

## **AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE E VULNERABILIDADE COMO ELEMENTOS DE RISCO A INUNDAÇÃO DO RIO CACHOEIRA NA ÁREA URBANA DE ITABUNA-BA**

**Emilly da Silva Farias**

Universidade Estadual de Santa Cruz, PRODEMA, Ilhéus, BA, Brasil  
[emillyfarias10@hotmail.com](mailto:emillyfarias10@hotmail.com)

**Ronaldo Lima Gomes**

Universidade Estadual de Santa Cruz,  
Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, Ilhéus, BA, Brasil  
[rlgomes@uesc.br](mailto:rlgomes@uesc.br)

**João Batista Lopes da Silva**

Universidade Federal do Sul da Bahia, PPGCS, Teixeira de Freitas, BA, Brasil  
[silvajbl@ufsb.edu.br](mailto:silvajbl@ufsb.edu.br)

**Carlos Amilton Silva Santos**

Instituto Federal da Bahia, Vitória da Conquista, BA, Brasil  
[carlos.amilton@ifba.edu.br](mailto:carlos.amilton@ifba.edu.br)

**Gustavo Barreto Franco**

Universidade do Estado da Bahia,  
Departamento de Ciências Exatas e da Terra, Salvador, BA, Brasil  
[gbfranco@uneb.br](mailto:gbfranco@uneb.br)

**Raildo Mota de Jesus**

Universidade Estadual de Santa Cruz,  
Departamento de Ciências Exatas, Ilhéus, BA, Brasil  
[rmota@uesc.br](mailto:rmota@uesc.br)

### **RESUMO**

Este estudo tem como objetivo mapear a suscetibilidade e a vulnerabilidade às cheias do rio Cachoeira, em Itabuna-BA, utilizando a modelagem de dados hidrológicos e geográficos para identificar áreas de risco e seus impactos potenciais. A análise considerou as áreas afetadas por cheias com diferentes tempos de recorrência e alturas da lâmina d'água. O perigo de inundação foi classificado com base na probabilidade de ocorrência e na intensidade do evento, resultando em três categorias: áreas proibidas, moderadas e de alerta. A vulnerabilidade foi avaliada por fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, a partir de dados dos setores censitários do IBGE referentes ao ano de 2010 (IBGE, 2010), processados no QGIS 3.22. O risco foi calculado como o produto entre perigo e vulnerabilidade, gerando mapas com cinco níveis de risco. Os maiores riscos estão associados a cheias mais frequentes, mesmo com lâminas menores. Áreas com alta densidade populacional e falta de saneamento foram identificadas como mais vulneráveis. O estudo oferece subsídios para ações de mitigação e planejamento urbano em Itabuna.

**Palavras-chave:** Inundações Urbanas. Vulnerabilidades Urbanas. Risco.

### **ASSESSMENT OF SUSCEPTIBILITY AND VULNERABILITY AS RISK ELEMENTS FOR FLOODING OF THE CACHOEIRA RIVER IN THE URBAN AREA OF ITABUNA-BA**

### **ABSTRACT**

This study aims to map the susceptibility and vulnerability to floods of the Cachoeira River in Itabuna, Bahia, using hydrological and geographic data modeling to identify risk areas and their potential impacts. The analysis considered areas affected by floods with different return periods and water depths. Flood hazard was classified based on the probability of occurrence and event intensity, resulting in three categories: prohibited, moderate, and alert areas. Vulnerability was assessed using data from IBGE's 2010 census sectors (IBGE, 2010), processed in QGIS 3.22, based on physical, social, economic, and environmental factors. Risk was calculated as the product of hazard and vulnerability, generating maps with five risk

levels. The highest risks are associated with more frequent floods, even those with lower water levels. Areas with high population density and inadequate sanitation were identified as more vulnerable. The study provides a solid basis for implementing mitigation measures and urban planning strategies to reduce the impacts of future flood events in Itabuna.

**Keywords:** Urban Floods. Urban Vulnerabilities. Risk.

## INTRODUÇÃO

A avaliação do risco associado a inundações requer uma perspectiva integradora que englobe tanto a natureza quanto a sociedade (Menezes; Robaina; Trentin, 2021). Nesse contexto, ao estudar os riscos e fenômenos naturais — especificamente as inundações —, é importante enfatizar dois aspectos. O primeiro diz respeito à forma como as relações sociais se manifestam espacialmente, ou seja, ao entendimento de como diferentes grupos vivem e interagem com o ambiente em locais específicos, e como essa interação pode levar ao risco. O segundo aspecto está relacionado às particularidades de cada área, o que implica reconhecer que diferentes locais possuem características únicas que influenciam como um desastre pode ocorrer e qual será seu impacto. Autores como Veyret e Richemond (2007), Cutter et al. (2008) e Rebelo (2008) exploram essas perspectivas, indicando que, para compreender plenamente os desastres, é essencial considerar onde e como as pessoas vivem, bem como suas interações com o meio ambiente.

Além disso, a avaliação do risco de inundações envolve a análise de dois elementos principais: o perigo (suscetibilidade) e a vulnerabilidade. O perigo refere-se à probabilidade de ocorrência de um evento natural resultante da interação entre elementos físicos e humanos (Marandola Jr.; Hogan, 2004). No contexto das inundações, o perigo diz respeito à chance de um evento prejudicial ocorrer em uma região específica e durante um período definido, sendo influenciado pelas características das precipitações e por fatores físicos, como o relevo e a cobertura vegetal (Alves, 2018). Ele abarca a extensão da área inundada e as características hidráulicas, como a profundidade da água, a velocidade do fluxo, a duração da inundação e a probabilidade de ocorrência (Fernandez et al., 2015). A avaliação do perigo de inundação concentra-se na intensidade do fenômeno, sem considerar diretamente as consequências sociais ou ambientais (Merz; Thieen; Gocht, 2007).

No que se refere à vulnerabilidade do meio, esse conceito diz respeito à habilidade de uma comunidade ou ambiente para resistir e responder à ocorrência de eventos de inundação (Furlan; Spinelli, 2020). Além disso, pode ser entendida como a suscetibilidade a danos provocados por intervenções que excedem a capacidade de resposta do sistema afetado (Santos, 2015; Valle; Francelino; Pinheiro, 2016; Cavalcante et al., 2022). A vulnerabilidade abrange as dimensões social, econômica, física, cultural, ambiental e institucional de um sistema exposto a riscos naturais (Birkmann et al., 2013). Assim, é possível que diferentes locais apresentem danos diversos em um mesmo evento de inundação, dependendo de sua maior ou menor vulnerabilidade. Moreira, Brito e Kobiyama (2021), em uma revisão sistemática sobre índices de vulnerabilidade e inundações, identificaram que, entre os indicadores sociais e econômicos mais utilizados, estão: densidade populacional, taxa de analfabetismo, taxa de desemprego, população feminina, renda per capita e população idosa.

Nesse contexto, considera-se a vulnerabilidade como o conjunto de condições físicas, sociais, econômicas e ambientais — além das capacidades de adaptação — que aumentam a suscetibilidade dos elementos expostos ao impacto dos perigos (United Nations International Strategy for Disaster Reduction – UNISDR, 2009). Por outro lado, a exposição refere-se à localização de pessoas, infraestruturas, habitações, instalações industriais e outros recursos humanos em áreas propensas a perigos naturais (UNISDR, 2016). Assim, o impacto dos danos de uma inundação não se limita apenas às características de intensidade do evento, mas também à vulnerabilidade da região afetada (Furlan; Spinelli, 2020).

Já o risco pode ser descrito como a probabilidade de ocorrência de eventos naturais de certa magnitude (perigo) e a consequente magnitude de perda (vulnerabilidade) em uma área específica durante um período determinado (Merz; Thieen; Gocht, 2007; Menezes; Robaina; Trentin, 2021). Ao integrar o perigo e a vulnerabilidade, é possível calcular o risco por meio do produto entre esses dois fatores. Isso porque a avaliação de risco não se limita à identificação da existência e do grau de vulnerabilidade (Goularte, 2022), mas também abrange a análise da intensidade, natureza e probabilidade dos perigos,

bem como a capacidade de resposta e controle dos danos. Ao tratar do risco de inundação, é necessário considerar sua multidimensionalidade e analisar suas variáveis conforme a complexidade que o fenômeno requer. É essencial destacar que o risco não deve ser reduzido a uma simples equação, mas compreendido como parte de um contexto mais amplo, que engloba tanto o perigo quanto a vulnerabilidade (Merz; Thieen; Gocht, 2007; Veyret; Richemond, 2007; Santos, 2015).

O mapeamento das áreas vulneráveis à inundação desempenha um papel crucial no ordenamento do território urbano, especialmente em locais como Itabuna, no sul da Bahia. Esse município tem enfrentado historicamente inundações severas, que afetam comunidades e causam danos significativos ao comércio. Embora os parâmetros morfológicos da bacia hidrográfica sugiram baixa probabilidade de inundações, fatores como a ocupação inadequada do solo, a urbanização desordenada e a impermeabilização da área têm exacerbado esses eventos (Hora, 2009; Hora; Gomes, 2009).

Desde as primeiras grandes inundações registradas em 1914 e 1920 até eventos mais recentes, como os de 1967 e dezembro de 2021, Itabuna tem enfrentado recorrentes desafios com esse fenômeno. Esses eventos afetaram não apenas áreas periféricas, como os bairros de Mangabinha e Bananeira, mas também o centro urbano, causando danos graves e deixando milhares de pessoas desabrigadas ao longo dos anos (Andrade; Rocha, 2005). Estudos como os de Hora e Gomes (2009) e outros — a exemplo de Rezende, Marques e Oliveira (2017) em Paracatu-MG; Wubalem et al. (2020) no noroeste da Etiópia; Chattaraj, Paul e Sarkar (2021) em Bazar de Malda, Índia; Farhadi e Najafzadeh (2021) no norte do Irã; Weday, Tabor e Gameda (2023) no sudoeste da Etiópia; e Rana et al. (2024) em Bangladesh — exemplificam como o uso de geotecnologias no mapeamento de áreas de risco tem sido essencial para compreender e gerir melhor os riscos de inundação em áreas vulneráveis.

