



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ESTIMATIVA DOS DANOS TANGÍVEIS DIRETOS DECORRENTES DE  
INUNDAÇÕES ÀS MARGENS DO RIBEIRÃO DO ONÇA NO MUNICÍPIO DE BELO  
HORIZONTE - MG**

**Anna Luiza Ferreira de Paula Carvalho**

**Belo Horizonte**

**2025**

**Anna Luiza Ferreira de Paula Carvalho**

**ESTIMATIVA DOS DANOS TANGÍVEIS DIRETOS DECORRENTES DE  
INUNDAÇÕES ÀS MARGENS DO RIBEIRÃO DO ONÇA NO MUNICÍPIO DE BELO  
HORIZONTE - MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. MSc. André Luiz Marques Rocha

Belo Horizonte

2025

ANNA LUIZA FERREIRA DE PAULA CARVALHO

**ESTIMATIVA DOS DANOS TANGÍVEIS DIRETOS DECORRENTES DE  
INUNDAÇÕES ÀS MARGENS DO RIBEIRÃO DO ONÇA NO MUNICÍPIO DE  
BELO HORIZONTE - MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 15 de julho de 2025

Banca examinadora:



\_\_\_\_\_  
André Luiz Marques Rocha – Presidente da Banca Examinadora  
MSc. Engenharia Agrícola – Professor - CEFET-MG – Orientador(a)



\_\_\_\_\_  
Ricardo José Gontijo Azevedo  
DSc. Geografia – Professor - CEFET-MG



\_\_\_\_\_  
Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho  
DSc. Geografia – Professor - CEFET-MG

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por ser meu sustento em cada etapa da jornada acadêmica, profissional e pessoal. Por me fortalecer nos momentos de incerteza, por me dar condições de seguir em frente e, sobretudo, por nunca me deixar desistir.

À minha mãe, Vanessa, minha maior referência de força e amor. Obrigada por cada passo dado ao meu lado, por todas as renúncias ao longo de tantos anos, que tornaram possível a realização deste momento. Por acreditar em mim mesmo quando eu já não conseguia, e por me ensinar, com coragem, a viver e a enfrentar os desafios.

Ao meu pai, Wander, sou grata por me mostrar o valor da educação desde cedo, por me orientar com firmeza e sonhar esse sonho comigo desde a infância. E ao meu irmão, Miguel, que foi também parte da minha motivação, que essa conquista possa servir de exemplo da importância da educação em nossas vidas.

Agradeço aos professores do CEFET-MG que estiveram presentes ao longo dessa caminhada, contribuindo não apenas para minha formação técnica, mas também humana. Em especial, ao professor André, pela orientação generosa, pela escuta atenta, pela empatia e incentivo constantes. Agradeço também aos professores Carlos Wagner e Ricardo, pela presença na banca e pelas contribuições essenciais que fortaleceram os resultados deste trabalho.

Por fim, deixo meu reconhecimento às políticas públicas que me permitiram sonhar, ingressar, permanecer, me alimentar e transformar minha vida por meio do acesso à educação. Sem essas políticas, eu não estaria aqui.

## RESUMO

CARVALHO, Anna L. F. P. **Estimativa dos danos tangíveis diretos decorrentes de inundações às margens do Ribeirão do Onça no município de Belo Horizonte - MG.** 2025. 64 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

O presente trabalho tem como objetivo estimar os danos tangíveis diretos decorrentes de eventos de inundação na área urbana das margens do Ribeirão do Onça, localizado na região Norte de Belo Horizonte, Minas Gerais. A pesquisa utiliza como base metodológica a Carta de Inundação de Belo Horizonte (PBH, 2009) e parâmetros técnicos associados à topografia, uso do solo e valores atualizados do custo unitário básico da construção. A área de estudo, situada no bairro Novo Aarão Reis, apresenta histórico recorrente de alagamentos, o que demanda estratégias precisas de planejamento e mitigação. A partir da análise da cota de inundação máxima e da cota das residências afetadas, foi possível calcular a lâmina d'água incidente em cada imóvel, relacionando-a ao valor de mercado por metro quadrado construído, considerando as diferentes zonas homogêneas e zoneamentos urbanos. Foram analisadas 65 edificações, com valores de perdas estimadas que variam em função da lâmina d'água, área construída e valor de referência, sendo encontrado um valor médio de R\$ 6.362,87 por edificação, totalizando R\$ 327.611,26 em danos diretos. O estudo apresenta uma estimativa econômica detalhada dos prejuízos diretos às moradias, fornecendo subsídios técnicos para o aprimoramento da gestão de risco de desastres, especialmente em áreas urbanas vulneráveis. Os resultados indicam a importância da articulação entre planejamento urbano, monitoramento hidrológico e estratégias de adaptação frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

Palavras-chave: prejuízos. drenagem urbana. planejamento ambiental e urbano. zoneamento.

## ABSTRACT

CARVALHO, Anna L. F. P. **Estimation of tangible damages directly resulting from flooding on the banks of the Ribeirão do Onça in the municipality of Belo Horizonte - MG.** 2025. 64 p. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

This study aims to estimate the direct tangible damages resulting from flood events in the urban area along the banks of Ribeirão do Onça, located in the northern region of Belo Horizonte, Minas Gerais. The research uses as methodological basis the Flood Map of Belo Horizonte (PBH, 2009) and technical parameters associated with topography, land use, and updated values of basic construction unit costs. The study area, located in the Novo Aarão Reis neighborhood, has a recurrent history of flooding, requiring precise planning and mitigation strategies. By analyzing the maximum flood elevation and the elevation of affected residences, it was possible to calculate the water depth at each property and relate it to the market value per square meter of built area, considering different homogeneous zones and urban zoning regulations. Sixty-five buildings were analyzed, with estimated loss values varying according to water depth, built area, and reference value, showing an average damage of R\$ 6,362.87 per building, totaling R\$ 327,611.26 in direct damages. The study provides a detailed economic estimate of direct housing losses, offering technical input to improve disaster risk management, particularly in vulnerable urban areas. The results highlight the importance of integrating urban planning, hydrological monitoring, and adaptation strategies in the face of extreme hydrometeorological events.

Keywords: losses. urban drainage. environmental and urban planning. zoning

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
2	<b>OBJETIVOS</b>	17
2.1	<b>Objetivo Geral</b>	17
2.2	<b>Objetivos Específicos</b>	17
3	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	18
3.1	<b>Urbanização e seus impactos</b>	18
3.1.1	<i>Histórico da urbanização em Belo Horizonte</i>	19
3.1.2	<i>Impactos na drenagem urbana</i>	21
3.1.3	<i>Mudanças climáticas, eventos extremos e inundações urbanas</i>	25
3.2	<b>Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas</b>	27
3.2.1	<i>Técnicas Compensatórias</i>	30
3.2.1.1	<i>Medidas Estruturais</i>	31
3.2.1.2	<i>Medidas Não Estruturais</i>	33
3.2.2	<i>Planejamento urbano e gestão de inundações</i>	35
3.3	<b>Tipologia de danos decorrentes de inundação</b>	38
4	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	43
4.1	<b>Área de Estudo</b>	45
4.2	<b>Proposta metodológica</b>	51
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	59
5.1	<b>Caracterização do cenário de risco</b>	59
5.2	<b>Estimativa dos danos</b>	67
5.2.1	<i>Determinação da lâmina d'água</i>	67
5.2.2	<i>Estimativa dos danos tangíveis habitacionais</i>	69
6	<b>CONCLUSÃO</b>	72
7	<b>RECOMENDAÇÕES</b>	74
8	<b>REFERÊNCIAS</b>	76
	<b>ANEXO A – CARTA DE INUNDAÇÕES DE BELO HORIZONTE</b>	82
	<b>APÊNDICE A – RESULTADOS ESTIMATIVAS DE DANOS</b>	83

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Evolução da população e da frequência de inundações em Belo Horizonte.....	14
<b>Figura 2</b> - Número de pessoas vivendo em áreas urbanas e rurais no Brasil.....	19
<b>Figura 3</b> - Evolução da Mancha Urbana de Belo Horizonte/MG.....	21
<b>Figura 4</b> - Trabalhos no Ribeirão Arrudas, em 1896.....	22
<b>Figura 5</b> - Características dos leitos do rio.....	23
<b>Figura 6</b> - Ciclo hidrológico.....	23
<b>Figura 7</b> - Impacto no escoamento devido à urbanização.....	24
<b>Figura 8</b> - Aumento da temperatura da superfície global.....	25
<b>Figura 9</b> - Integração do sistema de microdrenagem ao de macrodrenagem urbana.....	28
<b>Figura 10</b> - Barragem Santa Lúcia em Belo Horizonte, MG.....	32
<b>Figura 11</b> - Zoneamento da planície de inundação.....	34
<b>Figura 12</b> - Enquadramento Metodológico da Pesquisa.....	43
<b>Figura 13</b> - Método dos Procedimentos da Pesquisa.....	44
<b>Figura 14</b> - Bacia do Ribeirão do Onça.....	46
<b>Figura 15</b> - Delimitação da área de estudos.....	47
<b>Figura 16</b> - Residências às margens do Ribeirão do Onça.....	48
<b>Figura 17</b> - Inundações ocorridas em fevereiro de 2021.....	49
<b>Figura 18</b> - Inundações ocorridas em dezembro de 2022.....	49
<b>Figura 19</b> - Interface da ferramenta TIN do QGIS.....	53
<b>Figura 20</b> - Interface da ferramenta "Reclassificação por Tabela".....	54
<b>Figura 21</b> - Ferramenta "Sombreamento" no QGIS.....	54
<b>Figura 22</b> - Geração das linhas entre as residências e a mancha de inundação.....	55
<b>Figura 23</b> - Interface da ferramenta "Extrair vértices" no QGIS.....	56
<b>Figura 24</b> - Interface da ferramenta "Amostrar valores do raster" no QGIS.....	57
<b>Figura 25</b> - Mapa de localização das residências com a mancha de inundação.....	60
<b>Figura 26</b> - Mapa de localização unidades habitacionais em áreas de vulnerabilidade urbana.....	61
<b>Figura 27</b> - Mapa hipsométrico da área de estudo.....	62
<b>Figura 28</b> - Mapa Zoneamento estabelecido pela Lei nº 7.166/1996.....	63
<b>Figura 29</b> - Mapa Zoneamento conforme Plano Diretor Municipal (2019).....	64
<b>Figura 30</b> - Precariedade da infraestrutura na R. Quarenta e Cinco, Bairro Novo Aarão Reis.....	65
<b>Figura 31</b> - Residências próximas ao Ribeirão do Onça, Bairro Novo Aarão Reis.....	66
<b>Figura 32</b> - Disposição de resíduos sólidos urb. e de construção civil, B. Novo Aarão Reis.....	66

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> - Ponderação do Fc com base na situação do lote.....	52
<b>Tabela 2</b> - Distribuição de residências por faixa de lâmina d'água.....	68
<b>Tabela 3</b> – Parâmetros de valoração utilizados por zona de ocupação.....	69
<b>Tabela 4</b> - Estimativa de danos tangíveis diretos por faixa de lâmina d'água.....	70

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1</b> - Principais Zonas do Zoneamento Urbano de Belo Horizonte de acordo com a Lei nº 11.181/2019.....	38
<b>Quadro 2</b> - Tipologia de danos decorrentes de inundações em áreas urbanas.....	41

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- APPs** - Áreas de Preservação Permanente
- BMP** - Best Management Practices (Melhores Práticas de Gerenciamento)
- CBH VELHAS** - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas
- CEMADEN** - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
- CUB** - Custo Unitário Básico
- DRENURBS** - Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte
- EEA** - European Environment Agency (Agência Europeia do Ambiente)
- EPA** - Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos EUA)
- Fc** - Fator de Correção
- G1** - Portal de notícias da Globo
- H** - Altura da lâmina d'água (metros)
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IPCA** - Índice de Preços ao Consumidor Amplo
- LID** - Low Impact Development (Desenvolvimento de Baixo Impacto)
- LIUDD** - Low Impact Urban Design and Development (Projeto e Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto)
- MDE** - Modelo Digital de Elevação
- NACs** - Núcleos de Alerta de Chuvas
- ODS** - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
- OM** - Zona de Ocupação Moderada
- OP** - Zona de Ocupação Preferencial
- PA** - Zona de Proteção Ambiental
- PBH** - Prefeitura de Belo Horizonte
- PDDBH** - Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte
- PLAMBEL** - Planejamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte
- RMBH** - Região Metropolitana de Belo Horizonte
- SUDECAP** - Superintendência de Desenvolvimento da Capital
- SUDS** - Sustainable Urban Drainage System (Sistema Sustentável de Drenagem Urbana)
- TIN** - Rede Irregular Triangulada
- TR** - Tempo de Retorno
- UN-HABITAT** - United Nations Human Settlements Programme (Programa das Nações

Unidas para os Assentamentos Humanos)

**URBEL** - Companhia Urbanizadora e de Habitação de Belo Horizonte

**UTES** - Unidades Territoriais Estratégicas

**WRI** - World Resources Institute (Instituto de Recursos Mundiais)

**WSUD** - Water Sensitive Urban Design (Projeto Urbano Sensível às Águas)

**ZEIS** - Zonas Especiais de Interesse Social

**ZPC** - Zona de Passagem de Cheia

**ZRI** - Zona de Risco de Inundação

**ZBR** - Zona de Baixo Risco

**Zv** - Zona de Valor dos Imóveis

## 1 INTRODUÇÃO

A urbanização é um dos processos mais marcantes do século XX e início do século XXI, com impactos significativos sobre o meio ambiente e a dinâmica das cidades. De acordo com o United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT), a população mundial residente em áreas urbanas, que representava 25% em 1950, está projetada para atingir 68% até 2050. Na América Latina, esse cenário é ainda mais acentuado, com a estimativa de que 89% da população viverá em áreas urbanas até o mesmo período (UN-HABITAT, 2022). Esse crescimento urbano acelerado, embora associado ao desenvolvimento econômico e social, também acarreta desafios ambientais relevantes, sobretudo no que se refere à gestão dos recursos hídricos e aos riscos hidrológicos, como inundações, alagamentos e enxurradas, cada vez mais frequentes e intensos nas cidades.

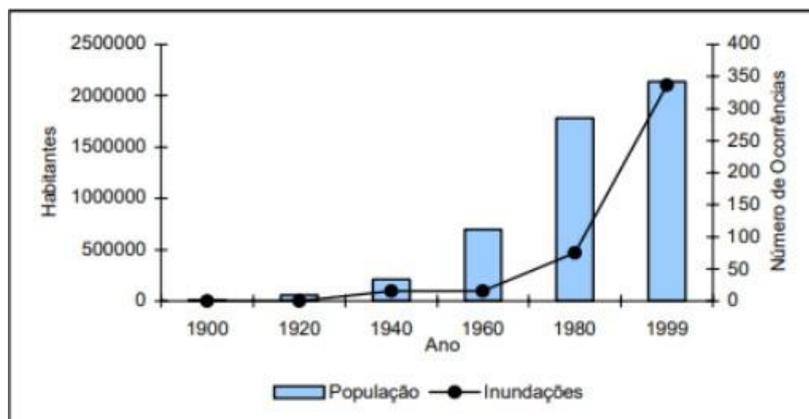
A expansão urbana provoca transformações significativas nas condições naturais das bacias hidrográficas, principalmente pela substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis. Esse processo resulta no aumento da velocidade do escoamento superficial, na redução da infiltração da água no solo e na elevação da carga de poluentes lançados nos corpos d'água. Segundo Rodrigues (2020), essas alterações contribuem para picos de vazão mais elevados, intensificando tanto a frequência quanto a gravidade das inundações em ambientes urbanos. Além disso, o crescimento desordenado, somado à canalização excessiva dos cursos d'água e à ocorrência de obstruções, causadas por resíduos ou construções irregulares, agrava significativamente os riscos de alagamentos. Nesse cenário, os sistemas de drenagem tornam-se rapidamente obsoletos e insuficientes para atender às demandas impostas pela expansão urbana, favorecendo a ocorrência de alagamentos e inundações, conforme apontam Baptista et al (2005).

As inundações geram impactos de diversas ordens às populações que vivem em áreas suscetíveis, desde prejuízos materiais, financeiros e psicológicos até perdas humanas, dependendo da magnitude do evento. Segundo Sousa (2018), os danos associados às inundações podem ser classificados em tangíveis, aqueles passíveis de valoração econômica, e intangíveis, cuja mensuração apresenta maior complexidade. De acordo com Berz (2000), entre 1990 e 1992, aproximadamente 356,2 milhões de pessoas foram afetadas por inundações em todo o mundo, resultando em perdas estimadas em 227 bilhões de dólares. No contexto brasileiro, os desastres hidrológicos, como enxurradas, alagamentos e inundações, são recorrentes, afetando principalmente as regiões Sul e Sudeste. Um exemplo recente é o desastre ocorrido no Rio

Grande do Sul, em 2024, caracterizado por chuvas persistentes e inundações de grande magnitude, que impactaram cerca de 2.398.255 pessoas, segundo dados da Defesa Civil do estado. Foram registrados 183 óbitos, 27 desaparecidos e 806 feridos, além de 581.638 pessoas desalojadas. Os impactos econômicos globais foram estimados em aproximadamente R\$ 88,9 bilhões, conforme o Banco Mundial (2024). Esses números evidenciam a alta vulnerabilidade do país frente aos eventos hidrológicos extremos.

Na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), os desafios relacionados às inundações também são expressivos, com tendência de aumento na frequência e na intensidade desses eventos ao longo das últimas décadas. Segundo Champs (2012), entre 1928 e 2000, foram registradas 200 ocorrências de inundações, sendo que 69,5% dos eventos ocorreram nas duas últimas décadas do século XX, indicando um agravamento significativo no período mais recente. Entre os principais fatores que contribuem para esse cenário estão o crescimento populacional e a ocupação desordenada, especialmente nas áreas próximas às margens dos cursos d'água, que, além de serem naturalmente mais suscetíveis a alagamentos, acabam tendo sua capacidade de escoamento ainda mais comprometida pela presença de moradias, aterros, impermeabilização e intervenções inadequadas. Esse processo não apenas reduz as áreas de amortecimento natural das cheias, como também amplia a exposição da população aos riscos hidrológicos. A Figura 1 ilustra essa relação entre a evolução da população e a frequência de inundações na capital mineira. Ademais, Lima-Queiroz, Balabram e Baptista (2003) destacam que a origem desses problemas está diretamente associada às intervenções na hidrografia realizadas desde a concepção da cidade, cujas consequências perduram até os dias atuais.

**Figura 1** - Evolução da população e da frequência de inundações em Belo Horizonte.



Fonte: Lima-Queiroz, Balabram e Baptista (2003)

O modelo higienista de drenagem urbana, historicamente adotado em Belo Horizonte, é outro

fator determinante para o agravamento desse quadro. Baseado na lógica de promover o rápido escoamento das águas pluviais, priorizou-se a canalização dos cursos d'água, prática que, embora buscasse controlar enchentes, acabou por intensificar os efeitos dos eventos extremos, reduzindo as áreas de amortecimento natural. Segundo Champs (2012), essa concepção resultou na construção das chamadas “avenidas sanitárias”, que encobrem cursos d'água, restringindo seu espaço natural. De acordo com Borsagli (2020), aproximadamente 28% dos rios que cortam Belo Horizonte estão canalizados, seja a céu aberto, seja em galerias subterrâneas, o que acentua ainda mais os riscos de inundação.

No dia 13 de novembro de 2024, Belo Horizonte enfrentou mais um evento climático extremo, com o registro de aproximadamente 100 mm de chuva acumulada, segundo dados da Defesa Civil (2024). De acordo com reportagem do Portal G1 (2024), a região Norte foi a mais impactada, com ocorrência de alagamentos generalizados, rompimento da barragem de contenção da Lagoa do Nado, além de quedas de árvores, desabamento de muros e interdição de vias importantes, como as avenidas Vilarinho e Álvaro Camargos, historicamente suscetíveis a enchentes. Apesar de não terem sido registradas vítimas fatais, o evento ocasionou expressivos prejuízos materiais, sobretudo nas áreas localizadas nas proximidades dos cursos d'água.

A maior parte da regional Norte de Belo Horizonte está inserida na bacia do Ribeirão do Onça, cuja área de drenagem totaliza 156 km<sup>2</sup>, sendo a segunda maior bacia hidrográfica da capital mineira e desempenhando papel estratégico na dinâmica urbana e ambiental do município. Na porção norte dessa bacia, foi delimitada uma área específica para estudo, dentro da qual se identificou uma faixa de aproximadamente 1,33 km<sup>2</sup> de território já urbanizado, conforme dados da PBH (2016). Além de ser afetada por inundações recorrentes, essa área concentra uma expressiva quantidade de residências, expondo a população local a elevados riscos de danos materiais e econômicos em situações de eventos hidrológicos extremos. Destacam-se, nesse contexto, os bairros Novo Aarão Reis e Ribeiro de Abreu, onde se localiza a área de estudo, os quais estão entre os cinco bairros que, juntos, concentram 25% das áreas de risco de inundação em Belo Horizonte, segundo Silva, Domingues e Meireles (2021).

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo estimar os danos tangíveis diretos habitacionais decorrentes de inundações nas margens do Ribeirão do Onça, utilizando como referência a Carta de Inundação de Belo Horizonte, elaborada em 2009, no âmbito do Programa

de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte (DRENURBS). A quantificação desses impactos constitui uma ferramenta fundamental para o planejamento urbano e ambiental, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de gestão de risco, mitigação de desastres e promoção do desenvolvimento sustentável. Ao fornecer uma estimativa das perdas econômicas associadas aos eventos de inundação, este trabalho visa subsidiar a tomada de decisão no âmbito das políticas públicas, com foco na redução da vulnerabilidade socioambiental, no aumento da segurança das populações expostas e na promoção de uma ocupação urbana mais resiliente e alinhada à dinâmica natural dos sistemas hídricos urbanos.

## **2 OBJETIVOS**

Os objetivos geral e específicos deste trabalho visam orientar as etapas de pesquisa e análise voltadas à compreensão dos impactos diretos causados por eventos de inundação em áreas urbanizadas nas margens do Ribeirão do Onça.

### **2.1 Objetivo Geral**

Estimar os danos tangíveis diretos em habitações localizadas nas margens do Ribeirão do Onça, nos bairros Ribeiro de Abreu e Novo Aarão Reis, em Belo Horizonte (MG), decorrentes de um evento de inundação simulado com base na Carta de Inundação disponibilizada pelo município.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar visita técnica in loco para levantamento de dados e caracterização preliminar da área de estudo.
- Estimar a cota de inundação do evento simulado, com base na análise da Carta de Inundação disponibilizada pela prefeitura, utilizando dados topográficos e ferramentas de geoprocessamento.
- Quantificar os danos tangíveis diretos associados às inundações nas áreas adjacentes ao ribeirão, por meio de metodologia baseada em parâmetros econômicos e estruturais.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

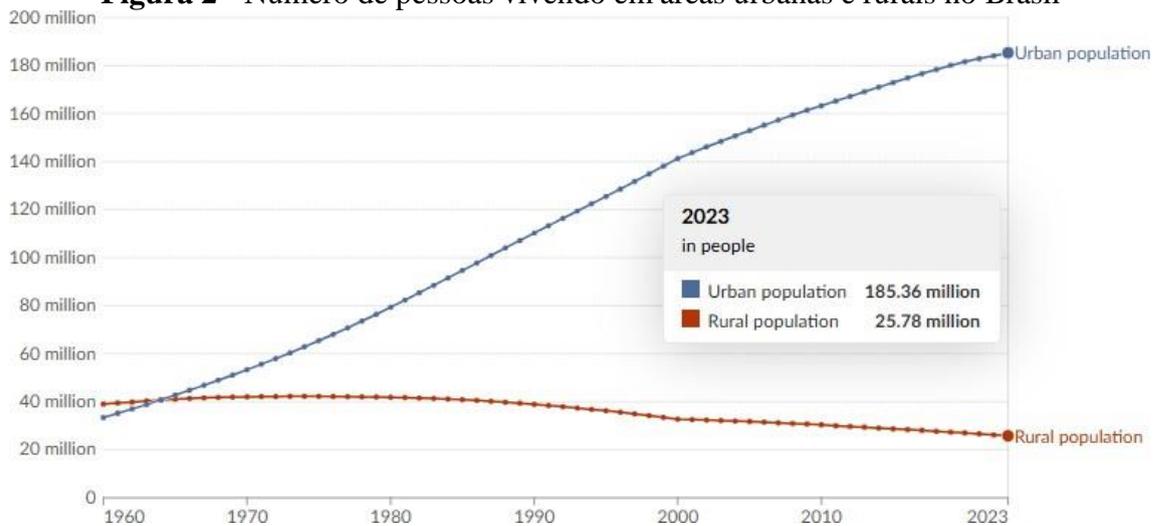
#### 3.1 Urbanização e seus impactos

A urbanização é um processo inerente ao desenvolvimento das sociedades, que se intensificou a partir da Revolução Industrial, quando a industrialização passou a concentrar atividades econômicas nos centros urbanos, acelerando a migração populacional do campo para as cidades. Esse fenômeno se consolidou como uma das principais transformações do território ao longo do século XX, provocando profundas alterações nas dinâmicas sociais, econômicas e ambientais em escala global. (SILVA *et al.*, 2014)

Contudo, esse processo ocorreu de maneira desigual entre os países, de acordo com Silva *et al.* (2014). Nos países desenvolvidos, a urbanização foi relativamente mais planejada e acompanhada por investimentos progressivos em infraestrutura, saneamento, transporte e serviços urbanos. Em contrapartida, nos países em desenvolvimento, a urbanização tem sido caracterizada, em grande parte, por uma expansão desordenada, marcada por ocupações irregulares, deficiência de infraestrutura urbana e pela ocupação de áreas ambientalmente sensíveis, como encostas, margens de cursos d'água e fundos de vale.

