocupação do solo. I. Barra Rocha, César Henrique, orient. II. Título.

Alessandra Cordeiro dos Santos

Crescimento Urbano de Três Rios: Análise da ocorrência de Eventos Extremos e os Impactos sobre as Áreas de Alagamento e Inundação

Dissertação apresentada ao PPG Ambiente Construído, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Ambiente Construído

Aprovada em 06 de fevereiro de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof Dr César Henrique Barra Rocha -Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr Marcos Martins Borges - Membro Interno
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof Dr Christian Ricardo Ribeiro - Membro Externo
Universidade Federal do ABC

Juiz de Fora, 02/02/2026.



Documento assinado eletronicamente por **Cezar Henrique Barra Rocha, Professor(a)**, em 06/02/2026, às 15:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Christian Ricardo Ribeiro, Usuário Externo**, em 06/02/2026, às 16:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Martins Borges, Professor(a)**, em 06/02/2026, às 18:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ujf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2852134** e o código CRC **207378FA**.

Dedico este trabalho a minha mãe, que com seu amor, apoio e incentivo, foi fundamental para que eu chegasse até aqui. Dedico também, a memória da pessoa que me orientou e passou parte do conhecimento registrado aqui, Fábio Oliveira Sanches. Sua orientação e contribuição foram fundamentais para a realização desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder saúde, determinação e oportunidade para a conclusão dessa etapa, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do caminho.

Agradeço a minha Mãe Marli Cordeiro pelo amor, ensino e por sempre me incentivar e motivar nos estudos. Ao Professor Fábio Oliveira Sanches, sou eternamente grata por sua orientação científica, pela sabedoria e pelo entusiasmo com que partilhava o conhecimento para a realização desta pesquisa. Ao meu Orientador César Henrique Barra Rocha, pelo ensinamento, incentivo e por me guiar com tamanha dedicação.

Agradeço à minha família, por todo apoio, paciência e incentivo. Aos meus amigos, que sempre estiveram do meu lado, pela amizade e apoio demonstrado ao longo desses anos. Agradeço também a todos professores pelos ensinamentos e incentivo em cada fase do programa. Aos amigos do curso, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade e pelo apoio demonstrado ao longo de todos esses anos. Agradeço a todos que participaram da minha vida, incentivando e apoiando, que contribuíram para a minha formação. Agradeço a Universidade Federal de Juiz de Fora pelo suporte acadêmico e financeiro, e por me proporcionar ensino de qualidade.

Obrigada!!!

RESUMO

O processo de urbanização, intensificado nas últimas décadas, tem impulsionado o crescimento acelerado de diversas cidades brasileiras, acarretando transformações significativas no meio físico e na dinâmica ambiental. Entre os principais impactos desse processo destaca-se a impermeabilização do solo, que reduz a capacidade de infiltração da água precipitada e intensifica o escoamento superficial, elevando, conseqüentemente, a suscetibilidade à ocorrência de enchentes, inundações e alagamentos, sobretudo quando associada a eventos extremos de precipitação. Nesse contexto, o município de Três Rios, localizado no estado do Rio de Janeiro, tem sido recorrente palco de episódios de alagamentos e inundações, fenômenos diretamente relacionados ao rápido e desordenado processo de expansão urbana. Diante desse cenário, a presente dissertação teve como objetivo identificar e analisar a ocorrência de eventos hidro meteorológicos extremos, bem como mapear e caracterizar as áreas com maior suscetibilidade a alagamentos e inundações no município de Três Rios. Para tal, foram identificadas as áreas historicamente afetadas por alagamentos e inundações, assim como os eventos extremos de precipitação registrados no município ao longo dos últimos nove anos. A partir da análise sinótica dos sistemas atmosféricos atuantes, verificou-se que a maioria dos eventos extremos de elevada intensidade esteve associada à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e à passagem de sistemas frontais, responsáveis por precipitações volumosas sobre a área de estudo. A etapa final da pesquisa consistiu na aplicação de uma análise multicritério para a identificação das áreas suscetíveis a inundações e alagamentos, com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento e do método de Análise Hierárquica de Processos (AHP). Para a construção do modelo de suscetibilidade, foram consideradas variáveis relacionadas às condições de uso e cobertura do solo, declividade, pedologia, pluviometria e hipsometria, fundamentais para a elaboração do mapa final de suscetibilidade. Os resultados indicaram que 0,45% da área municipal apresenta altíssimo potencial e 10,89% alto potencial para a ocorrência de inundações e alagamentos. As informações produzidas constituem subsídios técnicos relevantes para a gestão pública municipal, podendo orientar ações preventivas e estratégias de planejamento territorial voltadas à mitigação desses eventos, à redução de perdas materiais e à preservação da vida.

Palavras-chave: Urbanização. Zona de Convergência do Atlântico Sul. Alagamentos.

ABSTRACT

The urbanization process, which has intensified over recent decades, has driven the accelerated growth of numerous Brazilian cities, resulting in significant transformations in the physical environment and environmental dynamics. Among the main impacts of this process is soil impermeabilization, which reduces the infiltration capacity of precipitation and intensifies surface runoff, thereby increasing susceptibility to the occurrence of floods, inundations, and waterlogging events, especially when associated with extreme precipitation events. In this context, the municipality of Três Rios, located in the state of Rio de Janeiro, has recurrently experienced flooding and inundation episodes, phenomena directly related to the rapid and disorderly process of urban expansion. In light of this scenario, the present dissertation aimed to identify and analyze the occurrence of extreme hydrometeorological events, as well as to map and characterize areas with greater susceptibility to flooding and inundation in the municipality of Três Rios. To this end, areas historically affected by flooding and inundation were identified, along with extreme precipitation events recorded in the municipality over the last nine years. Based on the synoptic analysis of the acting atmospheric systems, it was observed that most high-intensity extreme events were associated with the influence of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) and the passage of frontal systems, which were responsible for high precipitation volumes over the study area. The final stage of the research consisted of applying a multicriteria analysis to identify areas susceptible to flooding and inundation, using geoprocessing tools and the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. For the construction of the susceptibility model, variables related to land use and land cover, slope, soil type, rainfall, and hypsometry were considered, which are essential for developing the final susceptibility map. The results indicated that 0.45% of the municipal area presents very high susceptibility and 10.89% presents high susceptibility to flooding and inundation. The information produced constitutes relevant technical support for municipal public management, providing guidance for preventive actions and territorial planning strategies aimed at mitigating these events, reducing material losses, and preserving human life.

Keywords: Urbanization. South Atlantic Convergence Zone. Flooding.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Alagamento na cidade de Três Rios	18
Figura 2-Perfil esquemático do processo de enchente e inundação	24
Figura 3-Entroncamento das rodovias	31
Figura 4-Localização do Município de Três Rios (RJ)	32
Figura 5-Localidades do município de Três Rios.....	34
Figura 6-Localização polos industriais-Três Rios	34
Figura 7-Esquema resumido das etapas metodológicas	36
Figura 8-Convenções utilizadas para a análise sinótica	39
Figura 9-Ocorrência registrada no dia 30/11/2025(Centro)	47
Figura 10-Cartas sinóticas nos dias 08 e 30 de novembro de 2015.....	48
Figura 11-Cartas sinóticas nos dias 14, 19 e 24 de janeiro de 2016.....	49
Figura 12-Cartas sinóticas no dia 13/01/2017	50
Figura 13-Alagamentos registrados no dia 13/01/2017.....	51
Figura 14-Episódio de deslizamento no dia 13/01/2017	51
Figura 15- Cartas sinóticas nos dias 04 e 10 de março de 2018.....	54
Figura 16-Impacto registrado no Centro de Três Rios no dia 04/03/2018	54
Figura 17-Ocorrências registradas em 06/03/18.....	55
Figura 18-Cartas sinóticas no dia 08 e 20 fevereiro de 2019	56
Figura 19-Ocorrência registrada em fevereiro de 2019.....	57
Figura 20-Ocorrências registradas em fevereiro de 2019.....	57
Figura 21-Carta sinótica no dia 26 dezembro de 2020.....	58
Figura 22-Impactos registrados na Rua Direita e na Av. Zoelo Sola no dia 26/12/2020	57
Figura 23-Carta sinótica no dia 11 janeiro de 2021.....	58
Figura 24-Impactos registrados nos bairros Vila Isabel e Purys dia 11/01/2021	59
Figura 25-Impactos registrados no dia 11/01/2021	59
Figura 26- Cartas sinóticas nos dias 09, 09 e 10 de dezembro de 2021	60
Figura 27-Carta sinótica no dia 17 fevereiro de 2022	61
Figura 28-Impactos registrados no dia 16/02/2022 (Av. Zoelo Sola)	62
Figura 29-Impactos registrados no dia 16/02/2022 (Centro).....	62
Figura 30-Cartas sinóticas nos dias 05 e 25 de outubro de 2023	64
Figura 31-Impactos registrados na Várzea do Otorino.....	64
Figura 32-Mapa de Solos Três Rios	67

Figura 33-Mapa de Declividade- Três Rios	69
Figura 34-Mapa de Pluviometria-Três Rios	70
Figura 35-Mapa de Hipsometria-Três Rios	73
Figura 36-Mapa de Uso e Ocupação do Terreno-Três Rios	76
Figura 37-Mapa de Suscetibilidade a Inundação e Alagamento em Três Rios	79
Figura 38-Pontos de Alagamento e Inundação no município de Três Rios	80
Figura 39-Mapa de Suscetibilidade a Alagamento e Inundação em Três Rios	81

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1- Volume de precipitação no período de 9 anos em Três Rios.....	46
Gráfico 2-Volume de Precipitação em 2015	47
Gráfico 3-Volume de Precipitação em 2016	49
Gráfico 4- Volume de Precipitação em 2017	52
Gráfico 5- Volume de Precipitação em 2018	53
Gráfico 6-Volume de Precipitação em 2019	55
Gráfico 7- Volume de Precipitação em 2020	57
Gráfico 8- Volume de Precipitação em 2021	58
Gráfico 9-Volume de Precipitação em 2022	61
Gráfico 10- Volume de Precipitação em 2023	63
Quadro 1- Descrição dos tipos pedológicos encontrados na área de estudo	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados das Estações Meteorológicas.....	37
Tabela 2- Variáveis metodológicas	42
Tabela 3- Escala de comparadores.....	43
Tabela 4 Matriz de comparação dos fatores.	44
Tabela 5 -Principais eventos de chuvas extremas registradas nos anos 2015-2023 nas estações Moura Brasil e Ilha dos Pombos.....	45
Tabela 6-Representação das Classes do Uso e Ocupação do Terreno- Três Rios.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EA	Estudo Ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SIG	Sistema de Informações Geográfica
UNDRR	Escritório das Nações Unidas para a Redução de Riscos de Desastres
UTM	Universal Transversa Mercator
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	JUSTIFICATIVA	17
3	OBJETIVOS	19
3.1	OBJETIVO GERAL.....	19
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4	REFERENCIAL TEÓRICO	19
4.1.1	Eventos Extremos e Sistemas Atmosféricos	19
4.1.2	Enchente	22
4.1.3	Inundação	25
4.1.4	Alagamentos	27
4.1.5	Enxurrada	28
4.1.6	Risco, Risco Hidro meteorológico e Perigo	29
4.1.7	Mapemanto das Áreas Suscetíveis a Alagamentos e Inundações	30
5	ÁREA DE ESTUDO	31
6	METODOLOGIA	35
6.2	COLETA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS E ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS	37
6.3	IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS	38
6.4	TRATAMENTO DE DADOS EM SIG E PRODUÇÃO DE MAPAS	39
6.4.1	Atribuição de Valores	41
6.4.2	Determinação do processo analítico hierárquico (AHP) e dos fatores de influência	43
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
7.1	ANÁLISE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS E A OCORRÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS.....	44

7.2	ANÁLISE DOS MAPAS TEMÁTICOS	65
7.2.1	Representação Pedológica.....	65
7.2.2	Mapa de Declividade.....	67
7.2.3	Mapa de Pluviometria.....	69
7.2.4	Mapa de Hipsometria.....	71
7.2.5	Uso E Ocupação do Terreno Em Três Rios	73
7.2.6	Análise da Suscetibilidade a Inundação e Alagamento.....	76
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82

1 INTRODUÇÃO

Os eventos extremos de natureza climática tem causado grandes impactos as populações, aliado de forma mais explícita em localidades onde há a combinação de uma alta vulnerabilidade com o elevado nível de exposição da população e infraestruturas (Kharin *et al.*, 2007; Méndez-Lázaro *et al.*, 2016). No entanto, a atuação do homem nas áreas urbanas e rurais ao longo do tempo, bem como as ações antrópicas e o ambiente, tem intensificado a ocorrência desses eventos (Santos, 2010).

O processo de urbanização que se intensificou nos últimos anos, levou ao crescimento de muitas cidades no Brasil. Tominaga *et al.* (2009, p.19), ressaltam que esse “crescimento, é o que vem aumentando as situações de construção social do risco nas últimas décadas”. Dentre, estes, inundações, alagamentos e enchentes são os mais preocupantes, tendo em vista que estes são os que mais causam mortes no país.

A urbanização de uma cidade está intimamente ligada a ocupação e crescimento de um local (Lopes *et al.*, 2022). Com o processo de urbanização, os solos tendem a ser impermeabilizados, acelerando o escoamento superficial, aumentando o volume de água nos canais e condutos que precisam ter a capacidade de escoar-la (Santos, 2018). Conjuntamente com o processo de impermeabilização e canalização, tem-se a ocorrência de eventos extremos de precipitação, que caracterizam-se por ocorrer com frequência em um curto espaço de tempo, possibilitando a ocorrências de enchentes, enxurradas, inundações e alagamentos.

É preciso reforçar que o desenvolvimento acelerado das cidades, aliado à ausência de planejamento, tornou possível o surgimento de problemas relacionado ao uso do solo, sobretudo desastres por meio de processos naturais, atingindo populações e suas residências (Silva, 2013).

Eventos como o as inundações e enchentes são fenômenos naturais que ocorrem com frequência nos cursos d'água, geralmente deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração (Braga, 2016). Estes eventos têm sido intensificados, principalmente nas áreas urbanas. A ocorrência de enchentes, alagamentos e inundações em áreas urbanas pode ser explicado pelo agravamento do escoamento superficial natural, que sofre alterações substanciais em decorrência do processo de urbanização desordenada, como consequência da impermeabilização da superfície (Braga, 2016).

A combinação das dinâmicas atmosféricas com o crescimento desordenado das cidades brasileiras, conforme destacado por Moreira (2014), gera uma série de problemas

socioambientais, incluindo inundações, alagamentos, enxurradas e enchentes, que se agravam durante o período de chuvas intensas.

Diante desse contexto, torna-se pertinente e de extrema relevância o desenvolvimento do presente estudo, sobretudo em função da escassez de pesquisas direcionadas a análises em escala regional. Evidencia-se, assim, a necessidade de aprofundar investigações sobre a ocorrência de alagamentos e inundações em áreas urbanas, bem como sobre as variáveis que condicionam esses eventos e os impactos socioambientais por eles ocasionados, conforme destacado por Braga (2016).

2 JUSTIFICATIVA

O município de Três Rios/RJ, situado na região Centro-Sul Fluminense, há alguns anos vem sofrendo com eventos de alagamentos e inundações durante os períodos chuvosos. O senso comum aponta para um padrão na ocorrência desses eventos, sobretudo após um rápido crescimento urbano da cidade.

A partir de 2009, o crescimento econômico e o número de empresas (comércio, indústria e serviços) em Três Rios foram acentuadamente impulsionados pela sanção da Lei Municipal nº 3.346/09. Esta lei foi crucial ao conceder incentivos fiscais e econômicos destinados a atrair novas empresas e estimular a ampliação das já existentes. Adicionalmente aos incentivos fiscais, o fator logístico foi determinante para sustentar essa expansão industrial. A localização estratégica do município proporciona fácil acesso a três dos principais mercados do país: Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte. Três Rios se conecta diretamente à BR-040 (eixos Rio-Juiz de Fora-Belo Horizonte) e à BR-393 (acesso a São Paulo e ao Vale do Paraíba), ambas localizadas próximas ao centro urbano. Complementando a infraestrutura rodoviária, a cidade é também um hub ferroviário, cortada pelas malhas Centro-Leste (7 mil km, ligando Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste) e MRS (1,6 mil km, abrangendo RJ, SP e MG).

Dessa forma, Três Rios tem contemplado um acelerado crescimento urbano e industrial. Com esse crescimento uma grande parcela do solo está sendo ocupada de forma desordenada. Dentre os fatores que contribuem para os riscos de inundação na cidade, destaca-se a qualidade do serviço de pavimentação das vias e a forma como essa pavimentação é realizada. Em alguns pontos da cidade existe um desnível no escoamento urbano em relação aos bueiros, contribuindo significativamente para a mudança do fluxo e da orientação do escoamento da água (Oliveira, 2014). Tucci (1979, n.p.) ressalta que o volume que escoava lentamente pela

superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções.

A Figura 1 traz o registro de um episódio de alagamento ocorrido no Centro do município de Três Rios no dia 13 de janeiro de 2017, dados apresentados pela defesa civil do município apontaram um volume de precipitação de 100mm. O episódio de alagamento atingiu diversas áreas no município, residências e comércios afetados, interdição a passagem de pedestres, impedindo o fluxo de pessoas, além da inacessibilidade causada pelo alto nível da água, veículos foram levados pelo temporal.

Figura 1- Alagamento na cidade de Três Rios



Fonte: G1, Globo (2017).

Assim, o que se constata na Cidade de Três Rios, é que quando submetido a um grande volume de chuva, tem-se o rápido alagamento de ruas e casas, prejudicando a população e causando mortes, como ocorreu no ano de 2021, que de acordo com uma manchete do G1(2021), uma criança de 8 anos de idade morreu, após o carro onde ela estava ser arrastado pela correnteza de uma tempestade para dentro de um córrego no bairro Purys. Outro fator importante é a crescente atuação do mercado imobiliário que tem induzido o crescimento e a expansão urbana da cidade para áreas do seu interesse, respaldado pela atuação e investimento por parte do poder público (Silva, 2013).

Deste modo, acredita-se que os alagamentos e inundações recorrentes na cidade de Três Rios, podem estar associadas a fatores como o crescimento urbano, processos de impermeabilização e ocorrência de eventos pluviométricos extremos.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa, de natureza exploratória e descritiva, tem como objetivo central identificar e analisar a ocorrência de eventos extremos, bem como mapear e caracterizar as áreas com maior suscetibilidade a alagamentos e inundações no município de Três Rios. Nesse contexto, estabelece-se a seguinte questão norteadora: de que forma o processo de crescimento urbano tem contribuído para a intensificação e expansão das áreas suscetíveis a alagamentos e inundações no município de Três Rios?

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar áreas com ocorrência de alagamentos e inundações a partir do levantamento documental e de registros noticiados pela mídia local;
- Analisar dados pluviométricos, a fim de identificar os principais eventos de chuva extrema;
- Elaborar mapas temáticos de uso e cobertura do solo, pedologia, pluviometria e hipsometria, visando à integração dessas variáveis na geração do mapa final de suscetibilidade a alagamentos e inundações.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste referencial teórico irá se discutir os conceitos de eventos extremos e sistemas atmosféricos, conceitos cruciais para a realização desta pesquisa. Em seguida, será abordado conceitos sobre alagamento, inundação, enchente, e enxurrada, visto que os termos adotados para classificar os eventos registrados neste trabalho serão esses, tendo em vista que, as conceituações são as mais adequadas ao tipo de evento, em meios urbanos e causados por chuvas extremas. Por fim, o referencial teórico contemplará a discussão dos conceitos de risco, essenciais para a análise da vulnerabilidade e da exposição da sociedade frente a esses eventos.

4.1.1 Eventos Extremos e Sistemas Atmosféricos

De acordo com Duarte *et al.*, (2015), na atmosfera, podem ocorrer tanto fenômenos climáticos rotineiros quanto eventos extremos de tempo e clima. Assim, os fenômenos atmosféricos ditos rotineiros, são eventos representados pelas médias comumente observadas,

ou seja, de temperatura ou precipitação (Duarte *et al.*, 2015). Já um fenômeno é considerado extremo, devido a sua incidência, levando a valores observados que se desviam consideravelmente dos valores médios de uma localidade específica. (Sarewitz & Pielke Jr., 2001; Duarte *et al.*, 2015; Seneviratne *et al.*, 2021).

Partindo-se dessa premissa, um evento extremo de tempo são caracterizados por mudanças bruscas e inesperadas nas condições atmosféricas, resultantes de interações complexas entre fatores meteorológicos em diferentes escalas, incluindo sistemas de alta e baixa pressão, frentes quentes e frias, sistemas convectivos e padrões termodinâmicos, que ocorrem em períodos curtos, variando de horas a semanas (Ynoue *et al.*, 2017). Já um evento extremo do clima é caracterizado como uma variação inesperada nos padrões climáticos locais, resultante de uma sequência de eventos extremos de tempo (Seneviratne *et al.*, 2021). Além disso, os extremos climáticos têm impactos mais amplos e duradouros em relação aos extremos de tempo, afetando um maior número de pessoas (Silva Dias, 2014; Seneviratne *et al.*, 2021).

Segundo Maechezin *et al.*, (2023), no Brasil, o conceito de evento extremo é frequentemente associado a eventos de chuva que desencadeiam processos geológicos e hidrológicos, como deslizamentos de terra, enxurradas e inundações. Nesse contexto, chuvas consideradas não tão raras (com tempo de retorno de 2 ou 5 anos, por exemplo) podem ser classificadas como eventos extremos com base nos impactos causados historicamente em uma determinada região.

Dessa forma, dada a sua importância no sistema atmosférico, o estudo da precipitação se torna fundamental para entender os fenômenos meteorológicos e climáticos. Compreender a dinâmica atmosférica é fundamental para explicar como as fortes precipitações, juntamente com outros fatores, contribuem para a ocorrência de eventos extremos de alagamentos e inundações. Conforme mencionado por Silva Dias *et al.*, (2009), o planeta terra tem seu clima definido por dois fluidos: o ar e a água. Ambos têm dinâmica própria e interagem entre si, os ventos são movimentos do ar que definem a circulação atmosférica, ao passo que os movimentos da água nos oceanos definem as correntes marítimas.

Entre os sistemas atmosféricos, as frentes, conforme destacado por Reboita *et al.*, (2012), são zonas de transição entre massas de ar com propriedades térmicas diferentes, e estão associadas a ondas atmosféricas observáveis em latitudes, como mencionado por Silva Dias *et al.*, (2009). O avanço das frentes frias e quentes é um mecanismo pelo qual os fluidos atmosféricos buscam o equilíbrio térmico, reduzindo as diferenças de temperatura entre o Equador e os polos (Silva Dias *et al.*, 2009). Ainda segundo a mesma autora, as frentes frias ocorrem quando o ar frio se move em direção ao Equador, enquanto as frentes quentes ocorrem

quando o ar quente se move em direção aos polos. A ocorrência de frentes frias é caracterizada pela substituição da massa de ar quente por uma massa de ar frio, que a força a subir devido à sua menor densidade, isso favorece a formação de nuvens e chuva. Após a passagem da frente fria, a massa de ar frio assume o controle, levando a uma queda na temperatura, cessação da precipitação e tempo ensolarado, devido à sua densidade e secura, que desfavorecem a formação de nuvens (Reboita *et al.*, 2012).

Outro fenômeno atmosférico, de relevante estudo para a variabilidade de precipitação, que desencadeia eventos extremos e geram prejuízos em bens materiais e perda de vidas é a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a qual se caracteriza por uma persistente banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, que se estende desde a Amazônia até o oceano Atlântico sudoeste (Kodama, 1992; Quadro, 1994; Kousky, 1988; Carvalho *et al.*, 2004 apud Escobar, 2019). Deste modo, a ZCAS se caracteriza pela presença semi-estacionária, por pelo menos quatro dias, de uma faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, associada a uma região de convergência acentuada em baixos níveis (Quadro, 1999 apud Silva, 2020). Portanto, uma das principais características da ZCAS é ser um sistema persistente de chuvas.

Adicionalmente, outro sistema sinótico que merece destaque é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que ocorre nas proximidades da linha do equador, associado com calor e umidade disponível na atmosfera, favorece a ocorrência de áreas de instabilidade (Carvalho *et al.*, 2004). Além disso, segundo o Centro de Previsão de Tempo de Estudos Climáticos-CPTEC, a formação de cavados, sistemas atmosféricos onde há uma região alongada de uma relativa baixa pressão num plano horizontal. Na região de cavado as linhas de pressão não são fechadas, a passagem de um cavado pode causar instabilidades, e chuvas intensas.

Eventos de precipitação extremos podem ter sua frequência atribuída também, aos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, que são resultantes das variações dos níveis de temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico, que por sua vez afetam diretamente os padrões de temperatura e precipitação global (Araújo, 2012).

Segundo Castro (2001) o *El Niño* (EN) é um fenômeno climático de grande escala caracterizado pelo aquecimento das águas superficiais do Oceano Pacífico, especificamente no setor centro-oeste, próximo à linha do Equador. Ainda segundo o autor, este aquecimento anormal das águas interfere na circulação atmosférica global, causando alterações significativas nos padrões climáticos, conhecidas como anomalias, com chuvas superiores à média nas regiões Sul e Sudeste do Brasil durante o verão e outono, e secas extremas durante o quadrimestre de fevereiro a maio no Nordeste e também no Norte Brasil.

Já o fenômeno *La Niña*, pode ser conceituado pelo resfriamento das águas na faixa equatorial do Oceano Pacífico (Will, 2022). É possível caracterizar esse fenômeno por um forte e persistente movimento ascendente de ar, que favorece a formação de nuvens e a ocorrência de chuvas abundantes no setor centro-oeste da bacia do Pacífico. A ressurgência de águas frias na costa oeste da América do Sul, incluindo a parte centro-oeste da bacia do Pacífico, é intensificada. Isso significa que águas mais frias do fundo oceânico chegam à superfície, contribuindo para o esfriamento geral da região. Em contrapartida, na parte centro-oeste do Pacífico e, notavelmente, na costa oeste da América do Sul, há um fortalecimento do movimento descendente de ar, o que inibe a formação de nuvens e, conseqüentemente, reduz a ocorrência de chuvas nessas áreas. De acordo com a literatura o *La Niña* e *El Niño* e são fenômenos naturais, no entanto são intensificados pela ação humana na terra, com aumento do CO₂ na atmosfera, acaba por elevar a temperatura do nível do mar, e como consequência influencia na circulação atmosférica e o regime de ventos do planeta em determinados períodos.

