



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

**SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA A GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CERCADINHO**

Douglas Brunelli Andrade Chagas

Belo Horizonte
2025

Douglas Brunelli Andrade Chagas

**SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA A GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CERCADINHO**

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito para
obtenção do título de Engenheiro Ambiental e
Sanitarista.

Orientador: Profa. Dra. Luciana Peixoto Amaral.
Coorientador: Prof. Dr. Clayton Ângelo Silva Costa.

Belo Horizonte
2025

25/07/2025, 13:12

sig.cefetmg.br/sipac/protocolo/documento/documento_visualizacao.jsf?imprimir=true&idDoc=1623917



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS
GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL - NS



FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC Nº 9 / 2025 - DCTA (11.55.03)

Nº do Protocolo: 23062.038912/2025-91

Belo Horizonte-MG, 22 de julho de 2025.

FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC

DOUGLAS BRUNELLI ANDRADE CHAGAS

SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA A GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA BACIA DO CERCADINHO

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 16 de julho de 2025.

Banca examinadora:

Luciana Peixoto Amaral – Presidente da Banca Examinadora

Prof^a. Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais –
Orientadora

Clayton Ângelo Silva Costa

Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais –
Coorientador

Líliã Maria de Oliveira

Prof^a. Dra. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais –
CEFET/MG

Vandeir Robson da Silva Matias

Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais –
CEFET/MG

(Assinado digitalmente em 23/07/2025 09:08)
CLAYTON ANGELO SILVA COSTA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DGEO (11.55.13)
Matrícula: 2766130

(Assinado digitalmente em 22/07/2025 19:15)
LÍLIA MARIA DE OLIVEIRA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCTA (11.55.03)
Matrícula: 1815815

(Assinado digitalmente em 22/07/2025 17:35)
LUCIANA PEIXOTO AMARAL
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCTA (11.55.03)
Matrícula: 1808233

(Assinado digitalmente em 22/07/2025 18:09)
VANDEIR ROBSON DA SILVA MATIAS
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DGEO (11.55.13)
Matrícula: 1565121

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **9**, ano: **2025**, tipo: **FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC**, data de emissão:
22/07/2025 e o código de verificação: **18bffff534**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, pela oportunidade e privilégio de estar cursando uma faculdade;

Aos meus pais, Ronaldo e Juliana, pela minha criação como pessoa e por não medirem esforços para me garantir um futuro melhor;

À minha irmã Larissa, pela parceria ao longo dos anos de faculdade;

A todos meus familiares, por também contribuírem para minha formação pessoal;

À minha namorada Esther, por todo amor, companheirismo e ajuda nos momentos bons e ruins;

A todos meus amigos, pelas dicas, conversas e trabalhos realizados em conjunto durante o curso;

Aos professores que me orientaram durante a elaboração deste Trabalho de Conclusão de Curso, Luciana e Clayton, pela dedicação e paciência;

Por fim, ao CEFET-MG e aos professores do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, em especial ao professor Carlos Wagner, pelo aprendizado e contribuição na minha formação acadêmica.

RESUMO

CHAGAS, DOUGLAS. **Soluções Baseadas na Natureza para a Gestão de Águas Pluviais na Bacia Hidrográfica do Córrego Cercadinho**. 2025. 64 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

As inundações urbanas representam um dos desafios mais críticos da atualidade, agravados pelo aumento da impermeabilização do solo e pelas mudanças climáticas. Em Belo Horizonte, a bacia do Córrego Cercadinho enfrenta problemas recorrentes de inundações devido ao alto índice de urbanização e à insuficiência das infraestruturas convencionais de drenagem. Diante desse cenário, este estudo propõe a aplicação de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) – jardins de chuva e telhados verdes – como alternativas para a gestão sustentável das águas pluviais. A pesquisa se propõe a estimar as áreas necessárias SbN como jardins de chuva e telhados verdes com o objetivo de reduzir a vazão de pico e mitigar os efeitos das inundações. Além dos benefícios hidrológicos, o estudo destaca impactos ambientais e sociais positivos, incluindo a melhoria da qualidade da água, o aumento da biodiversidade e a criação de áreas verdes. Os resultados indicaram que, considerando uma chuva de 45,3 mm e uma área de contribuição de 4,45 km², seriam necessários alcançar 24% e 28% da área de contribuição com jardins de chuva e telhados verdes implantados, respectivamente, para reter todo o volume de chuva precipitado pela chuva de projeto. O estudo concluiu que apesar dos benefícios associados às SbN, é importante reconhecer que sua aplicação isolada apresenta limitações, principalmente em áreas urbanas consolidadas, tornando necessária a adoção integrada de múltiplas estratégias, em conjunto com políticas de incentivo e ampliação da infraestrutura verde no ambiente urbano.