Esse padrão de crescimento urbano gera impactos diretos sobre o meio físico, especialmente no ciclo hidrológico. A substituição de áreas naturais por superfícies impermeáveis reduz significativamente a capacidade de infiltração do solo, intensificando o escoamento superficial e, conseqüentemente, a ocorrência de problemas como alagamentos, inundações e sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana. Além disso, a ocupação de áreas sujeitas a riscos, somada à insuficiência dos sistemas de saneamento e drenagem, agrava os impactos ambientais e sociais nas cidades.

No Brasil, a urbanização se intensificou a partir do século XX, impulsionada pelo avanço da industrialização e pelo êxodo rural. Conforme apresentado na Figura 2, atualmente mais de 85% da população brasileira vive em cidades, o que resultou em um crescimento urbano acelerado e, muitas vezes, desorganizado. Como apontado por Ascher (2010) apud Rodrigues (2020), a desigualdade socioeconômica não foi levada em consideração pelos municípios brasileiros, o que levou à formação de periferias carentes de infraestrutura, caracterizadas pela ocupação de espaços irregulares, como encostas de morros, margens de rios e áreas de proteção ambiental.

**Figura 2 - Número de pessoas vivendo em áreas urbanas e rurais no Brasil**

Fonte: Ritchie, Samborska e Roser (2024)

Em Belo Horizonte, primeira cidade planejada do Brasil, a expansão urbana ocorreu de forma acelerada e trouxe desafios estruturais, especialmente no que se refere à drenagem urbana e aos impactos hidrológicos decorrentes da ocupação do solo.

### 3.1.1 Histórico de urbanização em Belo Horizonte

Belo Horizonte, fundada em 1897, foi a primeira cidade planejada do Brasil. Durante a fase de concepção da capital, o comitê responsável demonstrou grande preocupação em elaborar cada aspecto do planejamento urbano, abordando questões como transporte e saneamento, conforme apontado por Lima-Queiroz, Balabram e Baptista (2003). No entanto, diversos desafios relacionados ao planejamento urbano surgiram ao longo do processo.

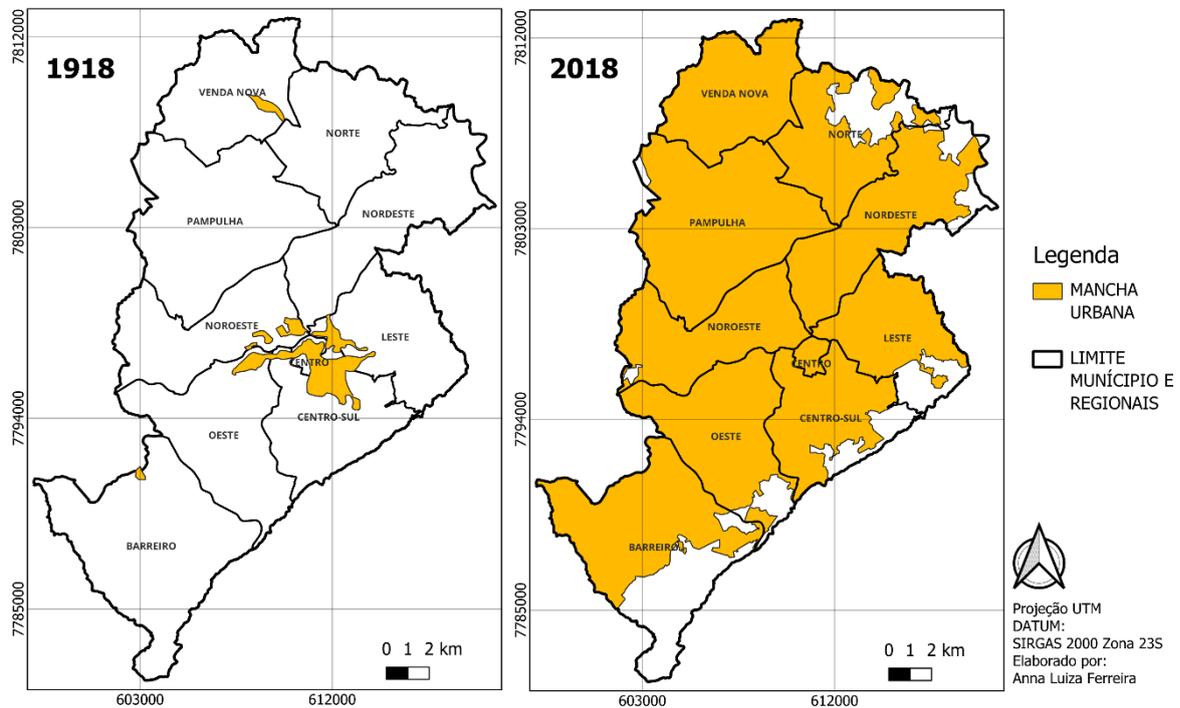
Para a construção da nova capital, foi necessário desapropriar e demolir moradias já existentes na região central, o que forçou muitos moradores a se deslocarem para áreas periféricas ou cidades vizinhas, devido aos altos custos dos imóveis na área planejada. A cidade foi concebida com foco na região central, desconsiderando a presença de populações já estabelecidas e prevendo um crescimento gradual e planejado em direção às periferias. No entanto, esse processo não ocorreu como esperado. As áreas periféricas passaram a se urbanizar paralelamente, de forma espontânea e sem o devido planejamento urbano, resultando em um crescimento desordenado e carente de infraestrutura, conforme apontam Lima-Queiroz, Balabram e Baptista (2003).

A partir da década de 1920, Belo Horizonte apresentou um crescimento populacional acelerado, com taxas superiores a 9% ao ano, segundo o Planejamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (PLAMBEL)(PBH, 1986). Esse processo impulsionou a expansão da cidade para além dos limites originalmente planejados, resultando na ocupação de novas áreas, muitas vezes sem infraestrutura adequada. A região norte, conforme Souza (2008), recebeu grande parte da população desapropriada durante a construção inicial da capital, tornando-se um espaço predominantemente habitado por trabalhadores de baixa qualificação e menor poder aquisitivo. Essa ocupação ocorreu de forma desordenada, sem a devida provisão de serviços urbanos essenciais, como saneamento e transporte.

Além da regional Norte, as regionais Leste e Nordeste de Belo Horizonte também passaram por uma significativa expansão na década de 1920, com a incorporação dos municípios de Venda Nova e General Carneiro, segundo Souza (2008). Ao longo das décadas, essas regiões consolidaram-se como áreas de intensa concentração de vilas e favelas, uma característica que persiste até os dias atuais. De acordo com dados de 2020 da Companhia Urbanizadora e de Habitação de Belo Horizonte (URBEL), cerca de 25% das vilas e favelas do município estão localizadas nessas áreas. Esse cenário reflete a falta de um planejamento urbano adequado durante o processo de urbanização de Belo Horizonte, resultando no crescimento desordenado e na ocupação de áreas com menor oferta de equipamentos urbanos e maior vulnerabilidade socioambiental.

Planejada originalmente para abrigar 200 mil habitantes, Belo Horizonte atualmente conta com uma população de aproximadamente 2,3 milhões de habitantes, conforme dados de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esse crescimento populacional acelerado contribuiu para a urbanização de 86% do território municipal, como ilustrado na Figura 3, e resultou em vulnerabilidades ambientais e sociais. Os dados indicam que 389.218 pessoas vivem em áreas de risco sujeitas a inundações, enxurradas e deslizamentos. Além disso, segundo informações divulgadas em 2016, pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH VELHAS), foram identificados 89 pontos críticos de risco de inundação na cidade, evidenciando os desafios do planejamento urbano frente à expansão desordenada.

**Figura 3 – Evolução da Mancha Urbana de Belo Horizonte/MG**  
Evolução da Mancha Urbana de Belo Horizonte/MG  
1918 - 2018



Fonte: Autora (2025)

### 3.1.2 Impactos da urbanização na drenagem urbana

A expansão urbana de Belo Horizonte, desde o final do século XIX, provocou transformações significativas no sistema de drenagem da cidade. Para viabilizar o crescimento populacional e estruturar a mobilidade urbana, diversas intervenções foram realizadas sem considerar adequadamente as características naturais dos cursos d'água. A Figura 4 ilustra uma dessas primeiras intervenções: a construção de uma ponte sobre o Ribeirão Arrudas, representando um marco inicial nas modificações físicas dos corpos d'água da cidade. Embora não envolva diretamente a canalização ou retificação do leito, essa obra exemplifica o início de um processo que, ao longo do tempo, levou à adoção sistemática dessas práticas. Segundo Rodrigues (2020), a retificação e canalização do Ribeirão Arrudas consolidaram-se posteriormente como estratégias recorrentes para viabilizar a construção de vias e a expansão da malha urbana, impactando profundamente a dinâmica ambiental da capital mineira.

**Figura 4** - Construção de ponte sobre o Ribeirão Arrudas como marco inicial das intervenções físicas nos corpos d'água de Belo Horizonte, em 1896



Fonte: Rodrigues (2020)

O modelo de drenagem urbana implementado, no entanto, desconsiderou aspectos ambientais cruciais, como o curso natural dos rios, suas planícies de inundação e a permeabilidade do solo, conforme ressalta Rodrigues (2020). A retificação dos canais e o avanço da impermeabilização do solo, realizados sem planejamento adequado, resultaram em um aumento significativo na velocidade do escoamento superficial e diminuição da capacidade de infiltração do solo, elevando o risco de enchentes em períodos de chuvas intensas, agravando a vulnerabilidade das populações que ocupavam as áreas próximas aos fundos de vale, conforme aponta a autora.

O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN, 2021) define inundação como a submersão de áreas fora dos limites normais de um curso d'água. Tucci (2005) detalha que os rios são formados por dois leitos: o leito menor, por onde a água escoar na maior parte do tempo, e o leito maior, que compreende a planície de inundação natural, ocupada temporariamente quando a vazão excede a capacidade do canal principal. Esse conceito, ilustrado na Figura 5, evidencia como a natureza já prevê zonas de extravasamento controlado, zonas essas frequentemente ocupadas por construções e infraestruturas urbanas que não respeitam as funções hidrológicas dos fundos de vale.

**Figura 5 - Características dos leitos do rio**

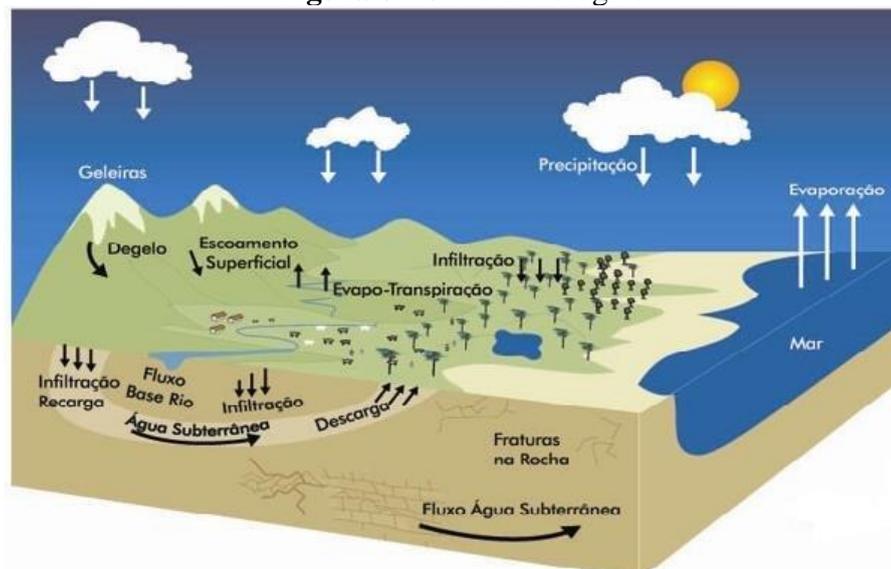


Fonte: Tucci (2005)

As inundações ribeirinhas, portanto, decorrem do transbordamento para o leito maior durante episódios de aumento de vazão, um fenômeno natural do ciclo hidrológico. A urbanização desordenada, ao ocupar essas áreas, intensifica os prejuízos materiais e sociais quando ocorrem cheias. Já as inundações urbanas são diretamente relacionadas à impermeabilização extensiva do solo e à ausência de infraestrutura de drenagem dimensionada para volumes excepcionais de precipitação.

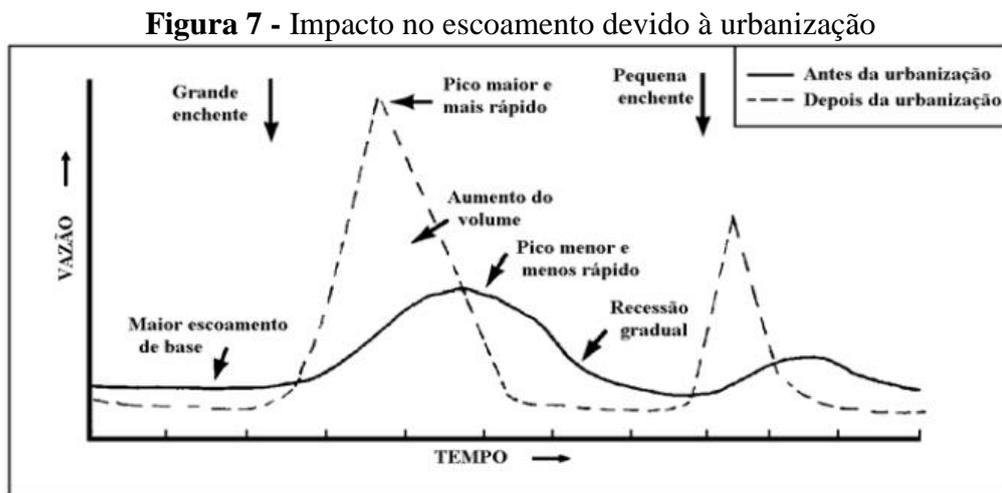
O ciclo hidrológico, representado na Figura 6, funciona, em condições naturais, como um sistema dinâmico que distribui a água entre precipitação, infiltração, escoamento superficial e evapotranspiração. A urbanização, porém, interrompe esse equilíbrio, bloqueando áreas de infiltração e eliminando a cobertura vegetal que retém água e retarda o fluxo.

**Figura 6 - Ciclo hidrológico**



Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2018)

De acordo com Fritzen e Binda (2011), o aumento da impermeabilização, associado à canalização de cursos d'água e à supressão de vegetação, intensifica o escoamento superficial, comprometendo a recarga de aquíferos e elevando o pico de vazão. A Figura 7 ilustra como, após a urbanização, o escoamento ocorre de forma mais rápida e concentrada, com picos de vazão mais altos em intervalos mais curtos, em comparação a cenários naturais. Esse padrão eleva o potencial de enchentes rápidas, que muitas vezes ocorrem sem tempo de resposta adequado para a população.

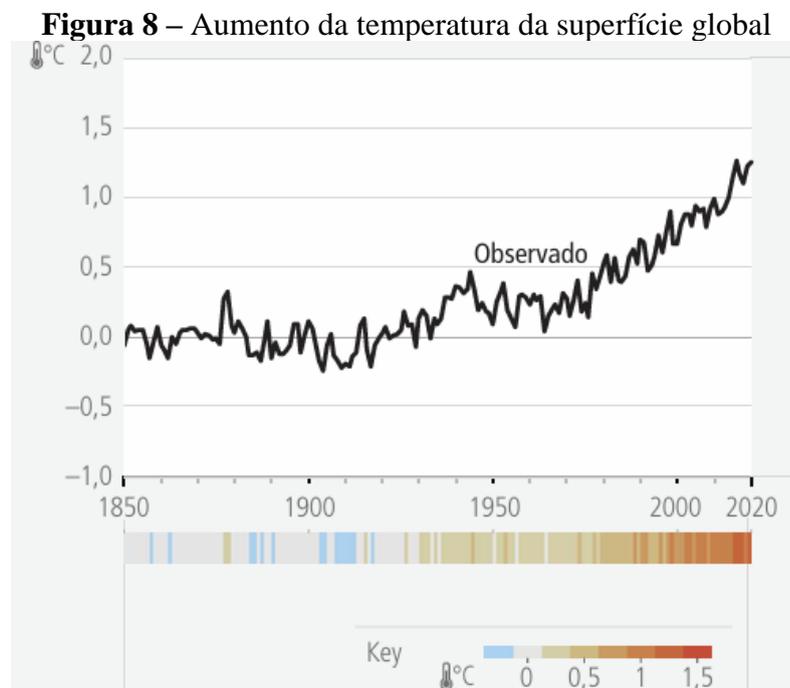


Fonte: Tucci (2005)

Em Belo Horizonte, a combinação de intervenções como retificações, canalizações e ocupação de fundos de vale criou um ambiente de risco permanente. As inundações ribeirinhas e urbanas se sobrepõem, uma vez que a urbanização desordenada intensifica a exposição de comunidades a áreas de inundação natural, enquanto o adensamento impermeável amplifica o volume de água escoada em episódios de precipitação significativa. Assim, a análise dos impactos da urbanização sobre o sistema de drenagem evidencia a necessidade de estratégias integradas para mitigar os efeitos adversos das inundações ribeirinhas e urbanas. Além das soluções estruturais, como redes de drenagem, canalizações e reservatórios de detenção e retenção, destacam-se as medidas não estruturais, incluindo o controle do uso e ocupação do solo, a preservação de áreas de várzea e a gestão sustentável dos fundos de vale. Tais diretrizes de planejamento, regulação e prevenção serão exploradas ao longo deste trabalho, ressaltando sua relevância na promoção de cidades mais seguras e resilientes frente aos riscos hidrológicos.

### 3.1.3 Mudanças Climáticas, Eventos Extremos e Inundações Urbanas

A intensificação das mudanças climáticas agrava os efeitos da urbanização sobre o regime hidrológico urbano, criando um ciclo de retroalimentação entre processos globais e locais. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) aponta que a temperatura média da superfície global já aumentou 1,1 °C no período de 2011 a 2020 em relação à média de 1850 a 1900, com projeções indicando que esse acréscimo pode chegar a 1,5 °C até 2030 se as emissões continuarem nos níveis atuais. A Figura 8 demonstra esse aquecimento ao longo dos anos, que potencializa a ocorrência de eventos hidrometeorológicos extremos, como chuvas intensas e inundações de grande magnitude, ampliando os desafios para a gestão urbana.



Dados da Organização das Nações Unidas (ONU, 2022) reforçam esse diagnóstico, destacando que o número de enchentes em escala global aumentou 134% desde o início dos anos 2000, em comparação com as três décadas anteriores. Este crescimento se deve não apenas ao aquecimento global, mas também ao avanço desordenado da urbanização, que frequentemente expande ocupações sobre áreas vulneráveis, como várzeas e margens de cursos d'água, sem o devido planejamento da infraestrutura de drenagem e contenção de cheias, como descrito no item 3.1.2. Assim, os impactos da urbanização local se somam aos efeitos climáticos globais, intensificando a vulnerabilidade de populações urbanas a eventos hidrometeorológicos

extremos.

Além dos fatores globais, processos microclimáticos como as ilhas de calor urbanas exercem papel relevante na intensificação de chuvas localizadas. Conforme Tucci (2002), superfícies impermeáveis, como o asfalto e o concreto, absorvem e irradiam calor, elevando as temperaturas médias nas regiões centrais das cidades. Esse calor acumulado gera movimentos ascendentes de ar que favorecem a formação de nuvens convectivas e precipitações concentradas. Silveira (1999) demonstrou essa dinâmica em Porto Alegre, evidenciando índices pluviométricos mais elevados em áreas centrais em relação às periferias, realidade que se repete em outras capitais brasileiras. Quando essas chuvas ocorrem de forma intensa e em curtos intervalos de tempo, cenário comum em centros urbanos, os efeitos da impermeabilização do solo e da ocupação desordenada se agravam, elevando significativamente o risco de enchentes. Esse conjunto de fatores revela a complexidade dos impactos hidrológicos associados à urbanização e reforça a necessidade de estratégias integradas de planejamento e gestão ambiental.

Em escala global, 1,81 bilhão de pessoas, equivalente a 23% da população mundial, vivem atualmente em áreas suscetíveis a inundações com profundidade superior a 0,15 m em eventos com recorrência de 1 em 100 anos (RENTSCHLER et al., 2022). Desse total, 89% pertencem a países de baixa e média renda, o que evidencia uma interseção entre vulnerabilidade social e risco ambiental. Em tais contextos, deficiências na cobertura de redes de drenagem, ausência de sistemas de alerta precoce e carência de investimentos em infraestrutura adaptativa agravam a exposição das comunidades aos efeitos de inundações urbanas.

No Brasil, as consequências desse cenário se manifestam em episódios recorrentes de enchentes, deslizamentos de encostas e perdas socioeconômicas significativas. A impermeabilização excessiva, associada a redes de drenagem obsoletas, limita a capacidade de absorção de águas pluviais, sobrecarregando galerias e aumentando o escoamento superficial. Assim, os fatores discutidos no tópico anterior, como o aumento do pico de vazão e a redução da infiltração, tornam-se ainda mais críticos quando somados ao contexto de instabilidade climática.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), sobretudo o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), endossam

a necessidade de integrar ações climáticas à gestão e ao ordenamento de territórios urbanos. A criação de parques lineares, áreas permeáveis, telhados verdes e jardins de chuva, como destaca Friedrich (2007), contribui para restaurar a capacidade de infiltração, retardar o escoamento superficial e ampliar a resiliência das cidades.

Para além das obras estruturais, é essencial combinar estratégias não estruturais, monitoramento hidrológico em tempo real e participação comunitária na prevenção e mitigação de riscos. Essa combinação de instrumentos técnicos e sociais reflete não apenas uma exigência normativa, mas também uma decisão financeiramente estratégica. De acordo com o *World Resources Institute* (WRI, 2025), Instituto de Recursos Mundiais, cada dólar investido em adaptação climática pode gerar mais de US\$ 10,50 em benefícios em um período de dez anos, retorno que vai além da redução de perdas com desastres, abrangendo ganhos econômicos, sociais e ambientais mesmo quando não há ocorrência de eventos extremos.