De modo geral, alterações nos regimes de precipitação ocasionados por ENOS afetam grande da população. Segundo o autor Castro (2001), para o estudo da dinâmica dos episódios climáticos, como é o caso do *El Niño* e *La Niña*, faz-se necessária a interpretação de dados de ventos e precipitações pluviométricas de séries históricas de pelo menos 30 anos.

4.1.2 Enchente

A palavra enchente deriva do latim “*plenus*” (cheio), e sua definição, conforme Aurélio (2008), é ocupar o vão, a capacidade ou a superfície de; tornar cheio ou repleto. Em termos de fenômeno hidrológico, ela é conhecida pela elevação temporária do nível d’água ao longo de um canal de drenagem, causada por um aumento da vazão ou descarga.

As enchentes podem ser conceituadas como fenômenos naturais, que ocorrem periodicamente nos cursos d’água devido a chuvas de magnitude elevada (BRAGA, 2016). De acordo com Koene (2013, p. 24) “o termo enchente se aplica a situação em que o rio tem seu volume de água aumentado, mas ainda dentro do leito menor ou dos limites da calha principal do rio”.

As enchentes são fenômenos naturais, atrelados às chuvas, mas podem ser intensificadas por ações antrópicas no meio ambiente. Assim, Tucci (2001) divide as enchentes em duas categorias: as que resultam do processo de urbanização e aquelas que afetam especificamente as áreas ribeirinhas:

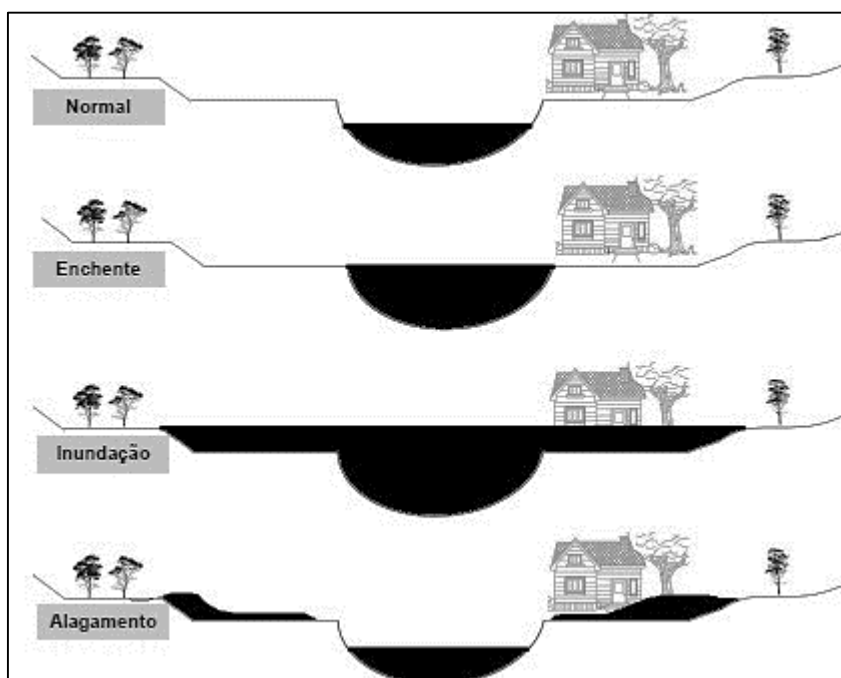
[...] a primeira é caracterizada pelo aumento de sua frequência e magnitude devido à ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos. Adicionalmente o desenvolvimento urbano pode produzir obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento. As enchentes em áreas ribeirinhas são naturais, atingindo a população que ocupa o leito maior dos rios. Essas enchentes ocorrem, principalmente, pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos extremos, em média com tempo de retorno da ordem de 2 anos.

Ao longo dos anos, fatores como a impermeabilização do solo, o desmatamento, as alterações climáticas e a ocupação das margens tornaram-se determinantes para definir o grau de suscetibilidade de uma área a enchentes (Kobiyama *et al.*, 2006). Segundo o Ministério das Cidades e IPT (2007), as enchentes são definidas pela elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão que atingem a cota máxima do canal sem extravasar, ou seja, é o resultado temporário o nível de água no canal de drenagem, causado pela elevação da vazão, contanto que não ocorra o transbordamento para fora da calha.

Os conceitos de enchentes e inundações são frequentemente confundidos, embora ambos se refiram a eventos hídricos com causas tanto naturais quanto antrópicas. Contudo, neste trabalho o termo enchente será tratado como um aumento temporário do nível da água em um canal de drenagem, podendo ser de sistemas naturais ou artificiais, devido a um aumento no escoamento, já a inundação, comum o processo de surgimento das águas do canal de drenagem em direção às áreas marginais quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio, que é o local por onde as águas percorrem durante o ano.

A Figura 2 ilustra de forma esquematizada os fenômenos de enchentes, inundações e alagamentos para uma melhor compreensão.

Figura 2-Perfil esquemático do processo de enchente e inundação



Fonte: Goerl; Kobiyama (2005).

Segundo o Ministério das Cidades e o IPT (2007), enchentes e inundações configuram um dos tipos mais recorrentes das construções sociais do risco, atingindo continuamente comunidades em diferentes regiões do mundo.

Conforme demonstrado na figura supracitada, para se falar inundações é preciso entender conjuntamente as enchentes. As inundações e as enchentes são decorrentes do comportamento natural dos cursos d'água, tais como córregos, ribeirões e rios. Elas se manifestam quando ocorre o transbordamento das margens naturais e a ocupação parcial ou total do leito principal e das áreas de várzea, resultando no fenômeno da enchente.

Algumas interpretações dos estudiosos da área descrevem as enchentes como eventos destrutivos, capazes de causar danos materiais, o deslocamento de comunidades inteiras e, por vezes, perdas de vidas, devido à alta velocidade das águas. Por outro lado, as inundações referem-se ao extravasamento do leito principal do curso d'água, que pode cobrir parcial ou integralmente as construções situadas nas proximidades das margens ribeirinhas.

4.1.3 Inundação

Tucci e Bertoni (2003), definem as inundações como fenômenos que ocorrem quando as águas dos rios, riachos e galerias pluviais transbordam de seus leitos de escoamento, devido à insuficiência da capacidade de transporte desses sistemas, invadindo áreas utilizadas pela população para habitação, transporte, lazer, comércio, indústria, entre outros.

Tucci (2007) considera que os eventos de inundação podem ser desencadeados pelo comportamento natural dos rios, mas são frequentemente intensificados pela ação antrópica da urbanização, que se manifesta, por exemplo, na impermeabilização das superfícies e na canalização dos córregos.

Para Mazoto (2015, p.36), as inundações configuram-se como “ameaças naturais históricas do nosso planeta”, sendo que o intenso processo de urbanização e industrialização, iniciado na segunda metade do século XX, agravou a frequência das inundações nas áreas urbanas, um efeito direto do aumento populacional e da ocupação desordenada dessas regiões.

Alguns autores definem a inundação como a submersão temporária de uma área que usualmente está emersa, construída ou não. Ramos (2013) considera esses eventos como fenômenos hidrológicos extremos de frequência variável, que podem ser tanto de origem natural quanto induzidos pela ação humana. De forma similar, Bloch *et al.*, (2012) enfatizam que a inundação resulta, em geral, de uma combinação de fatores meteorológicos e hidrológicos.

Coelho (2001, p.28) destaca que “...a incidência das inundações motivou as classes média e alta a se afastarem das áreas urbanas delimitadas como área risco. As inundações continuam a vitimar as classes baixa”.

Embora as inundações estejam intrinsecamente ligadas a eventos climáticos de alta precipitação, sua dinâmica é complexa, sendo determinada por uma combinação de condicionantes de origem natural e fatores induzidos pela ação antrópica. Nesse viés, Amaral e Ribeiro (2009) listam os principais condicionantes de origem natural que contribuem para as inundações. Tais fatores incluem: as formas de relevo, as características da rede de drenagem da bacia hidrográfica, a intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas, além das características do solo e seu teor de umidade, e a presença ou ausência de cobertura vegetal. Os autores ainda destacam que, “o estudo desses condicionantes naturais permite compreender a dinâmica do escoamento da água nas bacias hidrográficas (vazão), de acordo com o regime de chuvas conhecido” (Amaral; Ribeiro, 2009, p.45).

Entre os condicionantes antrópicos que potencializam as inundações, de acordo com Amaral e Ribeiro (2009), estão diretamente ligados à gestão urbana e ambiental, os quais incluem: a ocupação irregular das planícies e margens fluviais; a disposição inadequada de resíduos; as alterações nas bacias e cursos d'água (como canalizações e mudanças na vazão), e o aumento da impermeabilização do solo, que intensifica os processos de erosão e assoreamento. Ainda segundo os autores, as chuvas intensas e/ou de longa duração favorecem a saturação dos solos, o que aumenta o escoamento superficial e a concentração de água nessas regiões referindo-se aos cursos d'água e às áreas adjacentes a eles.

O conceito de inundação, em particular, é detalhado por Kobiyama *et al.*, (2006, p. 45), que o definem como:

“A inundação, popularmente tratada como enchente, é o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele (...). Estas áreas planas próximas aos rios sobre as quais as águas extravasam são chamadas de planícies de inundação. Quando não ocorre o transbordamento, apesar do rio ficar praticamente cheio, tem-se uma enchente e não uma inundação. Por esta razão, no mundo científico, os termos “inundação” e “enchente” devem ser usados com diferenciação.”

Por hora, Amaral e Ribeiro (2009, p.42) apresentam discussão pormenorizada sobre a distinção entre inundação e enchente:

“Inundação representa o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea. As enchentes ou cheias são definidas pela elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar. O alagamento é um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem. A enxurrada é escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais.”

Assim sendo, a inundação ocorre quando há o transbordamento das águas, invadindo a planície de inundação. Por outro lado, a enchente deve ser entendida como a elevação do nível da água do canal que se restringe à calha do rio, não havendo extravasamento (Ferraz, 2021).

Ferraz (2021) enfatiza que os termos alagamento e enxurrada também possuem sentidos distintos. O alagamento caracteriza-se pelo acúmulo de água em uma área específica, podendo ou não estar relacionado a enchentes ou inundações. Já a enxurrada refere-se ao escoamento superficial e concentrado de água pluvial, tipicamente desencadeado por eventos de chuvas extremas.

4.1.4 Alagamentos

Os alagamentos resultam do acúmulo de água nas vias públicas devido à deficiência e insuficiência do sistema de drenagem, sendo um problema comum em grandes cidades, onde o crescimento urbano não é acompanhado por investimentos adequados na infraestrutura (Costa, 2019). A ocorrência desse fenômeno, em sua maioria, está relacionada a eventos de chuva extrema e precipitação intensa.

Segundo o Min. Cidades/IPT (2007) o fenômeno de alagamento pode ser definido como o acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem, podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial. Grilo (1992) aponta que os alagamentos geralmente atingem áreas planas, fundos de vales e depressões, onde o escoamento superficial é dificultado tanto pela topografia quanto pela falta ou inadequação de um sistema de drenagem pluvial eficiente nas cidades. Além disso, a redução da extensão de áreas verdes diminui a infiltração de água no solo, que é essencial para alimentar os aquíferos suspensos. Conseqüentemente, há uma menor atenuação do escoamento superficial, o que poderia auxiliar a mitigar as causas desses eventos (Teodoro; Nunes, 2007).

Amaral e Ribeiro (2009, p.42) por sua vez classificam o alagamento como um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem. Do ponto de vista da COBRADE (Classificação e Codificação Brasileira de Desastres) os alagamentos são classificados como o acúmulo de água em ruas, calçadas e outras infraestruturas urbanas, sendo esse fenômeno uma consequência da extrapolção da capacidade de escoamento dos sistemas de drenagem urbana durante períodos de precipitações intensas.

Historicamente, o processo de urbanização no Brasil tem sido marcado pela intensificação sistemática do crescimento populacional e pelo uso inadequado do solo. Esse cenário resultou em severas interferências na dinâmica dos condicionantes de inundações e

alagamentos. Atualmente, observa-se que o crescimento populacional ocorreu em descompasso com as necessárias melhorias na infraestrutura urbana.

A insuficiência de sistemas de drenagens, combinada ao descarte inadequado de lixo nas ruas, provoca alagamentos constantes. O lixo, em particular, contribui significativamente para o entupimento das bocas de lobo e o consequente represamento da água nas vias. A impermeabilização do solo é uma característica urbana que agrava os alagamentos, pois acelera o escoamento superficial, resultando em rápida concentração de água na bacia e consequentes inundações em áreas vizinhas. Outro fator contribuinte é o desmatamento com a redução da vegetação diminui a infiltração da água pluvial, potencializando o escoamento superficial e acelerando os processos erosivos que causam alagamentos e inundações.

4.1.5 **Enxurrada**

Conforme Costa (2019) as enxurradas representam o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais, esse fenômeno é oriundo de grandes volumes pluviais, ocorrendo em bacias de elevada declividade. Podendo ser definida ainda, como o “escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais. É comum a ocorrência de enxurradas ao longo de vias implantadas sobre antigos cursos d’água com alto gradiente hidráulico e em terrenos com alta declividade natural (Min. Cidades/IPT 2007).

Em 2012, a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) conceituou a enxurrada como um escoamento superficial de alta velocidade e energia. Esse fenômeno é provocado por chuvas intensas e concentradas, tipicamente em pequenas bacias hidrográficas de relevo acidentado, e é caracterizado pela elevação súbita das vazões e pelo transbordamento brusco da calha fluvial.

Bertoni e Lombardi Neto (1990) afirmam que o volume e a velocidade das enxurradas são diretamente proporcionais ao grau de declive da vertente. Eles demonstram que, por exemplo, um aumento de quatro vezes no declive do terreno resulta em um aumento de duas vezes na velocidade do escoamento superficial e, de forma ainda mais crítica, nas enxurradas. A extensão da vertente, ou comprimento da rampa, também é um fator crítico. À medida que a água percorre uma distância maior, há um acréscimo progressivo tanto no volume quanto na velocidade do escoamento. Desse modo, quanto maior o comprimento da rampa, maior será o volume da enxurrada. (Bertoni; Lombardi Neto, 1990).

A principal ameaça representada pelo fenômeno reside na sua elevada energia de transporte e velocidade de escoamento, características que conferem à enxurrada um poder destrutivo e uma capacidade de mobilização de material inigualáveis. É precisamente essa força hidrodinâmica que explica a alarmante frequência com que pessoas são desequilibradas e arrastadas pela correnteza, muitas vezes com desfechos trágicos e fatais.

4.1.6 **Risco, Risco Hidro Meteorológico e Perigo**

De acordo com Noronha *et al.*, (2016) o conceito de risco pode variar significativamente de acordo com o contexto em que está inserido. Para Zonensein (2007), a definição de um único conceito para o risco não é aconselhável, tendo em vista que uma abordagem focada em perspectivas distintas e específicas é complexa.

Segundo a UNDRR -Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (2004), o Risco é conceituado como a probabilidade de perdas ou consequências prejudiciais esperadas (incluindo mortes, danos a propriedades, interrupção econômica ou prejuízo ambiental). Tais perdas resultam da interação entre perigos (naturais ou induzidos pelo homem) e as condições de vulnerabilidade de uma comunidade. Convencionalmente, o risco é formalizado pela notação: $\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Vulnerabilidade}$, sendo que algumas abordagens ainda incorporam a Exposição para detalhar os aspectos físicos da vulnerabilidade. Os riscos podem ser classificados de diferentes formas, levando em consideração situações potenciais de perdas e danos ao homem e consideram os riscos ambientais como a classe maior dos riscos (Cerri; Amaral, 1998).

De acordo com a terminologia da Estratégia Internacional para a Redução de Catástrofes, das Nações Unidas (UNISDR), os riscos hidro meteorológicos são de origem atmosférica, hidrológica ou oceanográfica, os quais podem ocasionar mortes, lesões ou outros tipos de impactos na saúde humana, assim como danos nos bens e propriedades, perdas de meios de sustento e serviços, transtornos sociais e econômicos e danos ambientais. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), em seu relatório de 2014, estabelece que o risco de impactos relacionados ao clima é um produto da interação de três componentes principais: os perigos decorrentes do clima (como eventos extremos), a vulnerabilidade e a exposição dos sistemas naturais e humanos a esses perigos. Dessa forma, o risco é compreendido como o potencial de consequências onde há algo de valor em jogo e o resultado é incerto.

Por sua vez, o termo perigo é conceituado na literatura (Castro, 1999; UN-ISDR, 2002; Amaral; Gutjahr, 2011) como qualquer fenômeno, seja ele de origem natural (como processos hidro meteorológicos) ou antrópica, que possui o potencial de causar danos significativos. Tais danos abrangem a perda de vidas e ferimentos, prejuízos a propriedades, interrupções econômicas e a degradação do meio ambiente. Já a UNDRR Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (2004) define perigo como um evento físico, fenômeno ou atividade humana potencialmente prejudicial capaz de gerar perdas diversas de vidas, danos materiais ou perturbação econômica. Especificamente no contexto hidrológico, Tingsanchali (2012) complementa que o perigo de enchentes e inundações está diretamente ligado à magnitude do evento, determinada por variáveis como a profundidade, a velocidade e a duração do processo. O autor ainda enfatiza que, quando o evento atinge construções e indivíduos, as vulnerabilidades locais atuam como fatores decisivos na severidade dos danos.

Outrossim, o termo vulnerabilidade é referenciada por diversos autores (Cutter *et al.*, 2003; Cutter, 2011; Peloggia, 2011; IPCC, 2012), a vulnerabilidade reflete o potencial de perda de comunidades humanas expostas a um perigo, e está intrinsecamente ligada à sua capacidade de resposta e recuperação frente a desastres. Sua complexidade é determinada por uma combinação de fatores socioespaciais e de gestão pública, que abrangem desde a percepção dos perigos pela população e as condições de infraestrutura e habitação, até a organização social e a efetividade das políticas públicas.

4.1.7 **Mapemanto das Áreas Suscetíveis a Alagamentos e Inundações**

O mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos e inundações é um instrumento essencial para o planejamento urbano. Segundo Cristo (2002), esses estudos fundamentam a elaboração de Planos Diretores e Planos de Ações Preventivas, orientando decisões estratégicas que visam mitigar, reduzir ou erradicar situações de risco.

A importância do mapa de suscetibilidade reside na sua capacidade de subsidiar o planejamento urbano. Conforme Ahmad e McCalpin (1999), esse recurso permite que gestores estabeleçam medidas preventivas e definam diretrizes legais para a ocupação da terra, visando minimizar impactos socioambientais.

Atualmente o uso do geoprocessamento modernizou a elaboração de mapeamentos ao permitir uma análise espacial mais precisa e robusta (Oliveira; Guasseli, 2011). A eficácia dessa tecnologia é potencializada pelas funcionalidades dos SIGs, que geram informações

estratégicas por meio de ferramentas como a análise multicritério, essencial para fundamentar decisões em cenários de múltiplas variáveis (Silva *et al.*, 2009).

5 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o município de Três Rios (Figura 4), localizado no Estado do Rio de Janeiro, situado na região Centro-Sul Fluminense, entre as coordenadas geográficas Latitude $22^{\circ}07'00''$ SGw e a uma Longitude $43^{\circ}12'33''$ OGw. A cidade é conhecida por estar localizada no entroncamento de grandes rodovias federais que dão acesso as capitais do Rio de Janeiro, de São Paulo e de Minas Gerais, como a BR-040 e a BR-393. Além disso, o município é cortado pela ferrovia Estrada de Ferro Central do Brasil, as quais ligam os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro desde o século XIX. A Figura 3 ilustra o entroncamento dessas duas vias por meio da Estrada União Indústria.

Figura 3-Entroncamento das rodovias

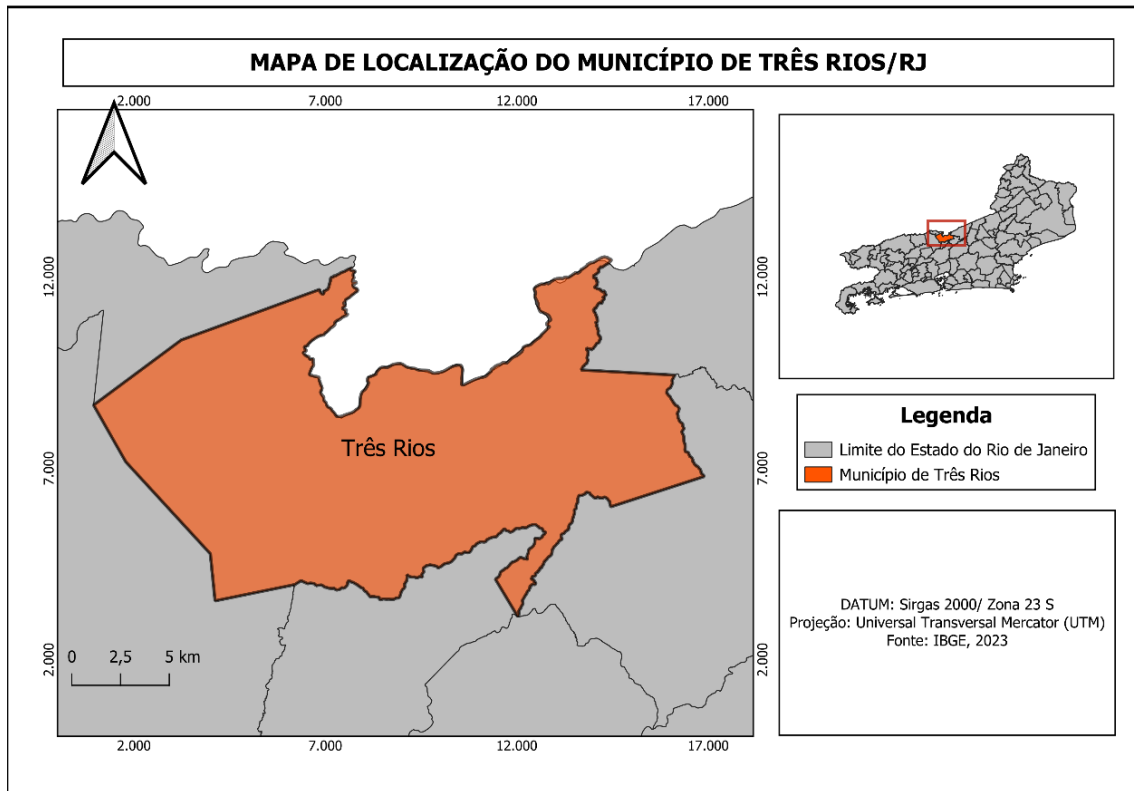


Fonte:Hotel Ibis Styles e Shopping Américo Silva (2013).

A microrregião de Três Rios/RJ é composta pelos seguintes municípios: Comendador Levy Gasparian; Paraíba do Sul; Sapucaia.

De acordo com o censo demográfico 2022, Três Rios possui cerca de 78.346 habitantes (IBGE, 2022). Ocupa atualmente, uma área territorial de 322,843km², apresenta topografia marcada por morros arredondados, com um relevo típico de vale, localizado entre rios que cortam o município, sendo eles o Rio Paraíba do Sul, Piabanha e Rio Paraibuna. O rio Paraíba do Sul é o principal, pois corta a cidade de oeste a leste, margeando a sede municipal (Fonseca, 2019).

Figura 4-Localização do Município de Três Rios (RJ)



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Em relação a aspectos físicos do município, de acordo com Gomes *et al.*, (2013), Três Rios apresenta clima mesotérmico, com verão quente e chuvoso, e temperatura variando de 14,2°C até 37,4°C. Inserido no Bioma Mata Atlântica, com fitofisionomias originais que prevaleceram são a Floresta Ombrófila e a Floresta Estacional Semidecidual (Estudo Ambiental, 2011). No entanto, os fragmentos florestais encontram-se em uma pequena porcentagem, sendo de apenas 0,1% de sua cobertura florestal original (Costa, 2017). Tal fator resultou da exploração excessiva de seus recursos naturais, com expressivas mudanças de uso do solo, substituindo as florestas nativas por áreas agrícolas, pastos, áreas urbanas e industriais (Silvério Neto, 2014).

O IBGE (2018) caracteriza a área do município de Três Rios pela ocorrência de Argissolos Vermelho-Amarelos Eutrófico e Argissolo Vermelhos Distrófico. O mapa geológico em escala 1:100.000 da folha Três Rios, publicado pela CPRM (Valladares, 2009) caracteriza a área em questão como uma intercalação de rochas do Complexo Quirino e rochas do Complexo Paraíba do Sul.

O Município de Três Rios encontra-se inserido na grande feição estrutural do lineamento Além Paraíba, mais bem conhecido como Zona de Cisalhamento Além Paraíba, onde as rochas descritas acima apresentam textura milonítica de alto grau e foliação subvertical.

Conforme Trindade *et.al.*, (2024), nas últimas décadas o município tem apresentado um rápido crescimento econômico, alavancado pela instalação de inúmeras empresas atraídas pelo incentivo fiscal. Esse representativo crescimento modificou o esquema de incentivos, particularmente no que se refere às decisões de cunho locacional. Devido ao intenso influxo de capital e mão de obra realizada, o que interferiu nas decisões de localização o que tem influenciado as transformações do espaço urbano.

Salienta-se que o crescimento industrial de Três Rios foi impulsionado por uma combinação de fatores, como as isenções fiscais e sua localização estratégica. A cidade se beneficia de uma posição geográfica privilegiada, com acesso fácil a três das maiores capitais do país: Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte.