Portanto, este estudo tem como objetivo mapear a suscetibilidade e a vulnerabilidade ocasionadas pelas cheias do rio Cachoeira na cidade de Itabuna-BA, como elementos de risco a inundações. Para tanto, realizou-se o mapeamento e a classificação das diferentes classes de suscetibilidade (Farias; Gomes; Silva, 2024), vulnerabilidade e consequentes áreas de risco à inundação.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Área em estudo*

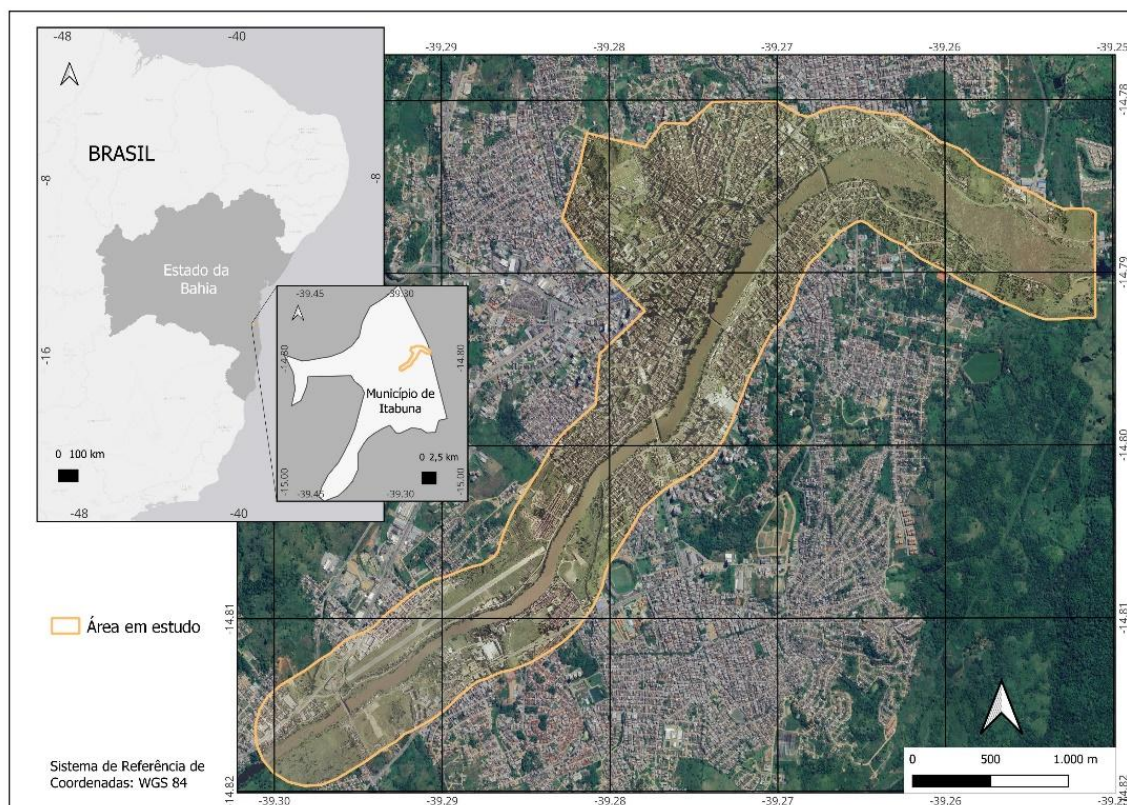
A área em estudo foi delimitada com o objetivo de englobar o trecho da cidade de Itabuna-BA que margeia o rio Cachoeira, incluindo as porções passíveis de inundação durante cheias com diferentes tempos de recorrência. Compõe-se de uma faixa de aproximadamente 1 km de largura por 7,5 km de extensão, que cruza a cidade no sentido sudoeste-nordeste (Figura 1). O limite sudoeste da área (montante) é marcado, em campo, pela ponte da BR-101 que cruza o rio Cachoeira, enquanto o limite nordeste (jusante) estende-se até o anel de contorno da BR-415, que margeia o rio.

O município de Itabuna-BA localiza-se na região sul da Bahia, a cerca de 450 km da capital do estado. De acordo com a classificação de Köppen (1931), o clima do município é do tipo tropical de floresta, com precipitações anuais variando entre 1.900 e 2.000 mm, e precipitações médias mensais superiores a 60 mm. A vazão média do rio Cachoeira, na seção da ponte da BR-101 — localizada no início do trecho de montante da área em estudo —, segundo Farias e Gomes (2023), é de 21,13 m<sup>3</sup>/s, aumentando cerca de 36 vezes para a média anual de vazões máximas de 772,32 m<sup>3</sup>/s. Os períodos de vazão máxima estão associados a episódios de chuvas extremas que ocasionam alagamentos em comunidades ribeirinhas e chegam a atingir o centro comercial da cidade.

Registros históricos apontam que o primeiro evento de grande inundação no trecho do rio Cachoeira, no município de Itabuna, ocorreu em 1914, seguido por outro em 1920. Além desses, há relatos de inundações nos bairros mais ribeirinhos nos anos de 1947 e 1957. Já em 1964 e 1965, as inundações tomaram maiores proporções e passaram a atingir o centro urbano do município. Em dezembro de 1967, ocorreu a inundação mais intensa da história da cidade, que atingiu a principal avenida comercial, deixou cerca de vinte mil desabrigados, destruiu três mil casas e causou grandes prejuízos ao comércio (Andrade; Rocha, 2005). Em dezembro de 2021, Itabuna foi novamente atingida por um evento significativo de inundação, em que as águas do rio Cachoeira subiram cerca de 9 m acima do nível normal, deixando aproximadamente seiscentas famílias desabrigadas e resultando em duas mortes. Dados do Centro de Informações Estratégicas em Vigilância em Saúde do Estado da Bahia (CIEVS,

2023) indicam que, durante as inundações ocorridas em dezembro de 2021, cerca de 6.956 pessoas foram afetadas.

Figura 1 - Localização da área de estudo, trecho do núcleo urbano de Itabuna-BA



Fonte: Farias; Gomes; Silva, (2024).

### O método adotado

O método adotado iniciou-se com a execução de atividades voltadas à compreensão do perigo de inundação no trecho estudado, a partir da definição das áreas atingidas por cheias com diferentes tempos de recorrência e respectivas alturas da lâmina d'água. Para tanto, realizou-se o estudo dos dados históricos do posto fluviométrico *Contorno da BR-101*, localizado a montante do centro urbano da cidade de Itabuna, onde se inicia a área analisada. Foram considerados parâmetros como vazão média mensal, vazão média anual, vazão máxima média mensal e vazão máxima anual.

A partir da manipulação dos dados hidrológicos no software SisCAH 1.0, calcularam-se as vazões máximas de cheias e, em seguida, as cotas correspondentes a tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 54 e 100 anos, referentes à seção transversal da estação *Contorno da BR-101* e a uma seção localizada na zona central da cidade, visando à caracterização da cota de transbordamento e de inundação do centro comercial. Resultados e detalhes metodológicos referentes a esta etapa podem ser consultados em Farias e Gomes (2023) e estão apresentados, de forma resumida, na Tabela 1 e na Figura 2.

Tabela 1 - Cotas atingidas, vazões máximas e altura da lâmina d'água em diferentes períodos de retorno na estação Contorno da BR-101 (53180000)

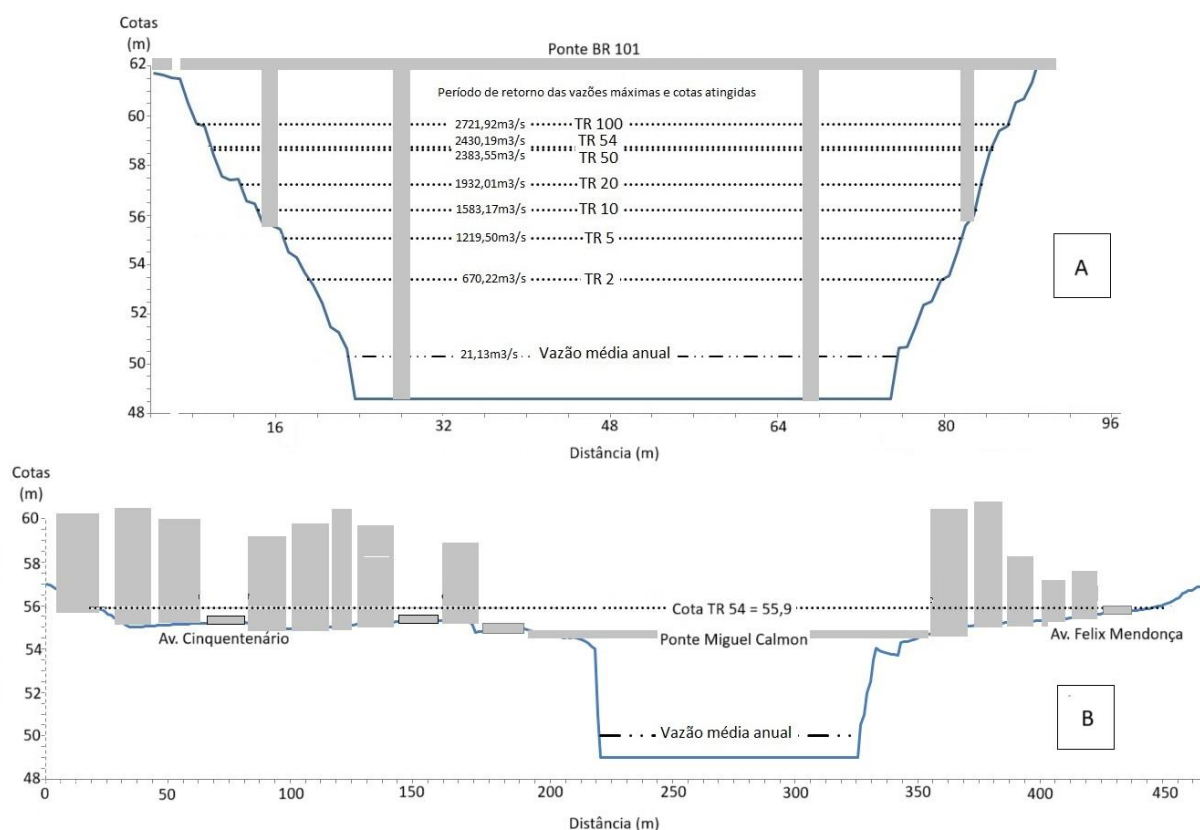
| Tempo de recorrência (anos) | Cota atingida (m) | Acréscimo na altura de lâmina d'água com relação a cota de vazão média anual (m) |       | Vazão máxima de cheias (m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------|
| 2                           | 53,41             | 1,73                                                                             |       | 670,22                                     |
| 5                           | 55,10             | 4,81                                                                             |       | 1.219,50                                   |
| Caminhos de Geografia       |                   | Uberlândia - MG                                                                  | v. 27 | 2026                                       |
|                             |                   | e2710                                                                            |       | Página 4                                   |

|     |       |       |          |
|-----|-------|-------|----------|
| 10  | 56,20 | 6,50  | 1.583,17 |
| 20  | 57,26 | 7,60  | 1.932,01 |
| 54  | 58,75 | 8,66  | 2.430,19 |
| 100 | 59,67 | 10,15 | 2.721,92 |

Fonte: Adaptada de Farias e Gomes (2023).