Palavras-chaves: Infraestrutura verde. Drenagem urbana. Controle de inundações.

ABSTRACT

CHAGAS, DOUGLAS. **Nature-Based Solutions for Stormwater Management in the Cercadinho Stream Watershed**. 2025. 64 pages. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2025.

Urban flooding is one of the most critical challenges of our time, exacerbated by increasing soil impermeabilization and climate change. In Belo Horizonte, the Córrego Cercadinho basin faces recurrent flooding problems due to high urbanization rates and the inadequacy of conventional drainage infrastructure. Given this scenario, this study proposes the application of Nature-based Solutions (NbS) — rain gardens and green roofs — as alternatives for sustainable stormwater management. The research aims to estimate the necessary areas for NbS, such as rain gardens and green roofs, with the objective of reducing peak flow and mitigating the effects of floods. In addition to the hydrological benefits, the study highlights positive environmental and social impacts, including improved water quality, increased biodiversity, and the creation of green areas. The results indicated that, considering a rainfall of 45.3 mm and a contributing area of 4.45 km², it would be necessary to cover 24% and 28% of the contributing area with implemented rain gardens and green roofs, respectively, to retain all the rainwater precipitated by the design storm. The study concluded that despite the benefits associated with NbS, it is important to recognize that their isolated application has limitations, especially in consolidated urban areas, making it necessary to adopt multiple integrated strategies, in conjunction with incentive policies and the expansion of green infrastructure in the urban environment.

Keywords: Green infrastructure. Urban drainage. Flood control.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	Inundações, enchentes e alagamentos	16
3.2	Drenagem urbana	16
3.1.1	Drenagem urbana em Belo Horizonte	17
3.3	Soluções Baseadas na Natureza	18
3.2.1	SbN Estruturais e Não Estruturais	21
3.2.2	Jardins de chuva	23
3.2.3	Telhados Verdes	26
3.2.4	Desafios para a Implementação das SbN	28
3.4	Contexto das Soluções Baseadas na Natureza no Brasil e na cidade de Belo Horizonte	29
3.5	Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte	30
3.6	Políticas públicas ambientais de Belo Horizonte relacionadas a Soluções Baseadas na Natureza	31
4	METODOLOGIA	35
4.1	Área de estudo: bacia do Córrego do Cercadinho.....	36
4.2	Escolha de SbN e suas áreas de implementação.....	40
4.3	Método de Determinação da Vazão de Projeto.....	41
4.4	Estimativa dos Telhados Verdes e Jardins de Chuva.....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1	Identificação da área de maior risco de inundação	45
5.2	Delimitação da Área de Contribuição.....	46
5.3	Estimativa da Chuva de Projeto.....	48
5.3.1	Declividade da sub-bacia de contribuição	48
5.3.2	Tempo de concentração e de retardo	49