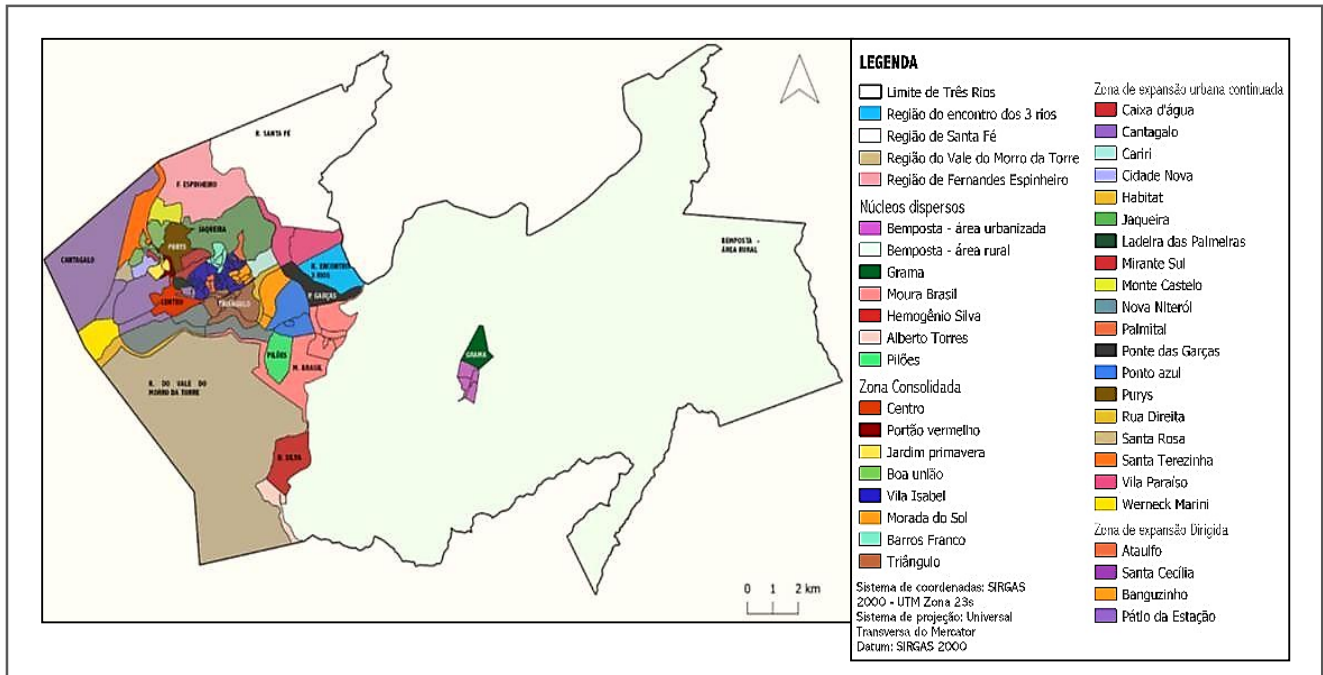
As conexões rodoviárias impulsionaram uma transformação local acelerada, alinhado com a industrialização nacional. Em função da intensificação do transporte de matérias-primas, mercadorias e indivíduos, o município experimentou impactos significativos na paisagem e na dinâmica urbana.

Três Rios é uma cidade predominantemente urbana, com 97% da população vivendo em áreas urbanizadas, divididas em pelo menos 60 localidades que cobrem cerca de um quarto do território municipal. No entanto, a cidade ainda conserva uma parte significativa de área rural com potencial para desenvolvimento (Lopes; Drach, 2023).

Com o mapa esquemático de uso e ocupação do terreno em Três Rios, é possível observar uma forte ocupação da área urbana na cidade, distribuída entre 36 bairros conforme a Figura 5, que mostra a distribuição dos mesmos.

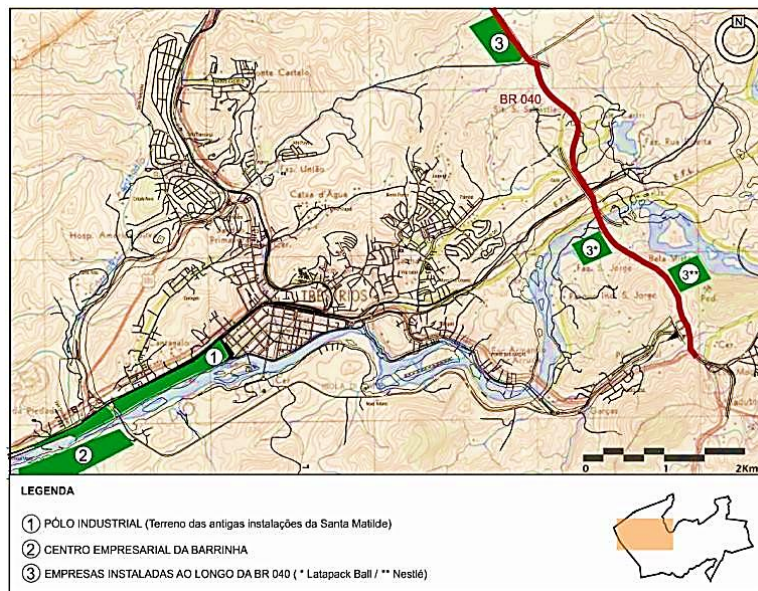
Lopes e Drach (2023) apontam que o município só possui regulamentação legal majoritária, ou seja, um plano diretor, há cerca de 30 anos. Essa relativa novidade legislativa está diretamente relacionada à existência de muitas moradias em locais inapropriados ou que não atendem aos parâmetros urbanos atuais. Atualmente, a expansão do município de Três Rios tem se intensificado as margens do rio Paraíba do Sul (Figura 6).

Figura 5-Localidades do município de Três Rios



Fonte:Drach (2023). Adaptado pela autora (2025).

Figura 6-Localização polos industriais-Três Rios



Fonte: Almeida (2012).

Como é possível observar na Figura 6, o município passou por um crescimento, principalmente as margens do Rio Paraíba do Sul, com construções que ocupam grande parte dos loteamentos. Como resultado, a impermeabilização do solo, causada pela presença de

telhados e pela pavimentação de ruas, calçadas e pátios, dificulta a infiltração da água no solo e facilita o escoamento superficial. Dessa forma, com o aumento rápido do volume de água que não consegue infiltrar-se ou ser drenado sobrecarrega o sistema viário, causando alagamentos nas vias e áreas mais baixas da cidade. Além disso, a ocupação das margens do Rio Paraíba do Sul, muitas vezes invadindo a planície de inundação natural, agrava a situação. Durante períodos de chuvas intensas ou prolongadas, o aumento do escoamento superficial urbano se soma ao volume crescente do rio, resultando em inundações.

6 METODOLOGIA

De acordo com Gil (2017), essa pesquisa caracterizou-se como com exploratória e descritiva. Segundo o mesmo autor, exploratória em seu início, pois visa proporcionar maior familiaridade com a complexa interação entre o Crescimento Urbano, as Áreas de Alagamento e os Eventos Extremos no município de Três Rios, por meio de um aprofundamento na literatura (pesquisa bibliográfica) para refinar a delimitação do problema e construir o referencial teórico. Concomitantemente, a pesquisa é descritiva, pois seu objetivo central é retratar e descrever com precisão as características e a evolução do crescimento urbano no tempo e no espaço, bem como o padrão de ocorrência e os impactos dos eventos extremos na área de estudo. Para tanto, será empregada a pesquisa documental, utilizando dados já registrados, como censos, mapas e relatórios técnicos, para a descrição detalhada das variáveis do fenômeno em Três Rios.

Assim, para a execução dos objetivos propostos nesse trabalho, foram definidas as seguintes etapas apresentadas no esquema (Figura 7).

Para analisar os fatores que potencializam e desencadeiam os eventos de alagamentos e inundações, foram considerados os condicionantes geomorfológicos da área de estudo, os condicionantes antrópicos relacionados ao uso e ocupação da terra e às alterações impostas pela urbanização e os condicionantes climáticos.

[Figura 7-Esquema resumido das etapas metodológicas]



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

6.1 LEVANTAMENTO DE DADOS BIBLIOGRÁFICOS

A primeira etapa desta pesquisa consiste no levantamento de uma bibliografia base que auxiliou na preparação das ideias apresentadas. Nesta fase, também foram selecionados estudos de gestão regionais e que abrangessem a área escolhida.

Posteriormente, foram reunidas reportagens de páginas da internet e de jornais locais – “Globo Sul do Rio e Costa Verde-G1”, “Entre Rios Jornal”, “Reclamações TR”, “Cobrador TR” e “Motoboy TR”, que serviram como instrumento de auxílio para determinar as datas que ocorreram os eventos extremos, e os principais pontos de alagamento e inundação. Ressalta-se que o município carece de um órgão gestor que registre e mapeie as áreas afetadas por inundações e alagamento. A pesquisa em jornais e páginas da internet foram essenciais para o desenvolvimento do trabalho. Nesta etapa, ainda com o auxílio de páginas e jornais locais, foi possível a obtenção de registros de imagens dos pontos de alagamentos e inundações.

Para o levantamento dos impactos das chuvas no município de Três Rios, foi estabelecido um recorte temporal de nove anos, abrangendo o período de 2015 a 2023. A

obtenção de informações sobre esses impactos foi realizada principalmente por meio dos registros de jornais e mídias locais.

É crucial destacar que essa seleção de eventos, baseada primariamente em reportagens locais, não representa a totalidade da realidade histórica da precipitação no município. O recorte inclui apenas os eventos noticiados pela mídia local, uma vez que o município carece de um órgão específico responsável por manter registros sistemáticos e detalhados dos eventos de precipitação extrema ocorridos em anos anteriores.

A seleção específica dos meses e anos para a análise foi determinada pela ocorrência de altos volumes de precipitação e eventos extremos que atingiram a cidade. Os meses e anos destacados são:

- 2015: Novembro
- 2016: Janeiro
- 2017: Janeiro
- 2018: Março
- 2019: Fevereiro
- 2020: Dezembro
- 2021: Janeiro e Dezembro
- 2022: Fevereiro
- 2023: Outubro

6.2 COLETA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS E ORGANIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Os dados pluviométricos utilizados nesta pesquisa foram obtidos no portal HIDROWEB da Agência Nacional de Águas (ANA). A coleta focou na série histórica de dados diários de precipitação abrangendo o período de 1957 a 2023 (totalizando 67 anos), provenientes de duas estações meteorológicas localizadas no município de Três Rios/RJ:

Tabela 1- Dados das Estações Meteorológicas

Nome da Estação	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)
MOURA BRASIL	2243015	-22.1403	-43.1542	278
ILHA DOS POMBOS	2243206	--22.1417	-43.2156	679

Fonte: Elaborada pela a autora (2024).

Posteriormente os dados coletados foram transferidos para o Excel, onde foram tratados para gerar:

1. Gráficos de Precipitação Diária por Ano: Utilizados para identificar e destacar os principais picos de chuva mensais;
2. Tabelas: Criadas para registrar os meses em que ocorreram eventos com alto volume de precipitação.

Ressalta-se que análise do tempo de retorno dos eventos extremos não foi totalmente desenvolvida nesta pesquisa, em decorrência de limitações metodológicas que inviabilizaram o aprofundamento dessa etapa analítica.

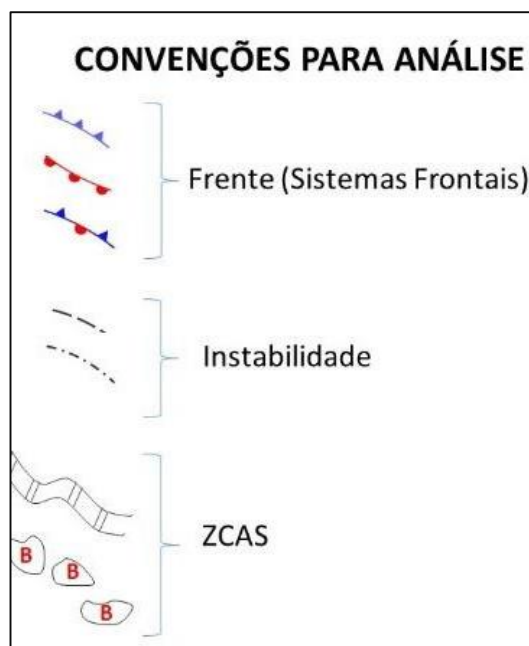
6.3 IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS

Após executado o levantamento da distribuição da precipitação, foram identificados os principais eventos extremos e suas datas de ocorrência com base nos dados de noticiais locais, no período de nove anos. Para a identificação dos eventos extremos, utilizou-se as cartas sinóticas que representam atmosfera graficamente e o registro da passagem de sistemas atmosféricos atuantes. O material foi obtido por meio do CHM (Centro de Hidrografia da Marinha). O levantamento ocorreu analisando diariamente as Cartas Sinóticas da Marinha, para o horário das 12 horas, sendo este o horário considerado ideal, dado que a das 00 horas seriam mais representativas do dia anterior ou posterior, que do dia estudado.

As cartas sinóticas são elaboradas a partir dos dados de campos de pressão atmosférica, tendo como objetivo é permitir a visualização e o estudo dos principais sistemas meteorológicos que influenciam o clima, tais como os sistemas Frontais (frentes frias e quentes), massas de ar (sua origem, características e movimento) e as Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), o que permite identificar e analisaras condições meteorológicas específicas que estavam atuando e prevaleceram nos dias em que os eventos de precipitação foram identificados.

Optou-se por considerar como passível de ter influenciado no tempo e formação das chuvas diárias, todos os “mecanismos” que estivessem em atuação dentro de um quadrante (Figura 8). A escolha se deu para facilitar a visualização dos sistemas atmosféricos atuantes.

Figura 8-Convenções utilizadas para a análise sinótica



Fonte: Oliveira e Ferreira (2021). Adaptada pela autora (2025).

6.4 TRATAMENTO DE DADOS EM SIG E PRODUÇÃO DE MAPAS

É importante ressaltar que a elaboração de um mapa de risco de inundação requer a disponibilidade de mapas temáticos da área de estudo, contendo informações distintas e relevantes para a avaliação da suscetibilidade a inundação. Para o presente estudo, foram utilizados quatro mapas temáticos: declividade, hipsometria, uso e cobertura do solo, e pedologia, os quais forneceram os dados essenciais para a análise da suscetibilidade das áreas estudadas.

Os mapas utilizados neste estudo foram elaborados com o auxílio do software QGIS 3.40.14, um Sistema de Informações Geográficas de código aberto. Para a confecção dos mapas temáticos, foi estruturado um banco de dados geoespaciais com base na Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro, em escala 1:25.000, disponibilizada pelo IBGE (BC25_RJ, 2018; IBGE, 2023). Utilizaram-se ainda dados de cobertura e uso do solo do projeto MapBiomias (2022), com resolução espacial de 10 metros, recortados para o limite municipal de Três Rios. Todas as camadas foram padronizadas no sistema de referência SIRGAS 2000, Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 23S. Adicionalmente, foram integrados dados altimétricos do projeto FABDEM (*Forest And Buildings Removed Copernicus DEM*), com resolução de 30 metros.

Para a análise das áreas suscetíveis a alagamentos e inundações, foi utilizada a técnica AHP- Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process*) a qual consiste no estabelecimento de uma hierarquia de decisão baseada em diferentes níveis de importância. De acordo com Da Conceição *et al.*, (2019), esse método foi desenvolvido por Saaty na década de 1970.

A hierarquia de importância é criada por uma matriz quadrada $n \times n$ de comparação pareada, onde as linhas e colunas correspondem aos critérios, sendo o resultado igual à importância relativa do critério da linha face ao critério da coluna. Os critérios de importância na comparação pareada são definidos por uma escala de julgamento que vai de 1 a 9, onde o valor 1 equivale ao mínimo, e 9 o máximo de importância de um fator sobre o outro. De cada comparação são extraídos seus autovetores que correspondem ao grau de importância relativa de cada tema considerado. (Da Conceição *et al.*, 2019, p.91).

Dessa forma, com base em Saaty (1977), compreende-se que a metodologia apresentada fundamenta-se em uma matriz de comparação pareada, na qual cada elemento é comparado aos demais de acordo com critérios previamente definidos para a atribuição de pesos. Esse processo possibilita a construção de uma estrutura hierárquica de aplicação, denominada por Magalhães *et al.*, (2011) como Analytic Hierarchy Process (AHP). Assim, para este estudo foi considerado considerando a metodologia proposta por Caprario (2017) com os seguintes fatores: Declividade, Uso e ocupação do solo, Tipos de solo, Pluviometria e Hipsometria.

- Declividade: A declividade é um parâmetro determinante na análise da suscetibilidade a eventos hidrológicos, como inundações e alagamentos (Abidine; Abdelmansour, 2018; Cabrera; Lee, 2019; Rahmati *et al.*, 2016). Sua relevância reside na influência direta sobre a dinâmica do escoamento superficial, velocidade de fluxo, taxas de infiltração e formação de zonas de estagnação (Karymbalis *et al.*, 2021; Olii *et al.*, 2021). Nesse sentido, áreas de relevo plano ou suave-ondulado apresentam maior vulnerabilidade ao acúmulo de águas pluviais e fluviais em comparação a terrenos íngremes (Campioli; Vieira, 2019). Assim, o mapa consiste na representação das cinco classes de declividades encontradas na área de estudo.

- Uso e ocupação do solo: O padrão de uso e cobertura da terra exerce influência determinante sobre a dinâmica hidrológica local, regulando processos como a evapotranspiração, a infiltração e a interação entre os sistemas superficiais e subterrâneos (Karymbalis *et al.*, 2021). Enquanto

áreas vegetadas mitigam a suscetibilidade a inundações ao promoverem a retenção hídrica e a recarga do solo, o processo de urbanização — caracterizado pela expansão de superfícies impermeáveis e solos expostos — potencializa o escoamento superficial e reduz drasticamente a capacidade de infiltração (Olii *et al.*, 2021; Rahmati *et al.*, 2016). As classes de uso e ocupação do solo foram agrupadas nas seguintes categorias: Formação florestal; Silvicultura; Campo alagado e Área pantanosa; Formação Campestre; Pastagem; Mosaico de Usos; Área Urbanizada; Áreas não Vegetadas; Rio, Lago e Oceano.

- Solos: A pedologia exerce influência direta na dinâmica hídrica de uma bacia, uma vez que as propriedades do solo regulam as taxas de infiltração e o volume do escoamento superficial (Cabrera; Lee, 2019; Campioli; Vieira, 2019). Solos de textura argilosa ou que apresentam compactação superficial tendem a gerar um escoamento mais intenso, elevando a suscetibilidade a inundações. Em contrapartida, solos arenosos favorecem os processos de infiltração e percolação profunda, minimizando o acúmulo de água na superfície (Campioli; Vieira, 2019; Waqas *et al.*, 2021).

- Hipsometria: Conforme Olii *et al.*, (2021), a hipsometria é um fator decisivo para identificar áreas receptoras de água em uma bacia. O gradiente altimétrico orienta o deslocamento das águas das cabeceiras para as zonas de menor altitude, favorecendo a ocorrência de inundações em áreas rebaixadas (Amaya *et al.*, 2021; Waqas *et al.*, 2021). Adicionalmente, este parâmetro influencia a profundidade das cheias e a capacidade de retenção dos canais de drenagem durante eventos de extravasamento (Rahmati *et al.*, 2016).

-Pluviometria: Rincón *et al.* (2018) apontam a precipitação como a variável determinante nas cheias, ocorrendo quando o volume de água excede o limite de transporte dos canais. O excedente hídrico, gerado pela incapacidade de infiltração do solo sob chuvas intensas, converte-se em escoamento superficial direto (Cabrera; Lee, 2019), tornando áreas com altos índices pluviométricos mais vulneráveis a eventos de inundações e alagamento (Amaya *et al.*, 2021; Waqas *et al.*, 2021).

6.4.1 Atribuição de Valores

A atribuição de valores baseou-se no nível de vulnerabilidade a processos hidrológicos, variando entre 1 (baixa suscetibilidade) e 5 (alta suscetibilidade), conforme proposto por Schmidt e Barbosa (2016). Cabe ressaltar, para a reclassificação dos mapas foram atribuídos pesos que variam de 1 a 5, considerando as características do município de Três Rios. Ou seja,

quanto maior a suscetibilidade a inundação e alagamento, maior será o peso atribuído, e quanto menor o potencial de tais fatores, menor será o peso atribuído.

Conforme destacado por Santos *et al.*, (2010), a defini o dos valores   uma fase determinante na confec o de mapas de inunda o, dado que qualquer varia o nessa atribui o altera sensivelmente os resultados obtidos.

Os níveis de suscetibilidade   inunda o foram ajustados às especificidades da área de estudo, com base em revisões da literatura que abordam a temática e empregam o método AHP. Para tal, levaram-se em conta as características naturais da paisagem, como o relevo e a vegeta o nativa, assim como as interven es antrópicas presentes no município de Três Rios (Tabela 2).

Tabela 2- Variáveis metodológicas

Vari�vel	Classes	Grau de Suscetibilidade � Inunda�o
Uso e Ocupa�o da Terra	Forma�o florestal	1
	Silvicultura	3
	Campo alagado e �rea pantanosa	5
	Forma�o campestre	2
	Pastagem	3
	Mosaico de usos	3
Declividade	0,0 – 6,0%	5
	6,0 – 12,0%	4
	12,0 – 30,0%	3
	30,1 –100,00%	2
	100 – 170%	1
Hipsometria	243,50-368,41m	5
	368,41-493,33m	4
	493,33-618,24m	3
	618,24-743,16m	2
	743,16-869m	1
Pluviometria	100,76-126,91	1
	126,91-153,06	2
	153,06-179,22	3
	179,22-205,37	4
	205,37-232	5
Pedologia	Latossolos vermelho- amarelos distr�ficos	2
	Cambissolos haplicos tb eutroficos	3
	Argissolos vermelhos distr�ficos	5

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

6.4.2 Determinação do processo analítico hierárquico (AHP) e dos fatores de influência

O método Analytic Hierarchy Process (AHP) é descrito pelo *Decision Support Systems Glossary* (DSS, 2006) como uma abordagem de apoio à tomada de decisão que consiste na organização de múltiplos critérios de escolha em uma estrutura hierárquica.

Segundo Silva (2007), a ideia central da teoria da Análise Hierárquica proposta por Saaty (1977) consiste em reduzir o estudo de sistemas a uma sequência de comparações par a par, com o objetivo de minimizar inconsistências. Nesse contexto, a construção da matriz de decisão baseou-se na escala fundamental de Saaty (1977) (Tabela 3), a qual estabelece, de forma linear, a hierarquia de importância entre os fatores considerados, a saber: uso e ocupação da terra, declividade e hipsometria.

Tabela 3- Escala de comparadores.

Valores	Importância Mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante que
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Modificado de Saaty (1977).

Com base nessa escala de comparação, foi elaborada, por meio da plataforma online *AHP Priority Calculator*, a matriz de comparação pareada (Tabela 4), na qual cada elemento expressa o grau de importância do fator apresentado na coluna à esquerda em relação ao fator correspondente da linha superior. Assim, quando um fator é comparado consigo mesmo, o valor atribuído é 1, uma vez que ambos apresentam a mesma importância (Soares, 2018).

Tabela 4 Matriz de comparação dos fatores.

Fatores	Pluviometria	Hipsometria	Declividade	Uso da terra	Pedologia	Pesos
Pluviometria	1	4	0.50	0.33	7	0,183
Hipsometria	0.25	1	0.17	0.20	2	0,059
Declividade	2	6	1	0.33	8	0,272
Uso da terra	3	5	3	1	7	0,45
Solos	0.14	0.50	0.12	0.15	1	0,036

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Nesse sentido, o uso e ocupação do terreno foi definido como o fator de maior importância entre os cinco analisados (pluviometria, hipsometria, declividade, uso da terra e pedologia), em razão de sua influência sobre a dinâmica hidrológica local, a expansão urbana de forma desordenada marcado pela ampliação de superfícies impermeáveis e pela presença de solos expostos, o que intensifica o escoamento superficial e reduz de forma significativa a capacidade de infiltração do solo.

Após a determinação dos pesos atribuídos a cada fator, aplicou-se a expressão para álgebra de mapas com o objetivo de identificar as áreas com maior suscetibilidade à inundação, conforme apresentado na Equação 1 (Eq. 1). Sendo: FS - Fator de Suscetibilidade; P - Pluviometria; H - Hipsometria; D - Declividade; U - Uso e ocupação do solo; e S - Solos.

$$FS = (0,183 * P) + (0,059 * H) + (0,272 * D) + (0,45 * U) + (0,036 * S)$$

Por fim, durante a elaboração do mapa de suscetibilidade à inundação e ao alagamento do município de Três Rios, a validade da expressão foi verificada por meio do software QGIS 3.40.14, um Sistema de Informações Geográficas de código aberto. Em seguida, o mapa de suscetibilidade foi gerado, sendo necessária apenas a adequação de sua simbologia.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 ANÁLISE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS E A OCORRÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS

Os alagamentos e inundações urbanas são decorrentes de uma extrema quantidade de precipitação local, em curto período de tempo, juntamente com a ineficiência dos sistemas de drenagem e das áreas impermeabilizadas.

A tabela 5 apresenta os principais eventos de precipitação registrados nas estações pluviométricas, Moura Brasil e Ilha dos Pombos, no período de nove anos. Tendo em vista que

essa seleção facilita a análise e comparação aos principais eventos de alagamentos e inundações registradas pela mídia local de Três Rios.

Tabela 5 -Principais eventos de chuvas extremas registradas nos anos 2015-2023 nas estações Moura Brasil e Ilha dos Pombos

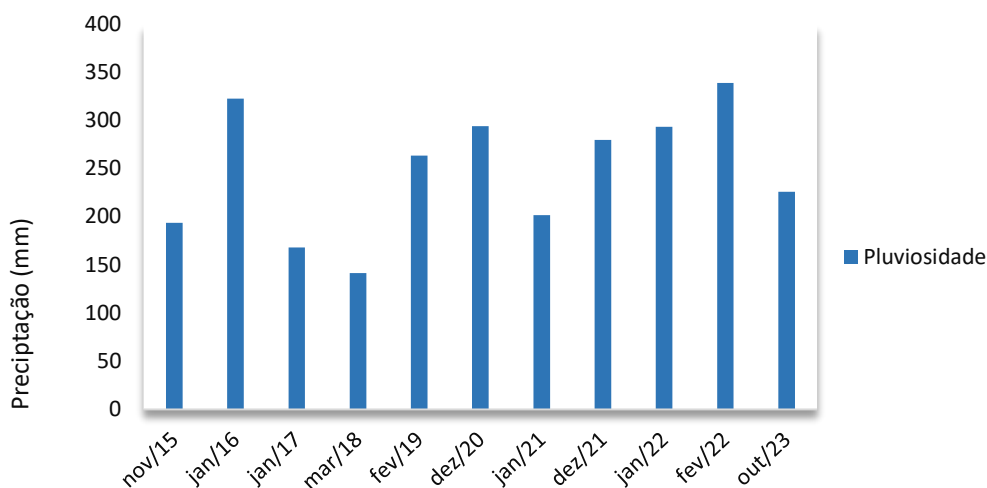
Mês/Ano	Precipitação mensal (mm)
Novembro/2015	193,4
Janeiro/2016	322,3
Janeiro/2017	167,8
Março/2018	141,4
Fevereiro/2019	263,4
Dezembro/2020	293,8
Janeiro/2021	201,4
Dezembro/2021	279,5
Fevereiro/2022	338,7
Outubro/2023	225,6

Fonte: Dados das estações Moura Brasil e Ilha dos Pombos (2015-2023). Elaborada pela autora (2025).