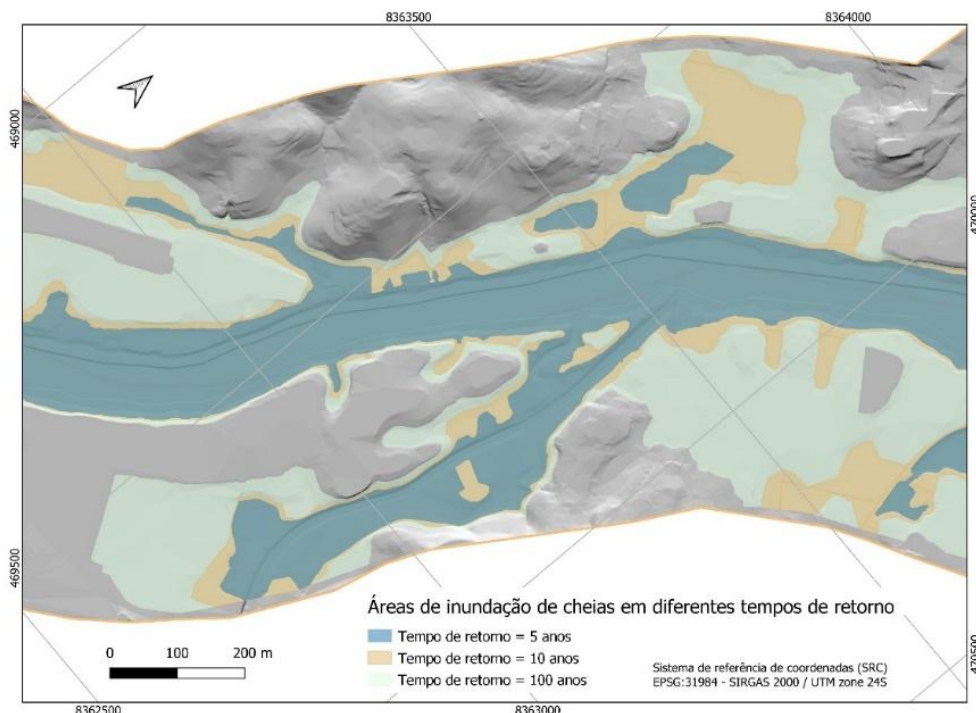
Em seguida, foi realizada a modelagem desses dados no software HEC-RAS (USACE, 2021), em conjunto com as informações do modelo digital do terreno. Para tanto, no ambiente do HEC-RAS definiu-se a geometria do terreno, composta por: canal principal do rio (*rivers*), linhas que delimitam as bordas do canal principal (*bank lines*), área em que ocorre o escoamento do fluxo (*flow paths*) e seções transversais de análise (*cross sections*). Depois de delimitar o regime de escoamento como permanente e a declividade do trecho, determinou-se o regime como de fluxo misto. Obtiveram-se, então, como resultados a área atingida pelas inundações, a profundidade da lâmina d'água e a velocidade da correnteza, para os diferentes tempos de retorno, em toda a área estudada. Maiores detalhes metodológicos e resultados encontrados nessa etapa podem ser vistos em Farias, Gomes e Silva (2024) (Figura 3).

Figura 2 - (A) Perfil transversal esquemático do rio Cachoeira 2500m a jusante da estação Contorno da BR-101; (B) Perfil transversal do rio Cachoeira 60 metros a jusante da estação Contorno da BR-101; ambas em Itabuna-BA



Fonte: Adaptada de Farias e Gomes (2023).

Figura 3 - Exemplo da mancha de inundação modelada no *software* HEC-RAS para os tempos de recorrência de 5,10 e 54 anos na área em estudo



Fonte: Adaptada de Farias; Gomes e Silva (2024).

Conforme exposto anteriormente, o perigo de inundação é modelado a partir da relação entre os valores de probabilidade de ocorrência e a intensidade dada pela altura da lâmina d'água. A probabilidade é calculada pela relação  $1/TR$ . Ou seja, uma cheia com tempo de recorrência de 10 anos possui probabilidade de 0,1 (10%) de acontecer. Já a intensidade do evento resulta da altura da lâmina d'água, em metros, ou da velocidade da correnteza. No presente trabalho, essa relação é dada pelo produto entre a probabilidade de ocorrência e as alturas da lâmina d'água. Para tanto, em ambiente SIG, por meio de álgebra de mapas, os *grids* de altura da lâmina d'água nos diferentes TRs foram multiplicados por suas probabilidades; em seguida, os valores de perigo em cada TR foram somados, agregando o valor final do Perigo. A Equação 1 apresenta a álgebra de mapas utilizada em ambiente SIG para a produção do mapa de perigo na área em estudo.

$$P = \sum \frac{1}{TR_x} * H_x \quad (1)$$

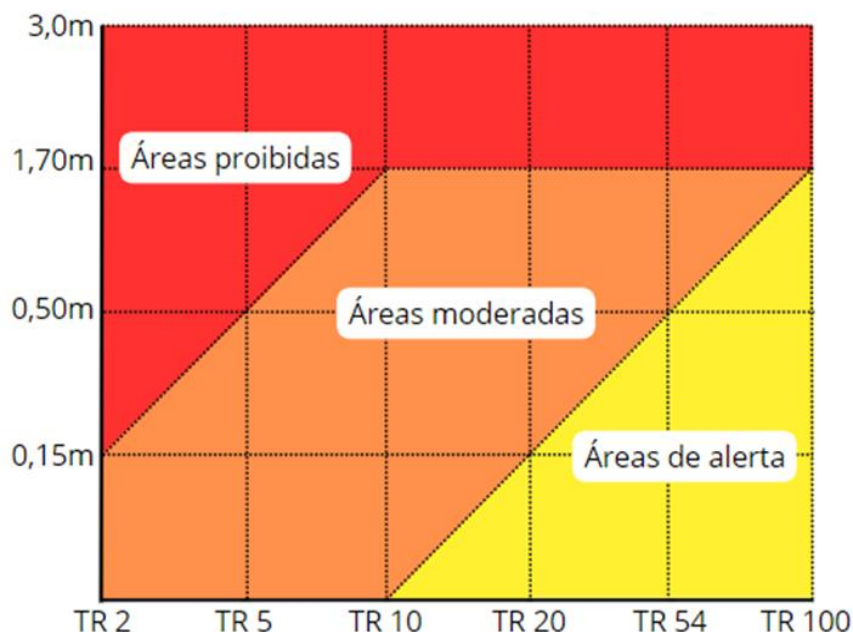
Em que  $P$ : Perigo,  $TR_x$ : Diferentes tempos de recorrência ( $x=2, 5, 10, 20, 54, 100$ ) e  $H_x$ : Altura da lâmina d'água nos diferentes tempos de recorrência.

Tendo em vista a classificação dos valores de perigo calculados anteriormente, utilizaram-se os pressupostos de Merz, Thieen e Gocht (2007), em que o perigo é retratado em uma matriz intensidade-frequência da inundação (Figura 4). Os autores sugerem classificar as áreas atingidas em três níveis de perigo: áreas proibidas, onde as edificações são proibidas; áreas moderadas, em que as edificações são permitidas sob restrições; e áreas de alerta, nas quais inundações mais intensas podem ocorrer com menor probabilidade. Parte-se, portanto, da hipótese de que, quanto maior a frequência com que um evento perigoso ocorre, associada a intensidade prejudicial, maior será o dano.

Os limites de altura da lâmina d'água na Figura 3 foram adaptados da metodologia de Merz, Thieen e Gocht (2007). O critério adotado baseia-se no reconhecimento de marcos que retratam o nível alcançado pelas águas e seu poder destrutivo. O nível de inundação de 0,15 m foi considerado aquele em que a lâmina d'água pode restringir-se à altura do meio-fio das ruas. O limite de 0,50 m associa-se a alagamentos que podem invadir o interior de estruturas construídas. Profundidades de até 1,70 m podem ocasionar alagamento completo de cômodos localizados no primeiro pavimento. Já

profundidades superiores a 1,70 m promovem lâmina d'água que pode atingir o andar superior de construções. A Tabela 2 apresenta os valores de perigo encontrados para cada classe nos diferentes tempos de recorrência.

Figura 4 - Matriz de avaliação do perigo a inundação



Fonte: Adaptada de Merz, Thieen e Gocht, (2007).

Tabela 2 - Valor de perigo nas diferentes classes de altura de lâmina d'água

| TR  | Probabilidade | Valor de perigo nas diferentes classes de altura de lâmina d'água |          |          |         |
|-----|---------------|-------------------------------------------------------------------|----------|----------|---------|
|     |               | 0,15 (m)                                                          | 0,50 (m) | 1,70 (m) | 3,0 (m) |
| 2   | 0,5           | 0,075                                                             | 0,25     | 0,85     | 1,5     |
| 5   | 0,2           | 0,03                                                              | 0,1      | 0,34     | 0,6     |
| 10  | 0,1           | 0,015                                                             | 0,05     | 0,17     | 0,3     |
| 20  | 0,05          | 0,0075                                                            | 0,025    | 0,085    | 0,15    |
| 54  | 0,0185        | 0,0028                                                            | 0,0093   | 0,0315   | 0,0556  |
| 100 | 0,01          | 0,0015                                                            | 0,005    | 0,017    | 0,03    |

Fonte: Os autores, (2025).

Conhecido o perigo, em seguida, as atividades metodológicas tiveram como objetivo o conhecimento das vulnerabilidades das áreas atingidas pelos eventos de cheias. Conforme visto anteriormente, a vulnerabilidade pode ser definida como as características dos elementos em risco, com condições determinadas por fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto dos perigos. Nesse contexto, uma mesma inundação poderá provocar danos diferenciados em virtude das diferentes vulnerabilidades das áreas atingidas (Wind et al., 1999; Merz; Thieen; Gocht, 2007; Hora, 2009; Hora; Gomes, 2009). Para a análise do risco à inundação da zona urbana de Itabuna, foram avaliadas e mapeadas as vulnerabilidades da área, distribuídas em quatro dimensões: social, econômica, físico-ambiental e institucional. Para tanto, foram elencadas 15 variáveis consideradas representativas da vulnerabilidade (Tabela 3), conforme Hora e Gomes (2009), Kubal et al. (2009) e Moreira, Brito e Kobiyama (2021).