### **3.2 Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas**

Desde os primeiros agrupamentos urbanos, os corpos d'água sempre foram usados como destino de despejos de águas residuais e efluentes domésticos sem qualquer tipo de tratamento, o que historicamente gerou graves problemas de saúde pública, como surtos de doenças de veiculação hídrica, cólera, diarreia, leptospirose, entre outras. Para enfrentar esses desafios, consolidou-se em diversos países, inclusive no Brasil, uma abordagem higienista de infraestrutura urbana, que originou o modelo de drenagem convencional: um sistema voltado a coletar e escoar rapidamente as águas pluviais, retirando-as do ambiente urbano por meio de canais, tubulações e obras de retificação de cursos d'água.

Esse paradigma técnico, baseado na rápida evacuação das águas, foi acompanhado de processos de impermeabilização de vastas superfícies urbanas e da construção de redes de condutos subterrâneos, características que, como destaca Rezende (2018), ainda definem grande parte das infraestruturas de drenagem nas cidades brasileiras.

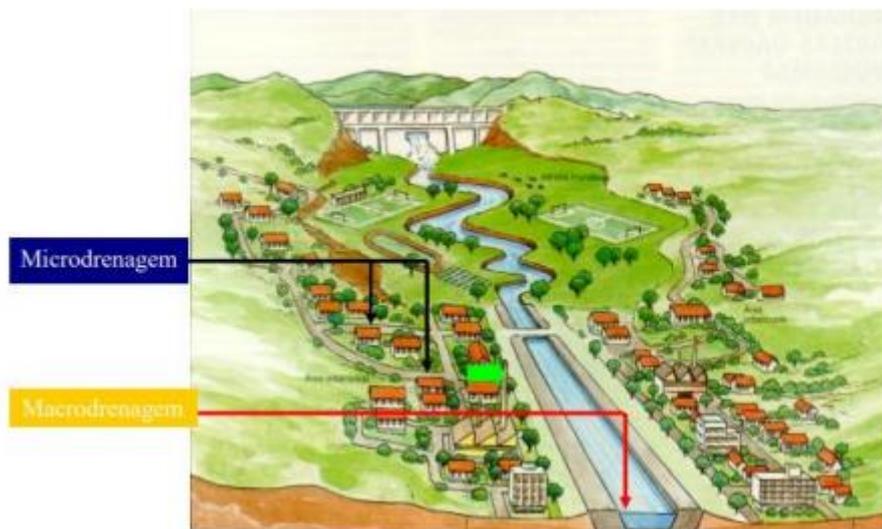
Com o avanço da urbanização e o agravamento dos impactos sobre o ciclo hidrológico, entretanto, a drenagem convencional mostrou-se limitada para enfrentar problemas como enchentes recorrentes, impermeabilização excessiva e degradação ambiental. Diante desse cenário, o conceito de manejo das águas pluviais urbanas passou a incorporar uma visão mais

integrada, que articula infraestrutura física, medidas compensatórias, regulação do uso do solo e soluções baseadas na natureza. Essa abordagem moderna busca equilibrar desenvolvimento urbano, proteção dos recursos hídricos e resiliência frente às mudanças climáticas.

Nesse contexto, compreende-se que a drenagem convencional se organiza em dois subsistemas complementares: a microdrenagem e a macrodrenagem. A microdrenagem é responsável pela coleta e condução inicial do escoamento superficial, captando as águas da chuva por meio de sarjetas, bocas de lobo, meios-fios e redes coletoras, de acordo com a Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP) (PBH, 2022). Sua função principal é direcionar rapidamente essas águas para o sistema de macrodrenagem, composto por canais naturais ou artificiais, rios, córregos e ribeirões, que escoam os grandes volumes para fora das áreas urbanas.

A Figura 9 ilustra a integração entre os dois sistemas, constituindo o sistema clássico de drenagem utilizado no Brasil. Na imagem, é possível observar a impermeabilização do solo e a supressão da vegetação na área urbanizada. Além disso, destaca-se a alteração do trajeto natural do corpo d'água por meio de obras de macrodrenagem, cujo objetivo é acelerar o escoamento das águas pluviais para prevenir alagamentos em determinados pontos.

**Figura 9** - Integração do sistema de microdrenagem ao de macrodrenagem urbana



Fonte: Garcia (2003) apud Rebelo (2021)

Como alerta Tucci (2012), embora esse sistema possa mitigar problemas localizados, ele frequentemente transfere os impactos para áreas a jusante, aumentando a vulnerabilidade de

outras regiões. Isso gera a necessidade constante de obras de ampliação do sistema, que envolvem altos custos, complexidade logística e são soluções paliativas. Desta forma, o sistema clássico de drenagem tem sido ineficiente, impulsionado a busca por alternativas mais eficientes e sustentáveis, que integrem o manejo das águas pluviais ao ambiente urbano de forma a reduzir os impactos negativos.

Nesse cenário, emergem os primeiros conceitos e práticas da drenagem sustentável, que reorientaram o manejo das águas pluviais em direção a soluções que conciliam urbanização e equilíbrio hidrológico, conforme destacado por Gonçalves, Ribeiro e Baptista (2016). Segundo as autoras, essa abordagem tem ganhado cada vez mais relevância ao buscar mitigar os impactos negativos da urbanização, promovendo maior infiltração da água no solo e reduzindo a velocidade do escoamento superficial. Dessa forma, procura-se restabelecer um equilíbrio mais próximo das condições hidrológicas naturais anteriores à urbanização, reduzindo a degradação dos corpos d'água e minimizando os riscos associados a enchentes e à escassez hídrica.

O debate sobre práticas mais sustentáveis na gestão da água teve início no começo do século XX, quando projetistas de unidades de tratamento de esgoto criaram o conceito de BMP - Best Management Practices (Melhores Práticas de Gerenciamento), visando apoio nas manutenções dos sistemas projetados, conforme Ribeiro (2014). De acordo com o autor, a primeira publicação relacionada ao tema ocorreu em 1949, com os estudos de Craddock e Hursh, que já apontavam a necessidade de um planejamento urbano que considerasse o uso adequado do solo e a restauração da cobertura vegetal para garantir a disponibilidade hídrica no longo prazo. Com o passar das décadas, no final do século, a disciplina de gestão das águas passou a ser ensinada com um enfoque ambiental, incorporando medidas estruturais de controle de enchentes e tratamento de águas poluídas.

Os Estados Unidos são apontados por Ribeiro (2014) como um dos pioneiros na implementação das BMPs, sendo um dos primeiros países a reconhecer a importância do tema e a exigir políticas mais rigorosas de seus estados. No cenário norte-americano, surge também o conceito de LID - Low Impact Development (Desenvolvimento de Baixo Impacto), introduzido pela EPA - Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), um órgão fundamental na regulamentação e incentivo de práticas sustentáveis de drenagem. O conceito de LID propõe o controle da drenagem diretamente na fonte, garantindo que todas as

áreas a serem urbanizadas mantenham condições hidrológicas funcionais semelhantes às do ambiente pré-desenvolvimento. Essa abordagem busca não apenas gerenciar o escoamento das águas pluviais, mas também integrá-lo ao planejamento urbano, promovendo soluções como pavimentos permeáveis, jardins de chuva e sistemas de biorretenção, que permitem maior infiltração e armazenamento da água no próprio local.

Em parceria com a Escócia, o consultor ambiental Brian D'Arcy do Reino Unido criou o conceito SUDS - Sustainable Urban Drainage System (Sistema Sustentável de Drenagem Urbana), que busca integrar soluções ambientais e paisagísticas ao planejamento urbano. Segundo Ribeiro (2014), o diferencial do SUDS em relação às BMPs está na preocupação com a aceitação pública e na adaptação ao ambiente local. Além de sistemas de infiltração e armazenamento, o SUDS incentiva o uso de infraestruturas verde, prevê o transporte permeável do volume excedente e o tratamento ser precedido de um pré-tratamento, minimizando impactos sobre os corpos hídricos e melhorando a qualidade de vida da população.

Seguindo essa tendência de planejamento urbano sustentável, surgiram os conceitos WSUD - Water Sensitive Urban Design (Projeto Urbano Sensível às Águas) na Austrália e LIUDD - Low Impact Urban Design and Development (Projeto e Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto) na Nova Zelândia. Ribeiro (2014) elucida que o WSUD propõe a gestão da água urbana como um recurso integrado ao meio ambiente, buscando soluções como reuso de água pluvial, criação de espaços verdes multifuncionais e retenção de água na paisagem urbana. Já o LIUDD enfatiza a minimização das alterações hidrológicas causadas pelo desenvolvimento urbano, promovendo a manutenção da vegetação nativa e o uso de materiais permeáveis para reduzir a impermeabilização do solo, afirma o autor.

No Brasil, as práticas BMPs são também conhecidas como Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana, sendo fundamentais para mitigar os impactos das chuvas sobre as cidades. Esse será o termo adotado ao longo desse trabalho para referir-se ao assunto.

### *3.2.1 Técnicas Compensatórias*

As técnicas compensatórias são estratégias de controle aplicadas para reduzir os impactos negativos sobre a qualidade e a quantidade do escoamento superficial nas áreas urbanas. Essas soluções buscam compatibilizar o funcionamento dos processos hidrológicos naturais com as

demandas do crescimento urbano, criando alternativas que ajudem a mitigar os efeitos adversos das enchentes e a melhorar a gestão das águas pluviais, conforme apontam Gonçalves, Ribeiro e Baptista (2016).

As técnicas compensatórias podem ser classificadas, segundo Baptista et al. (2005), em duas categorias principais: medidas estruturais e medidas não estruturais. A integração entre ambas é essencial para o manejo eficiente das inundações, pois garante que intervenções físicas sejam complementadas por instrumentos de planejamento, fiscalização e conscientização social.

### 3.2.1.1 Medidas Estruturais

As medidas estruturais correspondem a intervenções físicas planejadas para mitigar os riscos de enchentes, controlando o escoamento das águas pluviais em áreas urbanizadas. Conforme Tucci (2005), essas medidas podem ser classificadas em dois grandes grupos: extensivas, que atuam na bacia hidrográfica, e intensivas, que incidem diretamente sobre o curso dos rios.

As medidas extensivas são aplicadas de forma ampla na bacia, com o objetivo de interferir na relação entre precipitação e vazão, ajudando a reduzir os picos de cheia. Um exemplo essencial é a cobertura vegetal, que intercepta parte da água da chuva, aumenta a evapotranspiração e diminui a velocidade do escoamento superficial. A remoção dessa cobertura tende a intensificar volumes escoados, enquanto o reflorestamento e a conservação de matas ciliares são estratégias que mantêm o equilíbrio hidrológico, principalmente em bacias de menor porte (Tucci, 2005). O controle da erosão do solo, por meio de técnicas de estabilização de margens e manejo adequado do uso do solo, também integra esse grupo, prevenindo o assoreamento dos cursos d'água e mantendo a capacidade de escoamento.

Já as medidas intensivas incidem diretamente sobre o curso do rio e têm como objetivo ajustar o escoamento, seja para acelerar, retardar ou desviar fluxos em trechos críticos. Entre as soluções mais comuns destacam-se as canalizações, galerias pluviais subterrâneas, reservatórios de controle de cheias e túneis de derivação. De acordo com Canholi (2014), além da aceleração do escoamento por meio de canalizações, as intervenções podem incluir reservatórios de retenção para retardar picos de vazão, canais artificiais para desviar trechos de fluxo e obras pontuais para proteger edificações localizadas em áreas suscetíveis a enchentes.

Em Belo Horizonte, as medidas estruturais sempre desempenharam papel central na estratégia de controle de cheias, sobretudo devido à topografia acidentada e à rápida expansão urbana. Historicamente, a capital mineira priorizou obras de canalização e redes de macrodrenagem como forma de escoar rapidamente grandes volumes pluviais. Segundo dados da PBH (2022), o município conta atualmente com aproximadamente 1.400 km de redes de drenagem pluvial, operando em conjunto com sistemas de microdrenagem e bocas de lobo para coleta inicial do escoamento.

Além das redes de drenagem, destacam-se as bacias de retenção, classificadas como intervenções extensivas, implantadas em pontos estratégicos para armazenar temporariamente o excesso de água durante eventos de alta pluviosidade. Belo Horizonte possui cerca de 65 bacias de retenção, distribuídas em sub-bacias críticas, com capacidade aproximada de 1,7 milhão de metros cúbicos de armazenamento (PBH, 2022). A Figura 10 exemplifica esse tipo de obra ao apresentar a Barragem Santa Lúcia, uma das mais relevantes infraestruturas de retenção da capital, com capacidade de reservar 153 mil metros cúbicos, é responsável por amortecer picos de vazão no centro-sul de Belo Horizonte, reduzindo alagamentos em vias de grande fluxo e áreas residenciais densamente ocupadas.

**Figura 10** - Barragem Santa Lúcia em Belo Horizonte, MG



Fonte: PBH (2022)

A aplicação de medidas estruturais na cidade inclui ainda a requalificação de fundos de vale e a implantação de áreas de retenção e detenção integradas a espaços públicos, que associam funções hidráulicas a benefícios urbanísticos e ambientais. O Programa DRENURBS é um exemplo de política pública voltada a esse modelo de intervenção integrada, reunindo canalizações, reservatórios, recuperação ambiental de margens e criação de áreas de lazer.

Apesar de sua relevância, as obras estruturais apresentam limitações conhecidas, sobretudo quando empregadas isoladamente. Tucci (2005) destaca que tais intervenções exigem alto investimento, manutenção contínua e não eliminam completamente o risco de inundações severas, especialmente em cenários de precipitações cada vez mais intensas. Além disso, a presença de estruturas como diques e reservatórios pode induzir a uma falsa sensação de segurança, incentivando a ocupação de áreas naturalmente sujeitas a alagamentos. Essa ocupação, por sua vez, tende a aumentar a exposição ao risco e os danos potenciais em eventos futuros. Assim, o autor reforça que a eficácia das medidas estruturais depende de sua articulação com estratégias não estruturais, tema aprofundado no próximo item, que trata do planejamento, controle do uso do solo, sistemas de alerta e participação comunitária.

### 3.2.1.2 Medidas não estruturais

As medidas não estruturais de drenagem urbana englobam ações de caráter preventivo, normativo e educativo, que buscam reduzir a vulnerabilidade das cidades a enchentes sem recorrer exclusivamente a grandes obras físicas. Para Canholi (2014), essas estratégias se destacam justamente por aliam baixo custo relativo a resultados de longo prazo, uma vez que atuam na organização do território, na orientação do comportamento de consumo da sociedade e na regulação de atividades econômicas que impactam a dinâmica hidrológica.

Tucci (2005) reforça essa abordagem, apresentando o caso de Denver, nos Estados Unidos, onde, o município demonstrou que a aplicação de medidas não estruturais pode abranger áreas mais extensas a custos significativamente menores do que as soluções puramente estruturais. Na prática, a proteção de apenas um quarto da área inundável por meio de obras físicas exigiria o mesmo investimento necessário para implementar estratégias não estruturais capazes de proteger três quartos da região de risco. Esse paralelo evidencia o potencial de medidas preventivas para reduzir gastos públicos, ampliar a abrangência territorial e oferecer respostas mais duradouras aos desafios das inundações urbanas.

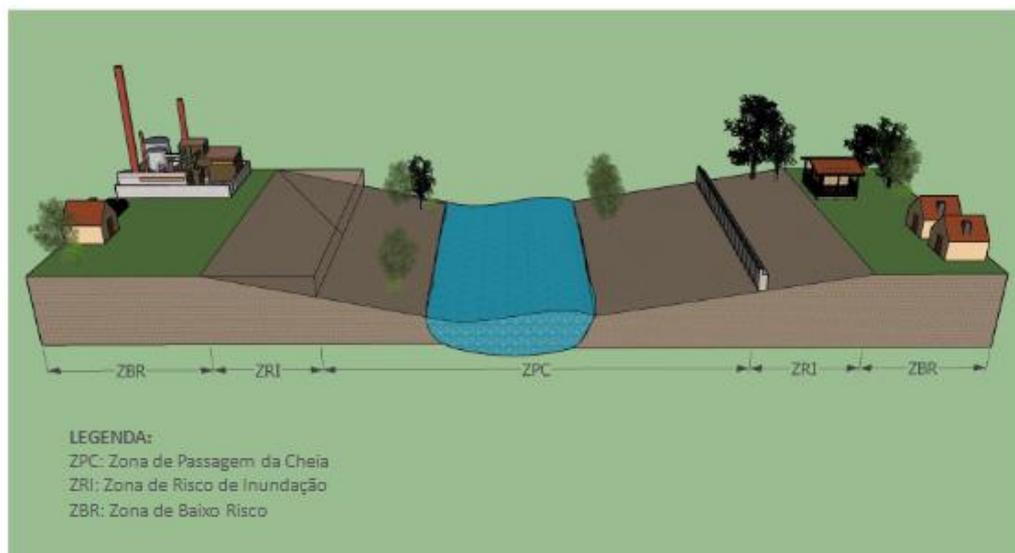
Um dos instrumentos mais relevantes no contexto das medidas não estruturais é o zoneamento de áreas de risco, que define restrições de uso e ocupação em regiões suscetíveis a inundações. Essa estratégia tem como ponto de partida a elaboração de mapas detalhados das planícies de inundação, baseados em registros históricos de cotas de cheias ou em cenários de projeto associados a diferentes períodos de retorno. De acordo com Larentis et al. (2020), esses mapas

permitem delimitar zonas com graus distintos de restrição à ocupação, estruturando a gestão do território por meio da definição de faixas prioritárias de passagem da cheia. Em geral, as áreas inundáveis são classificadas em três categorias principais: Zona de Passagem de Cheia (ZPC), Zona de Risco de Inundação (ZRI) e Zona de Baixo Risco (ZBR).

A ZPC corresponde à faixa com função hidráulica essencial, por onde o escoamento principal da cheia ocorre com maior velocidade e profundidade, sendo, portanto, vedada à ocupação. Já a ZRI é a zona adjacente, onde o fluxo é mais lento e superficial, mas ainda apresenta potencial para danos, nesta área, a ocupação pode ocorrer desde que sejam adotadas medidas específicas de mitigação. Por fim, a ZBR compreende regiões fora da mancha de cheia para o período de retorno considerado, onde os riscos são significativamente menores e as restrições urbanísticas são menos severas.

A Figura 11 ilustra, de forma esquemática, a delimitação dessas zonas em uma planície de inundação típica, destacando a hierarquia de restrições e a importância do ordenamento do uso do solo para mitigar danos materiais e preservar vidas em cenários de cheia.

**Figura 11 - Zoneamento da planície de inundação**



Fonte: Larentis et al. (2020)

Sistemas de alerta e monitoramento, como redes de pluviômetros, sensores de nível de córregos e estações meteorológicas, também são medidas não estruturais fundamentais para antecipar eventos críticos e orientar medidas emergenciais, minimizando danos materiais e salvando

vidas. Além disso, campanhas educativas e programas de mobilização comunitária reforçam o caráter participativo dessas estratégias, estimulando mudanças de comportamento, correta destinação de resíduos sólidos e cuidado com as redes de drenagem.

Portanto, mais do que soluções técnicas pontuais, as medidas não estruturais configuram-se como instrumentos permanentes de política pública, fundamentais para apoiar o planejamento urbano, orientar a expansão das cidades e garantir maior resiliência frente às inundações. Sua eficácia depende da integração com marcos legais, fiscalização ativa e engajamento comunitário, o que será aprofundado no próximo item, dedicado à análise do planejamento urbano e gestão de inundações em Belo Horizonte.

### *3.2.2 Planejamento Urbano e Gestão de Inundações*

No Brasil, o enfrentamento das inundações urbanas está intrinsecamente ligado ao desenvolvimento de políticas públicas que articulam o planejamento do uso do solo, o saneamento básico e a gestão integrada de recursos hídricos. A Constituição Federal de 1988 consolida esse compromisso ao atribuir à União a responsabilidade de prevenir calamidades, como enchentes, fundamento que respalda a criação de diretrizes nacionais, estaduais e municipais para disciplinar a ocupação do território (BRASIL, 1988).

Em nível nacional, a Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei nº 6.766/1979) reforça a prevenção de riscos ao estabelecer que terrenos sujeitos a alagamentos não podem ser loteados sem obras que assegurem drenagem adequada. Essa exigência protege áreas vulneráveis, inibe a ocupação de várzeas sem manejo apropriado e obriga o poder público a planejar redes de escoamento junto aos parcelamentos, evitando a expansão urbana desordenada que sobrecarregue a infraestrutura existente (BRASIL, 1979).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) é outro marco essencial, pois reconhece a água como bem público de valor econômico, cuja gestão deve ocorrer por bacia hidrográfica, com participação descentralizada entre poder público, usuários e sociedade civil. Essa lei estabelece que a prevenção de eventos críticos, como inundações, é objetivo central da gestão hídrica, considerando que enchentes decorrem, em grande parte, de ocupações inadequadas das margens dos cursos d'água (BRASIL, 1997). Os Planos de Recursos Hídricos surgem como instrumentos para planejar usos múltiplos, definir metas de qualidade e

quantidade e programar ações de mitigação, articulando políticas de drenagem com o manejo dos rios e aquíferos.

O Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001) fortaleceu esse arcabouço ao tornar obrigatória a elaboração de Planos Diretores para municípios com mais de vinte mil habitantes, consolidando-os como instrumentos para ordenar o crescimento urbano de forma sustentável. É por meio do Plano Diretor que diretrizes federais se concretizam localmente, estabelecendo zonas de preservação, restrições de uso em fundos de vale e normas específicas para proteger áreas suscetíveis a alagamentos (BRASIL, 2001).

No campo do saneamento, a Lei nº 11.445/2007 definiu a drenagem urbana como serviço essencial, ao lado do abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos. Essa lei ampliou a compreensão do sistema de drenagem, que passa a abranger não apenas canais e galerias, mas também o planejamento integrado do escoamento, detenção e disposição final das águas pluviais, visando proteger a saúde pública, reduzir danos materiais e garantir a segurança da população, ao mesmo tempo em que relaciona a drenagem com a qualidade dos corpos hídricos urbanos (BRASIL, 2007).

No nível estadual, Minas Gerais reforçou essa estrutura com a Lei nº 13.199/1999, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos em sintonia com os princípios federais. Entre os instrumentos de controle previstos está a outorga de uso, aplicável também ao lançamento de águas pluviais, assegurando o equilíbrio entre expansão urbana e preservação ambiental (MINAS GERAIS, 1999). Complementarmente, o Decreto Estadual nº 44.646/2007 detalha exigências para aprovação de projetos de parcelamento do solo, obrigando municípios a apresentarem soluções técnicas para o escoamento das águas, com mapas de microbacias, dispositivos de captação e estruturas de amortecimento (MINAS GERAIS, 2007). Essa previsão força projetistas, loteadores e órgãos ambientais a considerarem os impactos hidrológicos desde a concepção dos empreendimentos.

Em Belo Horizonte, essa evolução normativa se traduziu na elaboração pioneira do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDBH), em 2001, que traçou as diretrizes básicas para mitigação de enchentes. Em 2009, a PBH publicou a Carta de Inundações de Belo Horizonte (PBH, 2009), mapeando as áreas de risco com base em modelagens hidrológicas e subsidiando ações da Defesa Civil, como a criação dos Núcleos de Alerta de Chuvas (NACs).

Embora o Plano Diretor de 1996 tenha introduzido diretrizes importantes de sustentabilidade, como a proteção de áreas verdes, a limitação da impermeabilização dos lotes e o controle do adensamento, ainda havia lacunas na integração entre zoneamento de risco e ocupação do solo. Conforme analisado por Pinheiro (2019), esse cenário avançou com a revisão do Plano Diretor, consolidada pela Lei nº 11.181/2019, que fortaleceu o conceito das Conexões de Fundo de Vale, áreas prioritárias para preservar a função hidráulica, integrar parques lineares, APPs e corredores verdes, conciliando drenagem com uso público. Complementarmente, as Instruções Técnicas para Parcelamento do Solo (PBH, 2022) detalham exigências como a reserva de faixas não edificáveis, o cadastramento de cursos d'água e a implantação de dispositivos de microdrenagem em novos empreendimentos.