A partir da análise sinótica dos últimos nove anos, considerando os meses selecionados na Tabela 5, foi possível identificar a frequência de atuação dos principais sistemas atmosféricos na região. A análise do gráfico de precipitação evidencia a ocorrência recorrente de eventos de chuva intensa, os quais apresentaram uma leve tendência de aumento ao longo dos anos analisados, com uma média anual de aproximadamente sete eventos intensos.

No intervalo entre 2015 e 2023, observou-se uma maior recorrência de eventos de precipitação extrema nos anos de 2016, 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023, evidenciando um padrão de intensificação desses episódios ao longo da série temporal analisada. Dentre esses anos, 2022 se destacou por apresentar o maior volume de precipitação acumulado em um único mês, resultado associado à atuação persistente de sistemas atmosféricos favoráveis à ocorrência de chuvas intensas, o que potencializou os impactos hidrológicos e o risco de inundações na área de estudo.

Gráfico 1- Volume de precipitação no período de 9 anos em Três Rios



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

O mês de novembro de 2015 destacou-se como o mais chuvoso nos registros pluviométricos do município de Três Rios, apresentando um volume de precipitação significativamente superior à média histórica para o período, com acumulado de 193,4 mm (Gráfico 2). Em 30 de novembro de 2015, jornais locais noticiaram a ocorrência de alagamentos e quedas de árvores na região central do município, associados à atuação de ventos intensos concomitantes às precipitações (Figura 9).

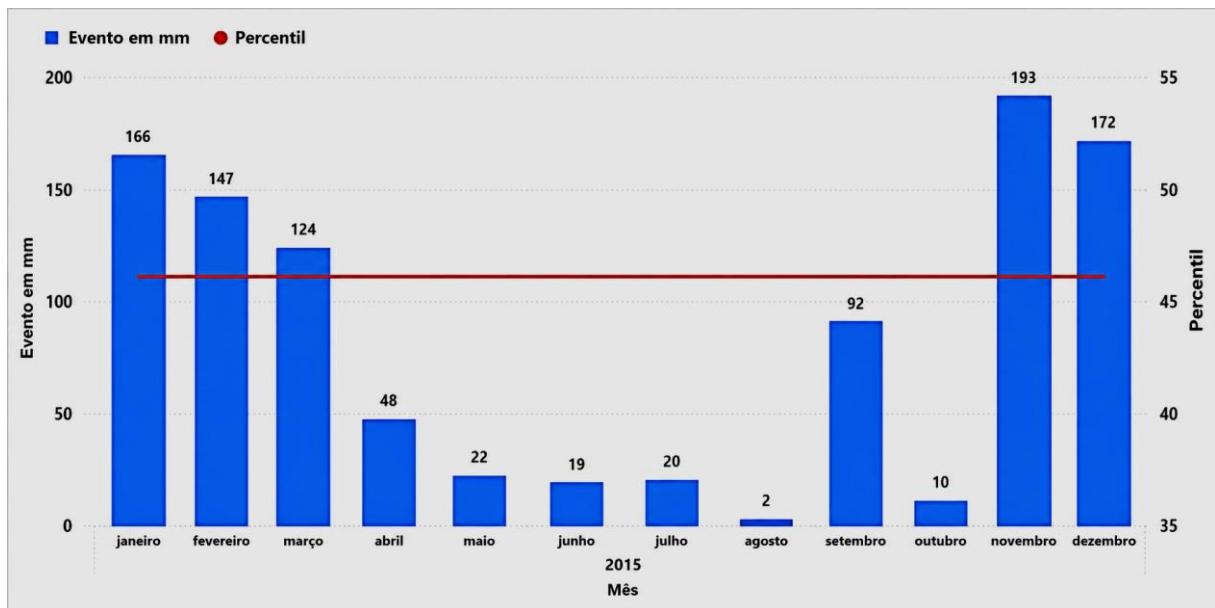
Conforme dados das cartas sinóticas entre os dias 08 e 30 de novembro (Figura 10), esse aumento na precipitação foi resultado da atuação de sistemas frontais sobre a Região Sudeste, que provocaram chuvas volumosas e acima do esperado em diversas localidades, incluindo Três Rios. Borsato (2016) destaca que os Sistemas Frontais, são resultantes da interação entre o ar polar da Massa Polar Atlântica (MPa) e o ar quente das latitudes médias e tropicais do continente, que são frequentemente acompanhados de chuvas, mas carecem de uma tipologia padrão. Assim, cada ocorrência de sistema frontal apresenta características próprias, já que atua ao longo de todas as estações do ano no litoral Sul e Sudeste do Brasil, recebendo influências de outros sistemas sazonais de acordo com o período do ano.

Figura 9-Ocorrência registrada no dia 30/11/2025(Centro)



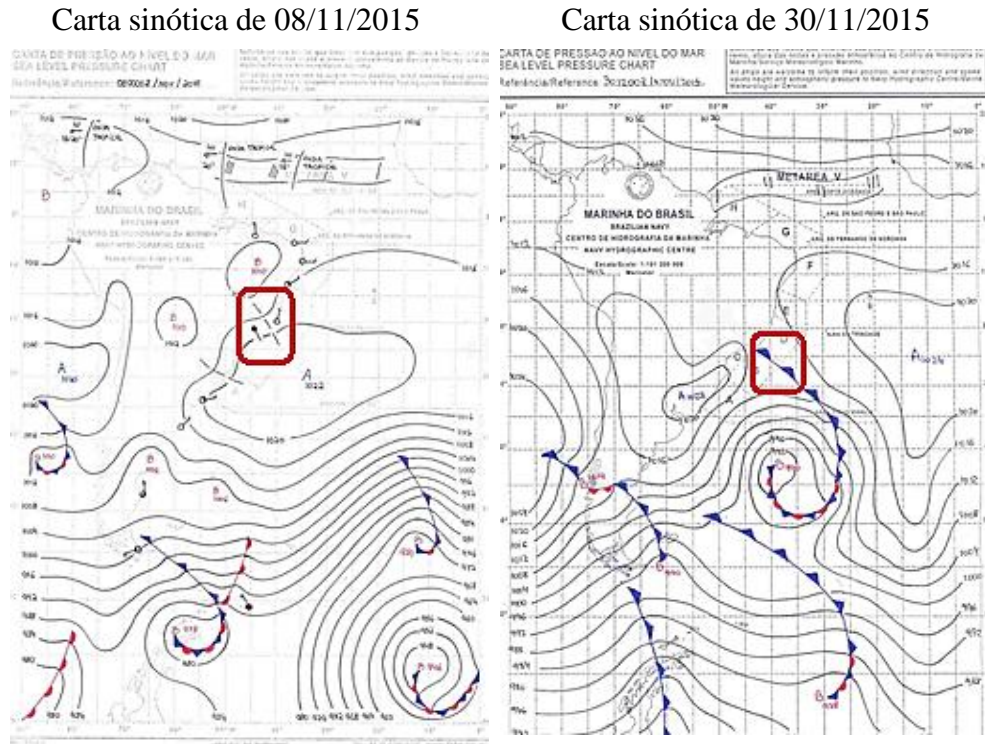
Fonte: G1, Globo (2015).

Gráfico 2-Volume de Precipitação em 2015



Fonte: Elaborada pela autora. (2024).

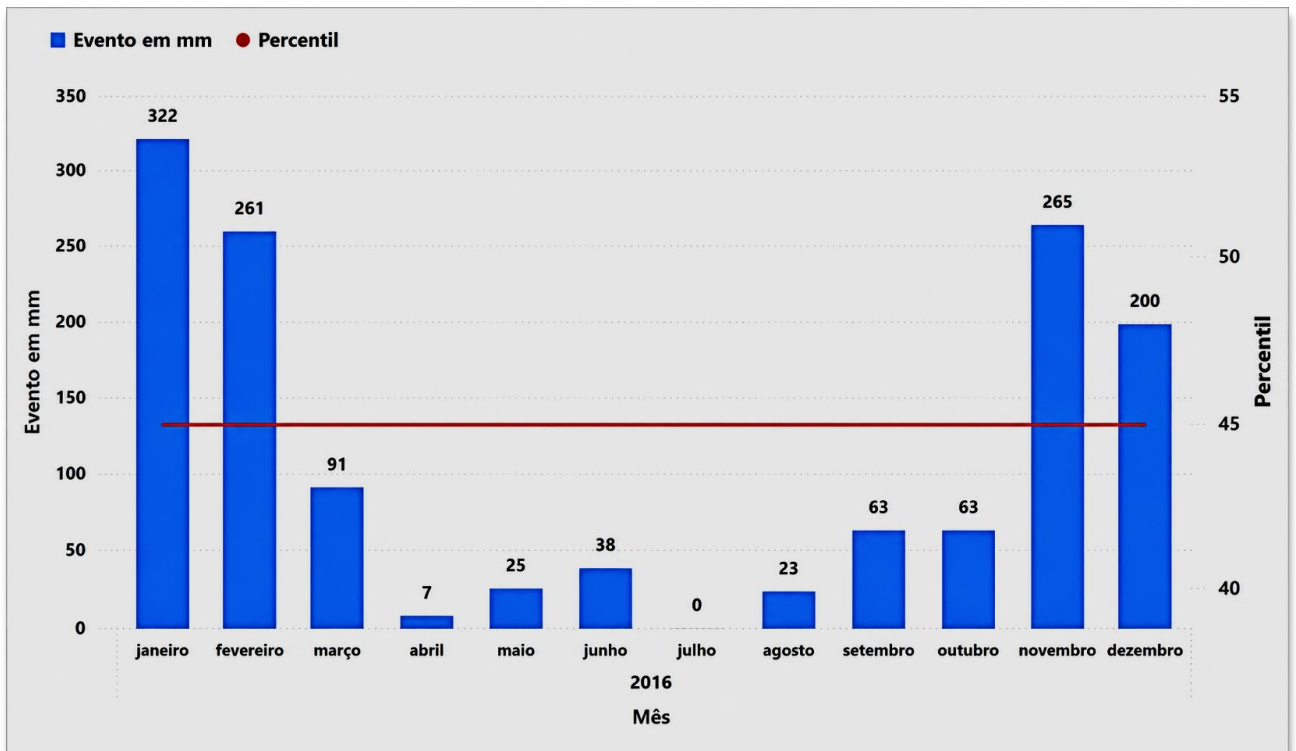
Figura 10-Cartas sinóticas nos dias 08 e 30 de novembro de 2015



Fonte: Marinha do Brasil, Centro de Hidrografia da Marinha (2015).

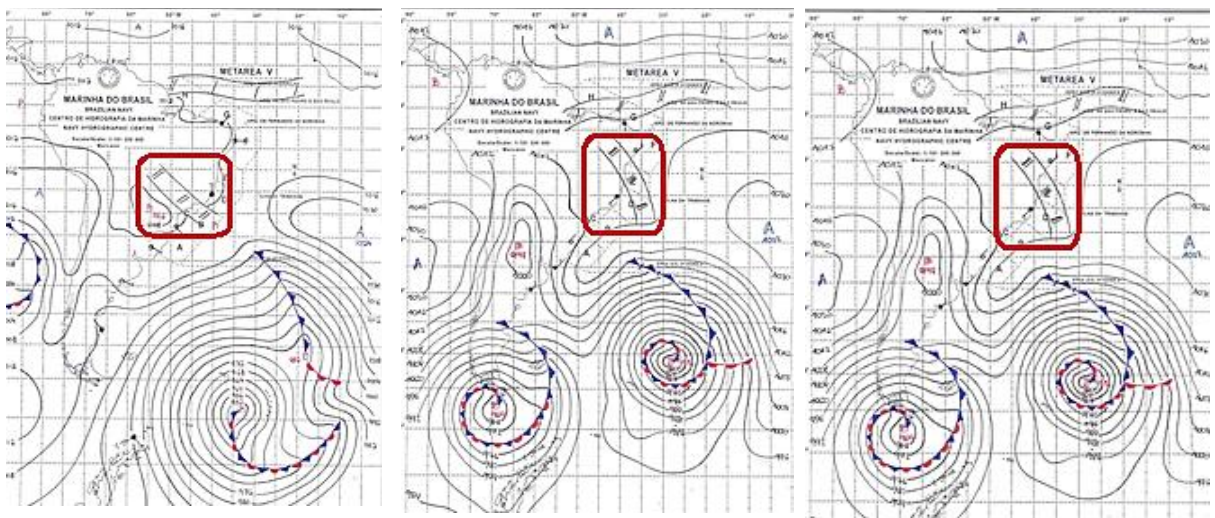
Em janeiro de 2016, conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a formação de um sistema de baixa pressão sobre o Oceano Atlântico, no dia 13/01, favoreceu o estabelecimento de um episódio da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), atuante entre os dias 14 e 24/01/2016 (Figura 11). A atuação desse sistema contribuiu para a ocorrência de chuvas intensas, ocasionando transbordamentos de rios e diversos transtornos à população em diferentes localidades da Região Sudeste. De acordo com os dados da estação meteorológica da Ilha dos Pombos, o total mensal de precipitação registrado em janeiro atingiu 322,3 mm (Gráfico 3). Embora não haja registros específicos do volume pluviométrico exato para o município de Três Rios, tampouco relatos de alagamentos divulgados pela mídia local nesse período, é reconhecido que o mês apresentou precipitações acima da média histórica em diversas áreas do Sudeste brasileiro. Para fins de comparação, a média climatológica de precipitação para o mês de janeiro em Três Rios é de 235 mm (Clima Tempo, 2015).

Gráfico 3-Volume de Precipitação em 2016



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 11-Cartas sinóticas nos dias 14, 19 e 24 de janeiro de 2016



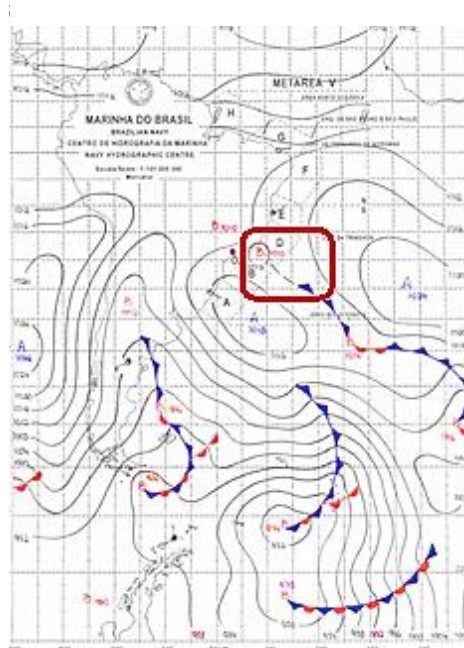
Fonte: Marinha do Brasil, Centro de Hidrografia da Marinha (2016).

Em 2017, o total mensal para o mês de janeiro foi de 167,8mm (Gráfico 4). Neste mês predominou a atuação de sistemas frontais e a formação de cavados atmosféricos (Figura 12),

levando a um significativo acumulo de precipitação. Conforme Borsato (2016), a Massa Polar Atlântica (MPa) desempenha um papel fundamental ao empurrar o ar quente tropical e formar os sistemas frontais (SF), contribuindo para a formação de cavados de oeste para leste, o que intensifica a instabilidade atmosférica e pode, em alguns casos, fortalecer o sistema frontal e provocar chuvas mais intensas.

A atuação desses sistemas atmosféricos resultou em uma série de impactos significativos no município de Três Rios. Conforme noticiado pelo portal *GI Sul do Rio e Costa Verde*, em 13 de janeiro, foram registrados diversos pontos de alagamentos após a ocorrência de chuvas intensas. Ressalta-se que, em um único dia, o acumulado pluviométrico atingiu aproximadamente 100 mm, valor que corresponde a cerca de 36% do total médio esperado para todo o mês, estimado em 280 mm. Esse elevado volume concentrado em curto intervalo de tempo ultrapassou os limiares de drenagem urbana, favorecendo o extravasamento de cursos d'água e a sobrecarga do sistema de escoamento superficial. Além dos alagamentos (Figura 13), foi registrada a ocorrência de um episódio de deslizamento (Figura 14), evidenciando a suscetibilidade de determinadas áreas do município a movimentos de massa associados a eventos de precipitação extrema. Esses impactos reforçam a relação entre a intensidade das chuvas, as características geomorfológicas locais e a vulnerabilidade da ocupação urbana, aspectos fundamentais para a análise do risco hidrológico e geotécnico na área de estudo.

Figura 12-Cartas sinóticas no dia
13/01/2017



Fonte: Marinha do Brasil, Centro de Hidrografia da Marinha (2017).

Figura 13-Alagamentos registrados no dia 13/01/2017



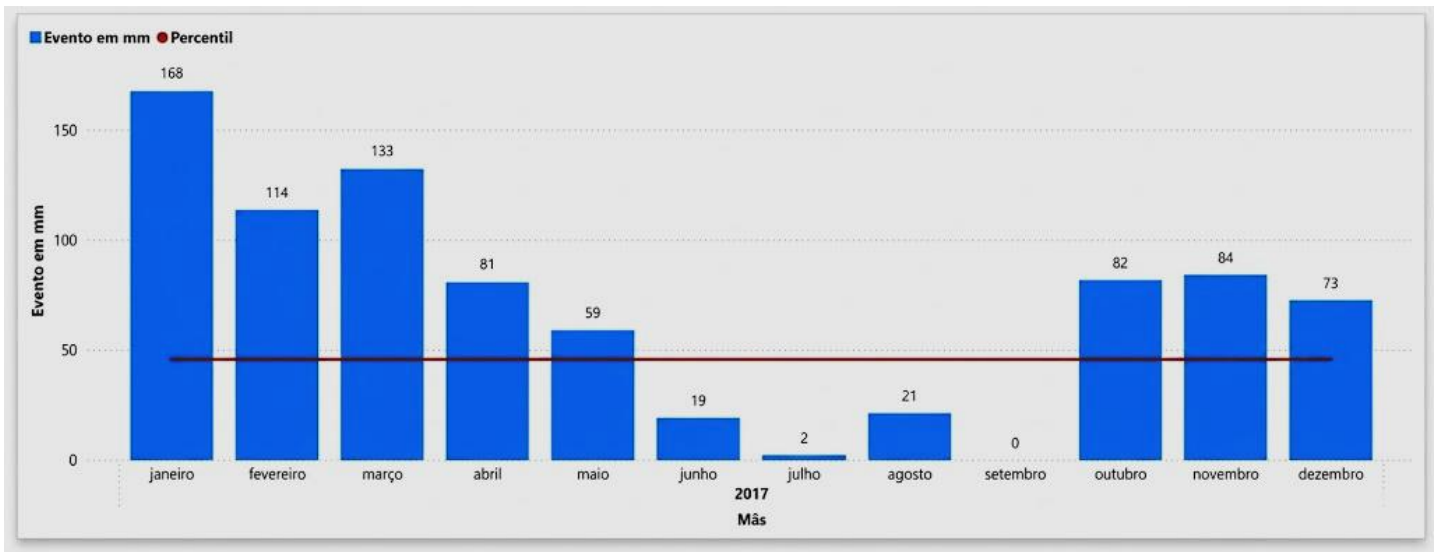
Fonte: G1 Globo (2017).

Figura 14-Episódio de deslizamento no dia 13/01/2017



Fonte: G1 Globo (2017).

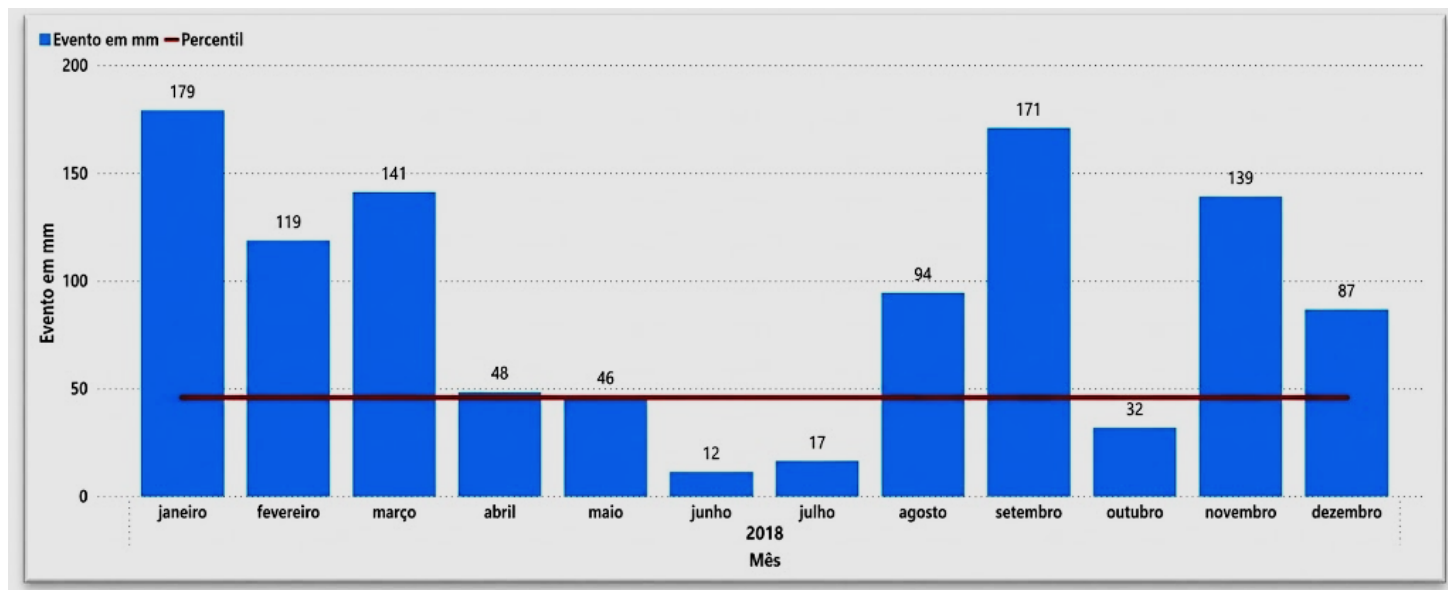
Gráfico 4- Volume de Precipitação em 2017



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

O mês de março de 2018 registrou um total pluviométrico de 141,4 mm (Gráfico 5). Esse volume foi influenciado pela atuação do fenômeno *La Niña*, em sua fase de fraca intensidade, e pela presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que favoreceu episódios de precipitação intensa entre os dias 4 e 10 de março. A análise das cartas sinóticas (Figura 15) evidencia, no dia 4, a formação de cavados atmosféricos associados à configuração inicial da ZCAS, enquanto no dia 10 observa-se a intensificação e persistência do sistema, fatores que contribuíram para a ocorrência de chuvas volumosas na região.

Gráfico 5- Volume de Precipitação em 2018



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

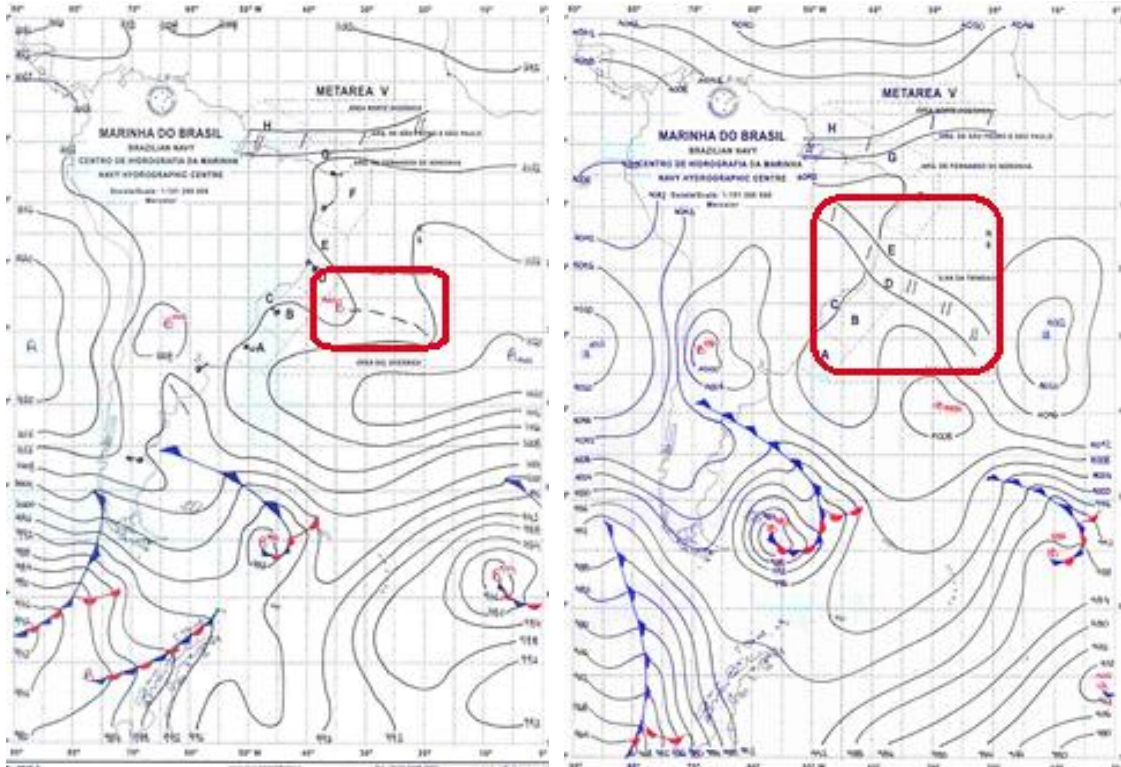
No que se refere aos impactos ocorridos no município de Três Rios, jornais locais registraram a ocorrência de diversos pontos de alagamentos entre os dias 4 e 10 de março, em decorrência das intensas precipitações pluviométricas. Tais eventos pluviométricos resultaram em impactos significativos para o município de Três Rios, incluindo alagamentos em áreas urbanas devido à sobrecarga do sistema de drenagem, demonstrando a vulnerabilidade de determinados setores da cidade a episódios de precipitação extrema.