Tabela 3 - Variáveis representativas da vulnerabilidade das inundações na área de estudo

| Dimensão         | Critério                                                             | Unidade de medida                                                                                             |
|------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | Densidade Populacional                                               | nº de habitantes/km <sup>2</sup>                                                                              |
| Social           | Habitantes do sexo feminino                                          | (%) do sexo feminino do total de habitantes do setor censitário afetado                                       |
|                  | Habitantes na faixa etária acima de 60 anos                          | (%) com faixa etária acima de 60 anos do total de habitantes do setor censitário afetado                      |
| Econômica        | Habitantes com renda inferior a 1 salário-mínimo                     | (%) de habitantes com renda inferior a 1 salário-mínimo do total de habitantes do setor censitário afetado    |
|                  | Habitantes com renda inferior a 1/4 de salário-mínimo                | (%) de habitantes com renda inferior a ¼ do salário-mínimo do total de habitantes do setor censitário afetado |
| Institucional    | Presença de hospitais, Postos de Saúde, Unidades de Saúde da Família | nº de hospitais no setor censitário afetado                                                                   |
|                  | Instituições Educacionais e Creches                                  | nº de Instituições educacionais e creche no setor censitário afetado                                          |
|                  | Instituições de Segurança Pública                                    | nº de Instituições de segurança pública no setor censitário afetado                                           |
|                  | Instituições Públicas Administrativas                                | nº de Instituições públicas administrativas no setor censitário afetado                                       |
| Físico-ambiental | Domicílio sem saneamento                                             | (%) de domicílios sem saneamento do total de habitantes do setor censitário afetado                           |
|                  | Domicílio sem água potável                                           | (%) de domicílios sem água potável do total de habitantes do setor censitário afetado                         |
|                  | Classes de uso e ocupação do solo                                    | Adimensional                                                                                                  |

Fonte: Hora; Gomes, 2009; Kubal *et al.*, 2009; Moreira; Brito; Kobiyama, 2021.

Para a composição das variáveis referentes às dimensões social, econômica e físico-ambiental, utilizaram-se dados dos setores censitários disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, por meio do *plugin* Censo IBGE 2010 (IBGE, 2010), manipulados no software QGIS 3.22 (QGIS, 2022). Ressalta-se que a utilização do Censo 2010 justifica-se pela indisponibilidade de dados censitários mais atualizados no momento da realização deste estudo.

Inicialmente, realizou-se o recorte dos setores censitários somente para a área atingida pela mancha de inundação com TR de 100 anos, considerando que essa é a maior área passível de ser inundada estudada neste trabalho. Em seguida, os dados foram extraídos em formato de planilha e manipulados no Microsoft Excel, onde foram calculadas a densidade populacional de cada setor e as porcentagens referentes a cada variável analisada. Para a padronização da densidade populacional, utilizou-se a classificação proposta por Acioly e Davidson (1998): densidades maiores que 400 hab/ha são consideradas muito altas; entre 200 e 400 hab/ha, altas; entre 100 e 200 hab/ha, médias; e menores que 100 hab/ha, baixas. Cada setor foi alocado em uma dessas classes e recebeu valores entre 0 e 1, sendo 0,25 para densidades baixas, 0,50 para médias, 0,75 para altas e 1,0 para muito altas. Para as demais variáveis, com exceção das institucionais e de uso e ocupação do solo, os valores em porcentagem foram transformados em números decimais compreendidos entre 0 e 1.

Para a definição das variáveis da dimensão institucional, realizou-se busca na base Google Maps da localização de instituições de saúde, segurança, educação e gestão pública ocorrentes dentro da mancha de inundação, associando-as ao setor censitário em que estão inclusas. Admitiu-se valor 1 para cada variável institucional nos casos em que houve a ocorrência de pelo menos uma instituição e valor 0 para os setores que não apresentaram instituições em sua área.

Para a caracterização do uso e ocupação do solo das áreas atingidas, realizou-se mapeamento a partir da interpretação visual de imagens de satélite disponíveis no Google Earth para o ano de 2024 (Google, 2024) e de fotografias aéreas (Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia – Conder, 2002), em ambiente SIG. Essas áreas foram classificadas de acordo com a presença ou não de edificações. Assim, admitiu-se que áreas edificadas são vulneráveis a eventos de inundação e receberam valor 1, e que áreas apenas de vegetação não possuem vulnerabilidade, recebendo valor 0. Para os setores que possuíam ambos os tipos de ocupação, calculou-se a área edificada e atribuiu-se o valor de vulnerabilidade equivalente a essa ocupação.

Ponderadas as variáveis com valores de 0 a 1, tornou-se possível, em ambiente SIG e com álgebra de mapas, calcular a distribuição das classes de vulnerabilidade na área, a partir da Equação 2.

$$V = \sum \frac{\text{valor da variável}}{\text{número de variáveis}} \quad (2)$$

Dessa forma, quanto mais próximo de 0, menor a vulnerabilidade dessa área à inundação e, quanto mais próximo de 1, maior a vulnerabilidade aos danos causados pelo perigo da inundação. Para tanto, atribuíram-se pesos iguais a todas as variáveis, visto que, no estudo de Moreira, Brito e Kobiyama (2021), esse foi o método de ponderação com maior porcentagem de uso em pesquisas com foco em vulnerabilidade à inundação. Por fim, por meio de álgebra de mapas, confeccionou-se o mapa de vulnerabilidade, dividindo-se os valores em quatro classes, com intervalo de 0,25: baixa (0–0,25), média (0,25–0,50), alta (0,50–0,75) e muito alta (0,75–1,00).

A partir desses dados, elaborou-se o mapa de risco à inundação no QGIS 3.22, utilizando álgebra de mapas e considerando que o risco (R) é o produto entre o perigo do evento e a vulnerabilidade das áreas atingidas, conforme representado na Equação 3. Cabe ressaltar que esse conceito de risco de inundação compreende uma abordagem integrada, que considera tanto a intensidade do fenômeno quanto a suscetibilidade dos elementos expostos. Já o risco hidrológico, embora também relacionado a eventos como inundações, refere-se predominantemente à probabilidade estatística de ocorrência de eventos extremos, baseada em séries históricas de dados hidrometeorológicos, sem necessariamente incorporar fatores sociais, econômicos ou de uso e ocupação do solo. Assim, o risco de inundação, conforme adotado neste estudo, abrange uma perspectiva mais ampla e interdisciplinar, fundamental para a gestão territorial e o planejamento urbano.

$$R = P * V \quad (3)$$

*Em que: R: Risco a inundação; P: Perigo do evento de inundação e V: Vulnerabilidade da área atingida.*

Assim, cada parcela da área de estudo teve seu risco classificado conforme a Tabela 4, oriunda do cruzamento entre os valores de perigo e de vulnerabilidade. A partir dos valores obtidos nesse cruzamento, estabeleceram-se os intervalos para cada classificação do risco, sendo: para classe I o risco é menor do que 0,005, sendo resultado da menor classe de perigo multiplicada pela menor classe de vulnerabilidade; para classe II o risco está compreendido entre o intervalo de 0,005 e 0,010 que é resultado da multiplicação do menor grau de perigo pelo grau II de vulnerabilidade; para a classe III o risco está compreendido entre 0,010 e 0,038, oriundo da multiplicação da classe intermediária do perigo pelas classes I, III e IV de vulnerabilidade; para a classe IV o risco está compreendido entre 0,038 e 0,075, sendo produto do cruzamento entre a classe II de risco com a classe II de vulnerabilidade e, da classe III do perigo com a classe II de vulnerabilidade; e, por fim, na classe V o risco é superior a 0,075 obtido a partir do cruzamento do maior grau de perigo pelos maiores graus de vulnerabilidade.

Tabela 4 - Cruzamento entre os valores de perigo e vulnerabilidade

| Classe | Perigo        | Valor de Vulnerabilidade (adimensional) |                        |                        |                      |
|--------|---------------|-----------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
|        |               | 0,25 (I - Baixa)                        | 0,50 (II - Média)      | 0,75 (III - Alta)      | 1 (IV – Muito alta)  |
| I      | ≤0,02         | R≤0,005 (I/I)                           | 0,005<R≤0,01 (I/II)    | 0,01<R≤0,015 (I/III)   | 0,015<R≤0,02 (I/IV)  |
| II     | >0,02 - ≤0,15 | 0,02<R≤0,038 (II/I)                     | 0,038<R≤0,075 (II/II)  | 0,075<R≤0,116 (II/III) | 0,116<R≤0,15 (II/IV) |
| III    | > 0,15        | 0,038<R≤0,075 (III/I)                   | 0,075<R≤0,116 (III/II) | 0,116<R≤0,15 (III/III) | R> 0,15 (III/IV)     |

Fonte: Os autores, (2025).

Dessa forma, por meio da integração das variáveis adotadas para o mapeamento do risco de inundação e do conhecimento da tendência de ocorrência de extremos climáticos, será possível realizar uma análise integrada quanto à possibilidade de alteração do grau de risco a que o município e seus habitantes estão expostos. É importante ressaltar que tal compreensão poderá identificar áreas cuja suscetibilidade à inundação será potencializada ou reduzida.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Classificação do perigo das áreas atingidas

Com o cálculo e a espacialização dos dados de perigo, identificou-se uma área de 2,16 km<sup>2</sup> suscetível a eventos de inundação, correspondendo a cerca de 34,72% de toda a área de estudo (Tabela 5).