Entre essas exigências, destaca-se a obrigatoriedade do cumprimento de uma taxa mínima de permeabilidade em terreno natural para todos os lotes do município, com o objetivo de ampliar a capacidade de infiltração do solo e reduzir o escoamento superficial durante eventos de chuva intensa. Soma-se a essa medida a obrigatoriedade de implantação de caixas de captação de águas pluviais em terrenos edificados. Esses dispositivos de microdrenagem têm a função de reter temporariamente a água da chuva, controlando sua liberação para a rede pública de drenagem. O dimensionamento das caixas deve assegurar que a vazão de escoamento gerada por um lote urbanizado seja equivalente àquela que ocorreria em condições naturais, contribuindo para a mitigação de alagamentos e para a preservação do equilíbrio hidrológico no ambiente urbano.

Atualmente, o Plano Diretor Municipal organiza o território de Belo Horizonte em zonas que articulam categorias de uso, preservação ambiental, ocupação moderada ou preferencial, com níveis numéricos progressivos, como PA-1 a PA-3, OM-1 a OM-4 e OP-1 a OP-3. Essa gradação alinha o uso do solo à capacidade de suporte ambiental e hidrológica de cada porção do território, fortalecendo o controle de ocupação em fundos de vale, encostas e microbacias urbanas.

Para ilustrar essa estrutura, o Quadro 1 resume as principais zonas previstas no Plano Diretor de Belo Horizonte (PBH, 2019):

**Quadro 1** – Principais Zonas do Zoneamento Urbano de Belo Horizonte de acordo com a Lei nº 11.181/2019

Zona	Objetivo	Características principais	Níveis Numéricos	Crítérios de Aplicação
<i>ZPA – Zona de Preservação Ambiental</i>	Proteger áreas de valor ambiental, paisagístico ou cultural	Restrições severas de uso e ocupação; recuperação de APPs; controle de ocupação de fundos de vale	PA-1, PA-2, PA-3	Quanto menor o número, mais restrita a ocupação e maior o nível de proteção ambiental
<i>ZOM – Zona de Ocupação Moderada</i>	Controlar ocupação em áreas com restrições físicas, ambientais ou patrimoniais	Limita altura de edificações, taxa de ocupação e impermeabilização	OM-1, OM-2, OM-3, OM-4	Quanto menor o número, maior a restrição de uso, menor o potencial construtivo
<i>ZOP – Zona de Ocupação Preferencial</i>	Concentrar adensamento onde há infraestrutura adequada	Potencial construtivo maior; incentiva uso racional de redes de drenagem existentes	OP-1, OP-2, OP-3	Quanto maior o número, maior o estímulo ao adensamento e à ocupação intensiva
<i>ZEIS – Zona Especial de Interesse Social</i>	Regularizar e urbanizar assentamentos precários	Integra saneamento, drenagem e infraestrutura urbana em áreas vulneráveis	ZEIS-1, ZEIS-2	ZEIS-1: Áreas ocupadas de forma espontânea e desordenada; ZEIS-2: Áreas com conjuntos habitacionais implantados pelo Executivo

Fonte: Adaptado de PBH (2019)

Assim, observa-se que a evolução do arcabouço legal e dos instrumentos de planejamento em Belo Horizonte reflete uma trajetória de avanços na integração entre gestão urbana, políticas públicas de saneamento e manejo de águas pluviais, ampliando a capacidade do município de regular o uso do solo e prevenir ocupações inadequadas. No entanto, mesmo com marcos como o zoneamento, os planos diretores e as cartas de inundações, persistem desafios estruturais e sociais que exigem atenção constante. A efetividade dessas diretrizes depende não apenas de normas bem elaboradas, mas também de uma articulação sólida entre planejamento, fiscalização e participação comunitária, para que o desenvolvimento urbano respeite os limites naturais do território. Reconhecer a relação direta entre as escolhas de ocupação, os instrumentos de gestão e os impactos sobre o regime hidrológico torna evidente que enfrentar eventos extremos demanda mais do que soluções de engenharia: exige uma compreensão crítica dos reflexos socioeconômicos e ambientais produzidos pelas enchentes no contexto urbano.

### 3.3 Danos decorrentes de inundações

As inundações configuram-se como eventos hidrológicos extremos de elevada recorrência e expressivo impacto em diferentes escalas territoriais, estando associadas a fatores como as

mudanças climáticas, a urbanização desordenada e a insuficiência de infraestrutura de drenagem urbana. No contexto europeu, dados da *European Environment Agency* (EEA) indicam que, entre 1980 e 2023, as perdas econômicas decorrentes de eventos climáticos extremos ultrapassaram 738 bilhões de euros. Dentre esse total, aproximadamente 44%, cerca de 325 bilhões de euros, referem-se a eventos hidrológicos, com destaque para as inundações, que representam o principal tipo de ocorrência em termos de impacto econômico. (EEA, 2024)

Em países de baixa e média renda, as consequências das inundações tendem a ser ainda mais severas, dado o grau elevado de vulnerabilidade estrutural e institucional. No Paquistão, as enchentes ocorridas em 2022 afetaram aproximadamente 33 milhões de pessoas e causaram perdas econômicas superiores a 30 bilhões de dólares. A avaliação de danos realizada pelo Banco Mundial (2022) estimou em 16 bilhões de dólares os recursos necessários para a reconstrução dos setores mais afetados, entre os quais se destacam habitação, transporte e agricultura. Mais de dois milhões de moradias foram total ou parcialmente destruídas, evidenciando a abrangência dos impactos sobre a infraestrutura residencial (WORLD BANK, 2022).

No Brasil, o cenário também é alarmante. Entre os anos de 1995 e 2019, os desastres naturais causaram perdas econômicas estimadas em R\$ 333,36 bilhões. Deste total, 34,47% foram associados a eventos hidrológicos, inundações, alagamentos e enxurradas, o que corresponde a mais de R\$ 114 bilhões em valores atualizados. Além da magnitude dos danos, observa-se uma tendência de crescimento dos impactos ao longo do tempo. Na comparação entre as décadas analisadas, o número de registros aumentou 57,57%, enquanto os valores de prejuízos apresentaram crescimento de 72,76%, indicando maior frequência e intensidade dos eventos extremos (BANCO MUNDIAL, 2020).

Os estados mais afetados foram Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Bahia, Pernambuco e Santa Catarina, responsáveis por cerca de 49% das perdas totais no período. A Região Nordeste concentrou o maior número de ocorrências, enquanto as regiões Sul e Sudeste registraram os maiores valores financeiros (BANCO MUNDIAL, 2020). Em 2019, aproximadamente 295 mil pessoas foram deslocadas internamente em razão de desastres, sobretudo hidrológicos, o que reforça os impactos sociais desses eventos. (BRASIL, 2021).

Os efeitos das inundações extrapolam os prejuízos estritamente econômicos, afetando também

a organização social, a saúde pública e o meio ambiente. A interrupção de serviços essenciais, como abastecimento de água, esgotamento sanitário, transporte público e manejo de resíduos sólidos, compromete diretamente a funcionalidade urbana e acentua desigualdades socioespaciais. A exposição prolongada à água contaminada potencializa a incidência de doenças de veiculação hídrica, enquanto os deslocamentos forçados contribuem para a fragmentação de redes de apoio comunitário e o agravamento do sofrimento psicológico das populações afetadas.

Machado et al. (2005) destaca que os danos decorrentes de inundações podem ser classificados em tangíveis e intangíveis, e subdivididos em diretos e indiretos. Os danos tangíveis referem-se à deterioração física de edificações, equipamentos e infraestrutura urbana, sendo geralmente passíveis de quantificação monetária. Já os danos intangíveis abrangem efeitos difíceis de mensurar, como perdas humanas, traumas psicológicos, desorganização territorial, degradação ambiental e ruptura de laços sociais. Quanto à natureza da ocorrência, os danos diretos são resultantes do contato imediato com a água, como colapsos estruturais e destruição de bens, enquanto os danos indiretos se relacionam à paralisação de atividades produtivas, serviços públicos e custos associados à recuperação prolongada, conforme aponta o autor.

O Quadro 2 a seguir sintetiza essa classificação, fundamentando conceitualmente a análise de danos aplicada neste trabalho. Cabe destacar que, embora as inundações gerem uma diversidade de perdas, o presente estudo se concentrará exclusivamente na estimação dos danos tangíveis diretos ao setor habitacional.

**Quadro 2** – Tipologia de danos decorrentes de inundações em áreas urbanas

<b>Setor</b>	<b>Danos Tangíveis Diretos</b>	<b>Danos Tangíveis Indiretos</b>	<b>Danos Intangíveis Diretos</b>	<b>Danos Intangíveis Indiretos</b>
Habitacional	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo	Custos de limpeza, alojamento, medicamentos	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse, ansiedade e falta de motivação; danos de longo prazo à saúde
Comércio e serviços	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo; Perdas ou danos a estoques	Custos de limpeza, Lucros cessantes, Desemprego, Perda de base de dados	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse, ansiedade e falta de motivação; danos de longo prazo à saúde
Industrial	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo; Perdas ou danos a estoques de matéria-prima e produtos acabados	Custos de limpeza, Lucros cessantes, Desemprego, Perda de base de dados	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse, ansiedade e falta de motivação; danos de longo prazo à saúde
Equipamentos públicos e serviços	Danos físicos à construção, estrutura e seu conteúdo	Custos de limpeza e de interrupção de serviços, Custo dos serviços de emergência	Perdas de vidas humanas	Estados psicológicos de estresse, ansiedade e falta de motivação; danos de longo prazo à saúde; Inconvenientes de interrupção de serviços
Infraestrutura e Patrimônio histórico e cultural	Danos físicos ao patrimônio	Custos de limpeza e de interrupção de serviços	Perdas de vidas humanas	Inconvenientes de interrupção de serviços

Fonte: Machado et al. (2005)

A avaliação dos danos causados por inundações é fundamental para subsidiar políticas públicas voltadas à prevenção, mitigação e recuperação pós-desastre. No contexto nacional, embora ainda existam poucos estudos consolidados sobre a valoração econômica de danos, algumas contribuições vêm se destacando tanto pela sistematização metodológica quanto pela aplicação prática em diferentes regiões do país.

Machado et al. (2005) desenvolveram uma metodologia baseada na construção de curvas de profundidade versus dano, aplicada à cidade de Itajubá (MG), com base nos impactos da inundação de janeiro de 2000. As curvas relacionam diferentes faixas de submersão à estimativa percentual de perdas por metro quadrado em edificações habitacionais, considerando variações conforme o padrão construtivo. Os resultados evidenciam a sensibilidade dos danos à profundidade da água, podendo alcançar valores superiores a R\$ 200,00/m<sup>2</sup> nos cenários mais severos.

Sousa (2018) propôs uma metodologia integrada com base em modelagem hidráulica no município de Timbó (SC), associando a altura da água ao Custo Unitário Básico (CUB) e ao cadastro urbano das edificações. Os danos tangíveis diretos estimados variaram entre R\$ 2.240,79 e R\$ 24.587,55 por residência, conforme o tempo de retorno do evento (5, 10 e 25 anos).

No município de Montenegro (RS), Silva (2019) adotou abordagem mais ampla, considerando não apenas o setor habitacional, mas também os impactos em edificações comerciais, equipamentos urbanos e infraestrutura pública. Com base em mapas de inundação e dados do IBGE, o autor estimou perdas econômicas totais entre R\$ 12 milhões e R\$ 81 milhões, conforme diferentes cenários de cheia do rio Caí, com danos médios por domicílio variando entre R\$ 9.000 e R\$ 17.000.

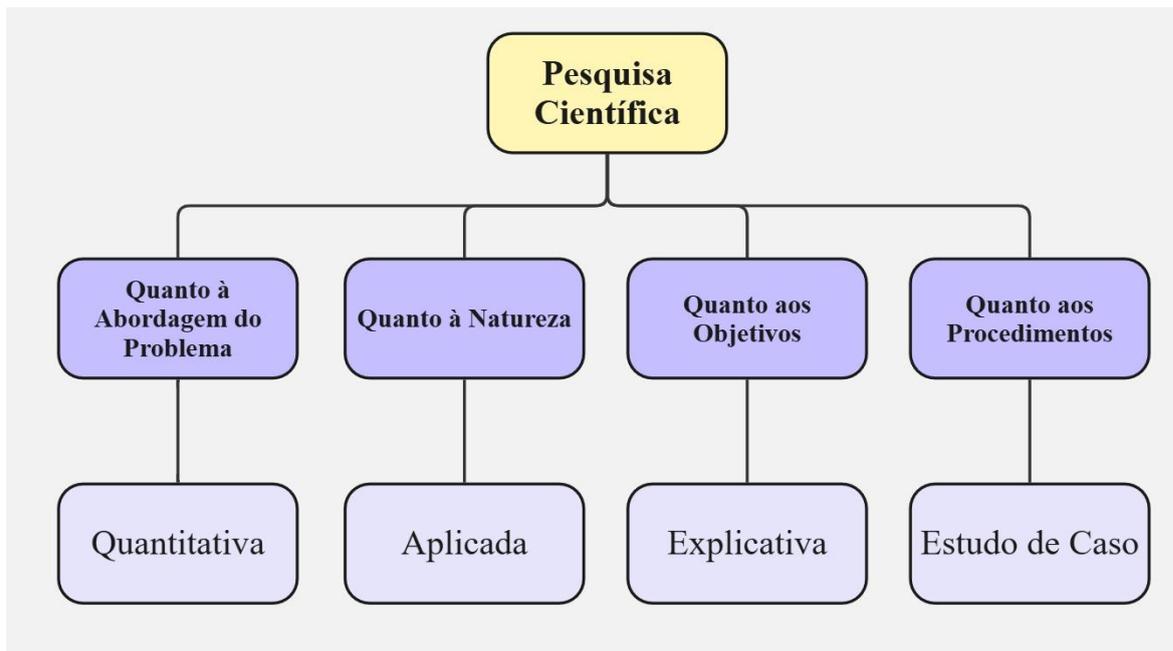
Apesar das diferenças metodológicas, há uma tendência comum de combinar informações geográficas (altura da água, elevação do terreno) com parâmetros econômicos de referência (como o CUB) para estimar os prejuízos materiais às edificações. A presente pesquisa adota uma abordagem alinhada a esse escopo, utilizando a diferença entre a cota da edificação e a cota da mancha de inundação como base para estimativa do custo de danos. A metodologia, adaptada da proposta de Sousa (2018), será detalhada no próximo tópico.

#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar o objetivo de estimar os danos tangíveis habitacionais decorrentes de inundações urbanas, este estudo baseou-se em uma abordagem aplicada, explicativa e quantitativa, fundamentada na metodologia de estimativa de impactos econômicos proposta por Sousa (2018). Conforme recomendam Prodanov e Freitas (2013), a clareza metodológica garante a coerência entre os objetivos do trabalho, os procedimentos adotados e os resultados obtidos.

A pesquisa fundamenta-se em uma investigação bibliográfica que contextualiza o tema no cenário nacional e internacional, com foco em métodos de quantificação de impactos econômicos gerados por inundações. Para organizar essas diretrizes, apresenta-se na Figura 12 o enquadramento metodológico, que resume a natureza, os objetivos, a abordagem e os procedimentos técnicos adotados.

**Figura 12** – Enquadramento Metodológico da Pesquisa



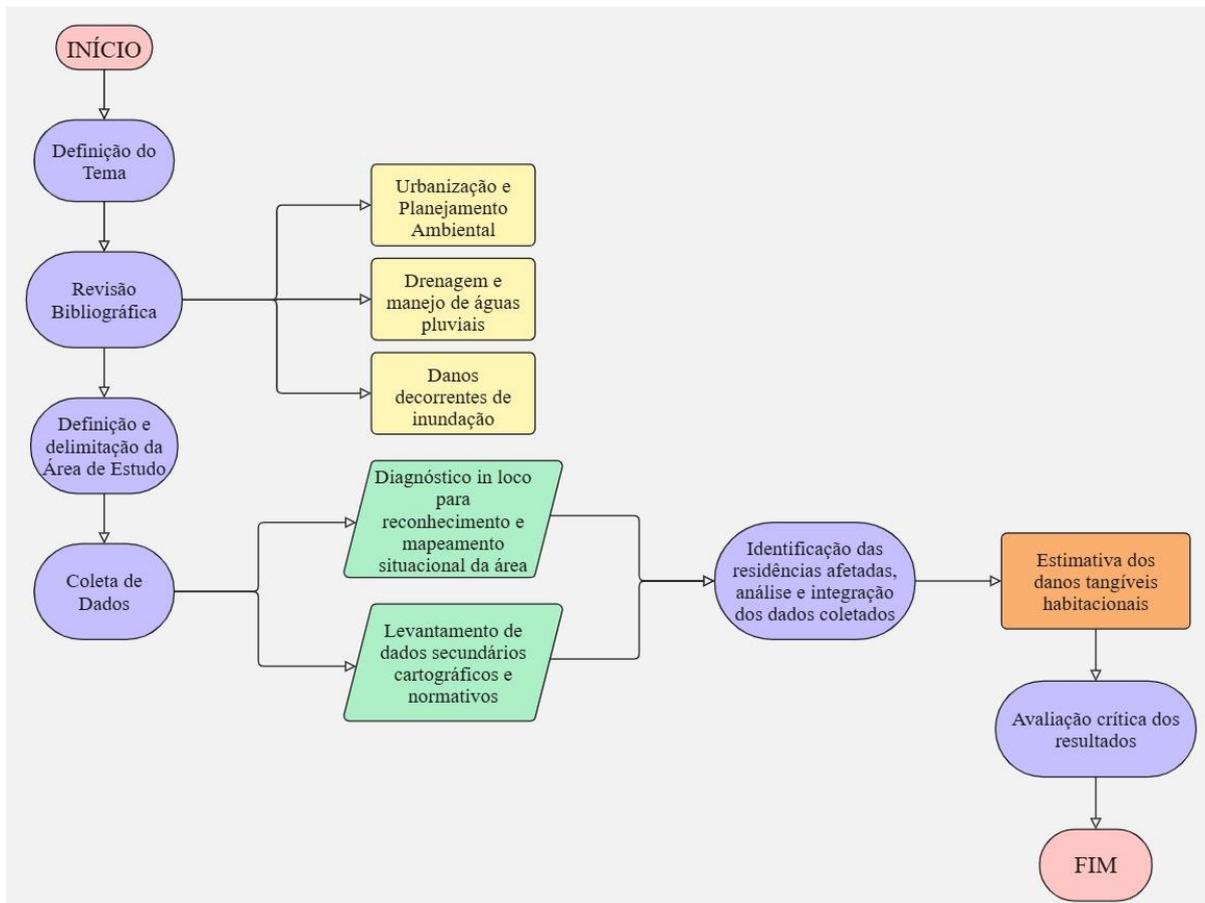
Fonte: Autora (2025)

Após a definição do método, delimitou-se a área de estudo a partir da análise de regiões com maior risco e histórico de inundações no município de Belo Horizonte. Em seguida, realizou-se o levantamento dos dados necessários à estimativa dos impactos, reunindo informações primárias, por meio de visitas in loco para reconhecimento da área, identificação de pontos críticos e verificação das condições das edificações, e dados secundários, como bases cartográficas, cotas altimétricas e arquivos vetoriais empregados na produção dos mapas de

diagnóstico.

A sequência metodológica é apresentada na Figura 13, que demonstra de forma resumida as etapas executadas desde a definição do estudo até a análise dos resultados.

**Figura 13** – Método dos Procedimentos da Pesquisa



Fonte: Autora (2025)

A análise espacial foi realizada com o *software* livre QGIS, utilizado na produção de mapas temáticos, identificação de edificações localizadas na mancha de inundação e cálculo da diferença altimétrica entre as cotas das construções e a lâmina d'água. Essas informações subsidiaram a estimativa da profundidade de submersão e, conseqüentemente, o cálculo dos danos tangíveis diretos.

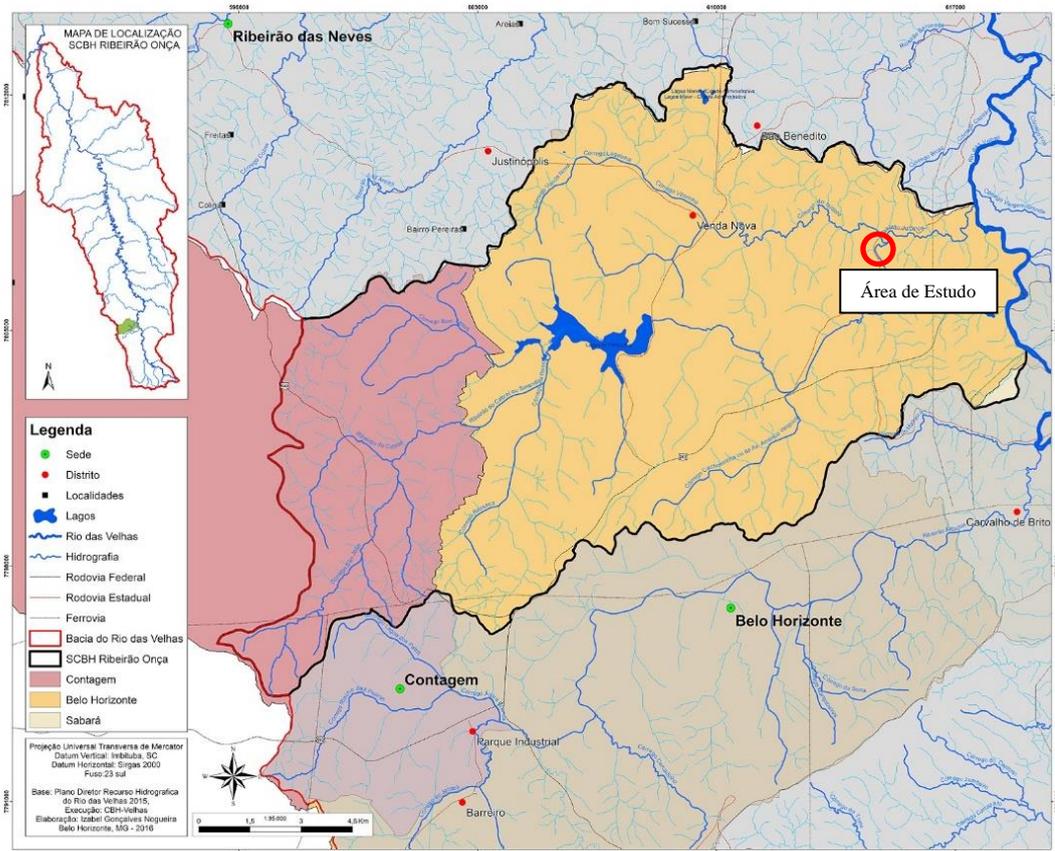
Por fim, os valores monetários foram obtidos a partir do Custo Unitário Básico (CUB) da construção civil, com base nos dados do Sindicato da Indústria da Construção Civil de Minas Gerais (SINDUSCON/MG) (2025), e da Planta Genérica de Valores constante na Lei nº 9.795/2009 do município de Belo Horizonte (PBH, 2009a).

#### 4.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Onça abrange cerca de 156 km<sup>2</sup> e é uma das mais estratégicas para o município de Belo Horizonte, tanto por sua extensão quanto pelos desafios ambientais que concentra. Localizada principalmente na porção norte da capital, a bacia também se estende para os municípios vizinhos de Contagem, Ribeirão das Neves, Santa Luzia e Sabará, interligando áreas urbanas com características distintas (CBH VELHAS, 2016). De acordo com Costa (2023), o Ribeirão do Onça é responsável pela drenagem de aproximadamente 50,3 % da área de Belo Horizonte e 27,0 % do território de Contagem, consolidando-se como um eixo fundamental para compreender a relação entre drenagem urbana, expansão territorial e impactos hidrológicos.