5.3.3	Curve Number (CN)	49
5.3.4	Intensidade de Chuva.....	51
5.3.5	Precipitação Efetiva.....	51
5.3.6	Tempo ao Pico, Vazão de Pico e Duração Total	51
5.3.7	Hidrograma Unitário Sintético Triangular	51
5.4	Estimativa da área de jardins de chuva e telhados verdes.....	53
5.4.1	Estimativa da área de telhados verdes	53
5.4.2	Estimativa da área de jardins de chuva.....	55
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FUTURAS	57
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Tipos de Soluções Baseadas na Natureza.	21
Figura 3.2 - Configuração típica de um jardim de chuva	24
Figura 3.3 - Configuração típica do telhado verde.	26
Figura 3.4 - Jardim de chuva implantado no ano de 2023 na Rua Cel. Emílio Martins, no bairro Santa Amélia.	32
Figura 3.5 - Jardins de Chuva no bairro Itapoã - Belo Horizonte.	33
Figura 4.1 - Fluxograma das etapas da pesquisa.	35
Figura 4.2 - Mapa de localização da bacia do córrego Cercadinho.....	36
Figura 4.3 - Bacia Hidrográfica do Córrego Cercadinho.	38
Figura 4.4 - Localização das unidades de conservação da bacia do Córrego Cercadinho.	40
Figura 5.1 – Área de maior risco de inundações.	45
Figura 5.2 - Identificação do ponto de exutório da área de contribuição.	46
Figura 5.3 - Área de Contribuição.....	48
Figura 5.6 - Curve Number da bacia hidrográfica do Córrego Cercadinho.	50
Figura 5.7 - Legenda da Figura 5.6.	50
Figura 5.8 - Hidrograma Unitário Sintético Triangular da bacia de contribuição.....	52

1 INTRODUÇÃO

As inundações urbanas representam um dos desafios mais urgentes e complexos enfrentados pelas cidades no século XXI, principalmente em meio ao cenário de rápida expansão urbana e eventos climáticos extremos. Esses eventos, que têm se tornado mais frequentes e intensos devido às mudanças climáticas globais, são amplamente documentados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). O aumento das temperaturas médias do planeta tem intensificado as chuvas fortes em várias regiões, especialmente em áreas urbanizadas, criando a necessidade de ações globais, regionais e locais para adaptação a esta nova realidade (IPCC, 2023).

No contexto das cidades, a urbanização desordenada tem agravado significativamente os efeitos das inundações. A substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis, como asfalto e concreto, compromete a capacidade natural de infiltração da água no solo, aumentando o escoamento superficial. Esse processo não apenas intensifica o volume e a velocidade das águas da chuva, mas também sobrecarrega os sistemas de drenagem, contribuindo para inundações e alagamentos frequentes (RIGUETTO, MOREIRA E SALES, 2009). Estes problemas relacionados à drenagem das águas no tecido urbano são potencializados por políticas públicas inexistentes ou superficiais que envolvam o planejamento urbano direcionado ao gerenciamento das inundações (TUCCI, 2004).

Os impactos das inundações transcendem os prejuízos materiais. Eles têm implicações diretas na saúde pública, ao aumentar a incidência de doenças de veiculação hídrica, como leptospirose e dengue. As inundações, também, agravam as desigualdades sociais, uma vez que as populações em situação de vulnerabilidade frequentemente sofrem mais com a destruição de infraestrutura precária e com o acesso limitado a recursos para o planejamento ambiental e urbano dessas áreas. Por mais que a Lei nº 11.445/2007 (Lei do Saneamento Básico) sinaliza a necessidade de infraestrutura de drenagem eficiente e o manejo adequado das águas pluviais para proteger a saúde pública, a gestão das águas pluviais no Brasil, em sua maioria, ainda apresenta muitas deficiências (SANTOS E SOARES, 2025).

Do ponto de vista ambiental, o aumento do escoamento superficial reduz a recarga dos aquíferos e acelera processos de erosão e sedimentação, comprometendo a sustentabilidade dos sistemas

hídricos urbanos. Santos e Soares (2025) defendem um planejamento urbano integrado que considere os desafios relativos à drenagem e inundações no tecido urbano, respeitando os componentes da natureza que integram a paisagem urbana. Diante desses desafios, as Soluções Baseadas na Natureza (SbN) têm sido reconhecidas como alternativas eficazes para a gestão das águas pluviais, por integrarem a conservação e o uso sustentável dos ecossistemas na resolução de problemas sociais, políticos, econômicos e ambientais. Além disso, promovem benefícios múltiplos, como o bem-estar humano, a resiliência urbana e a valorização da biodiversidade (UNEA, 2022).