Tabela 5 - Classes definidas para o perigo de inundação do centro urbano de Itabuna, BA

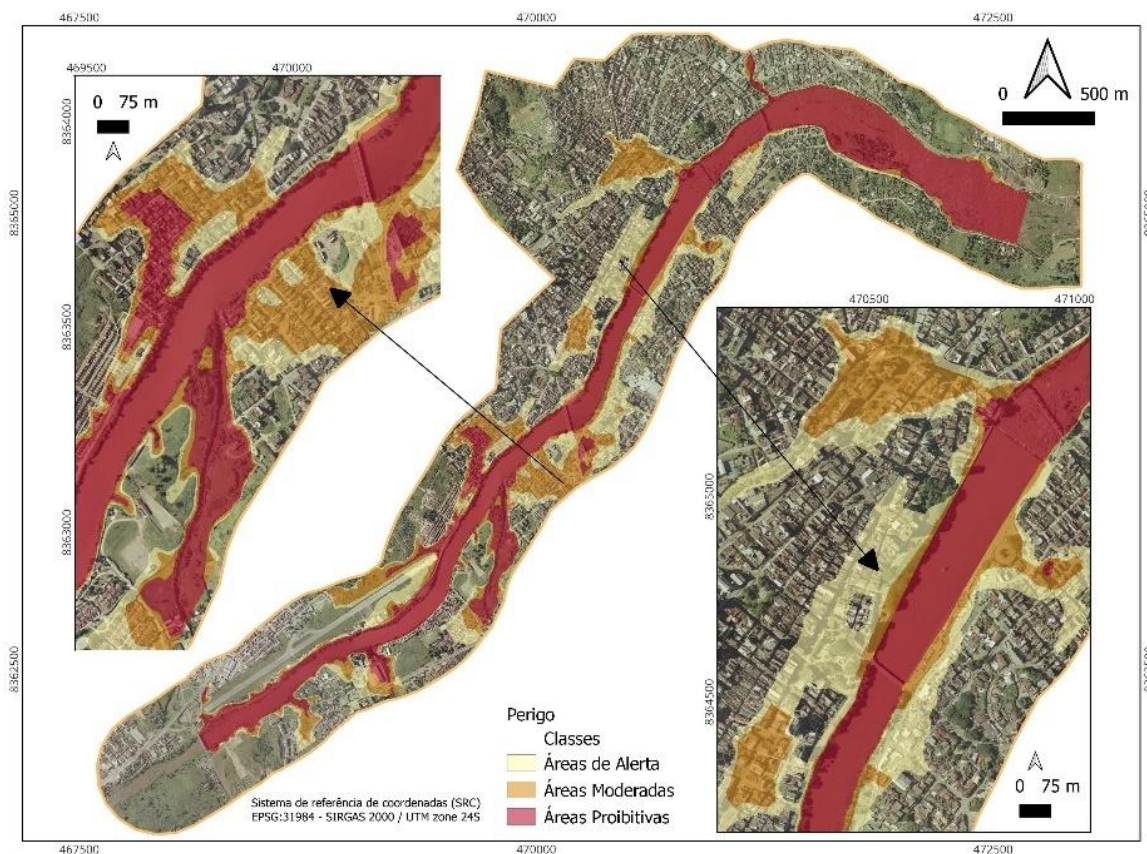
| Classe | Classificação     | Características e probabilidades de ocorrência                                                                                                                                                                                                                                                                  | Valor do perigo | Área afetada (%) | Área afetada (km <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|---------------------------------|
| I      | Áreas de alerta   | Áreas atingidas em inundações com tempo de recorrência superior a 10 anos. A depender da posição no relevo ocorre: uma inundação a cada 20 anos para lâmina d'água de 15 cm; uma a cada 54 anos para lâmina d'água de 50 cm; profundidades de 1,70m a cada 100 anos em alguns trechos.                          | ≤ 0,02          | 25,92            | 0,56                            |
| II     | Áreas Moderadas   | A depender da posição no relevo ocorre: uma vez a cada dois anos para lâmina d'água menor ou igual a 15 cm; 1 vez a cada 5 anos para lâmina d'água menor ou igual a 50 cm; pelo menos uma vez a cada 10 anos para lâminas d'água menores ou iguais a 1,70 m. Podem atingir 3 m de lâmina d'água a cada 54 anos. | 0,02 – 0,15     | 20,84            | 0,45                            |
| III    | Áreas proibitivas | A depender da posição no relevo ocorre: Anualmente inundações de até 0,15 cm; 1 vez a cada dois anos para lâmina d'água acima de 15 cm; 1 vez a cada 5 anos para lâmina d'água acima de 50 cm; pelo menos uma vez a cada 10 anos para lâminas d'água acima de 1,70 m.                                           | > 0,15          | 53,24            | 1,15                            |

Fonte: Os autores, (2025).

Os dados da Tabela 5, a maior parte das áreas inundadas está compreendida na classe III, com grau de perigo superior a 0,15. Essas áreas correspondem a 53,31% da área afetada pelas inundações e são classificadas como áreas proibitivas. Os locais atingidos estão restritos à calha do rio Cachoeira, a alguns de seus afluentes e às suas margens, afetando bairros ribeirinhos como o aglomerado da

Bananeira. Além disso, há incursão discreta nos bairros Jaçanã, Mangabinha e Banco Raso, associada às TRs 2, 5 e 10 (Figura 5).

Figura 5 - Distribuição espacial do perigo para a área de estudo



Fonte: Os autores, (2025).

Em seguida, encontra a classe I, com 25,98% da área afetada, correspondendo a locais com perigo menor que 0,02. As áreas abrangidas por essa classe são caracterizadas como áreas de alerta e estão associadas às TRs 54 e 100. Nesse caso, a maioria dos locais atingidos é de áreas edificadas e inclui os bairros Jaçanã, Banco Raso, Jardim Vitória, Góes Calmon, Nossa Senhora da Conceição, Pontalzinho, Centro, Mangabinha e Lomanto Júnior.

Os bairros atingidos pela classe I repetem-se na classe II, porém com uma extensão menor, abrangendo principalmente as áreas mais próximas à calha do rio Cachoeira. São áreas consideradas moderadas e correspondem a 20,70% do total de inundação, com grau de perigo entre 0,02 e 0,15, associadas à TR 20.

Portanto, é possível perceber que as áreas com os graus mais altos de perigo estão associadas aos tempos de retorno menores. Ou seja, quanto maior a frequência dos eventos, maior será o perigo a que as áreas estão submetidas. Nesse contexto, entende-se que, embora os tempos de retorno mais longos estejam associados a maiores lâminas d'água, eles oferecem perigo menor do que eventos que ocorrem com maior frequência e com lâminas d'água menores.

Dessa forma, as áreas com maior grau de perigo estão associadas à calha do rio Cachoeira, a seus afluentes e margens, sendo classificadas como áreas proibidas para serem habitadas e edificadas. De modo geral, esses locais estão associados a alturas de lâminas d'água menores em tempos de retorno mais curtos e as alturas maiores em tempos de retorno mais longos. Ou seja, mesmo que um evento ocorra com intensidade menor, se apresentar frequência maior, oferecerá um grau mais alto de perigo.

As áreas consideradas moderadas são aquelas associadas às TR 2, TR 5 e TR 10, com alturas de lâminas d'água de até 0,15 m, 0,50 m e 1,70 m, respectivamente. Já as áreas de alerta estão associadas a TRs menos recorrentes, como TR 20, TR 54 e TR 100. As alturas de lâminas d'água nessas TRs também estão entre 0,15 m e 1,70 m; no entanto, o que as difere das áreas moderadas é justamente a menor frequência. Além do que já foi mencionado, é importante salientar que, quando ocorrem os eventos de classe I e classe II, as áreas de classe III são severamente atingidas

### ***Vulnerabilidade das áreas atingidas***

As variáveis representativas da vulnerabilidade da área de estudo estão apresentadas na Figura 6, a saber: densidade populacional; porcentagem de habitantes do sexo feminino; porcentagem de habitantes com 60 anos ou mais; porcentagem de habitantes com renda inferior a um salário mínimo; porcentagem de habitantes com renda inferior a  $\frac{1}{4}$  do salário mínimo; porcentagem de domicílios sem saneamento e sem água potável; presença de unidades de saúde; instituições educacionais e creches; instituições de segurança pública; e presença de instituições públicas administrativas.

A densidade populacional influencia diretamente a vulnerabilidade a inundações. Isso ocorre devido ao maior número de pessoas expostas ao risco, o que aumenta a probabilidade de danos durante o evento. Além disso, em áreas densamente povoadas há dificuldade de evacuação e fatores ambientais como a impermeabilização do solo ocorrem de forma mais intensa. Nesse caso, dentre os setores analisados, 54% apresentam densidade populacional classificada como baixa, 33% como média e 12,5% como alta. A maior densidade populacional encontrada foi de 295,24 hab/ha, enquanto a menor foi de 4,92 hab/ha, nos bairros Mangabinha e São Judas Tadeu, respectivamente.

Em relação à população feminina, esta é frequentemente considerada vulnerável a desastres devido a fatores sociais, econômicos e culturais. Entre eles, destaca-se o papel de cuidado exercido predominantemente por mulheres, que tende a se intensificar em eventos de inundação, tornando-as mais vulneráveis ao terem que garantir a própria segurança e a de seus dependentes. Além disso, em algumas culturas, as mulheres podem enfrentar desafios que as impedem de participar ativamente na tomada de decisão relacionada à preparação e resposta a fenômenos naturais, resultando em respostas inadequadas ou menos eficazes quando esses eventos ocorrem (Chew; Ramdas, 2005; Enarson, 2000; Enarson; Fordham, 2017). Dos setores censitários analisados, apenas 2% não apresentam população feminina superior à masculina; em 4% a proporção é igual para ambos os sexos. Nos demais (94%), concentra-se 59% da população feminina da área em estudo.

Quanto aos habitantes idosos, a menor concentração corresponde a 4,37% da população de um setor (bairro Lomanto Júnior), enquanto a maior corresponde a 24,3% (bairro Centro). A vulnerabilidade dessa população a inundações e outros fenômenos naturais relaciona aspectos como: limitação de mobilidade (dificultando fuga rápida durante os eventos); isolamento social (dificultando obtenção de ajuda e proteção); e dificuldade de recuperação após o evento — física, emocional e financeira (CDC, 2012; Fisher; Hummel, 2020).