Conforme apresentado na Figura 14, o Ribeirão do Onça faz parte da Bacia do Rio das Velhas, sendo um de seus principais contribuintes e, ao mesmo tempo, um dos maiores responsáveis pela poluição desse manancial, conforme dados do CBH Velhas (2016). A subdivisão da bacia em Unidades Territoriais Estratégicas (UTES) facilita o planejamento e a gestão integrada. Entre elas, a UTE Onça, situada no Alto Rio das Velhas, destaca-se como a mais urbanizada e a mais carente de cobertura vegetal, o que intensifica os processos de impermeabilização do solo e aumenta o risco de inundações. (CBH VELHAS, 2016)

**Figura 14 - Bacia do Ribeirão do Onça**

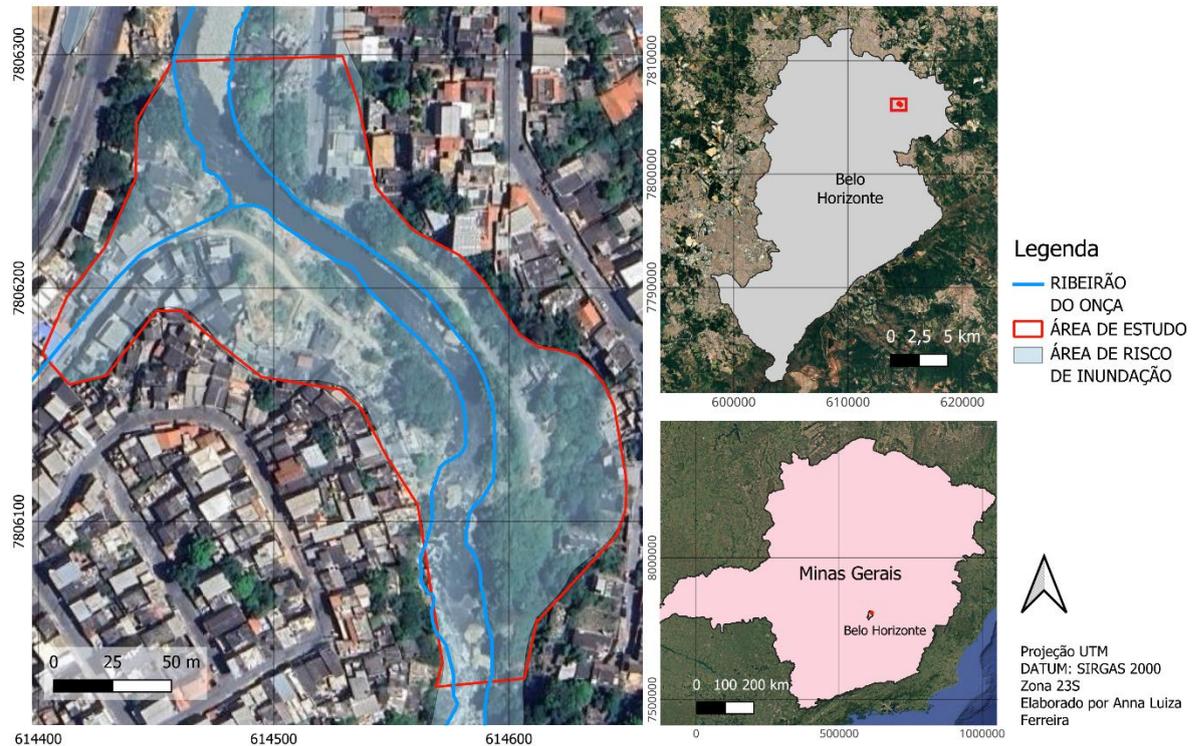


Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (2016)

Para esta pesquisa, delimitou-se uma área específica na divisa entre os bairros Novo Aarão Reis e Ribeiro de Abreu, ambos inseridos na UTE Onça. O recorte localiza-se ao norte de Belo Horizonte, nas coordenadas 43°54'24.9" Oeste e 19°50'12.0" Sul (SIRGAS 2000), marcando o limite entre as regiões administrativas Norte e Nordeste. A PBH (2009), por meio da Carta de Inundação do município, classifica essa zona como área de risco, com aproximadamente 6 hectares majoritariamente ocupados por assentamentos irregulares, conforme se observa na Figura 15. A versão original da Carta de Inundação utilizada neste estudo encontra-se disponível no Anexo A.

**Figura 15** – Delimitação da área de estudo

### Delimitação da Área de Estudo



Fonte: Autora (2025)

A ocupação desordenada das margens do ribeirão é evidenciada pela Figura 16, que ilustra o adensamento de moradias precárias em áreas de fundo de vale, um dos principais fatores que intensificam a vulnerabilidade da população local a alagamentos recorrentes. Esse padrão é característico do processo de urbanização acelerada que caracterizou a expansão da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

**Figura 16** – Residências às margens do Ribeirão do Onça



Fonte: PBH (2018)

De acordo com o CBH Velhas (2016), aproximadamente 86,6% da área da bacia encontra-se urbanizada, enquanto apenas 9,6% ainda preserva cobertura vegetal nativa, um indicativo claro de como a supressão da vegetação intensifica os riscos hidrológicos. Esse cenário é agravado pela ausência de infraestrutura de drenagem eficiente, pelo assoreamento do leito do ribeirão e pelo lançamento constante de efluentes sem tratamento, o que eleva a vulnerabilidade socioambiental, como detalha Costa (2023).

A região estudada tem histórico de alagamentos recorrentes, consequência da combinação entre ocupação irregular e drenagem insuficiente. Em fevereiro de 2021, chuvas intensas provocaram inundações significativas em diversos pontos da área, como registrado pela Figura 17, que mostra uma via do bairro Ribeiro de Abreu tomada pelas águas (G1, 2021).

**Figura 17 - Inundações ocorridas em fevereiro de 2021**



Fonte: G1 (2021)

Outro episódio significativo ocorreu em 7 de dezembro de 2022, conforme Figura 18, com alagamentos na Avenida Cristiano Machado, próximo ao Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, trecho a montante da área analisada e um dos pontos mais críticos para a drenagem da cidade. Para mitigar esses problemas, o poder público municipal vem executando obras estruturais de retenção, como a implantação de dois canais paralelos, um para o Córrego Cachoeirinha e outro para o Ribeirão do Onça, e a construção de uma estrutura de confluência com capacidade de deter até 27.000 m<sup>3</sup> de água. Embora pontualmente relevantes, essas obras alteram a dinâmica de vazões a jusante, impactando diretamente a área de estudo.

**Figura 18 - Inundações ocorridas em dezembro de 2022**



Fonte: G1 (2022)

Mesmo não sendo o foco principal deste trabalho, é relevante ressaltar que a qualidade da água do Ribeirão do Onça permanece como um fator crítico para o equilíbrio ambiental da bacia. A intensa ocupação urbana, aliada à carência de infraestrutura de esgotamento sanitário em diversos trechos, contribui para o lançamento direto de efluentes sem tratamento no curso d'água, agravando o assoreamento do leito, comprometendo a eficiência do sistema de drenagem e ampliando os riscos de enchentes em períodos chuvosos (CBH VELHAS, 2016).

As inundações recorrentes na área de estudo acarretam impactos econômicos, sociais e ambientais de grande relevância para o poder público e para a população local. Entre os principais prejuízos destacam-se danos estruturais a edificações, perdas materiais, restrições de mobilidade urbana e riscos diretos à saúde pública. Assim, a análise e a quantificação desses danos, proposta neste estudo, visam oferecer subsídios técnicos para fundamentar estratégias de gestão de riscos e orientar o planejamento urbano, contribuindo para reduzir a vulnerabilidade socioambiental e promover a melhoria da qualidade de vida das comunidades afetadas.

## 4.2 Proposta metodológica

Este estudo adota, com adequações pontuais, a metodologia proposta por Sousa (2018) para a valoração de danos habitacionais decorrentes de inundações em áreas urbanas. A referida abordagem combina análises geoespaciais com dados socioeconômicos e urbanísticos, a fim de estimar de forma detalhada os impactos econômicos diretos causados por eventos de alagamento sobre edificações localizadas em territórios vulneráveis.

A estimativa dos danos econômicos é conduzida a partir da relação entre a altura da lâmina d'água incidente sobre os imóveis e o valor monetário dos prejuízos, conforme expressa a Equação 1:

$$De = Hc \times Valor \quad (1)$$

Em que:

- $De$  = Dano Estimado (R\$)
- $Hc$  = Altura da água (m)
- $Valor$  = Prejuízo econômico unitário (R\$/m<sup>2</sup>)

O valor unitário dos prejuízos, por sua vez, é determinado pela Equação 2:

$$Valor = Zv + (CUB \times Fc) \quad (2)$$

Sendo:

- $Zv$  = Zona de Valor dos Imóveis (R\$/m<sup>2</sup>), obtida a partir da Planta de Valores de Metro Quadrado de Terreno do município de Belo Horizonte, conforme estabelecido na Lei nº 9.795/2009;
- $CUB$  = Custo Unitário Básico da construção civil (R\$/m<sup>2</sup>), consultado junto ao Sindicato da Indústria da Construção Civil de Minas Gerais (SINDUSCON/MG), tomando como referência o mês de abril de 2025;
- $Fc$  = Fator de Correção, aplicado conforme a situação do lote.

O Fator de Correção ( $Fc$ ) ajusta o valor de acordo com o estágio de ocupação e conservação do imóvel. Conforme a metodologia de Sousa (2018), os lotes são classificados em quatro

categorias: construídos, em construção, em ruínas ou demolidos, e não construídos. Cada uma recebe um coeficiente que reflete sua condição estrutural, conforme apresentado na Tabela 1, variando entre 0 e 1.

**Tabela 1** - Ponderação do Fc com base na situação do lote

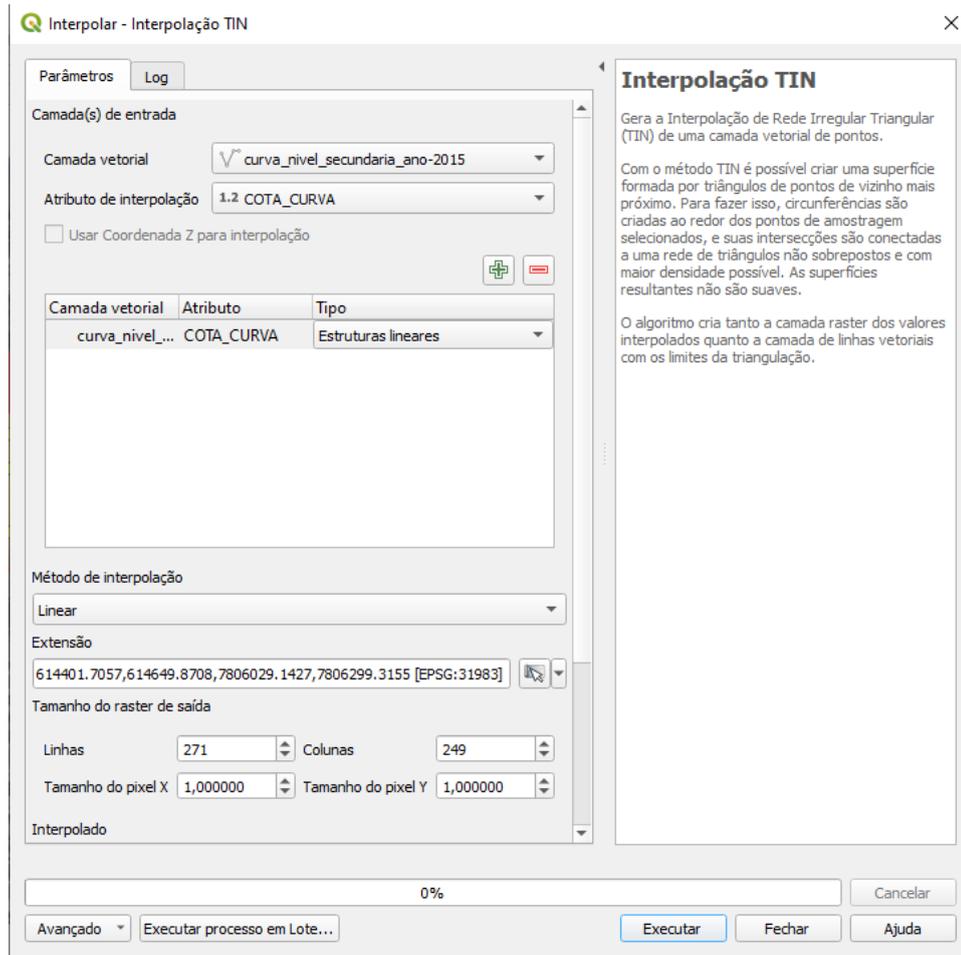
Ocupação	Fator de Correção (Fc)
Construído	1
Construção em andamento	0,7
Ruínas/demolição	0,1
Não construído	0

Fonte: Sousa, 2018

A delimitação da área suscetível à inundação baseou-se na Carta de Inundação elaborada pela PBH (2009), que adota um tempo de retorno (TR) de 100 anos. Embora esta base tenha sido elaborada há mais de uma década, sua aplicação neste estudo foi respaldada pela análise realizada por Costa (2023), que, ao comparar essa mancha com resultados obtidos a partir de modelagens baseadas em registros históricos de alagamentos, identificou apenas divergências pontuais. Essas diferenças foram consideradas pouco significativas para fins de estimativa, permitindo, assim, a utilização da carta original como referência confiável neste trabalho.

A partir da delimitação da área de estudo e dos dados altimétricos obtidos junto ao BHMap, foi realizada a interpolação das curvas de nível, disponibilizadas no formato shapefile, utilizando o método de Rede Irregular Triangulada (TIN), disponível na Caixa de Ferramentas de Processamento do QGIS. A Figura 19 apresenta a interface da ferramenta utilizada com os parâmetros adotados.

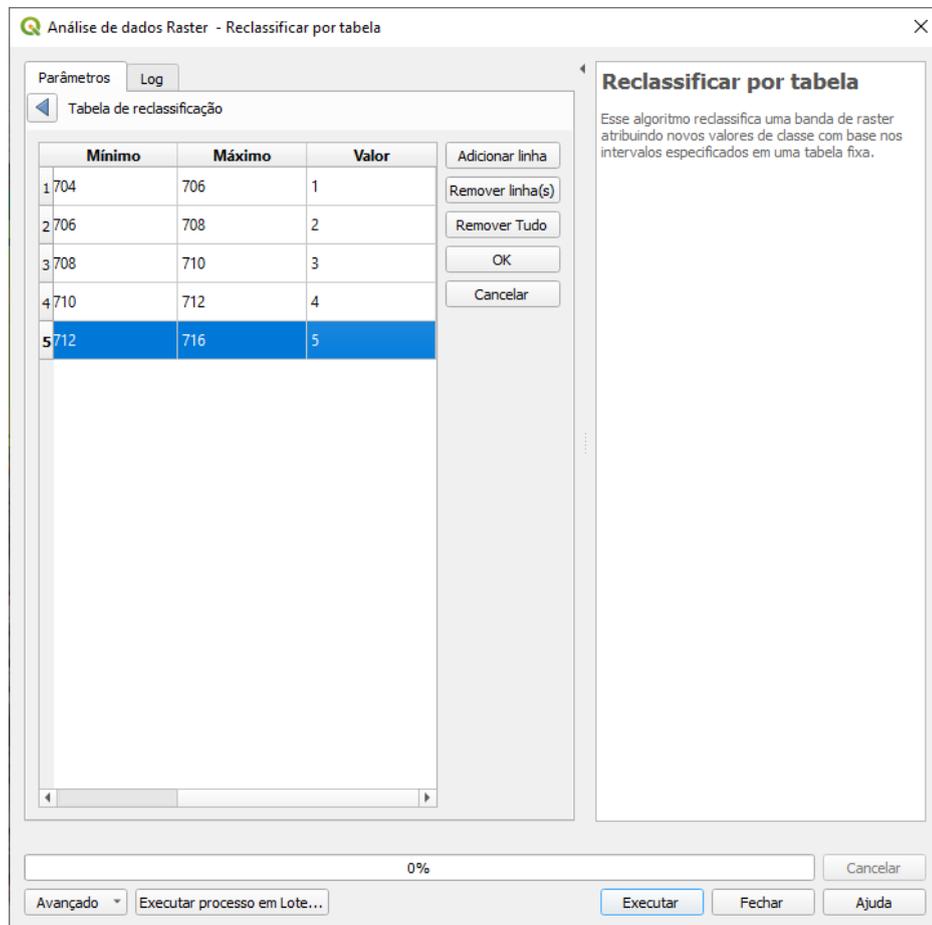
**Figura 19** – Interface da ferramenta TIN do QGIS



Fonte: Autora (2025)

A partir do modelo interpolado, procedeu-se à reclassificação do Modelo Digital de Elevação (MDE) com o objetivo de elaborar um mapa hipsométrico de fácil interpretação e visualização. Para isso, utilizou-se a ferramenta “Reclassificação por Tabela”, disponível na Caixa de Ferramentas de Processamento do QGIS, por meio da qual foram estabelecidas faixas de cota definidas de acordo com o relevo local. A parametrização das classes de altitude foi ajustada ao contexto da área estudada, permitindo uma representação mais eficaz da variação altimétrica. Os parâmetros utilizados na reclassificação estão apresentados na Figura 20, que exhibe a interface da ferramenta com os intervalos definidos para categorização do relevo.

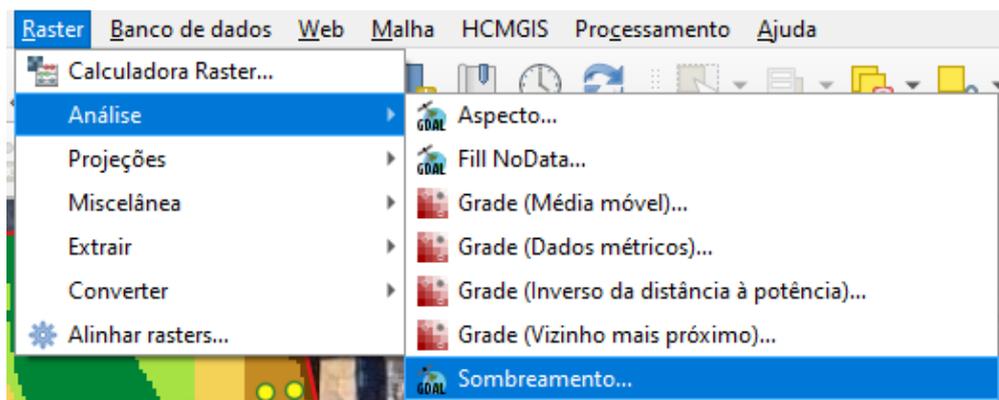
**Figura 20** – Interface da ferramenta “Reclassificação por Tabela” com as faixas de cota definidas para o mapa hipsométrico



Fonte: Autora (2025)

A camada reclassificada foi então combinada com a camada de sombreamento, gerada a partir do comando “Sombreamento”, acessível pelo menu Raster > Análise no QGIS, conforme Figura 21, a fim de acentuar o relevo e facilitar a visualização tridimensional.

**Figura 21** – Ferramenta “Sombreamento” no QGIS

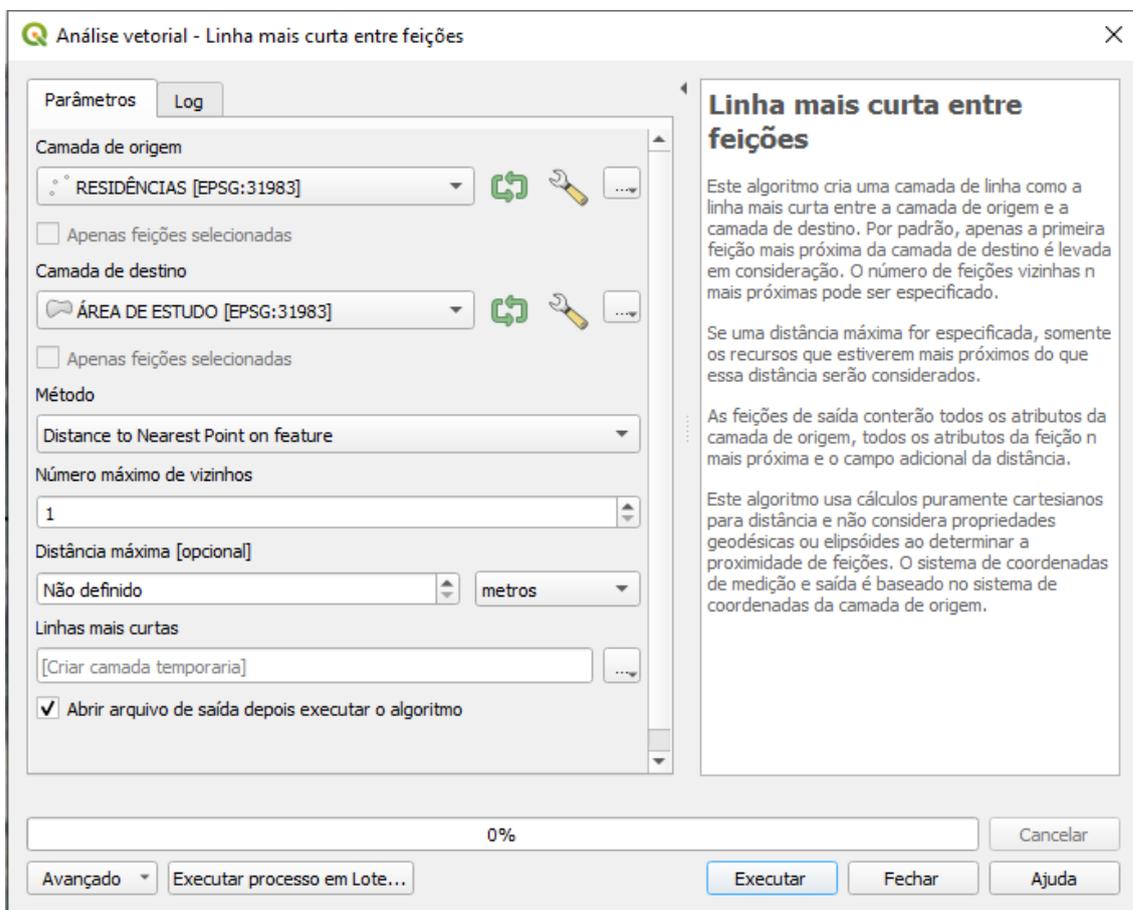


Fonte: Autora (2025)

Para a determinação da altura da lâmina d'água em cada residência, inicialmente identificaram-se os imóveis existentes e criou-se uma camada de pontos representando as unidades residenciais, a partir da qual foi possível extrair as cotas altimétricas com base no MDE.

Com a sobreposição das camadas de residências, mancha de inundação e MDE, aplicou-se a ferramenta “Linhas mais curtas entre as feições”, com a finalidade de gerar linhas vetoriais que conectassem cada residência ao ponto mais próximo do polígono da mancha de inundação. Esse procedimento está ilustrado na Figura 22.