As áreas mais afetadas concentraram-se, principalmente, na região central da cidade, onde o transbordamento de cursos d'água (córregos) e a sobrecarga do sistema de drenagem urbana resultaram em diversos pontos de alagamentos. Como consequência, diversos moradores ficaram ilhados, enfrentando dificuldades de deslocamento e acesso a serviços essenciais. Além disso, várias residências foram invadidas pela água, ocasionando prejuízos materiais, danos à infraestrutura urbana e riscos à saúde da população. As ocorrências evidenciam a vulnerabilidade de determinadas áreas do município a eventos extremos de chuva, bem como a necessidade de aprimoramento das políticas de planejamento urbano, drenagem e gestão de riscos hidrológicos.

Figura 15- Cartas sinóticas nos dias 04 e 10 de março de 2018

Carta sinótica de 04/03/2018

Carta sinótica 10/03/2018



Fonte: Marinha do Brasil, Centro de Hidrografia da Marinha (2018).

Figura 16- Impacto registrado no Centro de Três Rios no dia 04/03/2018



Fonte: G1 Globo (2018)

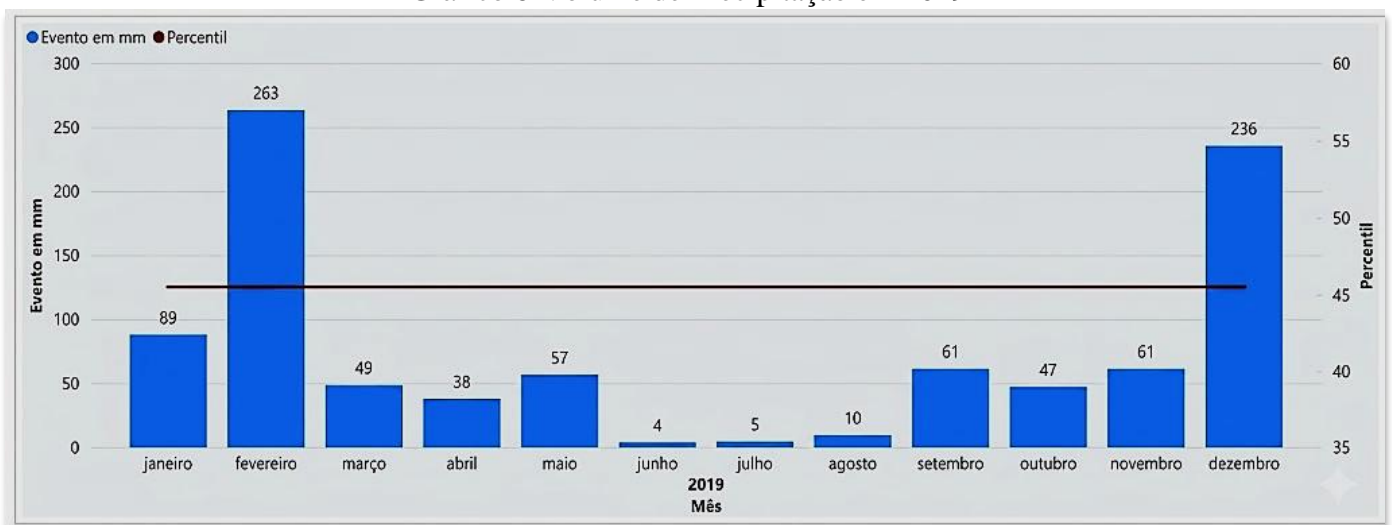
Figura 17-Ocorrências registradas em 06/03/18



Fonte: Jornal Entre Rios. (2018). Adaptado pela autora (2025).

Em fevereiro de 2019, o total mensal de precipitação registrado foi de 263,4 mm (Gráfico 6). Esse elevado volume pluviométrico esteve associado à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e à passagem de sistemas frontais sobre a região (Figura 18). Durante o mês, a maior concentração de chuvas ocorreu entre os dias 8 e 20 de fevereiro, período em que os sistemas atmosféricos favoreceram episódios de precipitação intensa no município de Três Rios.

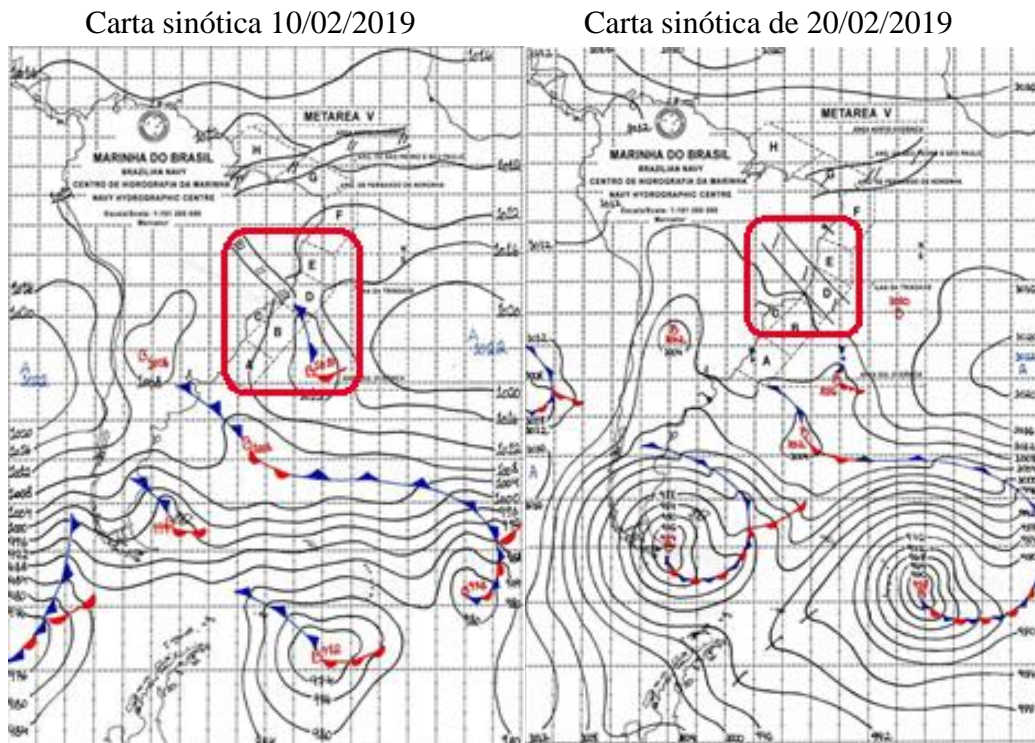
Gráfico 6-Volume de Precipitação em 2019



Fonte: Elaborada pela autora. (2024).

O alto volume de chuva ocasionou impactos locais, como alagamentos e transtornos no trânsito, especialmente em áreas com infraestrutura urbana mais vulnerável (Figuras 19 e 20). É importante destacar que eventos de chuva extrema podem ocorrer mesmo dentro de períodos de precipitação média, dependendo da intensidade e duração das chuvas.

Figura 18-Cartas sinóticas no dia 08 e 20 fevereiro de 2019



Fonte: Marinha do Brasil Marinha do Brasil, Centro de Hidrografia da Marinha (2019).

Figura 19-Ocorrência registrada em fevereiro de 2019

Jornal Entre Rios - 08/02/2019



Fonte: Jornal Entre Rios (2019).
Adaptado pela autora (2024).

Figura 20-Ocorrências registradas em fevereiro de 2019.
Jornal Entre Rios - 08/02/2019 Jornal Entre Rios - 21/02/2019



Fonte: Jornal Entre Rios (2019). Adaptado pela autora (2025).

Em dezembro de 2020, o município de Três Rios registrou um total mensal de precipitação de 293,8 mm (Gráfico 7), aproximando-se de 300 mm, valor significativamente acima da média histórica para o mês. No dia 26/12/2020, um episódio de chuva intensa ocasionou alagamentos em diversas ruas e deslizamentos de terra em diferentes pontos do município, além de pontos de inundação que comprometeram vias públicas, conforme noticiado pela mídia local. A concentração de precipitação intensa nesse curto período excedeu a capacidade de escoamento do sistema urbano, evidenciando a vulnerabilidade da infraestrutura e a suscetibilidade de determinadas áreas a eventos hidrológicos extremos.

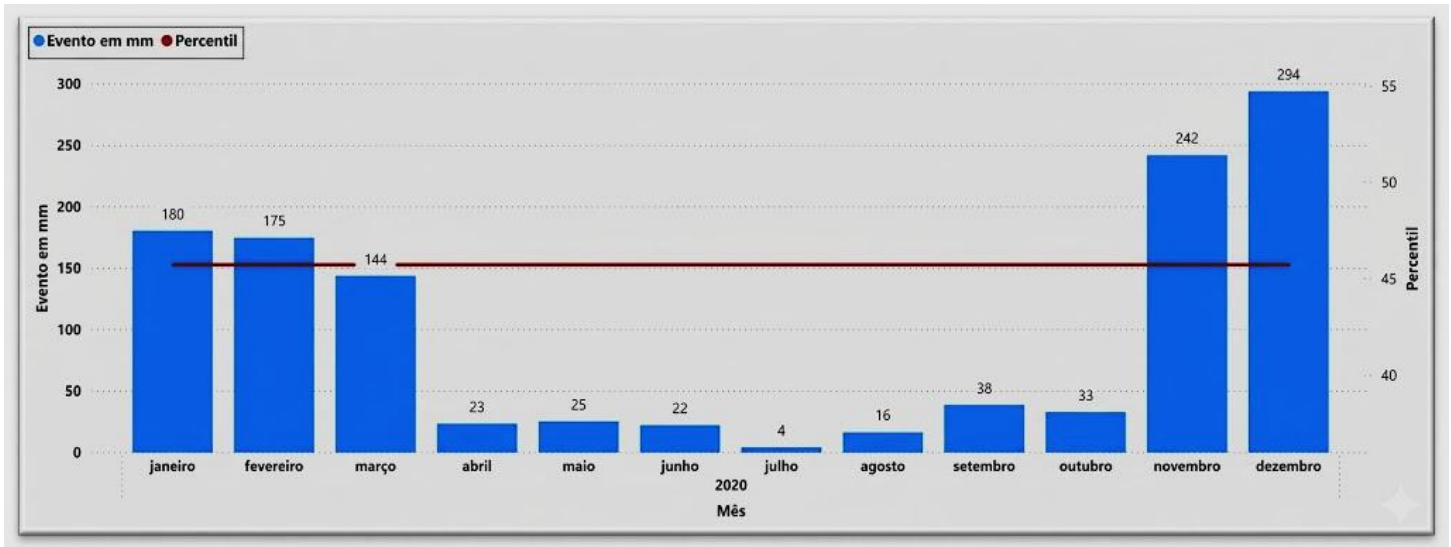
Do ponto de vista sinótico, observou-se a prevalência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) no dia 26 (Figura 21), sistema responsável pelo acúmulo significativo de precipitação no município, o qual desencadeou diversos impactos urbanos, incluindo alagamentos e deslizamentos.

Figura 21-Carta sinótica no dia 26 dezembro de 2020



Fonte: Marinha do Brasil, Centro de Hidrografia da Marinha (2020).

Gráfico 7- Volume de Precipitação em 2020



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

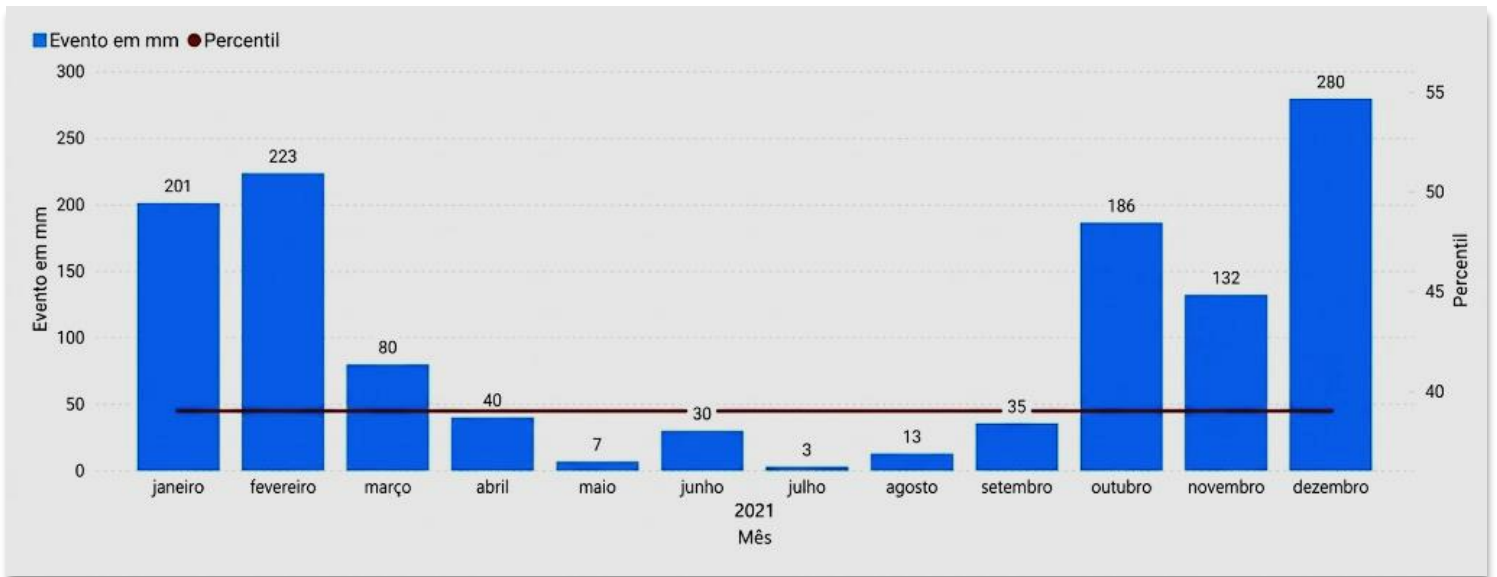
Figura 22-Impactos registrados na Rua Direita e na Av. Zoelo Sola no dia 26/12/2020



Fonte: G1, Globo (2020).

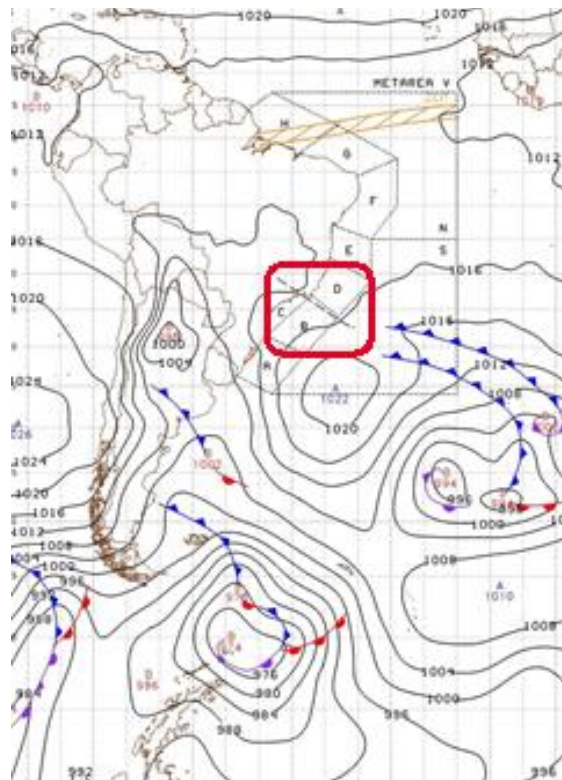
Posteriormente, no ano de 2021, foram registrados diversos eventos extremos de precipitação, acompanhados de impactos reportados pela mídia local. O total mensal de chuva atingiu 201 mm em janeiro e 279,5 mm em dezembro (Gráfico 8). Em 11 de janeiro, observou-se a formação de um cavado atmosférico (Figura 23), associada à atuação de sistemas frontais, que contribuíram para a ocorrência de elevados volumes de precipitação no município de Três Rios, gerando alagamentos e outros transtornos para a população.

Gráfico 8- Volume de Precipitação em 2021



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Figura 23-Carta sinótica no dia 11 janeiro de 2021



Fonte: Marinha do Brasil, Centro de Hidrografia da Marinha (2021).

O município de Três Rios recebeu destaque em diversos noticiários devido às fortes chuvas que atingiram a cidade, resultando em impactos significativos (Figuras 24 e 25). Entre os efeitos registrados, destacam-se diversos pontos de alagamentos e o trágico falecimento de uma criança, arrastada pelo veículo em que se encontrava durante a enxurrada. Do ponto de vista pluviométrico e sinótico, o episódio esteve associado à atuação de sistemas frontais intensos e à persistência de áreas de baixa pressão, que concentraram elevados volumes de precipitação em curto intervalo de tempo.

Figura 24-Impactos registrados nos bairros Vila Isabel e Purys dia 11/01/2021



Fonte: G1 Globo (2021).

Figura 25-Impactos registrados no dia 11/01/2021



Fonte: G1, Globo (2021).

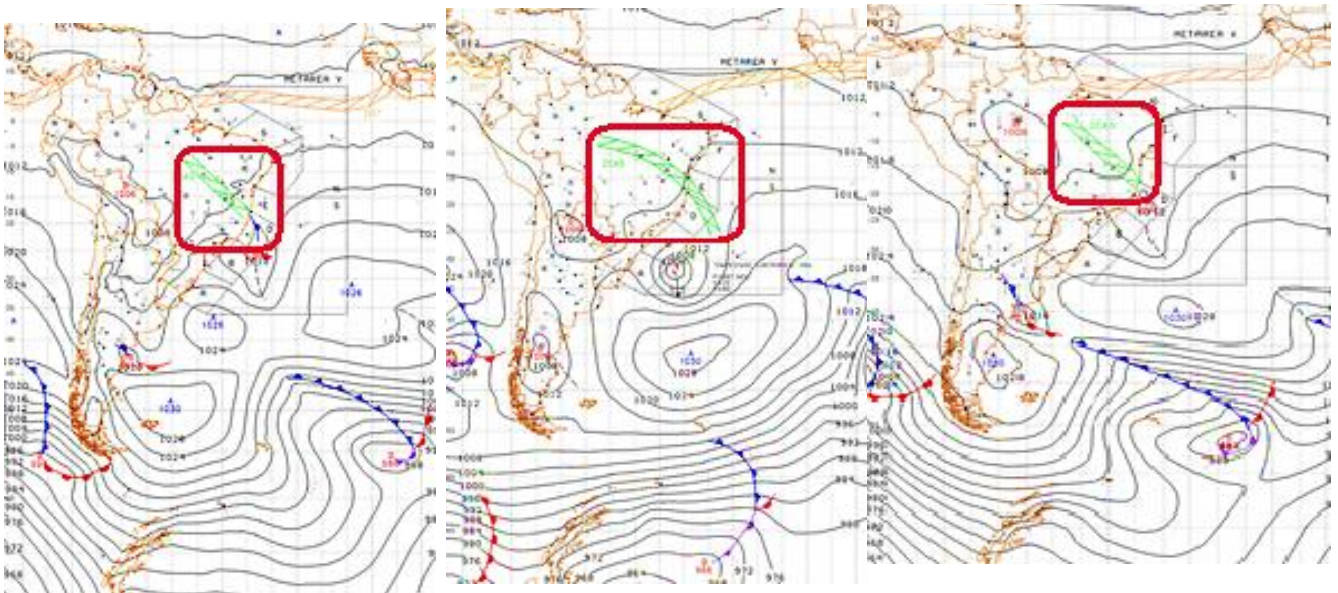
Em dezembro, a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), associada à formação de cavados entre os dias 8 e 10, resultou em um acumulado pluviométrico de 279,5 mm (Figura 26). No dia 10, a presença da ZCAS sobre as regiões Central e Norte do Brasil, combinada com a atuação de um sistema ciclônico, favoreceu o aumento da umidade atmosférica e a intensificação das precipitações sobre o município de Três Rios. Apesar do alto volume de chuva registrado pelas estações pluviométricas, não foram identificados registros de impactos noticiados mídia local.

Figura 26- Cartas sinóticas nos dias 09, 09 e 10 de dezembro de 2021

Carta sinótica de 08/12/2021

Carta sinótica de 09/12/2021

Carta sinótica 10/12/2021

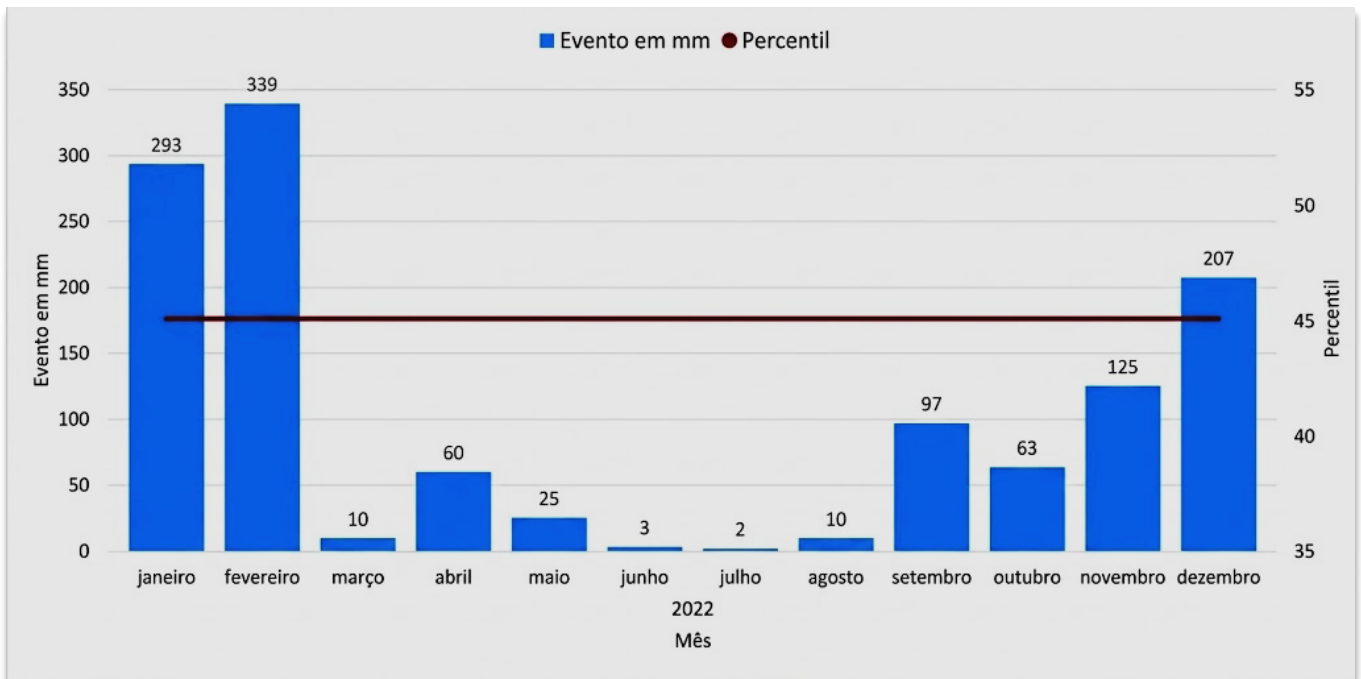


Fonte: Marinha do Brasil, Centro de Hidrografia da Marinha (2021).

Em fevereiro de 2022, foi registrado um total de 338,7mm (Gráfico 9), e novamente devido a ocorrência de episódios de ZCAS e a atuação de sistemas frontais, elevaram o total pluviométrico mensal, bem como engendraram a ocorrência de eventos intensos de precipitação.

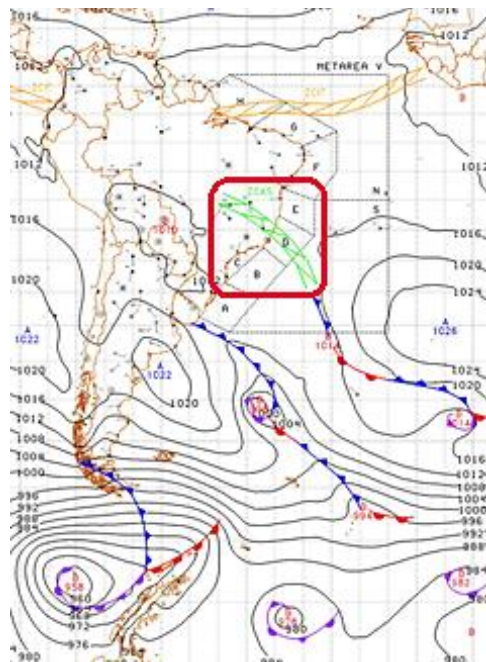
Conforme noticiado pela mídia local, entre os dias 16 e 17, o elevado volume de precipitação foi acompanhado de um forte vendaval, intensificando os impactos sobre a cidade.

Gráfico 9-Volume de Precipitação em 2022



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 27-Carta sinótica no dia 17 fevereiro de 2022



Fonte: Marinha do Brasil, Centro de Hidrografia da Marinha (2022).

Em relação aos impactos, foram registrados diversos pontos de alagamento (Figura 28), deixando pedestres ilhados e famílias em situação de riscos, com residências invadidas pela água. Além disso, o forte vendaval provocou danos estruturais, como a destruição parcial do telhado de um posto de gasolina, conforme figura 29. (Entre Rios Jornal, 2022), evidenciando a combinação de precipitação intensa e vento forte como fatores de risco para a população e a infraestrutura urbana.

Figura 28-Impactos registrados no dia 16/02/2022
(Av. Zoelo Sola)



Fonte: Entre Rios Jornal (2022).