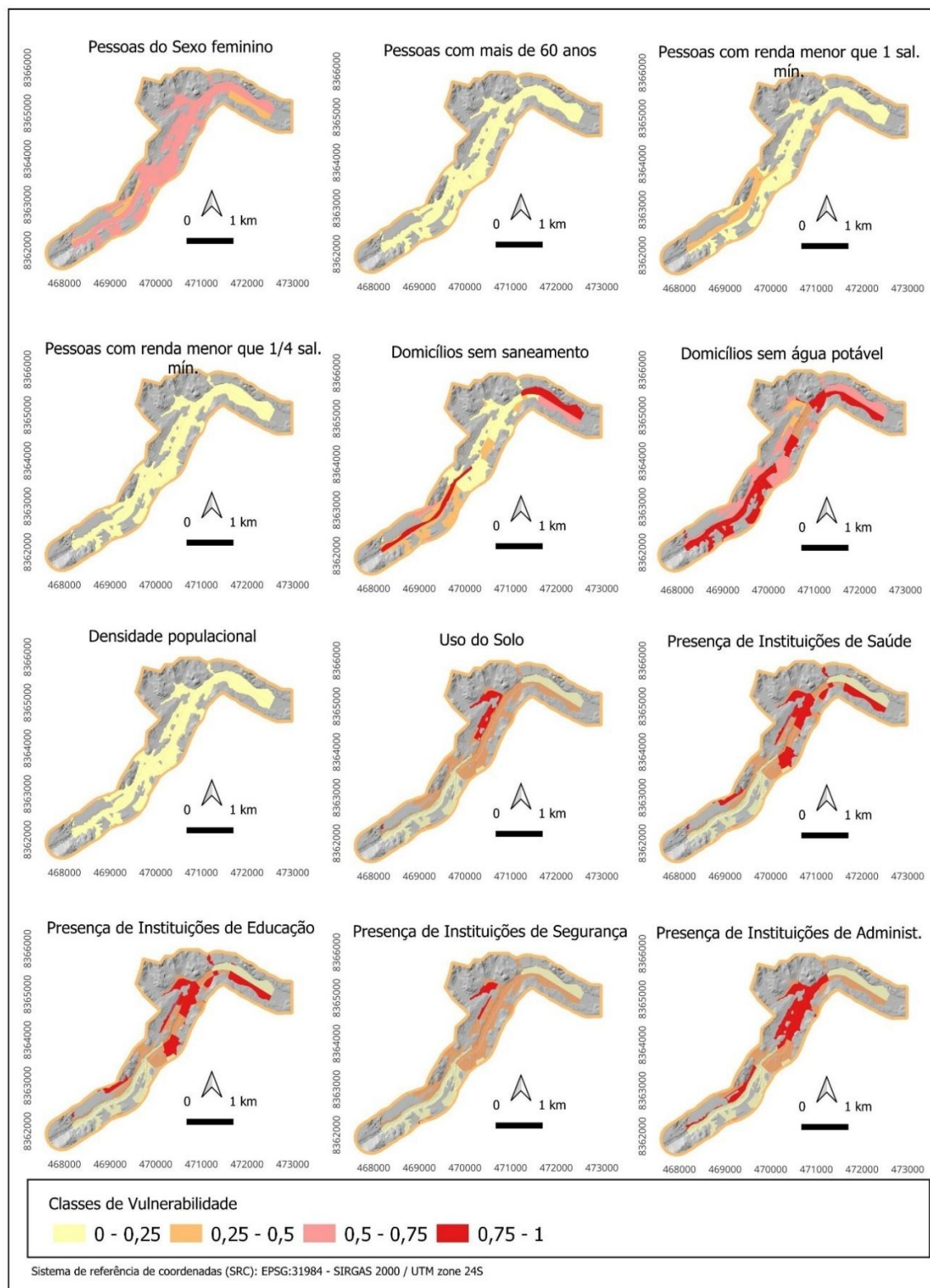
Considerando os rendimentos financeiros como fator de influência na vulnerabilidade, 1 salário mínimo pode ser visto como a renda mínima para suprir necessidades básicas. A maior concentração de habitantes com renda inferior a um salário mínimo foi de 32%; e com renda inferior a  $\frac{1}{4}$  do salário mínimo, 21,8%. Já os menores valores corresponderam a 6,47% da população com renda menor que um salário mínimo — a menor porcentagem dentre todos os setores analisados. Para a renda inferior a  $\frac{1}{4}$  do salário mínimo houve um setor sem nenhum habitante nessa condição.

Sabe-se que domicílios sem saneamento básico são mais propensos a alagamentos durante chuvas intensas, aumentando o risco de danos materiais e, consequentemente, sua vulnerabilidade. Além disso, a ausência de saneamento pode elevar o risco de doenças de veiculação hídrica (Santos; Berticelli; Fritsch, 2018; Silva et al., 2023). Nesta análise, destaca a ocorrência de 14,6% de setores que possuem mais de 60% de seus domicílios sem saneamento básico, incluindo um setor com 99,39% de domicílios sem saneamento (parte do bairro Jaçanã). Em contrapartida, 12,5% dos setores não possuem nenhum domicílio sem saneamento.

Os domicílios sem acesso à água potável são caracterizados como mais vulneráveis a inundações devido ao risco de contaminação das fontes de consumo (poços e reservatórios), ao aumento de doenças de veiculação hídrica, à dificuldade de acesso a fontes seguras e às limitações de higiene

(Usman; Gerber; Von Braun, 2018). Cerca de 42% dos setores analisados apresentaram pelo menos um domicílio sem acesso à água potável, destacando-se um setor com 18,97% nessa condição.

Figura 6 - Variáveis representativas da vulnerabilidade para a área de estudo



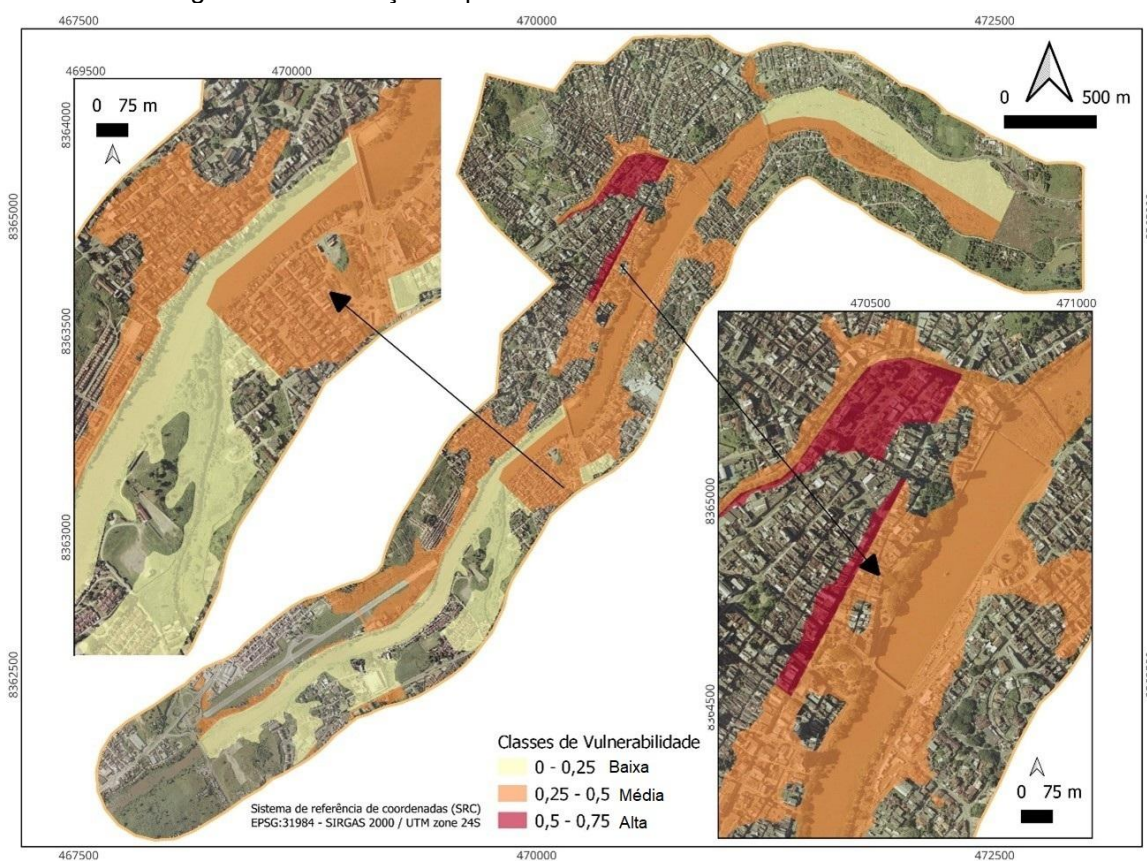
Fonte: IBGE, 2010. Elaboração: Os autores, 2025.

Por fim, a presença de instituições como escolas, hospitais e órgãos governamentais pode tornar o local mais vulnerável a eventos de inundação devido a fatores como: interrupção de serviços; dificuldade de evacuação (concentração de pessoas); presença de infraestrutura complexa (equipamentos médicos, laboratórios e sistemas de informação) suscetível a danos; e recuperação demorada quando há danos significativos. As instituições de saúde estão presentes em 19% dos setores com potencial de serem atingidos por cheias; as educacionais, em 25%; as de segurança, em 8,3%; e as de administração pública, em 23%.

Após a realização da álgebra de mapas no QGIS 3.22, conforme a metodologia, obteve-se o mapeamento da vulnerabilidade à inundação da área de estudo (Figura 7). As áreas com vulnerabilidade entre 0 e 0,25 correspondem a 26,75% da área inundada e incluem principalmente a calha do rio e áreas de vegetação em 10% dos setores, abrangendo parte dos bairros Jaçanã e Banco Raso. As áreas com vulnerabilidade entre 0,25 e 0,50 correspondem a 69,70% da área total em estudo e estão presentes em toda a extensão da mancha de inundação; nessa faixa estão 85,4% dos setores, associados aos bairros Jardim Vitória, Góes Calmon, Nossa Senhora da Conceição, Pontalzinho, Centro, Mangabinha e Lomanto Júnior. Por fim, 4% dos setores apresentam vulnerabilidade entre 0,50 e 0,75, representando 3,56% da área total, englobando os bairros Osvaldo Cruz e Centro.

Portanto, entende-se que as áreas com vulnerabilidades mais baixas foram influenciadas pela forma de uso e ocupação do solo, já que as áreas de vegetação tendem a apresentar maior capacidade de absorção e infiltração da água. Além disso, a menor densidade populacional contribui para a redução da vulnerabilidade. Por outro lado, as áreas com vulnerabilidades mais altas — que representam a maior parte da área estudada — estão associadas a maior densidade de ocupação urbana, sugerindo maior exposição às inundações, possivelmente devido à impermeabilização do solo e à presença de infraestrutura urbana que dificulta o escoamento adequado. Destaca-se, ainda, a presença significativa de instituições sociais nesses setores, o que pode se relacionar a essa classificação.

Figura 7 - Distribuição espacial da vulnerabilidade da área em estudo



Fonte: Os autores, (2025).

### Classificação do risco das áreas atingidas

O resultado do mapeamento do risco de inundação da área de estudo está apresentado na Figura 8 e na Tabela 6.

Conforme exposto, a maior parte das áreas atingidas corresponde à classe de áreas proibitivas vulneráveis (Classe V:  $> 0,075$ ), ocupando 49,10% da mancha de inundação. Essas áreas são predominantemente associadas à calha do rio Cachoeira e a alguns de seus afluentes. Embora apresentem vulnerabilidades entre 0 e 0,50 — mais baixas a montante e mais altas na porção média e a jusante —, o perigo nessas áreas é  $> 0,15$ , o maior grau deste estudo. Ou seja, ainda que menos vulneráveis, sofrem a influência do elevado perigo a que estão submetidas e, assim, tornam-se áreas de risco elevado. A frequência dos eventos nesses locais também contribui para o aumento do risco, pois são eventos de menor magnitude, porém alta frequência. A depender da posição no relevo e da proximidade da calha do rio, espera-se anualmente inundações de até 0,15 m; uma vez a cada dois anos para lâmina d'água  $> 0,15$  m; uma vez a cada cinco anos para lâmina d'água  $> 0,50$  m; e pelo menos uma vez a cada dez anos para lâminas d'água  $> 1,70$  m.