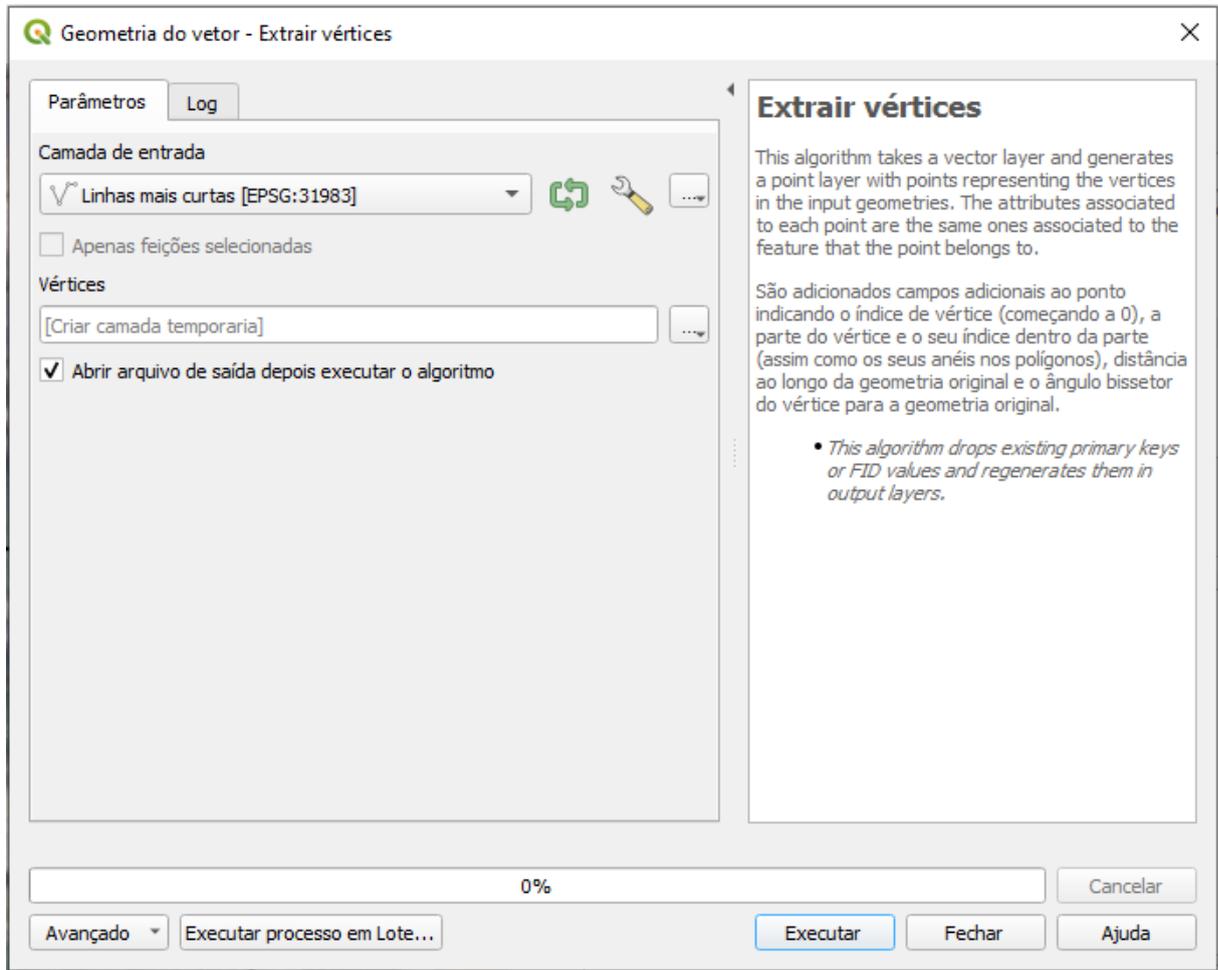
**Figura 22** – Geração das linhas entre as residências e a mancha de inundação



Fonte: Autora (2025)

Para possibilitar a extração precisa dos valores de altitude nos pontos de contato entre as linhas e a mancha de inundação, utilizou-se a ferramenta “Extrair vértices”, localizada no menu Vetor > Geometria, no QGIS. Essa ferramenta gerou uma nova camada de pontos nos vértices das linhas anteriormente criadas, permitindo a identificação do ponto exato onde cada linha toca o polígono da mancha de inundação. A configuração da ferramenta está apresentada na Figura 23.

**Figura 23** – Interface da ferramenta “Extrair vértices” no QGIS.

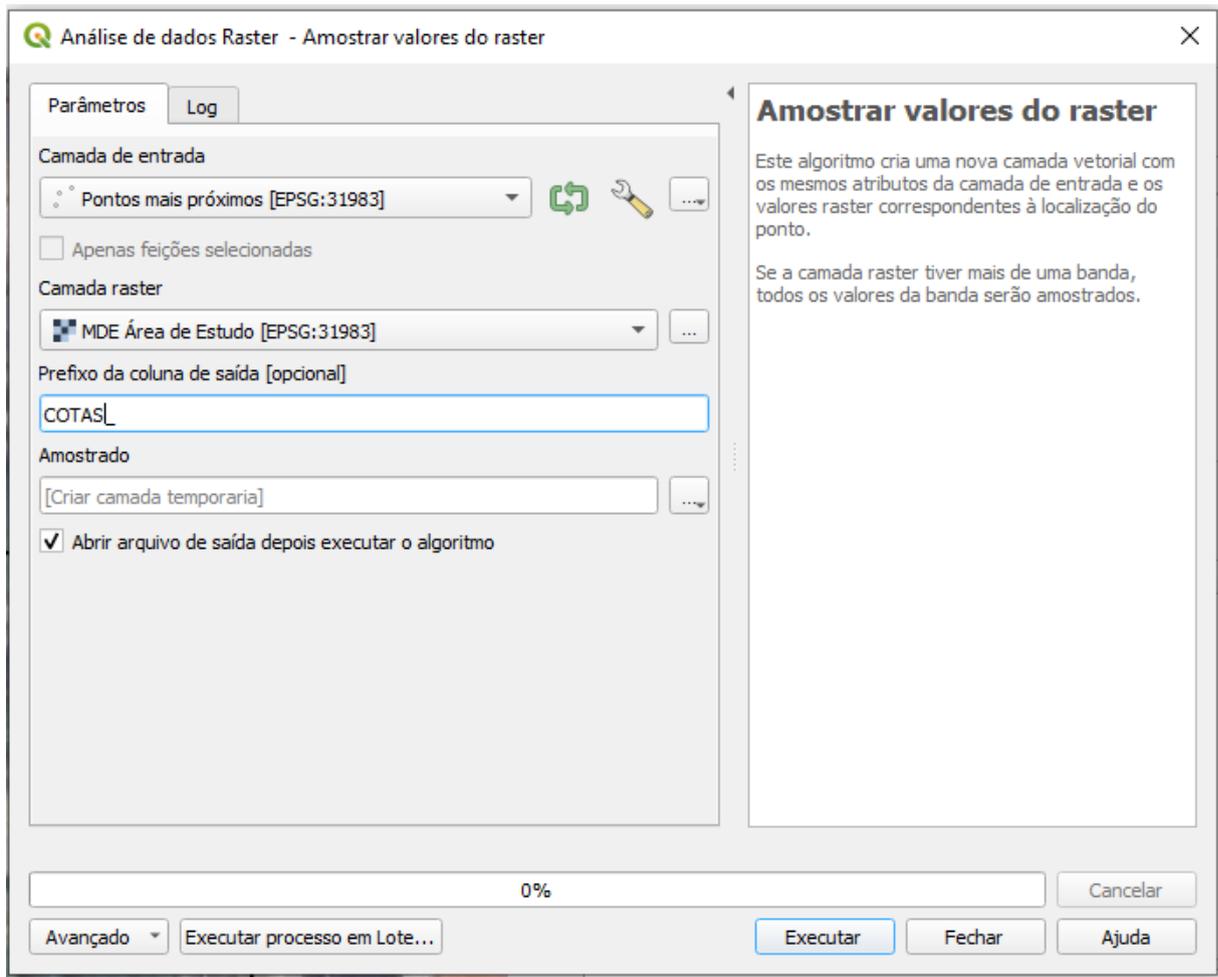


Fonte: Autora (2025)

A seguir, procedeu-se à filtragem dos pontos com base na coluna “vertex\_index”, mantendo-se apenas aqueles com valor igual a 1, os quais representam a extremidade da linha localizada sobre o contorno do polígono de inundação.

Com a camada de pontos filtrada, foi possível extrair os valores altimétricos referentes à mancha de inundação utilizando a ferramenta “Amostrar valores do raster”, disponível na Caixa de Ferramentas de Processamento. Esse procedimento permitiu estabelecer uma correspondência direta entre cada residência e o ponto altimétrico mais próximo da mancha, viabilizando o cálculo da diferença de cotas, que foi adotado como medida da lâmina d’água incidente sobre cada edificação. A interface da ferramenta está ilustrada na Figura 24.

**Figura 24** – Interface da ferramenta “Amostrar valores do raster” no QGIS



Fonte: Autora (2025)

Para caracterização das edificações da área de estudo, foram considerados os dados da PBH (2014), que apontam predominância de imóveis residenciais de um a dois pavimentos, com baixo padrão construtivo. Dessa forma, adotou-se o CUB (Custo Unitário Básico) referente a residência unifamiliar de padrão baixo, composta por 1 pavimento, 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de tanque, conforme especificado pelo SINDUSCON-MG. O valor utilizado foi de R\$ 2.353,75 por metro quadrado, correspondente ao mês de abril de 2025.

Como todas as edificações presentes na amostra encontram-se construídas, foi aplicado o Fator de Correção ( $F_c$ ) igual a 1,00.

A obtenção da Zona de Valor dos Imóveis ( $Z_v$ ) considerou os valores estabelecidos no Anexo da Lei nº 9.795/2009, que define o valor do metro quadrado do terreno com base em duas variáveis combinadas: a zona urbanística em que o imóvel está inserido e a respectiva zona

homogênea. Para identificar essas informações para cada uma das sessenta e cinco residências mapeadas, foi necessário elaborar um mapa temático no software QGIS, utilizando as bases cartográficas disponíveis no BHMap, no formato shapefile.

Foram utilizadas duas camadas distintas: a camada correspondente ao Zoneamento Urbano definido pela Lei nº 7.166/1996, e a camada com os polígonos das zonas homogêneas, conforme delimitadas na mesma legislação. A camada de pontos representando as residências foi então cruzada espacialmente com essas duas camadas, permitindo identificar, para cada edificação, qual zona urbanística e qual zona homogênea se aplicavam. O resultado dessa sobreposição foi a geração de uma nova camada com os atributos geográficos e legais integrados, da qual foi exportada a tabela de atributos contendo a correspondência exata entre cada residência e as zonas de classificação exigidas para consulta do Zv.

A partir desses dados, os valores de Zv foram então consultados diretamente no Anexo da Lei nº 9.795/2009, e posteriormente corrigidos para o ano de 2025 com base no índice IPCA, garantindo a atualização monetária necessária para fins de valoração dos danos.

Além disso, também foi elaborado, de forma complementar, um mapa com o zoneamento urbano atualizado, conforme previsto no Plano Diretor de Belo Horizonte (2019), com a finalidade exclusiva de caracterizar a situação atual de uso e ocupação do solo na área de estudo.

Por fim, todos os dados obtidos ao longo das etapas descritas, incluindo as cotas das residências, as altitudes dos pontos de referência da mancha de inundação, os valores do CUB, do Fator de Correção (Fc) e da Zona de Valor dos Imóveis (Zv), foram organizados em uma única tabela consolidada, na qual foram executados os cálculos necessários à estimativa dos danos tangíveis diretos para cada edificação. Essa tabela sintetiza os resultados de todas as análises espaciais, urbanísticas e econômicas conduzidas neste estudo, servindo de base para a apresentação dos dados nos capítulos seguintes.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

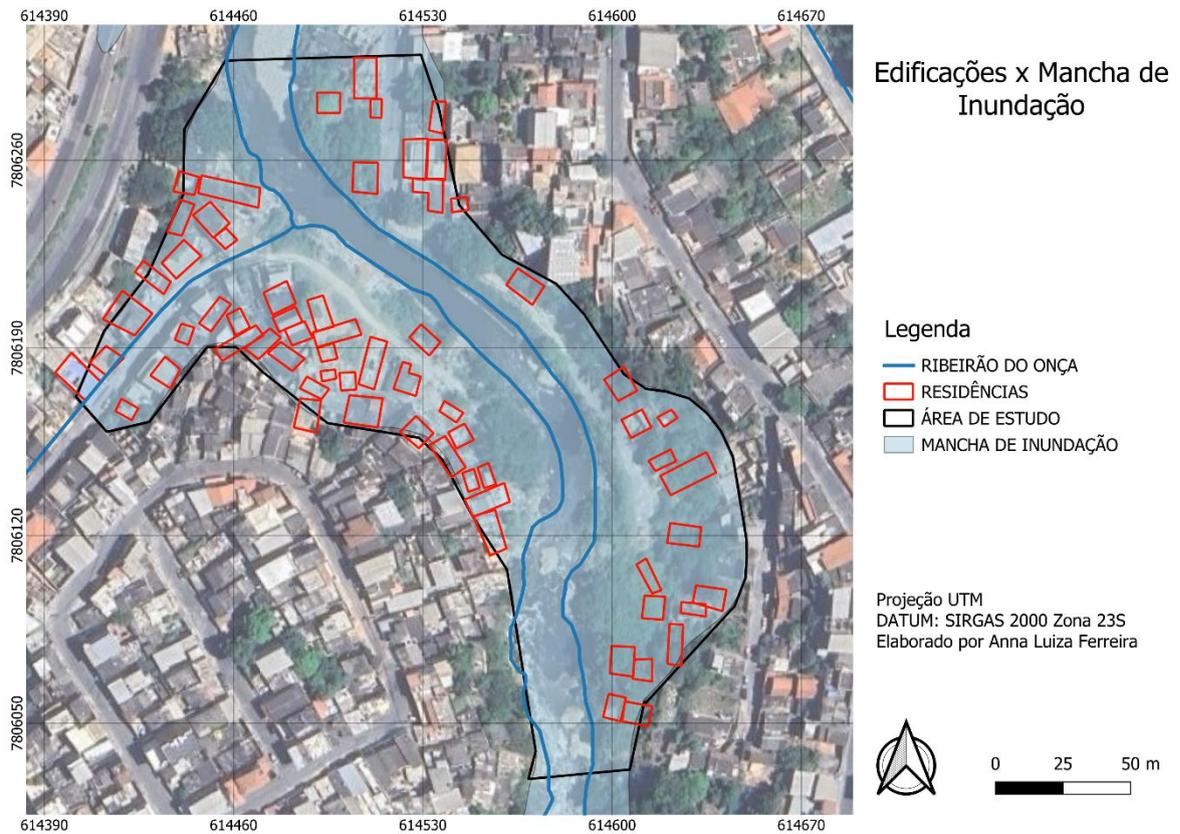
Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior, a qual foi baseada na proposta de Sousa (2018) para a valoração dos danos tangíveis diretos decorrentes de inundações em áreas urbanas. A abordagem adotada consistiu na integração de ferramentas de geoprocessamento e dados altimétricos com informações urbanísticas e econômicas, permitindo a quantificação dos prejuízos materiais causados por eventos de alagamento nas residências localizadas na área de estudo.

### **5.1 Caracterização territorial e urbana da área de estudo**

A área de estudo localiza-se entre os bairros Novo Aarão Reis e Ribeiro de Abreu, região Norte de Belo Horizonte, margeando o Ribeirão do Onça. Trata-se de um setor urbano consolidado, de predominância residencial, marcado por processos históricos de ocupação irregular e infraestrutura urbana deficiente. Conforme abordado ao longo do trabalho, este trecho é uma das áreas críticas de risco hidrológico da capital mineira, com recorrentes episódios de alagamentos e inundações.

No total, foram identificadas 65 edificações residenciais inseridas no recorte espacial analisado, o qual se encontra integralmente sobreposto à mancha de inundação estabelecida pela Carta de Inundação da PBH (2009). A Figura 25 apresenta o mapa de sobreposição entre as residências mapeadas e a mancha de inundação, evidenciando que todas as edificações estudadas estão localizadas em área de risco direto de alagamento.

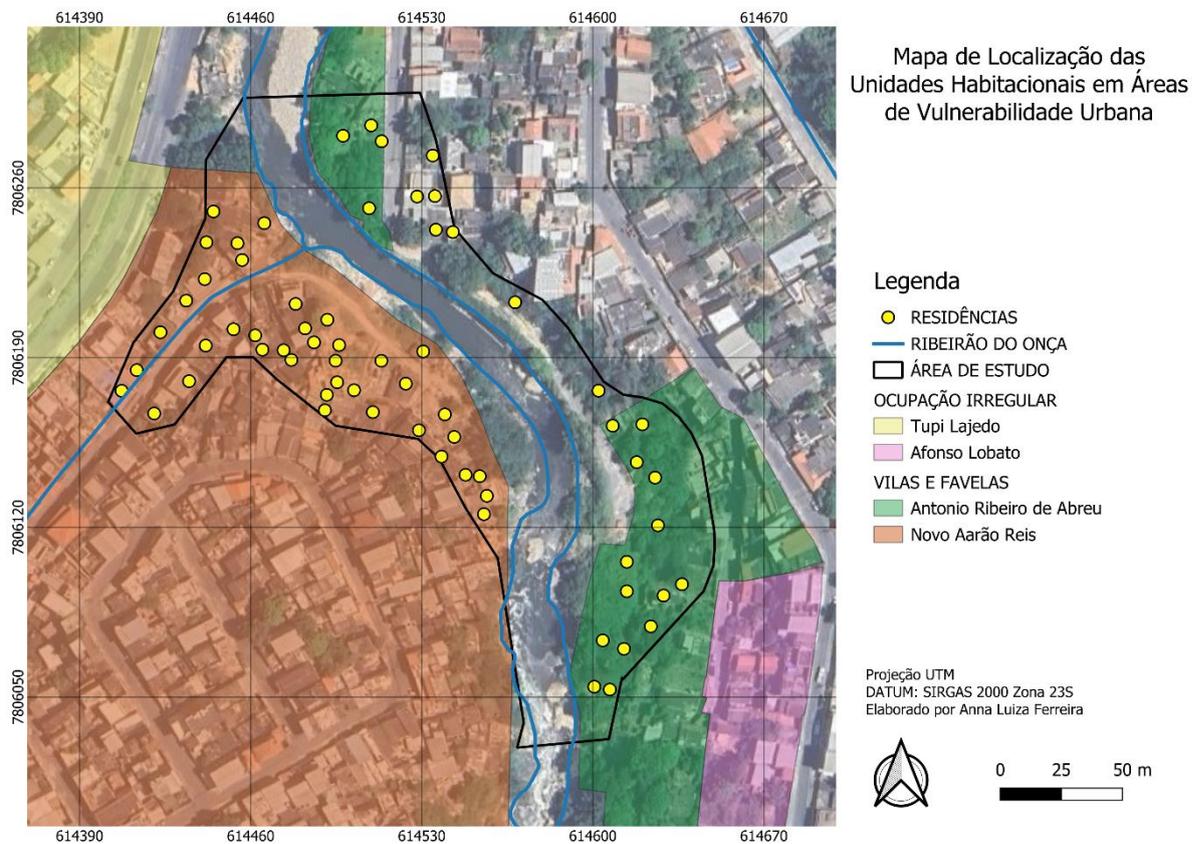
**Figura 25 - Mapa de localização das residências com a mancha de inundação**



Fonte: Autora (2025)

Adicionalmente, a Figura 26 apresenta o mapa de localização das mesmas residências sobreposto às áreas classificadas como vilas e favelas, destacando a relação direta entre vulnerabilidade urbana e risco de inundação. A análise espacial evidencia que 58 das 65 residências encontram-se inseridas em zonas de ocupação irregular, enquanto apenas 7 estão fora dessas manchas. O entorno imediato também apresenta outras áreas de assentamento informal, característica consolidada da Região Norte de Belo Horizonte. Essa sobreposição revela a conexão entre precariedade habitacional, risco hidrológico e vulnerabilidade socioeconômica, intensificando os impactos de eventos de inundação sobre comunidades de baixa renda.

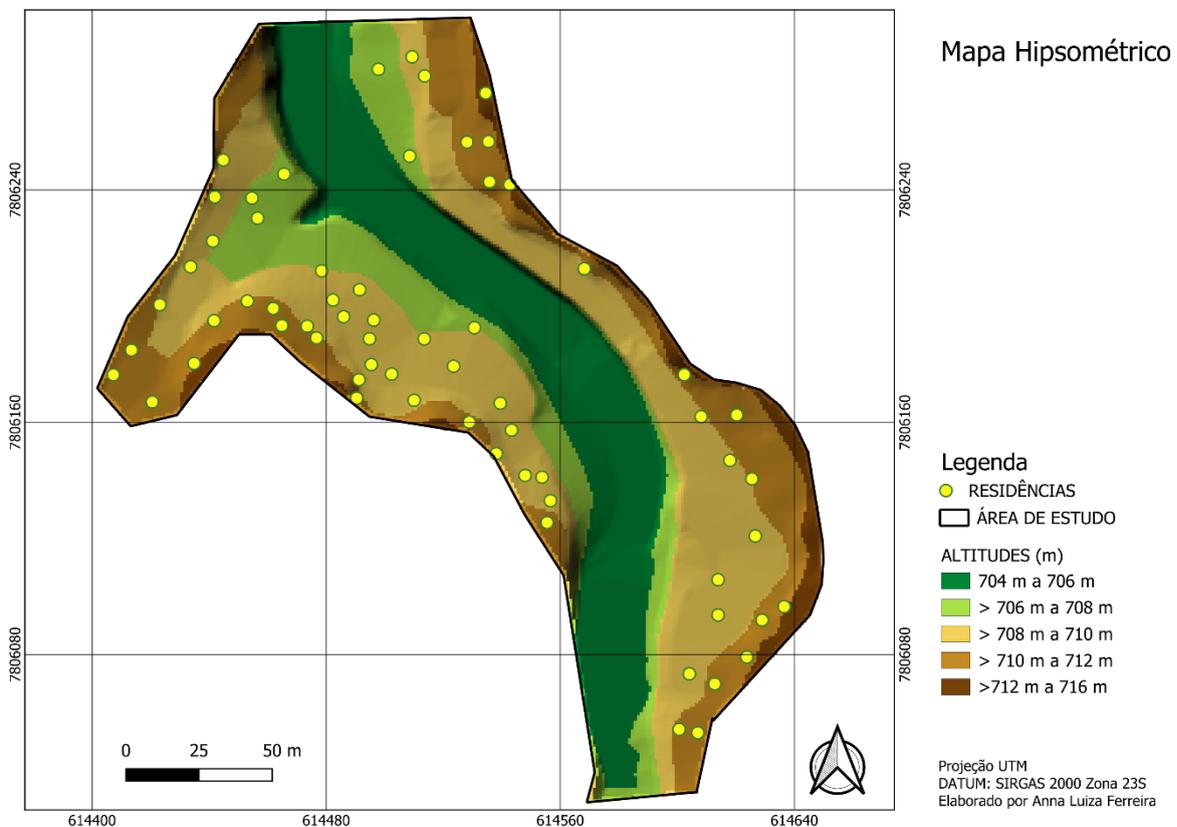
**Figura 26 - Mapa de Localização das Unidades Habitacionais em Áreas de Vulnerabilidade Urbana**



Fonte: Autora (2025)

A análise altimétrica, realizada por meio de um modelo digital de elevação (MDE) no ambiente QGIS, revelou que as cotas das edificações variam entre 706 m e 716 m. Essa variação foi representada graficamente no mapa hipsométrico da área de estudo, apresentado na Figura 27, o qual permite observar não apenas as diferenças de altitude, mas também a distribuição espacial das residências em relação ao relevo local.