Figura 29-Impactos registrados no dia 16/02/2022 (Centro)



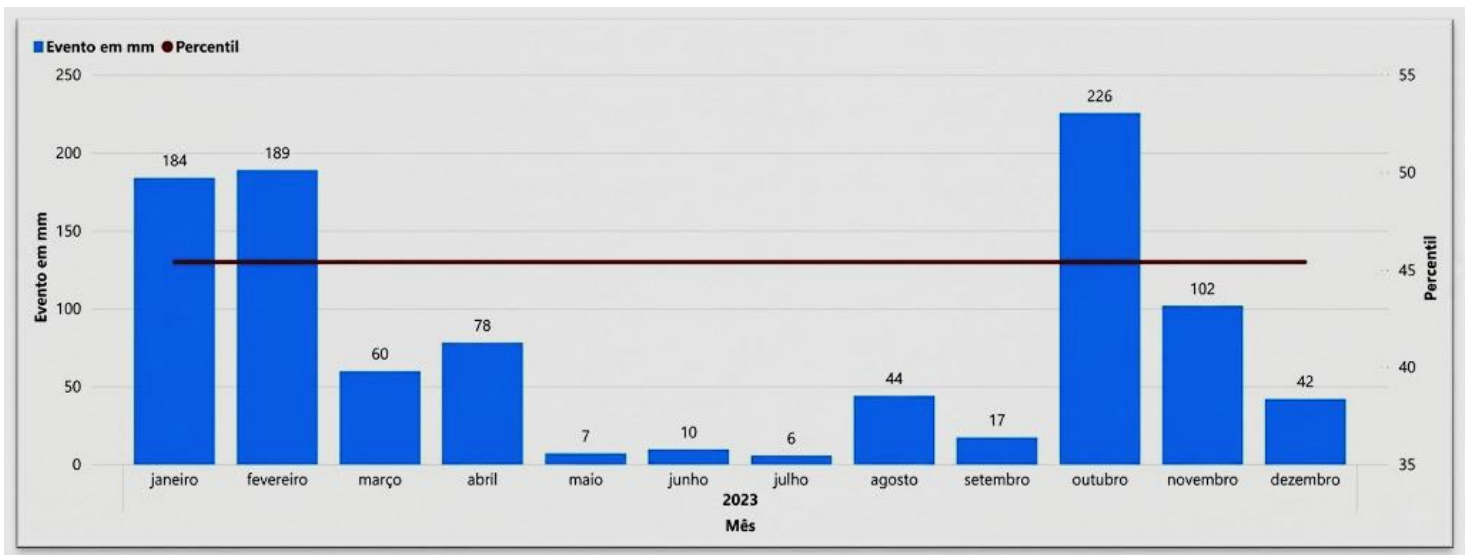
Fonte: Entre Rios Jornal (2022).

Já no ano de 2023, respectivamente no mês de Outubro, foi registrado um total de 225,6 mm de chuva (Gráfico 10), diversos jornais locais reportaram episódios de alagamentos por toda Três Rios. De acordo com as reportagens entre os dias 05 e 26 de outubro de 2023, o

município registrou quinze pontos de alagamentos distribuídos entre os bairros da Vila Isabel, Monte Castelo, Centro da cidade, Várzea do Otorino, entre outros. Devido à forte de chuva, a cidade entrou em estado de alerta, em apenas 2h30 foram registrados 75 milímetros de chuva, 49 pessoas ficaram desabrigadas.

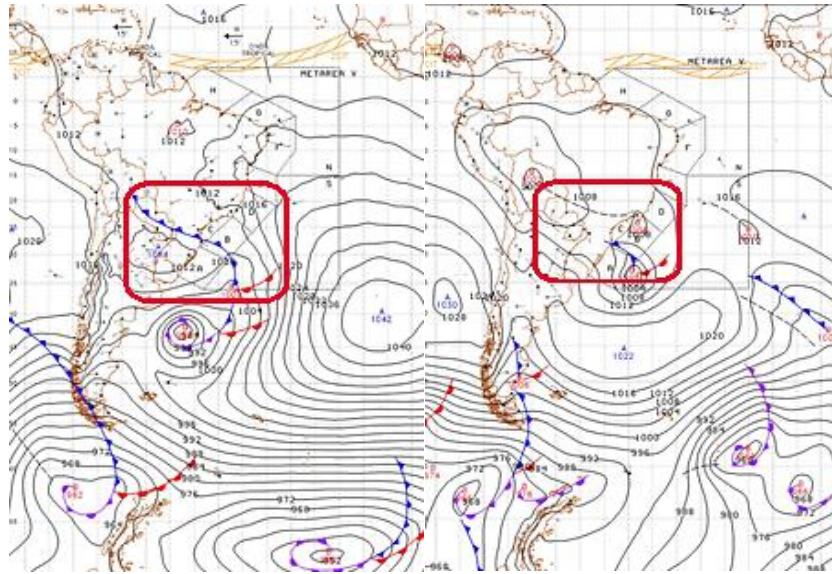
Pode se considerar que os eventos extremos registrados no dia 05/10, estavam ligados a combinação de calor e alta umidade e logo em seguida uma frente fria que favoreceu a convergência de umidade na região, o que provocou acumulados de chuvas. Já no dia 25/10, a passagem de um cavado (área alongada de baixa pressão) em altos níveis da atmosfera (Figura 30), favoreceu o aprofundamento de uma área de baixa pressão em superfície, provocando forte instabilidade e a ocorrência de chuvas intensas (Figura 31).

Gráfico 10- Volume de Precipitação em 2023



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 30-Cartas sinóticas nos dias 05 e 25 de outubro de 2023



Fonte: Marinha do Brasil, Centro de Hidrografia da Marinha (2023).

Figura 31-Impactos registrados na Várzea do Otorino



Fonte: G1 Globo (2023).

A análise sinótica dos meses selecionados ao longo dos anos estudados permitiu identificar padrões recorrentes na atuação de determinados sistemas atmosféricos sobre o município de Três Rios. Observou-se que a maior parte dos eventos intensos e extremos de precipitação esteve associada à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e à passagem de sistemas frontais, frequentemente acompanhados de cavados e áreas de baixa pressão, que favoreceram a formação de nuvens convectivas e a ocorrência de chuvas volumosas. A combinação desses fatores atmosféricos com a ocupação urbana desordenada e a

limitada capacidade de drenagem do município resultou em impactos significativos, como alagamentos, deslizamentos e prejuízos à infraestrutura.

7.2 ANÁLISE DOS MAPAS TEMÁTICOS

7.2.1 Representação Pedológica

O mapa de solos de Três Rios foi gerado a partir dos dados disponibilizados pela Embrapa Solos (2000). A Figura 32 ilustra o resultado desse mapeamento, utilizando a padronização oficial de cores e chaves de identificação para representar as diferentes classes pedológicas existentes no município.

Foram encontrados na área três tipos distintos de solo, que juntos compõem o panorama pedológico municipal de Três Rios, tendo suas características descritas no Quadro 1 a seguir:

Quadro 1- Descrição dos tipos pedológicos encontrados na área de estudo

<p>Cambissolo Háptico Tb Distrófico</p>	<p>São solos superficialmente arenosos, que vão adquirindo uma textura de média argilosa a argilosa de acordo com a profundidade. Muitas vezes pedregosos, cascalhentos e mesmo rochosos. Têm um comportamento que varia de acentuadamente drenável a imperfeitamente drenável.</p>
<p>Latossolo Vermelho- Amarelo Distrófico</p>	<p>Apresenta coloração variando de avermelhada a amarelada (matizes entre 5YR e 7.5YR), refletindo a presença de óxidos de ferro como a goethita e a hematita. São solos tipicamente muito profundos (geralmente ultrapassando 2 metros) e bem drenados. Essa profundidade aliada à alta porosidade confere a eles uma grande capacidade de infiltração de água.</p>
<p>Argissolo Vermelho- Distrófico</p>	<p>O Argissolo possui um aumento nítido de argila em profundidade. O horizonte superficial (A) é mais arenoso ou médio, enquanto o horizonte subsuperficial (B) é visivelmente mais argiloso e adensado devido a essa camada argilosa profunda (horizonte Bt), a água infiltra com facilidade na superfície, mas encontra uma barreira</p>

	física logo abaixo. Isso gera um fluxo de água lateral ou o rápido encharcamento da camada superior.
--	--

Fonte: EMBRAPA (2000).

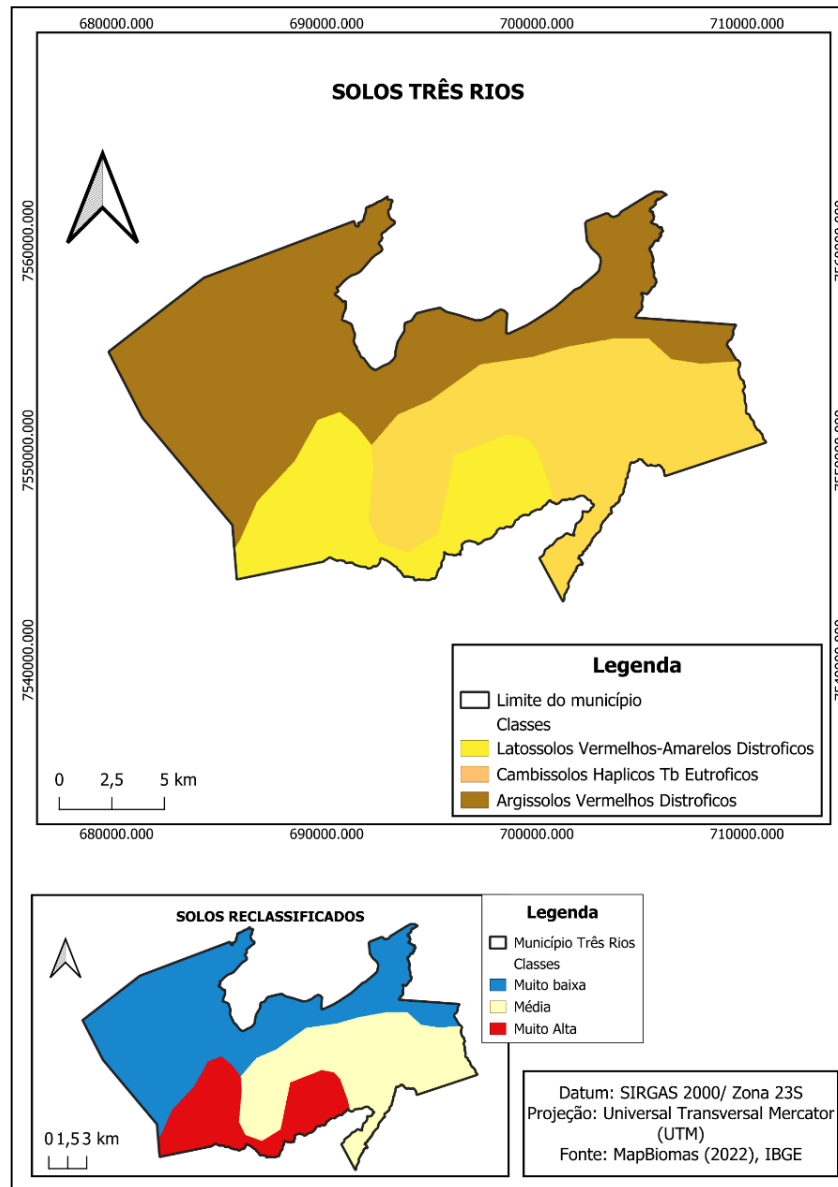
A partir do mapa de pedologia é possível visualizar as classes de solo, sendo o argissolo vermelho distrófico o que possui maior extensão de área (160,52km²), e está presente em cerca de 22,98% do município. A presença desse solo em grande parte do município pode ser um dos fatores negativos para a ocorrência de alagamento e inundação, além de erosão. Isso se dá devido à mudança brusca de textura, a água infiltra rápido no início, mas é barrada na camada de argila profunda. Se a chuva for muito intensa, o solo satura rápido, gerando enxurradas.

O mapa indica também, a ocorrência de dois tipos de solos, sendo o Cambissolo Háptico Tb Distrófico, o segundo maior, e está presente em 103,965 km² (14,88%) do município. O outro refere-se ao Latossolo vermelho amarelo distrófico, que se distribui em 58,399 km² (8,36%) do município. Esses solos são considerados profundos com alta a média taxa de infiltração.

Segundo Pinheiro *et al.*, (2009), as características dos solos demonstram a sua capacidade de infiltração e de escoamento superficial. Embora o solo seja um fator natural a impermeabilização e a falta de sistemas de drenagem eficientes aumentam o risco de inundação e alagamentos no município. Isso se dá devido ao solo perder a sua capacidade de infiltração e retenção de água após a saturação, fazendo com que a precipitação seja drenada diretamente para as bacias hidrográficas locais, elevando o nível dos rios e causando o transbordamento em áreas de várzea e o acúmulo de excesso hídrico em sua superfície.

Considerando que o solo perde sua capacidade de infiltração após atingir o estágio de saturação, resultando no acúmulo de excedente hídrico superficial, os dados de pedologia apresentaram menor influência no modelo. Em comparação aos demais planos de informação desta pesquisa, a pedologia recebeu um peso relativo de 3,6% no Processo de Análise Hierárquica (AHP) para a definição do risco de inundação.

Figura 32-Mapa de Solos Três Rios



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

7.2.2 Mapa de Declividade

O mapa de declividade foi classificado em cinco classes de relevo, considerando os intervalos de inclinação estabelecidos pela Embrapa (1979) e os critérios definidos pela legislação vigente, em especial a Lei Federal nº 6.766/1979, e a Lei Federal nº 12.651/2012. Sendo que a Lei Federal nº 6.766/1979 estabelece restrições ao parcelamento do solo urbano em áreas com declividades acentuadas, enquanto a Lei Federal nº 12.651/2012 (Código Florestal Brasileiro) define limites de uso e ocupação do solo em encostas, especialmente aquelas com maior suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa. Dessa forma,

a classificação da declividade permite identificar áreas com maior restrição à ocupação e maior vulnerabilidade ambiental.

O relevo de declividade plana, que varia de 0 a 6% pode ser encontrado em 9,87% de forma ramificada e dispersa por todo o município. Essas áreas são as que apresentam a maior susceptibilidade natural a eventos de alagamentos e inundações. Devido à baixa inclinação do terreno, a velocidade de escoamento da água é reduzida, o que favorece o acúmulo hídrico e a saturação do solo. A distribuição dessas áreas em formato ramificado sugere que elas coincidem com as planícies de inundação e fundos de vale, funcionando como as zonas de convergência de toda a água que escoar das partes mais altas.

Já as classes de relevo Suave Ondulado (6,0-12,0) e Ondulado (12,0-30,0), são encontrados respectivamente em 8,20% e 29,91% que predominam no território, e atuam como áreas de contribuição. Embora não sejam propensas ao acúmulo direto de água, sua declividade moderada acelera o transporte do fluxo superficial em direção às zonas planas, o que pode sobrecarregar o sistema de drenagem natural ou artificial nos vales.

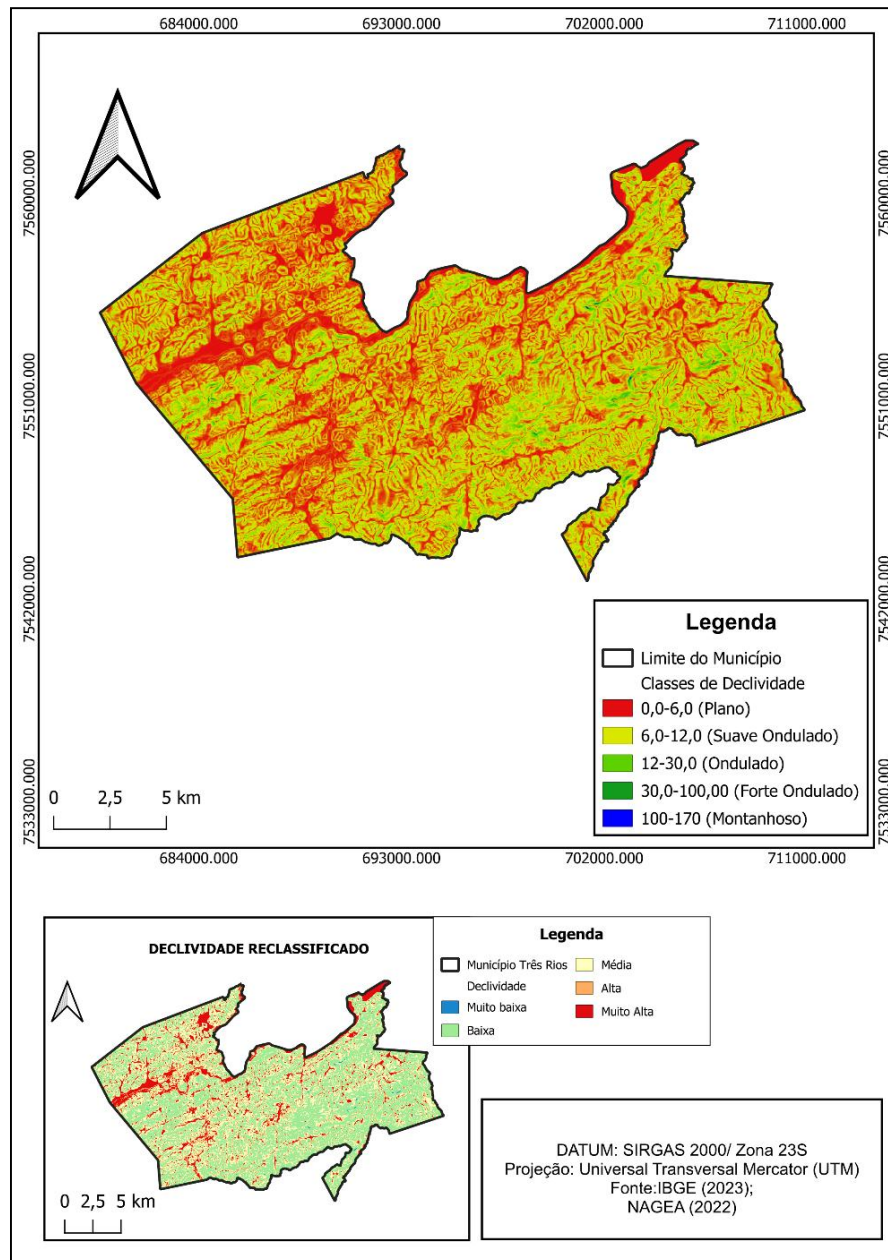
Os relevos com declividade de 30 a 100% são denominados Forte Ondulado ocorre em maior proporção, em 51,93% do município e está localizada em pontos mais específicos, geralmente em encostas ou áreas de transição para relevos mais acentuados pelo município.

Por fim, os relevos com declividade de 100 a 170 são denominados montanhosos, e são observados em 0,09% de forma expressiva no mapa, aparecendo apenas em pontos extremamente reduzidos e isolados, o que indica que terrenos com inclinação muito severa não são comuns no município,

Considerando que o escoamento superficial é condicionado pela gravidade deslocando as águas das vertentes escarpadas para as áreas planas, a declividade foi identificada como um atributo determinante na dinâmica de inundações. Em função dessa influência, ao aplicar o Processo de Hierarquia Analítica (AHP), atribuiu-se a este parâmetro um peso de 27,2% na composição do grau de risco.

Os dados de declividades analisados podem ser observados no mapa de declividade (Figura 33), apresentado a seguir:

Figura 33-Mapa de Declividade- Três Rios



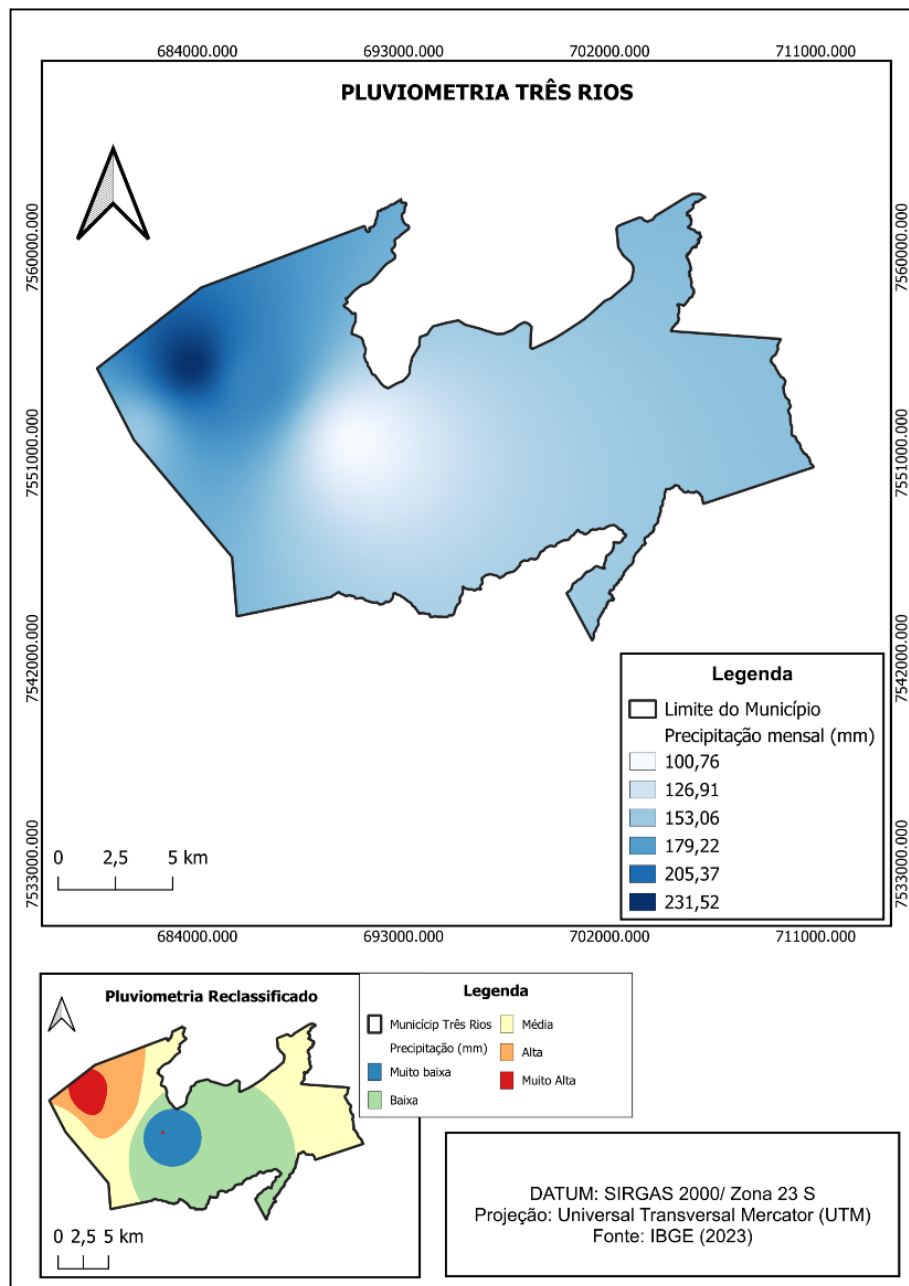
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

7.2.3 Mapa de Pluviometria

Para a análise da distribuição espacial das precipitações, utilizou-se especificamente o mês de outubro de 2021 devido aos elevados índices pluviométricos registrados, que permitiram modelar o comportamento do município em um cenário de máxima criticidade. Ademais, a análise restringiu-se a este recorte em função de dificuldades no acesso e na consolidação de dados históricos consistentes para outros anos, decorrentes de lacunas temporais nas estações

de monitoramento da região. Portanto, o período escolhido viabilizou a execução da pesquisa garantindo a confiabilidade dos resultados dentro das amostras disponíveis. Os registros foram obtidos junto às seguintes estações: Mirante Sul (Cód.:3306008807A), Moura Brasil (Cód.:3306008804A), SAAETRI (Cód.:3306008806A) e Vila Isabel (Cód.:3306008803A). Os dados obtidos foram interpolados visando obter um resultado completo sobre os índices de precipitação na área (Figura 34)

Figura 34-Mapa de Pluviometria-Três Rios



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Os dados evidenciam uma variação pluviométrica acentuada no território municipal, com maior pluviosidade concentrada nas região noroeste. Nestas áreas, indicadas pelas tonalidades de azul mais intenso, os índices atingem 231,52 mm. Essa distribuição espacial é particularmente crítica, pois a concentração das chuvas sobre o núcleo urbanizado potencializa a ocorrência de alagamentos, devido à impermeabilização do solo e a ocupação de forma desordenada nessa área.

As demais regiões apresentam os menores índices pluviométricos do mapa, indicados pela cor branca e azul claro, com valores que variam entre 100,76 mm e 126,91 mm.

Os resultados observados podem ser explicados por uma combinação de fatores climáticos, localização das estações pluviométricas, hidrológicos geográficos, incluindo a proximidade com outras regiões influentes, a topografia local e a direção predominante dos ventos carregados de umidade, que contribuem para a ocorrência e intensidade das precipitações. Considerando essas variáveis, os dados de pluviometria receberam um peso de 18,2% na determinação do grau de risco de inundações durante a aplicação do método de Análise Hierárquica (AHP), refletindo sua relevância relativa em relação a outros fatores determinantes do risco hidrológico.

7.2.4 Mapa de Hipsometria

O mapa de hipsometria foi dimensionado em cinco intervalos de altitude, variando de 243,50 metros a 869 metros. Levando-se em consideração que quanto menor a altitude, maior a suscetibilidade, quando reclassificadas.

A reclassificação altimétrica revela que as zonas de maior vulnerabilidade concentram-se nas cotas mais baixas do relevo. A primeira faixa, que compreende as altitudes de 243,50 a 368,41 metros, representa o maior nível de suscetibilidade e ocupa a maior extensão territorial, abrangendo 46,00% da área total (148,5602 m²).

A segunda faixa, situada entre 368 e 494 metros, responde por 32,09% do município (103,6241 m²). A terceira faixa (494 a 618 metros) cobre 14,13% da área (45,6239 m²), enquanto a quarta faixa (618 a 743 metros) abrange 6,36% do território (20,5522 m²).

Por fim, as altitudes mais elevadas, que variam de 743 a 869 metros, apresentam a menor suscetibilidade e a menor ocupação espacial, correspondendo a apenas 1,42% do município (4,5947 m²).