As áreas proibitivas (Classe IV: 0,038–0,075) correspondem a 5,03% das áreas inundadas. Recobrem predominantemente as margens do rio Cachoeira, com maior extensão no bairro Mangabinha, e apresentam vulnerabilidades entre 0 e 0,50. Assim como na Classe V, o valor de perigo é elevado e, associado à vulnerabilidade local, resulta em risco mais alto. A frequência dos eventos é semelhante: anualmente até 0,15 m; a cada dois anos  $> 0,15$  m; a cada cinco anos  $> 0,50$  m; e pelo menos a cada 10 anos  $> 1,70$  m — eventos de baixa a média intensidade com alta frequência.

Tabela 6 - Classes definidas para o risco de inundação da área de estudo

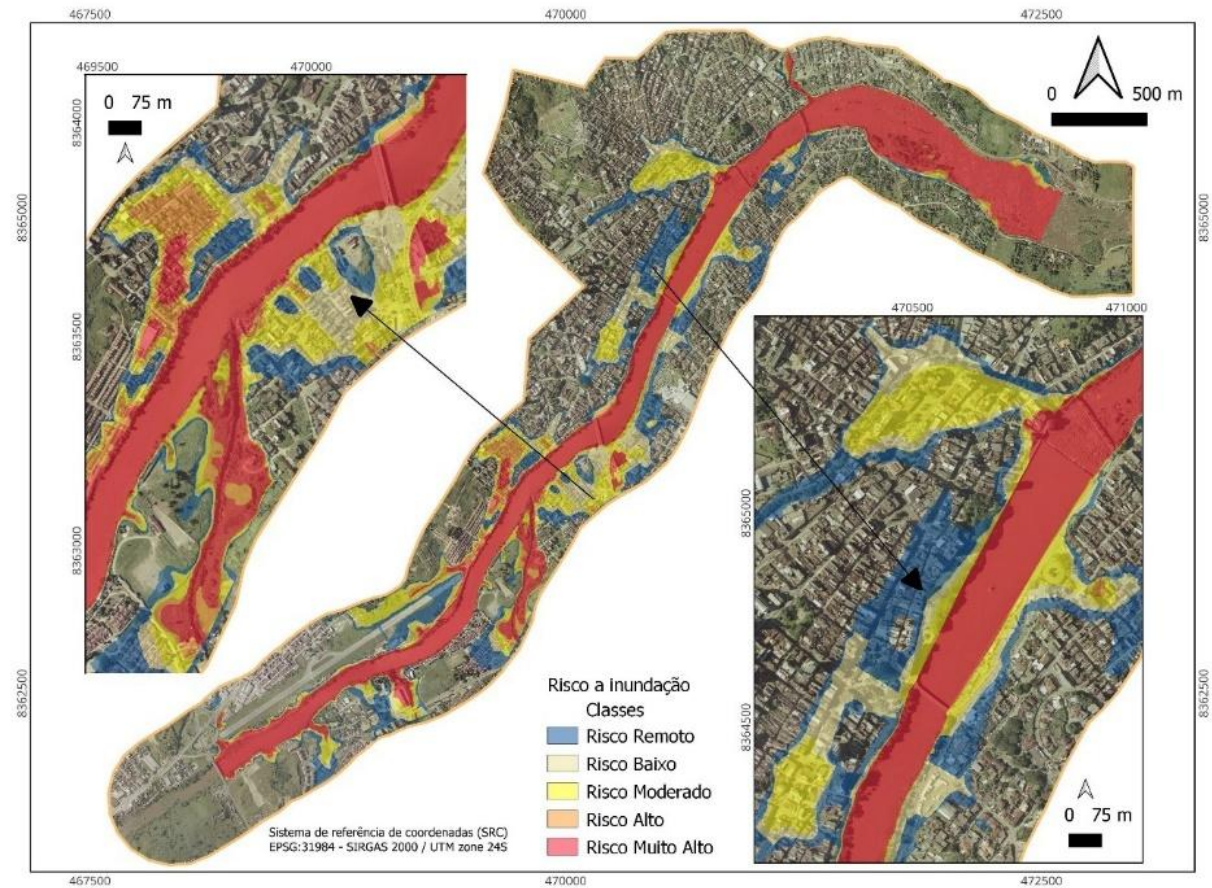
| Classe | Classificação           | Características e probabilidades de ocorrência                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Valor do risco  | Área afetada (%) | Área afetada (km <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|---------------------------------|
| I      | Áreas de risco remoto   | Correspondem a locais mais distantes da calha do rio com chance de ocorrência de uma vez a cada 20 anos para lâmina d'água de 15 cm; uma vez a cada 54 anos para lâmina d'água de 50 cm; e profundidade de 1,70 m a cada 100 anos em alguns trechos.                                                                                                                                                                                       | $\leq 0,0005$   | 19,93            | 0,43                            |
| II     | Áreas de risco baixo    | Caracterizados pela ocorrência de eventos de inundação mais intensos, porém menos frequentes, que, associados às características de vulnerabilidade da área, podem oferecer riscos moderados.                                                                                                                                                                                                                                              | 0,0005 – 0,0100 | 11,10            | 0,23                            |
| III    | Áreas de risco moderado | Caracterizadas pela alta intensidade e baixa frequência com os eventos ocorrendo uma vez a cada dois anos para lâmina d'água menor ou igual a 15 cm; uma vez a cada cinco anos para lâmina d'água menor ou igual a 50 cm; pelo menos uma vez a cada dez anos para lâminas d'água menores ou iguais a 1,70 m; e podem atingir 3 m de lâmina d'água a cada 54 anos                                                                           | 0,010 – 0,038   | 14,84            | 0,32                            |
| IV     | Áreas de risco alto     | Recobrem predominantemente às margens do rio Cachoeira, essas são áreas com elevado valor de perigo que, ao serem associados com a vulnerabilidade local, resultam em áreas com risco mais elevado. Anualmente inundações de até 15 cm; uma vez a cada dois anos para lâmina d'água acima de 15 cm; uma vez a cada cinco anos para lâmina d'água acima de 50 cm; e, pelo menos uma vez a cada 10 anos para lâminas d'água acima de 1,70 m. | 0,038 – 0,075   | 5,03             | 0,10                            |

|   |                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |       |      |
|---|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|------|
| V | Áreas de risco muito alto | Predominantemente associada à calha do rio Cachoeira e alguns de seus afluentes. Espera-se anualmente inundações de até 0,15 m; uma vez a cada dois anos para lâmina d'água acima de 15 cm; uma vez a cada cinco anos para lâmina d'água acima de 50 cm e, pelo menos uma vez a cada dez anos para lâminas d'água acima de 1,70 m. | > 0,075 | 49,10 | 1,06 |
|---|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|------|

Fonte: Os autores, (2025).

As áreas moderadas vulneráveis (Classe III: 0,010–0,038) correspondem a 14,84% da mancha de inundação e abrangem os bairros Jaçanã, Banco Raso, Jardim Vitória, Góes Calmon, Nossa Senhora da Conceição, Pontalzinho, Centro, Mangabinha e Lomanto Júnior. Destaca-se um setor no Pontalzinho, com vulnerabilidade entre 0,50 e 0,75 (a mais alta do estudo); contudo, por apresentar perigo < 0,02, teve seu risco reduzido. As demais áreas possuem vulnerabilidade 0,25–0,50 e, quando cruzadas com o perigo, resultam em risco moderado. Essas áreas são caracterizadas por alta intensidade e baixa frequência: 1 a cada 2 anos ( $\leq 0,15$  m), 1 a cada 5 anos ( $\leq 0,50$  m), pelo menos 1 a cada 10 anos ( $\leq 1,70$  m) e possibilidade de 3,0 m a cada 54 anos.

Figura 8 - Distribuição espacial do risco da área de estudo



Fonte: Os autores, (2025).

As áreas com risco entre 0,005 e 0,0100 (Classe II) correspondem a 11,10% da área total e são classificadas como de risco baixo a moderado, abrangendo os mesmos bairros das áreas moderadas vulneráveis. A vulnerabilidade situa-se entre 0,25 e 0,50. Observa-se que são locais com eventos de

inundação mais intensos, porém menos frequentes, que, combinados com a vulnerabilidade, resultam em risco moderado.

Por fim, as áreas de alerta (Classe I:  $\leq 0,005$ ) correspondem a 19,93% da mancha de inundação. Estão presentes em toda a extensão da mancha, porém em locais mais distantes da calha do rio, com chance de ocorrência de 1 a cada 20 anos (0,15 m), 1 a cada 54 anos (0,50 m) e 1,70 m a cada 100 anos em alguns trechos. Nesses casos, apresentam vulnerabilidade entre 0 e 0,25 e perigo  $< 0,02$ , portanto risco  $< 0,005$ .

Assim como no perigo, os maiores níveis de risco associam-se aos menores tempos de retorno. Dessa forma, quanto maior a frequência dos eventos, combinada à vulnerabilidade do setor, maior será o risco a que as áreas estarão submetidas. Em geral, TRs mais curtos relacionam-se a lâminas d'água menores; porém, a frequência e o grau de vulnerabilidade podem resultar em risco mais alto do que eventos menos frequentes com lâminas maiores.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a classificação do perigo, concluiu-se que as áreas com altos graus de perigo estão relacionadas à maior frequência de eventos, mesmo com menores lâminas d'água. Essas áreas — consideradas proibidas para habitação e edificação — incluem a calha do rio, seus afluentes e margens. Já as áreas de perigo moderado podem ser ocupadas com restrições, associadas a TR 2, TR 5 e TR 10 e lâminas d'água entre 0,15 m e 1,70 m. As áreas de alerta (TR 20, TR 54 e TR 100) apresentam alturas de lâminas semelhantes, mas a menor frequência permite uso controlado. Eventos extremos que afetam áreas de Classe I e II causam danos severos em áreas de Classe III, reforçando a gravidade dos impactos em situações de maior magnitude.