A adoção dessas práticas tem sido incentivada globalmente como parte dos compromissos com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com foco em aliar benefícios ambientais, sociais e econômicos. No âmbito ambiental, as SbN estão alinhadas ao ODS 6, que busca assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água, e ao ODS 13, que trata da mitigação e adaptação às mudanças climáticas. No contexto social, essas soluções promovem maior equidade ao revitalizar áreas degradadas e criar espaços verdes acessíveis, contribuindo para o ODS 11, que visa tornar as cidades mais inclusivas, seguras e resilientes. Envolver a participação e o engajamento de governos, empresas e população quanto a construção de políticas públicas, que considerem as situações socioambientais à luz dos ODS, pode contribuir para um planejamento urbano alinhado a denominação cidades sustentáveis (DE JESUS E SILVA, 2024).

No aspecto econômico, as SbN reduzem custos associados à infraestrutura cinza tradicional e fortalecem a economia local (EMBRAPA, 2024c), por meio da geração de empregos relacionados à implementação e manutenção dessas práticas. Dessa forma, a integração de SbN em projetos urbanos alinhados com o planejamento ambiental e urbano, como no caso da bacia do córrego Cercadinho, localizado na região oeste de Belo Horizonte, apresenta-se como uma estratégia viável para alcançar metas globais e atender às demandas locais de maneira sustentável. Torna-se necessário pensar em um planejamento ambiental e urbano que priorize a reintegração dos elementos da natureza no território da cidade aliados a captação de recursos econômicos (POMBO E JACOBI, 2024).

Portanto, de forma resumida, as SBN são medidas que visam utilizar ou replicar processos já presentes na natureza para promover intervenções urbanas mais sustentáveis. Ao invés de

utilizar somente a infraestrutura cinza, como canalização em concreto e reservatórios artificiais, as SbN propõem sistemas verdes, como biorretenção, jardins de chuva, telhados verdes e pavimentos permeáveis. Essas soluções se destacam por promoverem múltiplos benefícios, como a ampliação de áreas verdes, a melhora da biodiversidade e a regulação do microclima urbano. Em cidades como Portland, dos Estados Unidos, e Copenhague, da Dinamarca, as SbN já demonstraram sua eficácia, reduzindo enchentes e criando espaços urbanos mais resilientes e habitáveis.

Belo Horizonte enfrenta desafios significativos na gestão de águas pluviais, especialmente na bacia do córrego Cercadinho. Com uma área já impactada por cerca de 60% de urbanização, segundo dados da Prefeitura de Belo Horizonte, o córrego sofre com a impermeabilização excessiva do solo, que agrava os riscos de inundações e compromete a qualidade da água. Recentemente, uma proposta de construção de bacia de contenção na bacia do Córrego Cercadinho, gerou debates sobre os impactos socioambientais dessas intervenções, destacando a necessidade de explorar alternativas mais sustentáveis.

Esta proposta de bacia de contenção teve divulgação em audiência pública da Comissão de Administração Pública da Assembleia Legislativa de Minas Gerais (ALMG), na manhã do dia 03/10/23, em que foi apresentado à população um possível projeto de construção de uma grande bacia de contenção no Córrego Cercadinho, que é considerado uma área de preservação ambiental, mais precisamente nas imediações dos bairros Estoril, Estrela Dalva e Havaí, na região oeste de Belo Horizonte.

A problemática gerada pelo anúncio deste plano de projeto é a intervenção rápida e abrupta, de infraestrutura cinza, sem maiores esclarecimentos sobre detalhes do projeto. Por este motivo, os moradores da região do Córrego Cercadinho levantam preocupações e se posicionam contra esta medida, pelo fato de que a construção desta bacia levaria a mais supressão vegetal na área que já sofre com a expansão da mancha urbana, bem como ao reassentamento de moradores.