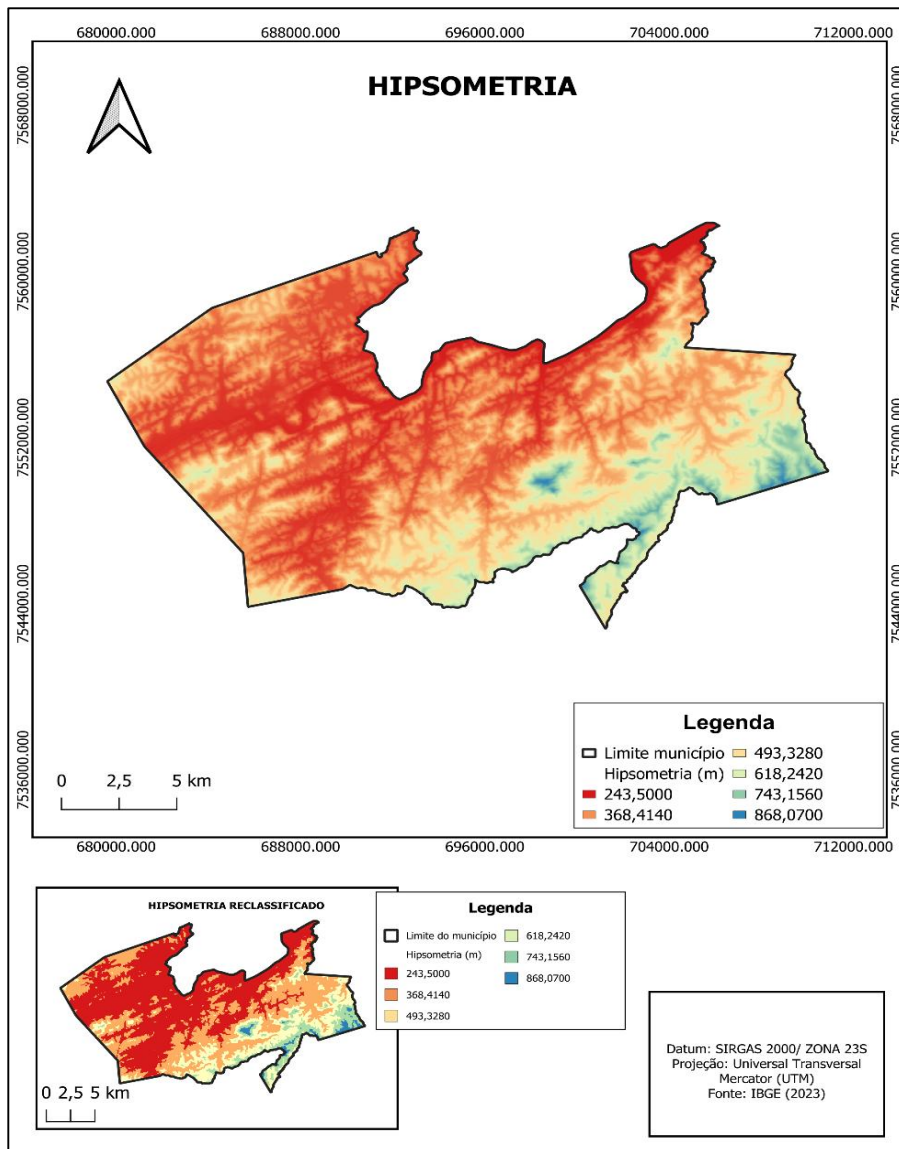
A ação da gravidade direciona o escoamento da água para as partes mais baixas do relevo, tornando a hipsometria um indicador moderadamente mais importante do que os dados

de pedologia em relação ao grau de risco a inundações. Entretanto, na hierarquia de prioridades, a hipsometria é menos relevante em relação à declividade, ao uso do solo e à pluviometria, que foram considerados como os principais fatores condicionantes para a ocorrência de alagamentos e inundações no município.

Conforme apontado por Menegasso (2019), a altimetria possui uma relação intrínseca com a declividade, impactando o risco de alagamento e inundação ao favorecer o acúmulo hídrico em áreas de baixa hipsometria.

Em função dessas variáveis, atribuiu-se à hipsometria um peso de 5,9% na composição do risco de inundação, definido durante a aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP). A distribuição espacial dessas variáveis e os resultados obtidos estão detalhados nas Figura 35 a seguir. Nela, é possível visualizar tanto o mapa hipsométrico com as altitudes originais quanto a versão reclassificada de acordo com o grau de risco estabelecido.

Figura 35-Mapa de Hipsometria-Três Rios



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

7.2.5 Uso E Ocupação do Terreno Em Três Rios

O processo de urbanização resulta na impermeabilização de grandes áreas, o que afeta o ciclo hidrológico natural. Conseqüentemente, a água precipitada não consegue escoar corretamente devido à combinação da canalização e retificação dos rios, da impermeabilização do solo e da deficiência dos sistemas de drenagem urbana, ou mesmo por falta de manutenção.

A vegetação e as áreas arborizadas são cruciais para a retenção de água pelo solo. Por meio da análise do mapa de uso e ocupação do terreno fornecido pelo MapBiomias (Coleção 2023), foi possível identificar a divisão de classes:

Tabela 6-Representação das Classes do Uso e Ocupação do Terreno- Três Rios

Classes	Área (km²)	Área (%)
Formação Florestal	69.22	21.4
Silvicultura	2.067	0.64
Campo Alagado	0.022	0.007
Pastagem	176.115	54.5
Mosaico de Usos	43.198	13.38
Área Urbanizada	19.799	6.13
Outras Áreas não vegetadas	1.396	0.43
Afloramento Rochoso	0.156	0.049
Corpos Hídricos	10.852	3.36

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

Com base nos dados apresentados infere-se que a classe predominante é a de Pastagem, que abrange 176,13 km² do município. Essas áreas são destinadas ao pastoreio do gado e outros animais. A segunda maior cobertura em área é o mosaico de usos, que está presente em 43,198 km² do município. Essa classe é caracterizada por um uso e cobertura agregados de áreas agrícolas, pastagem e/ou silvicultura, coexistente dentro de um contexto de vegetação campestre, que é composta por árvores baixas e savana gramínea-lenhosa. Essas duas áreas juntas compõem mais da metade da área total do município.

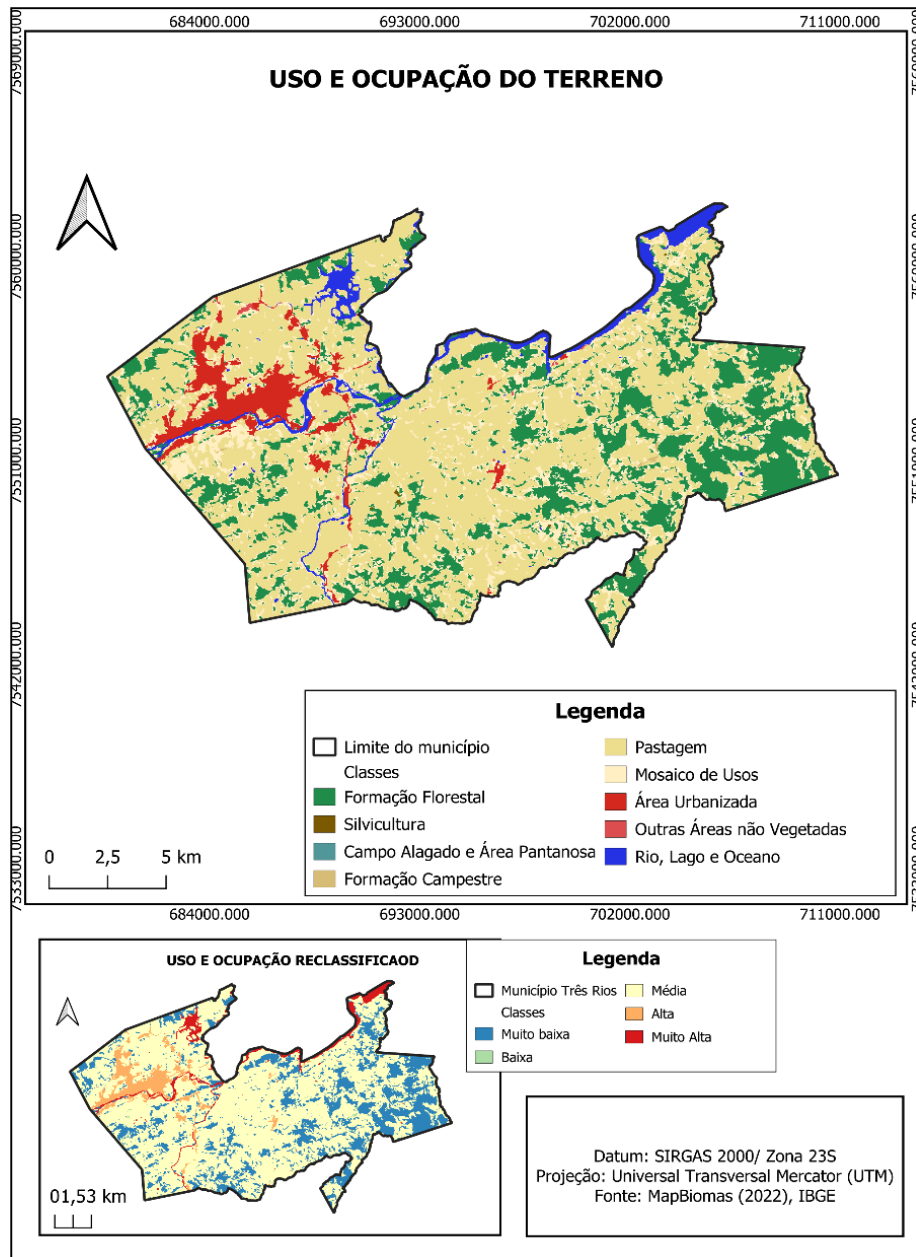
Embora a Área Urbanizada represente apenas 6,13% (19,799 km²) do território, ela foi considerada o ponto crítico para a ocorrência de alagamentos e inundações. A impermeabilização do solo típica dessas áreas impede a absorção da água da chuva, sobrecarregando os sistemas de drenagem urbana. As áreas urbanas evidenciam a alta impermeabilidade fazendo com que em períodos chuvosos sejam bem extensos as áreas de alagamentos. Locais com solo exposto ou áreas urbanizadas geram um cenário de baixa absorção hídrica, o que acelera a formação de enxurradas. Esse processo não apenas eleva o

risco de inundações rápidas, mas também promove o arraste de partículas sólidas diretamente para o leito dos rios, comprometendo a qualidade e a calha dos mananciais. Além disso, crescimento do município de Três Rios, acaba por modificar o uso e cobertura do solo, principalmente as regiões próximas as margens do Rio Paraíba do Sul, tendo em vista que áreas de pastagens ou cobertas por vegetação são, muitas vezes substituídas por edificações, vias, calçadas e pavimentações.

Na análise de risco a inundações e alagamentos, os dados de uso e cobertura da terra assumem maior relevância que os atributos pluviométricos, declividade, hipsometria e pedologia, visto que a vegetação desempenha funções hidrológicas fundamentais. Destacam-se a facilitação da infiltração no perfil do solo, a redução da velocidade do escoamento superficial por meio da rugosidade e a interceptação e absorção hídrica para processos biológicos. Tais funções são potencializadas em coberturas preservadas, onde a ausência de intervenção antrópica mantém a integridade do ciclo hidrológico. No entanto, quando o volume de água excede a capacidade de retenção do solo, a cobertura vegetal não consegue realizar os processos de infiltração, diminuição do escoamento superficial e absorção com a mesma eficiência, resultando no acúmulo do excesso hídrico na superfície do solo.

Dessa forma, foi atribuído um valor em porcentagem de 45% de importância em relação ao grau de risco a inundações e alagamentos durante a etapa de utilização do método de análise hierárquica (AHP). Essa informação pode ser observada na Figura 36, apresentada a seguir, a qual também apresenta o mapa de uso e ocupação do solo reclassificado.

Figura 36-Mapa de Uso e Ocupação do Terreno-Três Rios



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

7.2.6 Análise da Suscetibilidade a Inundação e Alagamento

A construção do mapa final de risco a inundação e alagamento baseou-se no cruzamento de dados dos mapas temáticos elaborados para este estudo, correlacionando suas características com o potencial de vulnerabilidade a inundações. A partir dessa análise comparativa foi possível a atribuição de pesos (notas) para essas características, resultando na reclassificação das áreas conforme o seu grau de risco a inundação e alagamento, a Eq. 1 permitiu correlacionar

variáveis físicas e antrópicas com os seguintes resultados: Uso e Ocupação do Solo (45%), Declividade (27,2%), Pluviometria (18,3%), Hipsometria (5,9%) e Pedologia (3,6%).

O mapa de risco divide a área de estudo de forma hierárquica em cinco classes de risco de inundação e alagamento: risco muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

A análise do mapa indica que a primeira classe de risco, definida como muito baixo risco, ocupa 1,059 km², representando a menor parcela identificada, equivalente a 0,33% da área total do município. Essa classe ocorre nas porções mais elevadas do território municipal, caracterizadas pela presença de vegetação florestal, especificamente áreas de florestas. Em função dessas características físicas e ambientais, essas áreas apresentam menor suscetibilidade à ocorrência de inundações.

A segunda classe corresponde às áreas de baixo risco, que abrangem 79,724 km², equivalentes a 24,69% da área total do município. Nessas áreas observa-se a predominância de relevos com declividades entre 12% e 30% (ondulado a forte ondulado), estendendo-se até declividades superiores a 30% (fortemente montanhosas), além da presença de áreas de formação florestal, que ajudem na absorção da água pelo solo.

A terceira classe é definida como de risco médio e ocupa uma área de 205,59 km², correspondendo a 63,68% da área total do município, ou seja, mais da metade do território municipal enquadra-se nessa categoria. Essa classe está presente na área urbana, em setores com variações altimétricas entre 243 m e 368 m, bem como entre 743 m e 868 m, além de áreas caracterizadas por relevo suave ondulado e ondulado. As áreas classificadas com risco médio demandam monitoramento contínuo, especialmente durante períodos de precipitações mais intensas, uma vez que podem ocorrer eventos adversos associados a inundações de pequena escala. Esses eventos podem se propagar com maior intensidade para as áreas a jusante do município, classificadas neste mapa como de alto a alto risco, colocando a população dessas regiões em situação de vulnerabilidade.

A quarta classe corresponde às áreas de alto risco e abrange aproximadamente 34,991 km², o que representa 10,84% da área total do município. Essa classe é identificada na área urbana, especialmente nas planícies de inundação adjacentes aos cursos d'água, estendendo-se à região noroeste do perímetro urbano, passando pelo centro da cidade, além de ocorrer também nas porções norte e sul do município. Trata-se de uma área que um desafio significativo para o município, uma vez que parte da população e diversos órgãos públicos estão instalados nessas áreas vulneráveis, sendo os mais suscetíveis aos impactos das inundações. Dessa forma, essas áreas, juntamente com aquelas classificadas como de altíssimo a alto risco, demandam maior atenção por parte dos órgãos municipais de gestão e gerenciamento de riscos.

Por fim, a quinta classe de risco é caracterizada como de muito alto risco, abrangendo uma área de 1,47 km², o que corresponde a 0,45% da área total do município. Essas áreas localizam-se principalmente nas planícies de inundação adjacentes aos cursos e corpos d'água, além de ocorrerem em setores caracterizados por relevo plano.

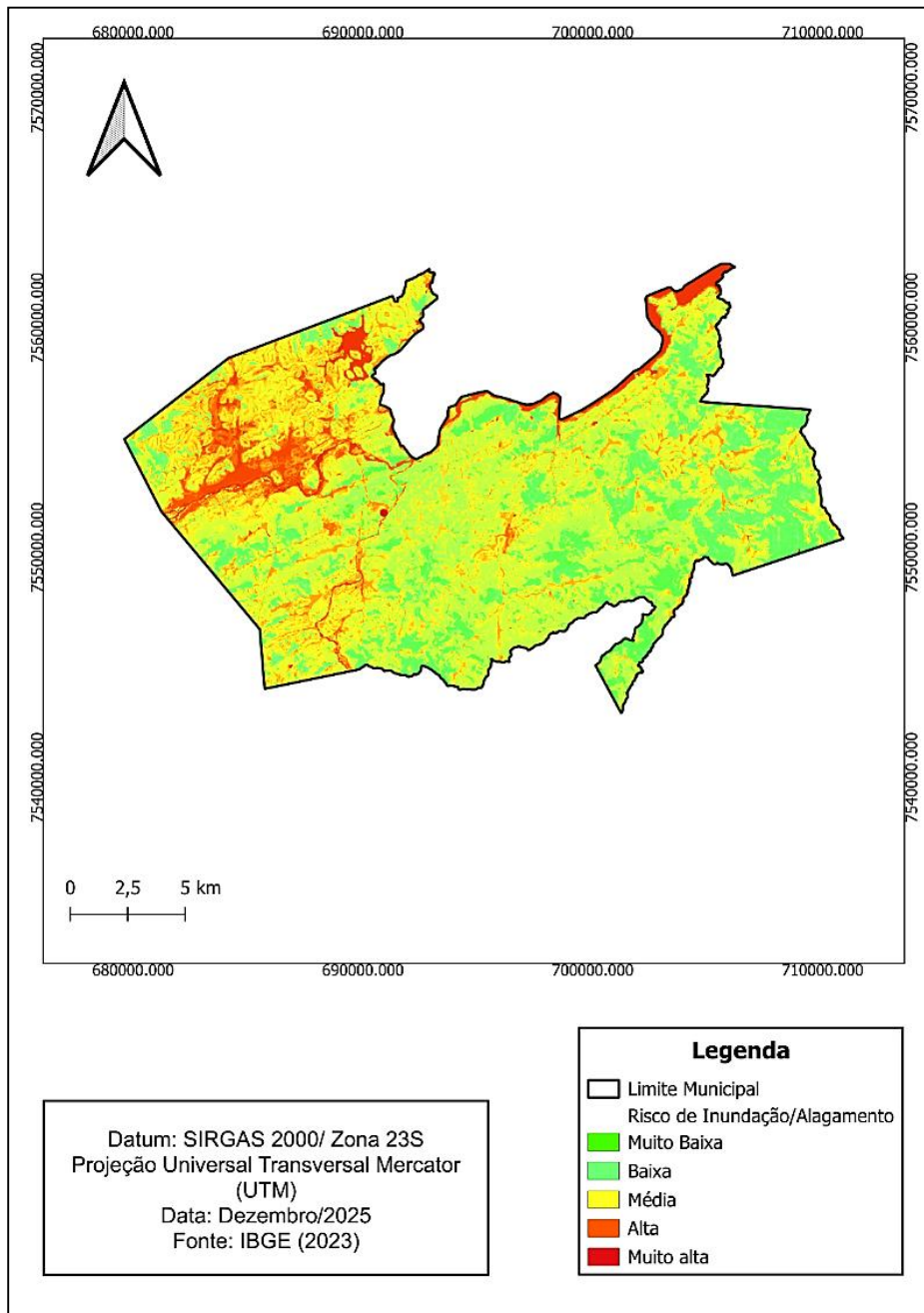
Logo, a partir da comparação dos mapas de declividade, hipsometria, uso e ocupação da terra, pedologia e pluviometria com o mapa de suscetibilidade à inundação, verificou-se que as áreas de alto risco à inundação se relacionaram, diretamente, com o uso e ocupação do terreno e a declividade. Sendo um fator de grande relevância na análise (45% de peso) o uso e ocupação do solo, embora a área urbanizada represente apenas 6,13% (19,799 km²) do território municipal, ela concentra as zonas de alta risco. A impermeabilização típica dessas áreas, composta por telhados, pavimentações e calçadas, impede a infiltração hídrica e acelera o escoamento superficial, sobrecarregando o sistema de drenagem urbana. Constatou-se que o crescimento urbano-industrial, incentivado por leis de benefícios fiscais e pela localização logística estratégica, resultou na ocupação de áreas próximas às margens do Rio Paraíba do Sul, muitas vezes invadindo suas planícies de inundação natural.

A análise também revelou que o risco elevado está diretamente vinculado à declividade plana (0-6%), observada em 9,87% do município. Estas áreas funcionam como zonas de convergência hídrica, onde a baixa inclinação reduz a velocidade da água e favorece o acúmulo superficial. Adicionalmente, a hipsometria, com foco nas cotas mais baixas (243,5 a 368,4 metros), abrange 46% do território e define as áreas receptoras de água proveniente das vertentes mais escarpadas, que somam mais de 51% da área municipal em relevos forte ondulados.

A variável pedológica, apesar do menor peso relativo (3,6%), contribui para a compreensão da dinâmica de saturação. O argissolo vermelho-distrófico, ocupa 22,98% do município, possui um horizonte subsuperficial argiloso e adensado que atua como barreira física para a água. Sob eventos de chuva extrema, como os registrados em fevereiro de 2022 (338,7 mm) e janeiro de 2016 (322,3 mm) esse tipo de solo atinge rapidamente o estágio de saturação, inibindo a percolação profunda e potencializa o escoamento superficial.

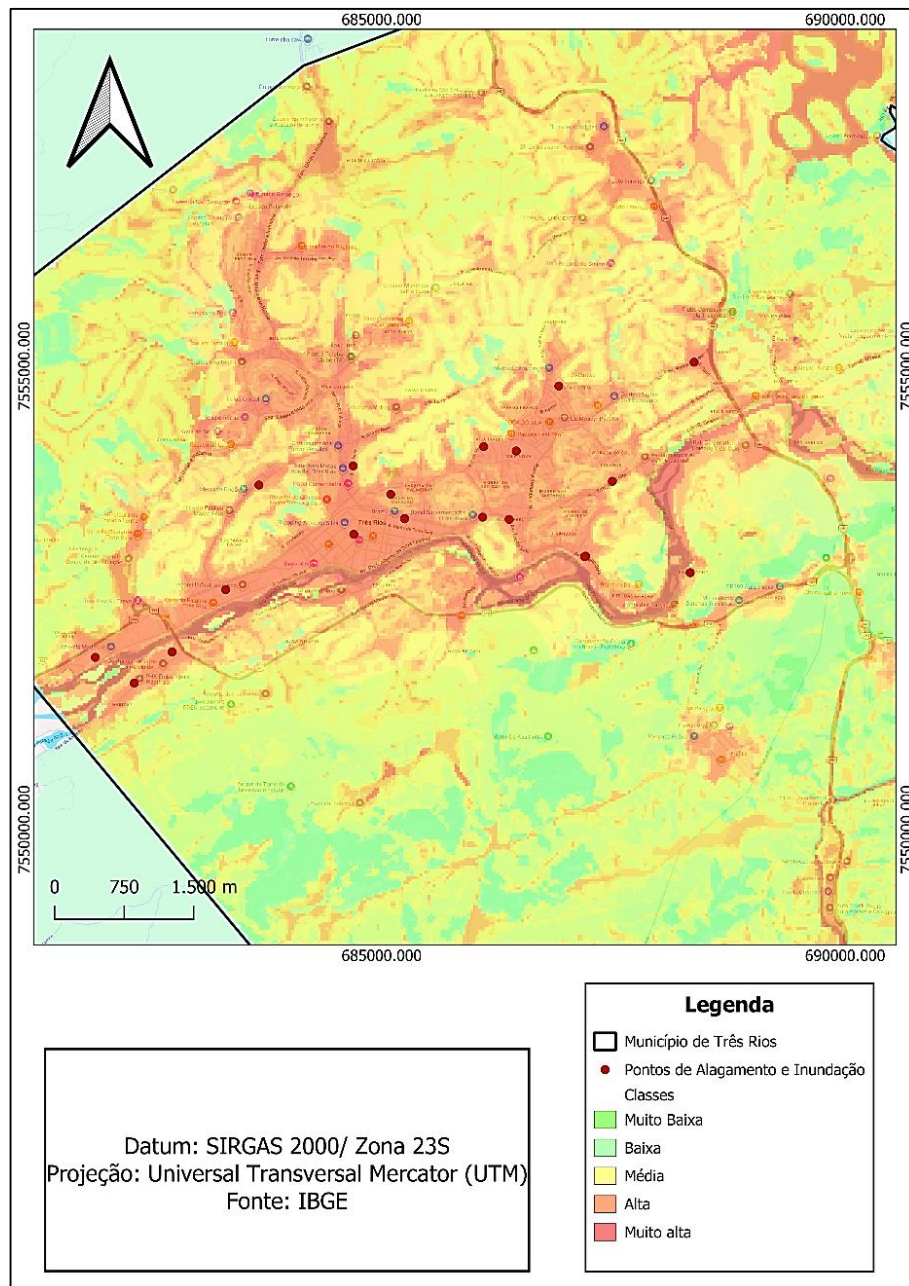
Nas Figuras 37 e 38, são apresentadas as áreas do município de Três Rios com suas respectivas classificações de risco, juntamente com alguns dos pontos georreferenciados de ocorrência de alagamentos e inundações, permitindo a visualização espacial da distribuição desses eventos e a identificação das regiões mais vulneráveis.

Figura 37-Mapa de Suscetibilidade a Inundação e Alagamento em Três Rios



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

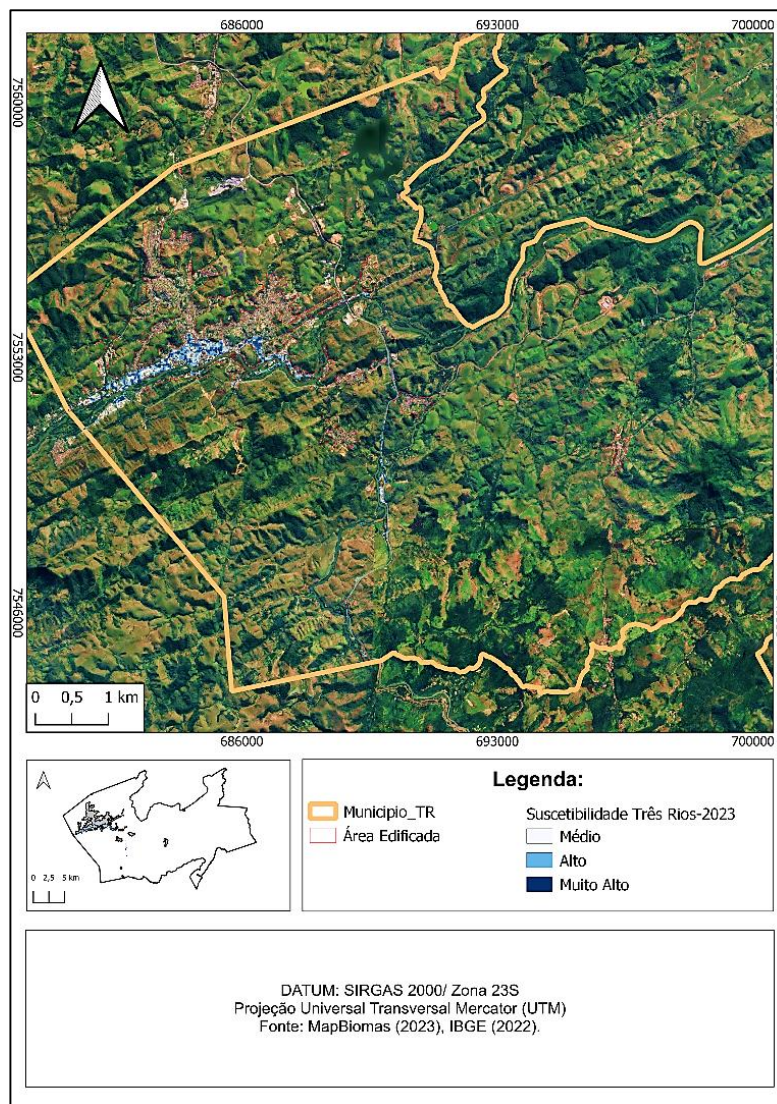
Figura 38-Pontos de Alagamento e Inundação no município de Três Rios



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Com o objetivo de validar os resultados obtidos, o mapa produzido neste estudo foi comparado ao mapa de suscetibilidade a inundações e alagamentos disponibilizado pelo MapBiomias (2023). Os resultados indicam que as áreas de médio a alto risco concentram-se predominantemente na zona urbana do município de Três Rios, conforme ilustrado na Figura 39.