Quanto à vulnerabilidade, observou-se que áreas menos vulneráveis são beneficiadas pela presença de vegetação e baixa densidade populacional — fatores que favorecem a absorção da água. Em contrapartida, áreas de alta vulnerabilidade associam-se à ocupação urbana densa, impermeabilização do solo e infraestrutura urbana, o que aumenta a exposição a inundações; a presença de instituições sociais também pode influenciar essa classificação. Assim, a vulnerabilidade é fortemente condicionada por densidade populacional, características socioeconômicas e infraestrutura, destacando a importância do planejamento e de intervenções para mitigar riscos e proteger populações mais expostas.

Tal como no perigo, os maiores níveis de risco estão diretamente associados aos menores tempos de retorno. Portanto, áreas com alta vulnerabilidade e alta frequência de eventos demandam maior atenção no planejamento urbano e na implementação de medidas mitigatórias. Áreas de menor vulnerabilidade, mesmo com eventos menos frequentes, exigem monitoramento e preparação para situações extremas. É essencial adotar estratégias integradas de gestão de riscos, envolvendo mitigação dos perigos e redução das vulnerabilidades sociais e estruturais (gestão de recursos hídricos, uso adequado do solo e infraestrutura de drenagem), visando aumentar a resiliência das áreas mais suscetíveis a inundações.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela concessão da bolsa de doutorado e à Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER) pela disponibilização da base cartográfica da área em estudo.

## REFERÊNCIAS

ACIOLY, C.; DAVIDSON, F. **Densidade urbana**: um instrumento de planejamento e gestão urbana. Rio de Janeiro: Mauad, 1998.

ALVES, J. M. N. **Avaliação do perigo de inundação na ribeira do Açafal**. 2018. 137 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Hídricos) – Escola Superior de Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco, 2018.

ANDRADE, M. P.; ROCHA, L. B. **De Tabocas a Itabuna**: um estudo histórico-geográfico. Ilhéus: Editus, 2005.

- BIRKMANN, J.; CARDONA, O. D.; CARREÑO, M. L.; BARBAT, A. H.; PELLING, M.; SCHNEIDERBAUER, S.; KIENBERGER, S.; KEILER, M.; ALEXANDER, D.; ZEIL, P.; WELLE, T. Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. **Natural Hazards**, v. 67, n. 2, p. 193–211, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0558-5>
- CAVALCANTE, J. da C.; LIMA, A. M. M. de; SILVA, J. C. C. da; HOLANDA, B. S. de; ALMEIDA, C. A. Fragilidade ambiental potencial e emergente da bacia do rio Mocajuba-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 3, p. 1417–1433, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1417-1433>
- CDC - Centers for Disease Control and Prevention. **Identifying Vulnerable Older Adults and Legal Options for Increasing Their Protection During All-Hazards Emergencies**: A Cross-Sector Guide for States and Communities. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, 2012. 15 p.
- CIEVS - Centro de Informações Estratégicas em Vigilância em Saúde do Estado da Bahia. **BI Enchente**. Salvador: Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: <https://www.saude.ba.gov.br/suvisa/publicacoes-cievs/>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- CHATTARAJ, D.; PAUL, B.; SARKAR, S. Integrated Multi-parametric Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS) based Spatial modelling for Flood and Water logging Susceptibility Mapping: A case study of English Bazar Municipality of Malda, West Bengal, India. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, Discussions, p. 1–20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-2020-399>
- CHEW, L.; RAMDAS, K. **Caught in the Storm**: The Impact of Natural Disasters on Women. San Francisco: The Global Fund for Women, 2005.
- CONDER - Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia, 2002. **Fotografias aéreas e base planialtimétrica da cidade de Itabuna**. Salvador: Conder, 2002.
- CUTTER, S.; BARNES, L. R.; BERRY, M.; BURTON, C. G. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. **Global Environmental Change**, n. 18, p. 598–606, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013>
- ENARSON, E. Gender Equality, Work and Disaster Reduction: Making the Connections, revised version of Gender and Natural Disasters. Working Paper n. 1. Geneva: ICON In: Focus **Programme on Crisis Response and Reconstruction**, 2000.
- ENARSON, E.; FORDHAM, M. Insiders' voices on gender and disaster: What women say. *In*: **Women and Disasters**. Santa Barbara, CA: ABC-CLIO, 2017. p. 1–21.
- FARHADI, H.; NAJAFZADEH, M. Flood Risk Mapping by Remote Sensing Data and Random Forest Technique. **Water**, v. 13, n. 21, p. 3115, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13213115>
- FARIAS, E. da S.; GOMES, R. L. Comportamento histórico de chuvas e vazões na bacia hidrográfica do rio Cachoeira e suas implicações na ocorrência de eventos de inundações na cidade de Itabuna-BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 2, p. 847–872, 2023. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.2.p847-872>
- FARIAS, E. S.; GOMES, R. L.; SILVA, J. B. L. Conhecimento do perigo ocasionado pelas enchentes urbanas: o caso do município de Itabuna, Bahia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 3, p. 2111–2131, 2024. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.3.p2111-2131>
- FERNANDEZ, P.; PEREIRA, L. G.; MOREIRA, M.; GONÇALVES, G. Criação e avaliação do modelo digital de superfície de escoamento para elaboração das cartas de risco de inundação. *In*: CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODESIA, 8., 2015, Amadora: Ordem dos Engenheiros de Portugal, 2015.
- FISHER, S.; HUMMEL, C. **Aging and disasters**: Preparedness and response for a growing population. London: Routledge, 2020.
- FURLAN, A. R.; SPINELLI, J. Perigo de inundação e vulnerabilidade socioeconômica na área urbana de Erechim, RS (Brasil). **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 18, n. 2, p. 198–220, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5016/estgeo.v19i2.15773>

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Versão 7.3.8. São Francisco: Google Inc., 2024. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 4 ago. 2025

GOULARTE, T. O. **Medidas preventivas para habitação resiliente**: um estudo de caso em área com risco de inundação. 2022. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

HORA, S. B. da. **Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA**. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132009000200005>

HORA, S. B.; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 2, p. 57–75, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132009000200005>

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**: Outline of Climate Science. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783111667751>

KUBAL, C.; HAASE, D.; MEYER, V.; SCEUER, S. Integrated urban flood risk assessment – adapting a multicriteria approach to a city. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 9, p. 1881–1895, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1881-2009>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\\_Demografico\\_2010/](https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/). Acesso em: 25 ago. 2025.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente e Sociedade**, v. 7, n. 2, p. 95–109, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000200006>

MENEZES, D. J.; ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R. Zoneamento e classificação das áreas de risco a inundação no município de Alegrete, RS. **RA'EGA**, v. 50, p. 136–152, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5380/raega.v50i0.69424>

MERZ, B.; THIEEN, A.; GOCHT, M. Flood risk mapping at the local scale: Concepts and challenges. In: BEGUM, S.; STIVE, M. J. F.; HALL, J. W. (org.). **Flood Risk Management in Europe**, v. 25. Dordrecht: Springer, 2007. p. 231–251. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4200-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4200-3_13)

MOREIRA, L. L.; BRITO, M. M. de; KOBAYAMA, M. Review article: A systematic review and future prospects of flood vulnerability indices. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 21, p. 1513–1530, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-21-1513-2021>

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS – Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: [https://qgis.org/pt\\_BR/site/forusers/download.html](https://qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html). Acesso em: 13 set. 2022.

RANA, S. M. S.; HABIB, S. M. A.; SHARIFEE, M. N. H.; SULTANA, N.; RAHMAN, S. H. Flood risk mapping of the flood-prone Rangpur division of Bangladesh using remote sensing and multi-criteria analysis. **Natural Hazards Research**, v. 4, n. 1, p. 20–31, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.09.012>

REBELO, F. Um novo olhar sobre os riscos? O exemplo das cheias rápidas (flash floods) em domínio mediterrâneo. **Territorium**, v. 15, p. 7–14, 2008. DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_15\\_1](https://doi.org/10.14195/1647-7723_15_1)

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. Construção de modelo e utilização do método de processo analítico hierárquico – AHP para mapeamento de risco à inundação em área urbana. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 61, p. 1–18, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG186101>

SANTOS, D. T.; BERTICELLI, R.; FRITSCH, R. L. C. Saneamento básico no Brasil: um importante alicerce na qualidade de vida. **Ciência & Tecnologia**, v. 2, n. 1, p. 23–43, ago. 2018.

SANTOS, J. de O. Relação entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, v. 14, n. 2, p. 75–90, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0005>

SILVA, F. da C. da; CHAVES, A. F. F.; MORAES, V. M. C.; LESSA, R. J. de O.; DOURADO JR., O. C. Correlação entre saneamento básico e vulnerabilidade à pandemia de covid-19 no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28, e20220145, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-415220220145>

UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction**. Documento A/71/644, 1 dez. 2016. Disponível em: [https://www.preventionweb.net/files/50683\\_oiewgreportenglish.pdf](https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreportenglish.pdf). Acesso em: 11 jun. 2025.

UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction**. Geneva: UNISDR, 2009. 30 p. Disponível em: [https://www.preventionweb.net/files/7817\\_UNISDRTerminologyEnglish.pdf](https://www.preventionweb.net/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf). Acesso em: 11 jun. 2025.

USACE - US Army Corps of Engineers. **HEC-RAS River Analysis System**, 2D Modeling User's Manual, Version 6.0. 2021.

USMAN, M. A.; GERBER, N.; VON BRAUN, J. The Impact of Drinking Water Quality and Sanitation on Child Health: Evidence from Rural Ethiopia. **The Journal of Development Studies**, p. 1–19, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/00220388.2018.1493193>

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. M. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 295–308, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.107714>

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. Definições e vulnerabilidades do risco. In: VEYRET, Y. (org.). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2007. p. 25–46.

WEDAY, M. A.; TABOR, K. W.; GEMEDA, D. O. Flood hazards and risk mapping using geospatial technologies in Jimma City, southwestern Ethiopia. **Heliyon**, v. 9, e14617, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14617>

WIND, H. G.; NIEROP, T. M.; DE BLOIS, C. J.; DE KOK, J. L. Analysis of flood damages from the 1993 and 1995 Meuse flood. **Water Resources Research**, v. 35, n. 11, p. 3459–3465, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1029/1999WR900192>

WUBALEM, A.; TESFAW, G.; DAWIT, Z.; GETAHUN, B.; MEKURIA, T.; JOTHIMANI, M. Comparison of statistical and analytical hierarchy process methods on flood susceptibility mapping: in a case study of Tana sub-basin in northwestern Ethiopia. **Natural Hazards and Earth System Sciences, Discussions**, p. 1–43, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-2020-332>

Recebido em: 27/06/2025

Aceito para publicação em: 05/09/2025