**Figura 27 - Mapa hipsométrico da área de estudo**

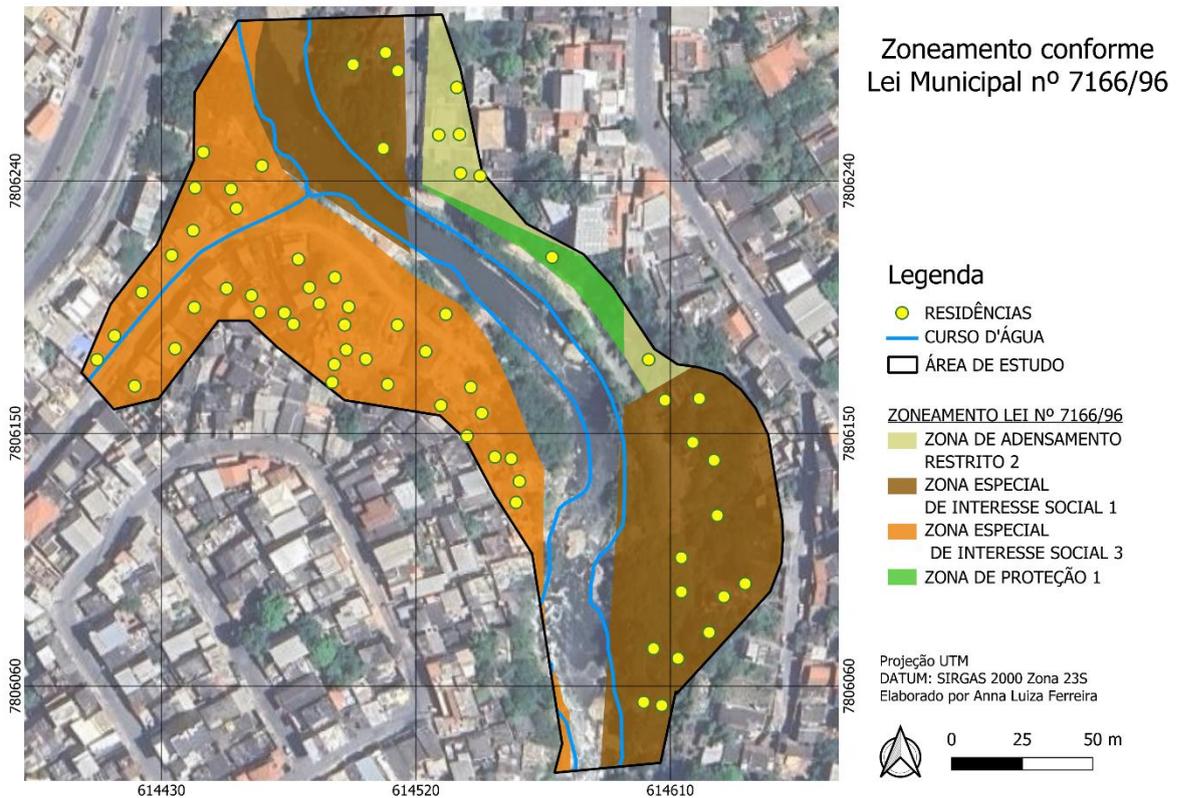


Fonte: Autora (2025)

Em termos de planejamento urbano, a área de estudo encontra-se submetida a distintos marcos legais que regulam o uso e o parcelamento do solo. A legislação vigente à época da consolidação das ocupações foi a Lei nº 7.166/1996, que estabelecia diretrizes para o parcelamento, uso e ocupação do solo no município de Belo Horizonte. Essa norma orientou o desenvolvimento urbano local durante um período em que grande parte das moradias analisadas foi implantada de forma espontânea, em áreas próximas ao curso d'água.

Além disso, essa mesma legislação serviu de base para a definição das zonas homogêneas e urbanísticas utilizadas na Planta Genérica de Valores incorporada à Lei nº 9.795/2009, que, por sua vez, foi referência para a valoração dos imóveis neste estudo. A Figura 28 apresenta o mapa de zoneamento urbano conforme estabelecido pela Lei nº 7.166/1996, permitindo visualizar os limites das zonas legais à época da ocupação da área.

**Figura 28** - Mapa Zoneamento estabelecido pela Lei nº 7.166/1996



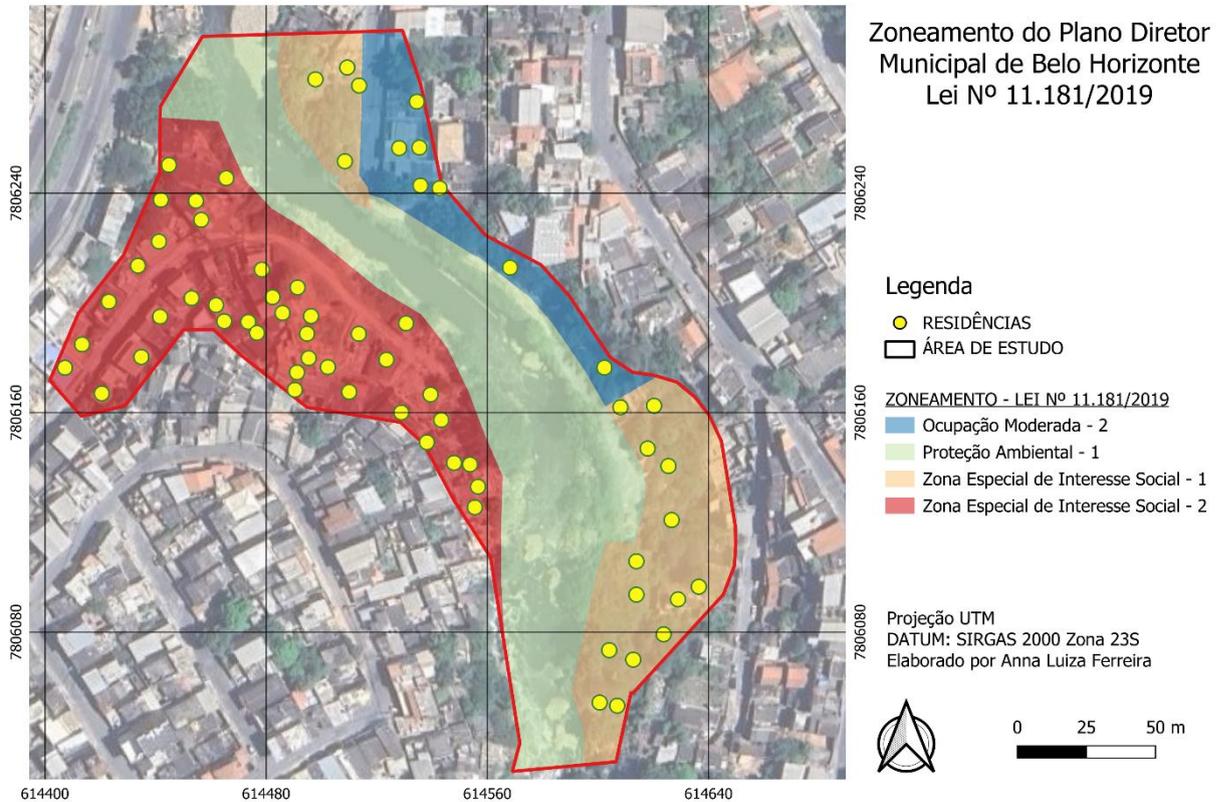
Fonte: Autora (2025)

A legislação atualmente vigente é a Lei nº 11.181/2019, que institui o Plano Diretor Municipal. Com ela, houve ampliação das áreas de proteção ambiental e redefinição dos parâmetros de uso e ocupação do solo urbano. A área de estudo passou a abranger diferentes zonas definidas por essa nova legislação: OM-2 (Zona de Ocupação Moderada), que admite usos residenciais e comerciais de pequeno porte, condicionados a parâmetros urbanísticos específicos e à compatibilidade com o entorno; PA-1 (Zona de Proteção Ambiental), que impõe restrições severas à ocupação e tem como objetivo a preservação de áreas ambientalmente sensíveis, como margens de cursos d'água e trechos com vegetação remanescente.

Observa-se ainda a presença de duas categorias de Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), criadas com a finalidade de atender às especificidades de assentamentos populares e à demanda por habitação de interesse social. A ZEIS-1 refere-se a áreas ocupadas desordenadamente e de forma espontânea, já a ZEIS-2 é referente as áreas onde o poder público tenha implantado conjuntos habitacionais de interesse social. A Figura 29 apresenta o mapa de zoneamento urbano vigente conforme a Lei nº 11.181/2019, permitindo identificar a distribuição dessas

categorias na área analisada e sua sobreposição com o traçado urbano existente.

**Figura 29 - Mapa Zoneamento conforme Plano Diretor Municipal (2019)**



Fonte: Autora (2025)

As visitas in loco realizadas nos dias 30/11/2024 e 06/06/2025 foram essenciais para complementar a análise técnica e validar os dados espaciais obtidos por geoprocessamento. Observou-se que a área apresenta significativa precariedade na infraestrutura urbana, com ruas e becos estreitos, ausência de pavimentação em alguns trechos e carência de dispositivos adequados de microdrenagem. Essa situação se agrava à medida que se aproxima do leito do Ribeirão do Onça, onde a infraestrutura é ainda mais limitada e a ocupação se dá em áreas ambientalmente sensíveis.

Do ponto de vista sanitário, embora exista sistema público de coleta de esgoto implantado na região, verificou-se que muitas residências ainda realizam o lançamento direto de efluentes domésticos no leito do Ribeirão do Onça. Essa situação decorre, em grande parte, da complexidade técnica e operacional envolvida na expansão da rede de esgotamento sanitário em áreas ocupadas de forma informal, com traçado urbano desordenado e ausência de planejamento territorial.

Essa condição, aliada à disposição irregular de resíduos sólidos urbanos e restos de construção civil sobre áreas ambientalmente sensíveis, identificadas no local, acarreta a degradação da qualidade da água, o comprometimento da vegetação ciliar e a ampliação dos riscos à saúde pública, sobretudo pela exposição a patógenos de veiculação hídrica e a ambientes insalubres.

As Figuras 30, 31 e 32 ilustram situações registradas durante as visitas de campo, evidenciando a precariedade habitacional e ambiental da área analisada.

**Figura 30** – Precariedade da infraestrutura na Rua Quarenta e Cinco, Bairro Novo Aarão Reis



Fonte: Autora (2025)

**Figura 31** – Residências próximas ao Ribeirão do Onça, Bairro Novo Aarão Reis



Fonte: Autora (2025)

**Figura 32** – Disposição de resíduos sólidos urbanos e de construção civil, Bairro Novo Aarão Reis



Fonte: Autora (2025)

## 5.2 Estimativas dos danos

Após a caracterização física e urbanística da área de estudo, esta seção apresenta a etapa de quantificação dos danos materiais diretos relacionados à exposição das residências a inundações. Com o suporte de ferramentas de geoprocessamento e dados altimétricos, foram estimados os prejuízos econômicos nas unidades habitacionais mapeadas, considerando a profundidade da lâmina d'água incidente e os parâmetros definidos para valoração.

A análise foi dividida em duas etapas: a determinação da altura da lâmina d'água sobre as edificações e a estimativa dos danos tangíveis diretos, cujos resultados são apresentados a seguir.

### 5.2.1 Determinação da lâmina d'água

A profundidade da lâmina d'água incidente sobre cada edificação foi calculada a partir da diferença entre a cota de inundação, extraída da Carta de Inundação de Belo Horizonte (PBH, 2009), e a cota altimétrica de cada residência, conforme metodologia descrita na seção 4. O cálculo foi realizado com base na Equação 3:

$$H = \text{Cota de inundação} - \text{Cota da residência} \quad (3)$$

A lâmina d'água (H) incidente sobre as 65 residências localizadas na área de estudo variou entre valores próximos de zero até pouco mais de cinco metros, evidenciando diferentes níveis de severidade das inundações na área de estudo. Para facilitar a análise, os imóveis foram agrupados por faixas de profundidade com intervalos regulares de 0,5 metros, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2** - Distribuição de residências por faixa de lâmina d'água

<b>Faixa de Lâmina d'água (m)</b>	<b>Nº de Residências</b>
0,0 – 0,5	8
0,5 – 1,0	9
1,0 – 1,5	11
1,5 – 2,0	7
2,0 – 2,5	8
2,5 – 3,0	5
3,0 – 3,5	8
3,5 – 4,0	2
4,0 – 4,5	5
> 4,5	2

Fonte: Autora (2025)

Observa-se que a maioria das residências se encontra nas faixas entre 1,0 m e 3,5 m de lâmina d'água, com destaque para o intervalo de 1,0 a 1,5 m, com 11 residências. Esse padrão indica uma significativa exposição a inundações de média a alta severidade.

As lâminas d'água elevadas registradas estão diretamente relacionadas à adoção de um cenário de cheia com período de retorno de 100 anos. Ainda que se trate de um evento de baixa probabilidade estatística anual, sua utilização é amplamente justificada em avaliações de risco devido à sua representatividade frente a eventos de elevada magnitude e potencial destrutivo.

Além disso, as transformações no regime climático global têm contribuído para a intensificação da frequência e da severidade dos eventos extremos, tornando cada vez mais comum a ocorrência de episódios que, sob condições climáticas anteriores, seriam caracterizados como raros. Tal contexto reforça a pertinência da adoção de cenários hidrológicos conservadores na modelagem de impacto, mesmo para períodos de retorno elevados.

Outro fator relevante é a posição topográfica das residências em relação ao leito do Ribeirão do Onça, aspecto diretamente vinculado à profundidade da lâmina d'água incidente, como evidenciado nos mapas altimétricos da área.

### 5.2.2 Estimativas dos danos tangíveis habitacionais

Com base nos valores de lâmina d'água incidentes e nos parâmetros de valoração definidos (CUB, Fc e Zv), foi calculado o dano estimado individual para cada uma das 65 residências. O cálculo considerou a área construída de cada edificação e o valor monetário unitário obtido conforme metodologia apresentada no capítulo 4.

A Tabela 3, apresentada a seguir, consolida os parâmetros utilizados no cálculo dos danos, discriminando o zoneamento urbano, o número de residências por zona, o valor do metro quadrado da zona homogênea corrigido pelo IPCA (Zv), o valor do CUB atualizado, o fator de correção adotado (Fc = 1) e o valor final aplicado no cálculo dos danos, dado pela soma entre Zv e o CUB corrigido. Essa sistematização permite compreender como o zoneamento e os parâmetros econômicos foram incorporados à estimativa de perdas.

**Tabela 3** – Parâmetros de valoração utilizados por zona de ocupação

<b>Zoneamento (Lei 7.166/96)</b>	<b>Nº de Residências</b>	<b>Zv – Corrigido pelo IPCA (R\$/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Valor = Zv + (CUB × Fc) (R\$/m<sup>2</sup>)</b>	<b>CUB (R\$/m<sup>2</sup>)</b>
ZAR-2	7	174,71	2.528,46	2.353,75
ZEIS-1	18	131,04	2.484,79	2.353,75
ZEIS-3	40	152,87	2.506,62	2.353,75

Fonte: Autora (2025)

A Tabela 4 sintetiza os resultados agregados por faixa de lâmina d'água, indicando o número de residências, o valor total estimado de danos e a média por edificação.

**Tabela 4** - Estimativa de danos tangíveis diretos por faixa de lâmina d'água

<b>Faixa de Lâmina d'água (m)</b>	<b>Nº de Residências</b>	<b>Soma dos Danos Estimados (De) (R\$)</b>	<b>Média de Danos por Residência (R\$)</b>
0,0 – 0,5	8	6.005,46	750,68
0,5 – 1,0	9	16.679,03	1.853,23
1,0 – 1,5	11	33.661,79	3.060,16
1,5 – 2,0	7	30.914,89	4.416,41
2,0 – 2,5	8	43.927,40	5.490,93
2,5 – 3,0	5	33.185,21	6.637,04
3,0 – 3,5	8	65.729,74	8.216,22
3,5 – 4,0	2	19.162,70	9.581,35
4,0 – 4,5	5	51.832,61	10.366,52
> 4,5	2	26.512,36	13.256,18

Fonte: Autora (2025)

Os resultados obtidos demonstraram uma ampla variação nos valores estimados de perdas, com danos individuais variando entre R\$ 750,68 e R\$ 13.256,18. O valor médio estimado em prejuízos diretos por edificação foi de R\$ 6.362,87, totalizando R\$ 327.611,26 para as 65 unidades habitacionais analisadas. Essa dispersão está associada, principalmente, à profundidade da lâmina d'água e à área construída de cada imóvel, sendo a primeira variável com maior peso na definição da severidade dos danos, conforme apontado por Tucci (2005) e Canholi (2014), que identificam a profundidade como um fator crítico de impacto estrutural em edificações atingidas por eventos hidrológicos extremos.

Para garantir transparência metodológica, a tabela completa contendo os valores calculados individualmente para cada residência encontra-se apresentada no Apêndice A, servindo de base para rastreamento e futuras análises.

Imóveis localizados em cotas mais baixas, com lâminas superiores a três metros, concentram os maiores prejuízos potenciais, enquanto residências em áreas mais elevadas e com lâmina inferior a um metro registram perdas moderadas, mas ainda significativas em contextos de vulnerabilidade socioeconômica. Esse panorama reforça que a gravidade dos danos não se restringe apenas a fatores naturais, mas resulta também da ausência histórica de controle sobre

o uso e a ocupação do solo urbano, de investimentos insuficientes em drenagem e saneamento, e de lacunas na fiscalização urbanística.

A análise evidencia que o montante estimado de danos tangíveis poderia ser consideravelmente mitigado por meio de intervenções planejadas e investimentos preventivos, como sistemas de macrodrenagem dimensionados adequadamente, técnicas compensatórias de controle de cheias e obras de infraestrutura verde, alinhadas às diretrizes de ocupação sustentável previstas na legislação municipal. Sob a ótica econômica, o custo de obras de mitigação é, em muitos casos, inferior ao prejuízo acumulado ao longo de anos em áreas sujeitas a eventos hidrológicos extremos, reforçando o princípio de prevenção como forma de economia de recursos públicos e proteção da população.

Além disso, destaca-se a importância da aplicação rigorosa e contínua do Plano Diretor Municipal e demais instrumentos de planejamento urbano-ambiental. Não basta que normas como a Lei nº 11.181/2019 estabeleçam zonas de proteção ambiental, zonas de ocupação moderada ou Zonas Especiais de Interesse Social, é indispensável que essas categorias sejam efetivamente fiscalizadas e respeitadas para evitar novas ocupações em áreas de risco. A implementação de políticas integradas de regularização fundiária, reassentamento assistido e proteção de Áreas de Preservação Permanente (APPs) é fundamental para garantir que a expansão urbana ocorra de forma ordenada, equilibrando as demandas sociais com a conservação ambiental.

## 6 CONCLUSÃO

A aplicação da metodologia de estimativa de danos tangíveis diretos possibilitou quantificar, de forma objetiva e tecnicamente fundamentada, as perdas materiais associadas à ocorrência de inundações urbanas na área de estudo, situada nas margens do Ribeirão do Onça. A integração entre dados altimétricos, parâmetros hidrológicos e referenciais econômicos oficiais permitiu identificar, de maneira detalhada, o impacto financeiro potencial sobre a infraestrutura habitacional em um contexto de risco consolidado.

Os resultados obtidos evidenciam que grande parte das residências analisadas está exposta a lâminas de inundação significativas, o que, de acordo com a literatura técnica, configura risco relevante para a estabilidade estrutural das edificações e acarreta prejuízos que afetam diretamente comunidades socialmente vulneráveis. Mais do que evidenciar o cenário de perdas, a análise reforça o papel estratégico de ferramentas de valoração de danos como suporte técnico à gestão municipal, oferecendo subsídios concretos para o planejamento de ações de mitigação, reassentamento assistido e investimentos em obras de drenagem de médio e grande porte.

É importante destacar que a área de estudo corresponde apenas a uma das diversas zonas críticas da bacia do Ribeirão do Onça, a qual concentra inúmeros pontos de alagamento e ocupações irregulares ao longo de seu curso. Portanto, a extensão dessa análise para outras áreas vulneráveis da bacia é essencial para compor um diagnóstico mais amplo e representativo. A estimativa total dos danos em escala de bacia deve ser realizada de forma integrada, de modo a orientar políticas públicas com maior abrangência e precisão, baseadas em evidências técnicas e planejamento territorial.

No recorte avaliado, o valor médio estimado em prejuízos diretos por edificação foi de R\$ 6.362,87, totalizando R\$ 327.611,26 para as 65 unidades habitacionais analisadas, valor que, embora restrito a um trecho localizado da bacia, já demonstra a expressiva magnitude das perdas que inundações podem causar em contextos urbanos precarizados. Esse tipo de dado deve ser utilizado como instrumento de apoio à tomada de decisão, permitindo a formulação de estratégias mais eficazes e financeiramente justificáveis. Além disso, pode embasar solicitações de recursos junto a instâncias estaduais e federais, bem como nortear prioridades orçamentárias no âmbito municipal.

A metodologia demonstrou ser aplicável a outros contextos urbanos que apresentem

características semelhantes de ocupação irregular e déficit de infraestrutura, desde que amparada por base cartográfica atualizada, dados hidrológicos confiáveis e parâmetros econômicos adequados à realidade local. Cabe destacar, entretanto, que a dinâmica de transformação dos territórios urbanos exige que diagnósticos dessa natureza sejam periodicamente revisados e atualizados, de modo a atender novas demandas, mudanças nos padrões de ocupação e variações climáticas que possam alterar o grau de exposição das áreas vulneráveis.

## 7 RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados obtidos e das limitações observadas ao longo da pesquisa, algumas recomendações podem ser propostas com vistas ao aprimoramento das políticas públicas de mitigação de riscos e à ampliação das análises técnicas sobre inundações urbanas na bacia do Ribeirão do Onça.

Embora existam iniciativas em curso para o reassentamento de parte das famílias residentes na área de estudo, os projetos atualmente em execução não abrangem a totalidade das unidades habitacionais identificadas como vulneráveis nesta análise. Dessa forma, recomenda-se que o poder público amplie o escopo dessas ações, com base em critérios técnicos atualizados, de modo a contemplar todos os imóveis localizados em zonas de risco efetivo de inundação.

Além disso, é imprescindível a revalidação da mancha de inundação utilizada como referência neste estudo. Alterações no uso e ocupação do solo, a intensificação dos eventos climáticos extremos e a execução de obras de macrodrenagem, especialmente a montante da área analisada, podem ter modificado significativamente o comportamento hidrológico da bacia. Assim, torna-se necessário revisar as modelagens hidrológicas e hidráulicas adotadas anteriormente, utilizando dados mais recentes e cenários atualizados de precipitação e vazão.

Recomenda-se ainda a ampliação do escopo da metodologia adotada, que, embora eficaz na estimativa de danos tangíveis diretos ao setor habitacional, não contempla outros tipos de impactos relevantes. Para uma valoração mais precisa e abrangente dos danos decorrentes de inundações, é essencial o desenvolvimento de estudos complementares que considerem perdas em setores como comércio, infraestrutura urbana, equipamentos públicos e impactos intangíveis, como prejuízos à saúde, mobilidade e ao bem-estar social.

Adicionalmente, recomenda-se, para estudos futuros, a possibilidade de estimar os danos tangíveis diretos com base no valor médio por metro quadrado afetado, a partir da divisão entre o dano estimado por residência e a área construída correspondente. Tal abordagem permitiria a obtenção de valores de referência mais padronizados (por exemplo, R\$/m<sup>2</sup>), facilitando comparações entre imóveis e ampliando a aplicabilidade da metodologia em diferentes contextos urbanos.

Por fim, destaca-se a necessidade de que tais estudos subsidiem, de forma efetiva, os instrumentos de planejamento urbano e de gestão de risco, como planos diretores, cartas de

inundações, planos municipais de adaptação às mudanças climáticas e programas de investimentos públicos. A integração entre conhecimento técnico, diagnóstico territorial e ação governamental é indispensável para a construção de cidades mais seguras, resilientes e socialmente justas.

## 8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.653-2: Avaliação de bens – Parte 2: Imóveis urbanos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2011.

BANCO MUNDIAL; BID; CEPAL. Avaliação dos efeitos e impactos das inundações no Rio Grande do Sul. **Relatório conjunto Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) e Grupo Banco Mundial**, [s. l.], Novembro 2024. 303 p. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1Pk7ooxbNfRpQ5K8tOgSVmJrjO7Pkmwao/view> Acesso em: 20 jun. 2025

BANCO MUNDIAL; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil (1995–2019)**. 2. ed. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2020. Disponível em: [https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/danos\\_e\\_prejuizos\\_versao\\_em\\_revisao.pdf](https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/danos_e_prejuizos_versao_em_revisao.pdf) Acesso em: 20 jun. 2025

BAPTISTA, M.; BARRAUD S.; NASCIMENTO N. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.

BERZ, G. **Flood Disasters: Lessons from the Past - Worries for the future**. Symposium on River Flood Defence. vol 2. Kassel: Herkules Verlag, 2000, p. f1 - f10

BORSAGLI, A. **Rios Urbanos de Belo Horizonte: geografia histórica da rede hidrográfica da nova capital (1734/2020)**. 1. ed. São Paulo: Clube de Autores, 2020. v. 1. 154p

BRASIL. [constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2016]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm). Acesso em: 22 jun. 2025.

BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. Diário Oficial da União, 20 dez. 1979. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6766.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm). Acesso em: 22 jun. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, 9 jan. 1997. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm). Acesso em: 22 jun. 2025.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Estatuto da Cidade. Diário Oficial da União, 11 jul. 2001. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/l10257.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm). Acesso em: 22 jun. 2025.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, 8 jan. 2007. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm). Acesso em: 22 jun. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa

Civil. **GIRD+10: Gestão Integrada de Riscos e Desastres**. Brasília: MDR, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/gird10>. Acesso em: 22 jun. 2025.

CANHOLI, Aluísio P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. - São Paulo: Oficina de textos, 2014.

CBH VELHAS – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. **Cartilha do Plano Diretor de Recursos Hídricos – Unidade Territorial Estratégica Ribeirão Onça**. Belo Horizonte: CBH Rio das Velhas, 2016. Disponível em: [https://cbhvelhas.org.br/wp-content/uploads/2016/04/07\\_cartilha\\_onca\\_225x27cm\\_2016\\_04\\_13\\_issuuu-2.pdf](https://cbhvelhas.org.br/wp-content/uploads/2016/04/07_cartilha_onca_225x27cm_2016_04_13_issuuu-2.pdf) Acesso em: 08 set. 2024.

CEMADEN - CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Inundação**. Brasil, 06 mai. 2016. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/inundacao/> Acesso em: 08 set. 2024.

CHAMPS, J. **Inundações urbanas em Belo Horizonte**. Ocorrências, controle e medidas de proteção. Aqua-LAC, vol. 4, n. 2, p. 1-6, 2012.

COSTA, B. **Análise de impactos econômicos da implantação de parques ciliares: o Parque Ciliar do Ribeirão Onça**. 2023. 270 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/57854> Acesso em: 13 jan. 2025.

CRUZ, M.; SOUZA, C.; TUCCI, C. **Controle da drenagem urbana no brasil: avanços e Mecanismos para sua sustentabilidade**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba: ABRH, 2007. Disponível em: <https://www.abrhydro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=19&SUMARIO=4674>. Acesso em: 19 nov. 2024.

DUARTE, E. MINERVINO, A.; Danos materiais causados à Saúde Pública e à sociedade decorrentes de inundações e enxurradas no Brasil, 2010-2014: dados originados dos sistemas de informação global e nacional. **Ciência & saúde coletiva**, vol. 21, n. 3, p. 685-694, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/jmz4F3DK5G4BjnmjtjzXNJfC/>. Acesso em: 19 nov. 2024.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Economic losses from weather- and climate-related extremes in Europe** [Perdas econômicas decorrentes de extremos climáticos e meteorológicos na Europa]. Copenhagen: EEA, 2024. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/economic-losses-from-climate-related>. Acesso em: 30 jun. 2025.

FRIEDRICH, D. **O Parque Linear como instrumento de Planejamento e Gestão de área de fundo de vale urbanas**. 2007. 273 p. Dissertação de Mestrado em Planejamento Urbano e Regional. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/13175>. Acesso em: 19 nov. 2024.

FRITZEN, M.; BINDA, A. L. Alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 5, n. 3, p. 239–254, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/atelie/article/view/16703>. Acesso em: 23 mar. 2025.

G1. Chuva causa alagamentos em avenidas de BH e carros são arrastados pela correnteza. G1, 7 dez. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2022/12/07/chuva-causa-alagamentos-em-avenidas-de-bh-e-carros-sao-arrastados-pela-correnteza.ghtml>. Acesso em: 19 jun. 2025.

G1. Chuva forte causa alagamentos em várias regiões de Belo Horizonte. G1, 15 fev. 2021. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/9248643/>. Acesso em: 19 jun. 2025.

G1. Enchentes, bloqueio de vias e risco de transbordamentos: chuva causa estragos em Belo Horizonte. G1, 13 nov. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2024/11/13/enchentes-bloqueio-de-vias-e-risco-de-transbordamentos-chuva-causa-estragos-em-belo-horizonte.ghtml>. Acesso em: 19 jun. 2025.

GONÇALVES, L.; RIBEIRO, R.; BAPTISTA, L. O uso de técnicas compensatórias de drenagem para controle dos impactos da urbanização. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, vol. 12, p. 1241-1256, 2016. Disponível em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum\\_ambiental/article/view/1366](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/1366). Acesso em: 23 mar. 2025

IBGE. **Base de Dados Censo 2022**. Brasil: IBGE, 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/> Acesso em: 9 mar. 2025.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change. Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report**. 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

LARENTIS, D. G. et al. Procedimentos e critérios para zoneamento de planícies de inundação em áreas urbanas. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 17, e13, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/reg.v17e13>. Acesso em: 20 jun. 2025

LIMA-QUEIROZ, J.C.; BALABRAM, P.R.; BAPTISTA, M. **A urbanização e alguns de seus impactos na cidade de Belo Horizonte**. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba: ABRH, 2003. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/154/251.pdf>. Acesso em: 14 out. 2024

MACHADO, M. L. et al. Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 2, n. 1, p. 35-52, 2005. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/65/e2e472457856b589eadb95114b813f4b\\_866cd7f3da0eec7bfb665de9fedac054.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/65/e2e472457856b589eadb95114b813f4b_866cd7f3da0eec7bfb665de9fedac054.pdf). Acesso em: 14 out. 2024

MINAS GERAIS. **Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999**. Política Estadual de Recursos Hídricos. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, 30 jan. 1999. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/13199/1999/?cons=1>. Acesso em: 23 jun. 2025.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 44.646, de 7 de agosto de 2007**. Dispõe sobre requisitos para aprovação de loteamentos urbanos. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, 8 ago. 2007. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/DEC/44646/2007/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ONU BRASIL. **Relatório da ONU alerta para aumento de desastres climáticos e defende investimento em prevenção.** Nações Unidas Brasil, fev. 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/02/1778632>. Acesso em: 16 jun. 2025

ONU BRASIL. **Risco alto de inundações expõe consequências da crise climática.** Nações Unidas Brasil, 16 fev. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/172146-risco-alto-de-inunda%C3%A7%C3%B5es-exp%C3%B5e-consequ%C3%A2ncias-da-crise-clim%C3%A1tica>. Acesso em: 16 jun. 2025

PBH - PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Lei nº 9.795, de 12 de agosto de 2009.** Dispõe sobre o lançamento, a cobrança e a arrecadação do Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana – IPTU –, e dá outras providências. Diário Oficial do Município, Belo Horizonte, 13 ago. 2009. Disponível em: [https://www.cmbh.mg.gov.br/sites/default/files/lei/2009/9795\\_2009\\_0.pdf](https://www.cmbh.mg.gov.br/sites/default/files/lei/2009/9795_2009_0.pdf). Acesso em: 30 jun. 2025.

PBH. **Lei nº 11.181, de 8 de agosto de 2019.** Institui o Plano Diretor do Município. Diário Oficial do Município, 9 ago. 2019. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/meio-ambiente/lei11181-atual.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2025.

PBH - PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Mancha Urbana 2018.** In: BHMAP. Mancha Urbana 2018. 2018. Disponível em: <https://bhmap.pbh.gov.br/v2/mapa/idebhgeo#zoom=4&lat=7796893.0925&lon=609250.9075&baselayer=base> Acesso em: 16 ago. 2024

PBH - PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. SMAPU. **Diagnóstico Propositivo do Parque do Onça.** Belo Horizonte: SMAPU, 2014. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/projetos-urbanos/parque-do-onca> Acesso em: 30 out. 2024

PBH - PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. SUDECAP. **Carta de Inundações de Belo Horizonte.** Belo Horizonte: SUDECAP, 2009. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/diretoria-de-gestao-de-aguas-urbanas/cartas-de-inundacoes> Acesso em: 16 ago. 2024

PBH - PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. SUDECAP. **Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana do Município de Belo Horizonte.** Belo Horizonte: SUDECAP 2022. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/publicacoes/instrucao-estudos-e-projetos-de-drenagem>. Acesso em: 16 ago. 2024.

PBH - PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. URBEL. **Vilas, Favelas e Loteamentos Públicos de Interesse Social.** Belo Horizonte: URBEL, 2020 Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/urbel/vilas-e-favelas>. Acesso em: 16 ago. 2024.

PINHEIRO, C. B.; SANTOS, R. E. **Trajatória da drenagem urbana no Brasil: uma perspectiva a partir da análise de políticas públicas recentes de Belo Horizonte.** In: Anais do XVIII ENANPUR, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/41976> Acesso em: 25 ago. 2024

PLAMBEL: PLANEJAMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE. **Relatório de atividades 1986**. Belo Horizonte: PLAMBEL, 1986, 17 p.

REBELO, M. **Impacto do volume de sólidos sedimentáveis no escoamento hidráulico e no custo de manutenção de canal de drenagem: Estudo de sedimentos em drenagem**. 2021. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/handle/2011/15715>. Acesso em: 21 nov. 2024.

RENTSCHLER, J. E. et al. Frontiers of urban flood exposure: unprecedented growth, unmitigated risk. *Nature Communications*, [s.l.], v. 13, n. 1, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-022-30727-4>. Acesso em: 27 jun. 2025.

REZENDE, R. **Dimensionamento do sistema de drenagem tradicional e sistema com utilização de microrreservatórios: Estudo de caso no município de Itabirito – MG**. 2018. 70 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-022-30727-4>. Acesso em: 14 jul. 2024.

RIBEIRO, A. **BMP's em drenagem urbana: aplicabilidade em cidades brasileiras**. 2014. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis///3/3147/tde-24042015-115321/pt-br.php>. Acesso em: 14 jul. 2024.

RITCHIE, H.; SAMBORSKA, V.; ROSER, M. **Urbanization: The world population is moving to cities. Why is urbanization happening and what are the consequences?**. Our World in Data, 2024

RODRIGUES, L. **Impactos do processo de urbanização na formação de enchentes e alagamentos em Belo Horizonte, MG**. 2020. 67 f. Monografia (Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/36383>. Acesso em: 14 ago. 2024.

SILVA, A.; DOMINGUES, C.; MEIRELES, E. **Áreas de conexão verde e conexão fundo de vale: uma proposta para redução dos impactos de enchentes em Belo Horizonte, Minas Gerais**. In: III SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA: SINGEORB, 2021, Maceió. Anais...Porto Alegre: ANTAC, 2021.p. 96-104. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/62545>. Acesso em: 16 jan. 2025

SILVA, E. D. **Aplicação ao município de Montenegro - RS**. 2019. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Disponível em: [https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/21551/1/emanuel\\_2019.pdf](https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/21551/1/emanuel_2019.pdf). Acesso em: 10 fev. 2025.

SILVA, J. A. B.; BARROSO, R. de C. A.; RODRIGUES, A. J.; COSTA, S. S.; FONTANA, R. L. M. **A urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais**. Caderno de Graduação – Ciências Humanas e Sociais – UNIT – Sergipe, Aracaju, v. 2, n. 2, p. 197–207, 2014. Disponível em:

<https://periodicos.grupotiradentes.com/cadernohumanas/article/view/1723>. Acesso em: 14 ago. 2024.

SILVEIRA, A. **Impactos hidrológicos da urbanização em Porto Alegre**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba: ABRH, 1999. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=9591> Acesso em: 16 jan. 2025

SINDUSCON/MG. Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais. Custo Unitário Básico – CUB/m<sup>2</sup> – Minas Gerais – maio de 2025. Belo Horizonte, 2025. Disponível em: <https://www.sinduscon-mg.org.br/cub>. Acesso em: 17 set. 2024

SOUSA, D. **Proposta metodológica para estimativa de danos e mapeamento de risco associados a inundações em áreas urbanas**. 2018. 113 p. Dissertação (Pós-Graduação em Desastres Naturais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/205166> Acesso em: 3 ago. 2024

SOUZA, J. A Expansão Urbana de Belo Horizonte e da Região Metropolitana de Belo Horizonte: O Caso Específico do município de Ribeirão das Neves. Belo Horizonte: UFMG. 194p. Tese de Doutorado, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/AMSA-7FNJKN>. Acesso em: 14 ago. 2024.

TUCCI, C. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. vol. 7, n. 1, p. 5-27, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/36383>. Acesso em: 14 ago. 2024.

TUCCI, C. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. 50 p.

TUCCI, C. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Brasil: Unesco, 2005. 270 p.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT). **WORLD CITIES REPORT 2022**. Kenya: UN-HABITAT, 2022. Disponível em: [https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr\\_2022.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf). Acesso em: 14 ago. 2024.

WRI. World Resources Institute. Relatório Strengthening the Investment Case for Climate Adaptation. 2025. Disponível em: <https://www.wri.org/>. Acesso em: 27 jun. 2025.

WORLD BANK; EUROPEAN UNION; UNITED NATIONS. **Joint World Bank, EU, UN report assesses damages caused by catastrophic flooding in Libya** [Relatório conjunto do Banco Mundial, UE e ONU avalia danos causados por inundações catastróficas na Líbia]. Washington, D.C., 24 jan. 2024. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2024/01/24/joint-world-bank-eu-un-report-assesses-damages-caused-by-catastrophic-flooding-in-libya>. Acesso em: 30 jun. 2025.

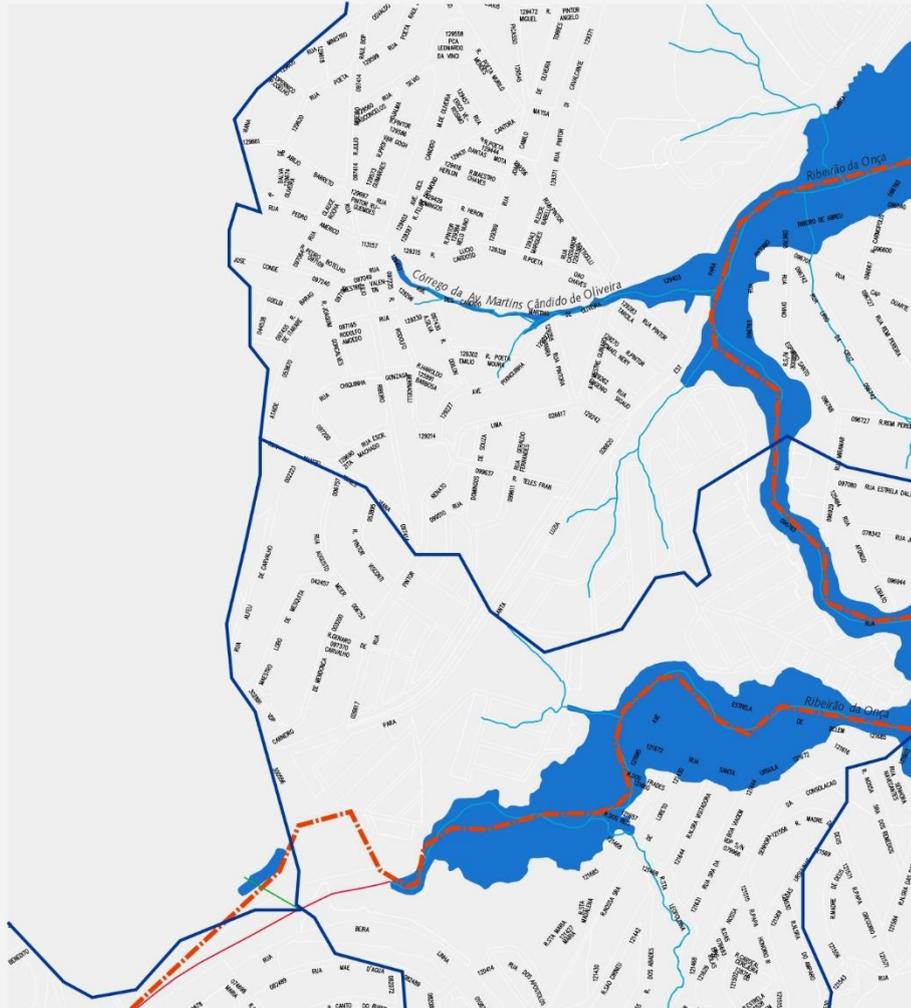
WORLD BANK. Pakistan: **Flood damages and economic losses over USD 30 billion and reconstruction needs over USD 16 billion** [Paquistão: danos causados por inundações e perdas econômicas superiores a US\$ 30 bilhões e necessidades de reconstrução de mais de US\$ 16 bilhões]. Washington, D.C., 2022. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2022/10/28/pakistan-flood-damages-and-economic-losses-over-usd-30-billion-and-reconstruction-needs-over-usd-16-billion-new-assessme>. Acesso em: 30 jun. 2025.

**ANEXO A – CARTA DE INUNDAÇÕES DE BELO HORIZONTE**

Recorte da Carta de inundações da Regional Nordeste de Belo Horizonte

**• CARTA DE INUNDAÇÕES DE BELO HORIZONTE •**  
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIALMENTE SUSCETÍVEIS

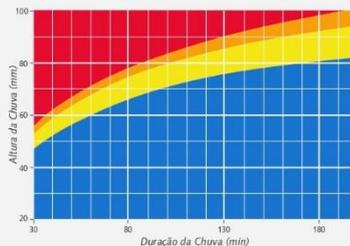
**REGIONAL NORDESTE – Figura 6**  
*'Ribeirão da Onça'*



LOCALIZAÇÃO



GRÁFICO DE RISCO DE INUNDAÇÃO



LEGENDA

- Mancha de Inundação
- Limite da Bacia
- Limite Divisa Regional
- Curso d'água em Leito Natural
- Curso d'água Canalizado Aberto
- Curso d'água Canalizado Fechado
- Curso d'água Canalizado em Seção Tubular
- Curso d'água Não Cadastrado

Escala: 1: 7.500

SECRETARIA MUNICIPAL DE POLÍTICAS URBANAS – SMURBE  
SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL – SUDECAP  
Núcleo de Execução de Projetos Especiais – Saneamento – NEPE-SAN  
Núcleo de Execução de Projetos Especiais – Plano Diretor de Drenagem – NEPE-PDD



**PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE**

1 Janeiro, 2013

## APÊNDICE A – RESULTADOS ESTIMATIVAS DE DANOS

Tabela de cálculos da estimativa de danos habitacionais por residência

Residência	Área (m <sup>2</sup> )	Cota de		Lâmina d'água (H)(m)	Zoneamento Lei 7.166/96	Zv (R\$/m <sup>2</sup> )	Zv - Corrigido pelo		Fc	Valor = Zv + (CUB x Fc) (R\$)	De = Hc x Valor (R\$)
		Cota Residência (m)	Inundação - TR 100 anos (m)				IPCA (R\$/m <sup>2</sup> )	CUB (R\$/m <sup>2</sup> )			
1	35,69	711,247	711,654	0,4074	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	1.021,22
2	141,37	711,000	711,353	0,3526	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	883,83
3	67,67	711,671	713,785	2,1131	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	5.296,73
4	69,86	710,615	711,220	0,6042	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	1.514,62
5	156,98	709,837	710,677	0,8399	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	2.105,32
6	34,25	710,312	712,241	1,9286	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	4.834,39
7	64,35	710,348	712,399	2,0518	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	5.143,13
8	68,53	708,657	709,735	1,0775	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	2.700,92
9	102,04	708,233	709,819	1,5864	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	3.976,41
10	48,26	710,570	711,894	1,3231	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	3.316,41
11	89,69	710,827	711,745	0,9185	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	2.302,38
12	68,35	709,982	711,578	1,5953	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	3.998,90
13	69,62	710,153	711,636	1,4828	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	3.716,79
14	86,47	708,142	711,894	3,7515	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	9.403,50
15	56,81	708,741	711,668	2,9272	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	7.337,34
16	54,46	708,872	711,620	2,7473	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	6.886,32
17	77,85	708,271	711,440	3,1695	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	7.944,72
18	99,83	708,459	712,685	4,2260	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	10.593,01
19	34,89	708,676	712,787	4,1112	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	10.305,23
20	33,82	707,581	711,475	3,8934	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	9.759,20
21	70,51	709,558	711,910	2,3518	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	5.895,09
22	89,81	707,822	711,310	3,4882	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	8.743,49
23	158,67	708,000	710,562	2,5618	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	6.421,38
24	58,22	709,816	711,119	1,3033	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	3.266,99
25	115,57	708,113	711,379	3,2662	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	8.187,21
26	37,4	708,821	710,964	2,1428	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	5.371,09
27	19,59	708,816	712,190	3,3737	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	8.456,63
28	45,07	709,673	712,190	2,5174	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	6.310,15
29	133,93	709,604	711,379	1,7750	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	4.449,16
30	72,29	708,551	712,574	4,0221	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	10.081,86
31	63,77	707,985	712,199	4,2136	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	10.561,80
32	94,52	710,682	711,727	1,0451	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	2.619,68
33	34,07	708,715	711,037	2,3214	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	5.818,90

Residência	Área (m <sup>2</sup> )	Cota de			Zoneamento Lei 7.166/96	Zv (R\$/m <sup>2</sup> )	Zv - Corrigido pelo			Fc	Valor = Zv + (CUB x Fc) (R\$)	De = Hc x Valor (R\$)
		Cota Residência (m)	Inundação - TR 100 anos (m)	Lâminha d'água (H)(m)			IPCA (R\$/m <sup>2</sup> )	CUB (R\$/m <sup>2</sup> )				
34	74,61	710,876	711,211	0,3356	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	841,15	
35	103,55	706,984	712,835	5,8507	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	14.537,78	
36	96,08	711,202	712,672	1,4709	ZAR-2	72	174,71	2.353,75	1	2.528,46	3.719,08	
37	127,24	710,816	712,835	2,0185	ZAR-2	72	174,71	2.353,75	1	2.528,46	5.103,68	
38	100,69	711,724	712,881	1,1564	ZAR-2	72	174,71	2.353,75	1	2.528,46	2.923,99	
39	29,42	712,043	712,559	0,5156	ZAR-2	72	174,71	2.353,75	1	2.528,46	1.303,74	
40	126,16	709,089	709,173	0,0847	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	210,35	
41	64,37	706,943	707,532	0,5894	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	1.464,58	
42	28,46	709,619	709,905	0,2861	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	710,83	
43	56,59	713,300	713,771	0,4706	ZAR-2	72	174,71	2.353,75	1	2.528,46	1.190,00	
44	94,64	709,976	713,209	3,2339	ZAR-2	72	174,71	2.353,75	1	2.528,46	8.176,75	
45	83,15	711,742	713,618	1,8760	ZAR-2	72	174,71	2.353,75	1	2.528,46	4.743,49	
46	64,25	709,914	712,421	2,5073	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	6.230,02	
47	41,59	709,851	712,934	3,0826	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	7.659,57	
48	157,74	710,092	713,462	3,3698	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	8.373,12	
49	86,65	709,629	714,448	4,8192	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	11.974,58	
50	24,09	710,933	712,177	1,2441	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	3.091,43	
51	47,7	708,593	710,439	1,8461	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	4.627,55	
52	93,85	709,738	709,947	0,2092	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	524,30	
53	37,12	709,129	710,076	0,9473	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	2.374,43	
54	33,1	709,139	709,972	0,8337	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	2.089,87	
55	111,49	709,566	710,711	1,1445	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	2.868,90	
56	115,13	710,536	711,202	0,6661	ZEIS-3	63	152,87	2.353,75	1	2.506,62	1.669,75	
57	49,51	709,137	713,278	4,1415	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	10.290,71	
58	66,26	709,529	712,824	3,2953	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	8.188,25	
59	39,46	710,701	713,106	2,4047	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	5.975,23	
60	83,5	711,725	713,867	2,1425	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	5.323,55	
61	77,78	711,434	712,498	1,0643	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	2.644,49	
62	92,14	709,576	711,300	1,7245	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	4.284,99	
63	54,24	710,409	711,533	1,1241	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	2.793,11	
64	59	710,138	710,884	0,7463	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	1.854,34	
65	75,09	710,596	710,847	0,2510	ZEIS-1	54	131,04	2.353,75	1	2.484,79	623,78	
<b>TOTAL</b>										<b>327.611,21</b>		

Fonte: Autora (2025)