Figura 39-Mapa de Suscetibilidade a Alagamento e Inundação em Três Rios



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Assim, alta e média suscetibilidade nessas áreas pode representar um risco de perdas de vidas e danos ao patrimônio. Esse panorama evidencia a vulnerabilidade do município frente a chuvas extremas, com riscos reais de fatalidades e prejuízos materiais. A concentração urbana nessas áreas amplia a exposição aos desastres, que resultam não apenas em danos físicos, mas também na interrupção de serviços vitais. Consequentemente, o impacto na qualidade de vida é profundo e os custos de recuperação são elevados, exigindo um esforço significativo de recursos públicos e humanos para mitigar os danos socioeconômicos.

Logo, é essencial que o município adote o mapeamento de riscos como ferramenta central de planejamento. A gestão adequada dessas áreas não apenas mitiga danos estruturais,

mas fortalece a resiliência urbana, priorizando a segurança das comunidades vulneráveis e a proteção de seus bens.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que as áreas de alagamento e inundação ocorrem principalmente nas áreas urbanizadas da cidade, e esses fenômenos aliados ao crescimento urbano, se agravam com a passagem de sistemas frontais e a formação de ZCAS, o que tem causado prejuízos a população local. Dada as inúmeras incertezas que permeiam os elementos climatológicos, constata-se que ainda há uma jornada a ser trilhada em busca de mais justificativas dos resultados encontrados.

A interpretação sinótica, permitiu compreender e analisar os mecanismos responsáveis pela origem e espacialização das chuvas, assim como possibilitou identificar a gênese das precipitações, com destaque para a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Observou-se que esse sistema apresentou maior persistência nos anos de 2016, 2018, 2019, 2021 e 2022, configurando-se como o principal responsável pelos elevados índices pluviométricos mensais, uma vez que provocou precipitação em quase todos os dias de sua atuação. Constatou-se, que a presença do fenômeno *La Niña* teve relação no volume de chuvas durante o ano de 2018. Adicionalmente, os cavados meteorológicos demonstraram forte correlação com os eventos chuvosos em diversos episódios do período analisado. Ademais, a atuação de frentes frias provocou altos volumes de chuva, sobrecarregando o sistema de drenagem e ocasionando eventos de alagamento, além de transtornos para a população em diversas áreas do município.

Acresce que, que a aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), empregado no desenvolvimento do modelo matemático para a geração dos pesos estatísticos e no cruzamento dos mapas temáticos, resultou para a formação do mapa de risco de inundação e alagamento. A eficácia do método mostrou-se eficiente e concisa, visto que as áreas mapeadas como de risco coincidiram com os locais onde foram registrados inundações e alagamentos nos anos de 2015 a 2023, conforme apresentado no mapa de risco do município. Essa abordagem possibilitou alcançar o objetivo almejado por este estudo, uma vez que permitiu mapear e identificar as áreas de risco de inundação e alagamento no município de Três Rios. Em suma, este estudo demonstrou que áreas atingidas por eventos de alagamento e inundação estão localizadas em grande parte na área urbanizada do município. Assim, torna-se evidente a importância do estudo da área, visto que a ocorrência de alagamentos e inundações estão associadas à combinação de fatores naturais e antrópicos. Entre eles, destacam-se a

geomorfologia local, a declividade do terreno, a impermeabilização do solo, a canalização do córrego e a atuação de eventos extremos relacionados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A soma desses fatores resultam em inundações e alagamentos, causando impactos na infraestrutura urbana, além de danos ambientais e sociais.

Como dito anteriormente, os eventos extremos de chuva aumentam a suscetibilidade de risco para as pessoas que vivem nessas áreas. Portanto, os resultados desse estudo podem servir como base para os gestores nas tomadas de decisão no desenvolvimento de políticas públicas e planos de gestão estratégico territorial e ambiental, de forma a melhorar as obras de drenagem urbana. Além disso, deve haver uma melhor atuação da defesa civil em relação na análise e mapeamento das áreas de risco, como forma de minimizar os transtornos ocasionados pelos eventos extremos como os alagamentos, enchentes e inundações. Contudo, o município de Três Rios ainda carece de um planejamento territorial e ambiental eficaz, visto que há necessidade de integração do planejamento territorial, uso do solo e gestão dos recursos hídricos no município de Três Rios.

Para estudos futuros, recomenda-se a coleta de dados primários sobre os sistemas de drenagem, redes de esgoto e índices pluviométricos. Além disso, estudos futuros podem ampliar a análise por meio da incorporação de outros conjuntos de dados pluviométricos, possibilitando uma avaliação mais detalhada dos eventos extremos que ocorrem na cidade e a determinação mais precisa de seus tempos de retorno. Recomenda-se, ainda, a investigação de tendências temporais na frequência e intensidade desses eventos, bem como a análise da influência das mudanças climáticas em sua ocorrência. A integração de dados pluviométricos com informações hidrológicas e a aplicação de métodos estatísticos mais robustos podem contribuir para uma compreensão mais abrangente da dinâmica dos eventos extremos e de seus potenciais impactos ambientais e socioeconômicos. Tais informações permitirão correlacionar os eventos reais com as áreas de suscetibilidade identificadas neste mapeamento.

REFERÊNCIAS

- ABIDINE, R. Z.; ABDELMANSOUR, N. Cartographie de la susceptibilité aux inondations par la méthode de l'analyse multicritère et SIG : Cas de la wilaya d'Oran Nord-Ouest de l'Algérie. **Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement**, v. 3, n. 1., p. 67-73, 2018.
- AHMAD, R.; MCCALPIN, J. Landslide susceptibility maps for the Kingston Metropolitan area, Jamaica with notes on their use. **UDS Publication**, n. 5, 1999, 25 p.
- AMARAL, C. M. **Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Matirumbide em Juiz de Fora-MG**. 2013. 88 f. Monografia (Gradação em Geografia) – Curso de Geografia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.
- AMARAL, C. M.; REIS, C. H. Suscetibilidade a escorregamentos e inundações: hierarquização dos graus de riscos na área urbana de Viçosa-MG. **Revista da Anpege**, [S.l.], v. 13, n. 21, p. 199-219, maio/ago. 2017.
- AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. **Inundações e enchentes**. In: TOMINAGA, L. D.; SANTORO, J.; AMARAL, R (Org.). Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. cap. 3, p. 39-52.
- AMAYA, A.; NTOUMBÉ, M.; DIGUIM, A. K.; KAH, E. Cartographie de la susceptibilitéaux inondations par la méthode de l'analyse multicritère hiérarchique (AHP) combinée auSystème d'Information Géographique (SIG): Cas du Département du Diamaré (Extrême-nord, Cameroun). **International Journal of Innovation and Applied Studies**, v. 33, n. 3., p. 491- 501, 2021
- ANA. **Agência Nacional de Águas HidroWeb**. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em: 22 de jun.2024.
- APÓS forte chuva, Prefeitura de Três Rios mobiliza secretarias em ações no Centro e nos bairros. **Entre-Rios**, Três Rios, 13 mar. 2018.
- ARAÚJO, Paulo Henrique Cirino. **Eventos climáticos extremos: os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a produtividade agrícola das regiões nordeste e sul do Brasil**. 45 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Economia Aplicada, Viçosa, MG, 2012.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. 1990. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone. 355p.
- BLOCH, R.; JHA, A.K.; LAMOND, J. Cities and flooding: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. **Washington: World Bank**, 2012. 638 p.
- BORSATO, V. A. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. 1. EdCuritiba, PR: CRV. 2016. 184p.
- BRAGA, Júlia Oliveira. **Alagamentos e inundações em áreas urbanas: estudo de caso na cidade de Santa Maria – DF**. Distrito Federal, Brasília. Agosto de 2016. 33p. UNB/IH/GEA, Bacharelado, 2016.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e nº 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 maio 2012.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 dez. 1979.

CABRERA, J. S.; LEE, H. S. Flood-Prone Area Assessment Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis: **A Case Study in Davao Oriental**, Philippines. *Water*, v. 11, n. 11, 2203, 2019.

CABRERA, J. S.; LEE, H. S. Flood-Prone Area Assessment Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis: **A Case Study in Davao Oriental, Philippines**. *Water*, v. 11, n. 11, 2203, 2019.

CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. Avaliação do risco a inundação na Bacia Hidrográfica do rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, p. 124-138, 2019.

CARRO é arrastado e criança morre afogada após temporal em Três Rios. **O Globo-G1 Sul do Rio e Costa Verde**, 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/sul-do-riocostaverde/noticia/2021/01/11/crianca-morre-afogada-apos-temporal-em-tres-rios.ghtml>. Acesso em: 10 mar. 2023.

CASTRO, J.W.A. 2001. **Geomorfologia do sistema sedimentar eólico de Paracuru – Ceará**. Tese de doutorado, PPGG – IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. 202 p.

Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). **Cartas Sinóticas**. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>>. Acesso em: 10 de junho de 2024.

CERRI, L. E.; AMARAL, C. P. **Riscos geológicos**. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 301-310.

CHUVA forte alaga ruas e causa deslizamentos em Três Rios. **O Globo-G1 Sul do Rio e Costa Verde**, 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/sul-do-rio-costa-verde/noticia/2020/12/27/chuva-forte-alaga-ruas-e-causa-deslizamentos-em-tres-rios.ghtml>>. Acesso em: 23 jul. 2024.

CHUVA provoca alagamentos e deslizamentos em Três Rios, RJ. **O Globo-G1 Sul do Rio e Costa Verde**, 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/sul-do-rio-costa-verde/noticia/2017/01/defesa-civil-de-tres-rios-rj-registra-pontos-de-alagamento-apos-chuva.html>>. Acesso em: 23 jul. 2024.

CLIMATEMPO. **Climatologia e histórico de previsão do tempo em Três Rios, BR, 2015**. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/330/tresrios-rj>>. Acesso em 10 de jan. de 2025.

COBRADE, **Codificação e classificação Brasileira de Desastres**. 2012. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=f9cdf8bfe31e-4902-984e-a859f54dae43&groupId=10157> Acesso em: 23 de Agosto de 2025.

COELHO, M.C.N. **Impactos ambientais em áreas urbanas – teorias, conceitos e método de pesquisa**. In: BRANDÃO, A. M. Impactos ambientais urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001, p. 19-45.

COSTA, APFS (2017). **Eficácia de Gestão de Unidades de Conservação Municipais no Estado do Rio de Janeiro: Estudo de Caso nos Municípios de Três Rios e Teresópolis**. Monografia (bacharelado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios. Disponível em: <https://www.itr.ufrrj.br/portal/eficacia-de-gesta%CC%83o-de-unidades-deconservac%CC%A7a%CC%83o-municipais-no-estado-do-rio-de-janeiro-estudo-de-caso-nosmunicipios-de-tre%CC%82s-rios-e-teresopolis/> Acesso em: abril de 2025

COSTA, Thales Gustavo de oliveira. **Suscetibilidade a inundações na bacia do rio Taquari, município de Paraty-RJ**. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil, Planejamento e Gestão de Eventos Críticos. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico Folha Três Rios**. Escala 1:100.000. [Três Rios-RJ], 1996. Mapa, color. Programa geologia do Brasil.

CPTEC/INPE. **Princípios de Meteorologia e Meio Ambiente**. Disponível em: <<https://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml>>. Acesso em: 10 de jan. de 2025.

CRISTO, S. S. V. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados às enchentes e deslizamentos do setor leste da bacia hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis–SC**. 2002. 195 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CUTTER, S.L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, 93: 59-69.2011.

CUTTER, S.L.; BORUFF J.B.; SHIRLEY W. L. 2003. Social Vulnerability to Environmental Hazards. **Social Science Quarterly**, 84(2): 242-261.

DA CONCEIÇÃO, Raimundo Almir Costa; SIMÕES, Patrícia Mara Lage. Modelagem De Suscetibilidade A Inundação Utilizando Processo Analítico Hierárquico (AHP) E Lógica Fuzzy. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**.INPE,2019.

Disponível em:

<http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/09.16.16.40/doc/97553.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2025.

DUARTE, Cristiana Coutinho; NÓBREGA, Ranyére Silva; COUTINHO, Roberto Quental. Análise climatológica e dos eventos extremos de chuva no município do Ipojuca, Pernambuco. **Revista de Geografia** (UFPE), v. 32, n. 2, 2015.

EA - Estado do Ambiente (2011) **Indicadores ambientais do Rio de Janeiro**: Sea/ Inea. 160 p.

EMBRAPA. **Embrapa Solos: Manual de métodos de análise de solo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

ESCOBAR, Gustavo Carlos Juan. **Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)**: critério de detecção para uso em centros operacionais de previsão de tempo. CEP, v. 12, p. 010, 2019. Disponível em: <http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm21c/2019/01.07.12.08/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 14 de junho de 2024.

FERRAZ, Caio Mário Leal. Inundações e alagamentos em meio urbano: uma perspectiva teórico-conceitual, em abordagem geomorfológica. **Revista Vozes dos Vales**, [Diamantina, MG], n. 20, p. 1-16, out. 2021. Disponível em: <https://site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2021/10/Ferraz.pdf>. Acesso em: Agosto de 2025.

FONSECA, Beatriz. **Levantamento da base cartográfica pública e gratuita na elaboração e análise dos mapas de suscetibilidade a movimentos de massa/deslizamentos em Três Rios/RJ**. 2019. 50 f. Monografia (bacharelado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios. Três Rios-RJ, 2019.

FORTE chuva deixa ruas alagadas e causa transtornos em Três Rios. **O Globo-G1 Sul do Rio e Costa Verde**, 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/sul-do-rio-costa-verde/noticia/2019/02/20/forte-chuva-deixa-ruas-alagadas-e-causa-transtornos-em-tres-rios.ghtml>. Acesso em: 23 jul. 2024.

Gil, A.C. (2017). **Como elaborar projetos de pesquisa** (6a. ed.). São Paulo: Atlas.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. 2005. Disponível em: https://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf. Acesso em: 26 ago. 2025.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil 2015/2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 29 de Abril de 2025.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2012. **Summary for policymakers in: managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation**. Cambridge University Press, New York, p. 1-19.

IPCC. Climate Change 2014: **Impacts, Adaptation and Vulnerability**: Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press 2014. 1132 p.

IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: A Special Report of Working Groups I and II of the **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2012. 582 p.

KARYMBALIS, E.; ANDREOU, M.; BATZAKIS, D.; TSANAKAS, K.; KARALIS, S. **Integration of GIS-Based Multicriteria Decision Analysis and Analytic Hierarchy Process for Flood-Hazard Assessment in the Megalo Rema River Catchment** (East Attica, Greece). *Sustainability*, v.13, n. 18, 10232, 2021

KHARIN, Viatcheslav; ZWIERS, Francis; ZHANG, Xuebin. *et al.* Changes in temperature and precipitation extremes in the IPCC ensemble of global coupled model simulations. **Journal of Climate**, v.20, n.8, p.1419–1444, 2007.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. de O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MORELLI, G. S. F.; RUDORFF, F. de M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Florianópolis: Organic Trading, 2006. 109 p

KOBIYAMA, Masato. *et al.* **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006.Ed. Organic Trading. Disponível em : <http://www.disasterinfo.net/lideres/portugues/cursobrasil08/documentos_e_artigos/Prevencao%20desastres%20naturais.pdf>. Acesso em: 14 de junho de 2025.

KODAMA, Yasumasa. Características comuns em larga escala de zonas de precipitação subtropicais (zona frontal de Baiu, SPCZ e SACZ) Parte I: Características de zonas frontais subtropicais. **Jornal da Sociedade Meteorológica do Japão**. Ser. II 70.4 (1992): 813- 836.

KÖENE, Rafael. **Análise do processo de inundação da cidade de Rio Negro/PR**. 2013. 132 f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território: Sociedade e Natureza) — Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2013.

LAPA, D.P. *et al.* A evolução do uso e cobertura do solo no município de Três Rios (RJ): uma singularidade entre a expansão urbana e a ampliação da vegetação arbórea nas últimas duas décadas no município. **Revista Geografias**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 21–39, 2022. DOI: 10.35699/2237-549X.2022.38211. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/38211>. Acesso em: 23 jan. 2025.

LOPES, Everaldo Carneiro. *et al.* **Os potenciais impactos gerados por enchentes e inundações: possíveis alternativas para minimização desses eventos sobre as estruturas da cidade de Jacobina-Ba**. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/25498/1/Impactos%20das%20Enchentes%20na%20estrutura%20da%20cidade%20de%20Jacobina%20%282%29.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2025.

LOPES, Pâmela de Oliveira; DRACH, Patricia Regina Chaves. Expansão Urbana e Abairramento: Município de Três Rios/RJ. **Scientific Journal ANAP**, [S. l.], v. 1, n. 3, 2023. Edição Especial - Proceedings of the I Latin American Symposium on City, Architecture and Sustainability. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/anap/article/view/3844>. Acesso em: Agosto de 2025.

LOPES, Pâmela de Oliveira; DRACH, Patrícia Regina Chaves. Expansão Urbana e Abairramento: Município de Três Rios/RJ. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Três Rios/RJ, v. 11, n. 82, p. 212-228, 2023.

MAGALHÃES, Ivo Lopes, *et al.* Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, p. 63-70, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/cadgeoc/article/view/5288>. Acesso em: 18 maio 2025.

MAPBIOMAS, 2020. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org>. Acesso em: 20 maio 2025.

MARCHEZINI, Victor; CUNNINGHAM, Cristopher; DOLIF, Giovanni; CAMARINHA, Pedro Ivo; ODA, Paula; LACERDA, Renato. **O que são eventos extremos?** Uma reflexão sobre as diferentes perspectivas do termo. *ClimaCom – Desastres* [online], Campinas, ano 10, nº. 25. nov. 2023.

MAZOTO, M. L. **Índice de vulnerabilidade social para a análise da ocorrência de inundações no estado do rio de janeiro: 2000 a 2013.** 2015. 266 f. Tese

MÉNDEZ-LÁZARO P. A.; PÉREZ-CARDONA; C. M., RODRÍGUEZ, E.; MARTÍNEZ, O.; TABOAS, M.; BOCANEGRA, A.; & MÉNDEZ-TEJEDA, R. Climate change, heat, and mortality in the tropical urban area of San Juan, Puerto Rico. **International Journal of Biometeorology**, v.62, n.1, p.699–707, 2016.

MENEGASSO, J. D. **Mapeamento do risco de inundação na Sub-bacia hidrográfica do Rio Belo**, Orleans, SC. 2019, 148 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais.) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2019.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. 2009. **Gestão do risco geológico em Belo Horizonte/MG.** Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/programas-urbanos/biblioteca>. Acesso em: Agosto de 2025

MINISTÉRIO DAS CIDADES/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS–IPT. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios.** Brasília: Ministério das Cidades; 176 p. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007

MOREIRA, Luana Lavagnoli. **Análise Do Impacto Da Evolução Urbanística Sobre O Sistema De Drenagem Urbana.**2014. Vitoria, ES. Disponível em: https://engenhariaambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/analise_do_impacto_da_evolucao_urbanistica_sobre_o_sistema_de_drenagem_urbana_luana_lavagnoli_moreira.pdf. Acesso em: 14 de junho de 2024.

OLII, M. R.; OLII, A.; PAKAYA, R. The Integrated Spatial Assessment of The Flood Hazard Using AHP-GIS: The Case Study of Gorontalo Regency. **The Indonesian journal of geography**, v. 53, n. 1, p. 126-135, 2021.

OLIVEIRA, Daiane Evangelista; FERREIRA, Cassia de Castro Martins. Gênese e ritmo da pluviosidade na bacia do Rio Preto MG: proposta metodológica para a representação cartográfica. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 21, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v21i0.48239. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/13987>. Acesso em: 5 dez. 2024.

OLIVEIRA, David Neves. **Dinâmica do crescimento urbano-industrial do município de três rios: impactos ambientais e vulnerabilidade social**. 2014. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão Ambiental, Departamento de Ciências do Meio Ambiente, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto Três Rios, Três Rios/RJ, 2014.

OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. Relação entre a Susceptibilidade a Inundações e a Falta de Capacidade nos Conduitos da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS. RBRH: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 5-15, mar. 2011.

PELOGGIA, A.U.G. 2011. Análise multidimensional e gestão dos riscos geológicos: uma primeira aproximação. In: ABGE, **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL**, 13, São Paulo, Anais, 10 p. (CD-ROM).

PINHEIRO, Adilson; TEIXEIRA, Lizandra Poeta; KAUFMANN, Vander. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4,n. 2, p. 188-199, 2009.

RAHMATI, O.; ZEINIVAND, H.; BESHARAT, M. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 7, n. 3, p. 1000-1017, 2016.

RAMOS, C. Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações. **e-LP Engineering and Technology Journal**, [S.l.] v. 4, p. 11-16, jun. 2013.

REBOITA, Michelle Simões. *et al.* **Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul**. 2012. Disponível em: <<https://repositorio.furg.br/handle/1/4742>>. Acesso em: 14 de junho de 2024.

SANTOS, Flávio Augusto Altieri. **Alagamento e inundação urbana: modelo experimental de avaliação de risco**. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e Embrapa, Belém, 2010.

SANTOS, Luís Fernando. **A integração de dados físico-naturais e antrópicos para a análise de risco à inundação na cidade de Limeira SP**. 2018. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Estadual Paulista Instituto de Geociências e Ciências Exatas Câmpus de Rio Claro, Rio Claro-Sp, 2018.

SAREWITZ, Daniel; PIELKE JR, Roger. Extreme events: a research and policy framework for disasters in context. **International Geology Review**, v. 43, n. 5, p. 406-418, 2001.

SENEVIRATNE, Sonia I. *et al.* **Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1513–1766, 2021.

SILVA DIAS, Maria Assunção Faus. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**, n. 103, p. 33-40, 2014.

SILVA DIAS, Maria Assunção Faus; SILVA, Maria Gertrudes A. Para entender tempo e clima. **Tempo e clima no Brasil**, p. 464, 2009.

SILVA, C. H. C. *et al.* Determinação de áreas de risco e simulação de intervenções através do uso de SIG na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu. **In: simpósio brasileiro de sensoriamento remoto**, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais. São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5443-5449. Disponível em < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2009/> >. Acesso em: 22 agosto de 2017.

SILVA, J. H. G. Dinâmica Imobiliária e Produção do Espaço no Bairro Planalto, Natal/RN: agente, usos e conflito. XIII Simpósio Nacional de Geografia Urbana, 18 a 22 de novembro de 2013. Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos. Rio de Janeiro: XIII SIMPURB**, 2013. Disponível em: Acesso em: Fev. de 2023.

SILVA, Josiano Josiel Rodrigues *et al.* Análise de eventos de inundação na Sub-Bacia do córrego **Carneirinhos, João Monlevade, Minas Gerais**. Research, Society and Development, v. 9, n. 6, p., 2020. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7435497.pdf>>. Acesso em: 14 de junho de 2024.

Silvério Neto, R (2014) **Caracterização espacial da cobertura florestal dos municípios da Microrregião de Três Rios-RJ**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Gestão Ambiental) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

TEMPORAL alaga casas, estabelecimentos comerciais e ruas em Três Rios. **O Globo-G1 Sul do Rio e Costa Verde**, 2023. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/sul-do-rio-costa-verde/noticia/2023/10/06/temporal-alaga-casas-estabelecimentos-comerciais-e-ruas-em-tres-rios.ghtml>>. Acesso em: 10 mar.2023.

TEMPORAL atinge Três Rios, RJ, e provoca alagamentos. **O Globo-G1 Sul do Rio e Costa Verde**, 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/sul-do-rio-costa-verde/noticia/temporal-atinge-tres-rios-rj-e-provoca-alagamentos.ghtml>>. Acesso em: 23 jul. 2024.

TEMPORAL deixa vários pontos de Três Rios alagados. **Entre-Rios Jornal**, 2022. Disponível em: <<https://www.entreriosjornal.com/2022/02/temporal-deixa-varios-pontos-de-tres.html>>. Acesso em: 23 Jul. 2025.

TINGSANCHALI, T. **Urban flood disaster management**. Procedia Engineering, v. 32, p. 25-37, 2012.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J. e AMARAL, R. (Organizadores). **Desastres Naturais-Conhecer para Prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 193p.

TUCCI, Carlos. Eduardo. Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed., Porto Alegre: Editora da Universidade da UFRGS/ABRH, 1997.

TUCCI, Carlos. Eduardo. Morelli; BERTONI, Juan, Carlos. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

WAQAS, H.; LU, L.; TARIQ, A.; LI, Q.; BAQA, M. F.; XING, J.; SAJJAD, A. Flash Flood Susceptibility Assessment and Zonation Using an Integrating Analytic Hierarchy Process and

Frequency Ratio Model for the Chitral District, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Water*, v. 13, n. 12, 1650, 2021.

YNOUE, Rita Yuri. *et al.* **Meteorologia**: noções básicas. Oficina de Textos, 2017.