Como desdobramento da audiência pública, a Comissão de Administração Pública da Assembleia Legislativa de Minas Gerais (ALMG) emitiu diversos requerimentos solicitando esclarecimentos às Secretarias Municipais de Belo Horizonte, especialmente à Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura (SMOBI) e à Secretaria Municipal de Meio Ambiente

(SMMA). Os documentos requisitam informações detalhadas sobre: a) a delimitação da área de impacto do projeto; b) a possibilidade de aumento de vetores transmissores de doenças como dengue, chikungunya e zika em decorrência da obra; c) a forma como será realizada a retirada dos resíduos acumulados na bacia; d) o planejamento para o reassentamento dos moradores atualmente residentes na área prevista para a construção; e) o raio de abrangência das desapropriações; e f) a realização de visitas técnicas ao local. Dentre esses pedidos, destaca-se o Requerimento de Comissão nº 4572/2023, que contribuiu diretamente para a motivação da presente pesquisa, em que consta:

“Requer que seja encaminhado ao secretário municipal de Obras de Belo Horizonte pedido de informações sobre estudos de eficácia das bacias de contenção de cheias já existentes na cidade de Belo Horizonte; a existência de alternativas para solução do problema de drenagem pluvial das cidades, como jardins de chuvas; e a previsão de obras de reassentamento em unidades habitacionais para a comunidade ribeirinha, que será removida no caso de construção das bacias de contenção no Córrego Cercadinho.”

Nesse sentido, Deltreggia e Souza (2023) alertam que “continuar investindo na construção de dispositivos de contenção não solucionará a causa das inundações, que é a impermeabilização do solo”. As autoras afirmam que ampliar a permeabilidade do solo na área da bacia é de fundamental importância para a contenção das inundações. Isso reforça a necessidade de priorizar soluções que promovam a infiltração e a recuperação do ciclo hidrológico natural, como as Soluções Baseadas na Natureza. Em vez de ampliar estruturas de contenção com elevado impacto socioambiental, estratégias como vegetação difusa, jardins de chuva e áreas verdes urbanas podem oferecer benefícios múltiplos, atuando não apenas no controle da vazão, mas também na valorização ambiental e no bem-estar comunitário.

Diante desse cenário, este estudo busca avaliar o potencial das Soluções Baseadas na Natureza como ferramentas eficazes e viáveis para mitigar os problemas de gestão das águas pluviais na bacia do córrego Cercadinho. A proposta é investigar intervenções que vão além da contenção de inundações, incluindo benefícios ecológicos, como o aumento da biodiversidade e a melhora da qualidade da água, e vantagens sociais, como a criação de áreas verdes que promovam lazer e bem-estar para a comunidade local.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Propor Soluções Baseadas na Natureza (SbN) que minimizem os eventos de inundação no córrego Cercadinho, localizado na Região Oeste da cidade de Belo Horizonte - MG.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a área de estudo, com foco na identificação dos locais com maior risco de inundações;
- Delimitar a sub-bacia hidrográfica que contribui diretamente para a área crítica de inundação;
- Estimar o volume de escoamento superficial gerado pela chuva de projeto;
- Propor soluções baseadas na natureza (SbN) e avaliar sua viabilidade quanto à área necessária de implantação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Inundações, enchentes e alagamentos

No contexto da drenagem urbana e dos eventos hidrológicos extremos, é importante distinguir os termos frequentemente usados de forma intercambiável: inundação, alagamento e enchente, embora apresentem diferenças conceituais importantes.

Santos e Carvalho (2021) definem estes três conceitos da seguinte forma: inundação refere-se ao transbordamento de corpos hídricos naturais, como rios e córregos, que extravasam suas margens e ocupam áreas adjacentes, geralmente em razão de chuvas intensas e contínuas. Esse fenômeno está diretamente ligado ao comportamento das bacias hidrográficas e ao aumento da vazão dos cursos d'água. Enchente, por sua vez, é o processo natural e cíclico de elevação do nível de um rio ou córrego, podendo ou não causar danos, desde que não ultrapasse os limites da calha principal. Ou seja, toda inundação é precedida por uma enchente, mas nem toda enchente resulta em uma inundação. Já o alagamento é um fenômeno tipicamente urbano, de curta duração, geralmente causado pela sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana e sem necessariamente haver extravasamento de cursos d'água.

Neste trabalho, o foco será sobre as inundações urbanas para estudo dos efeitos do extravasamento do curso d'água da bacia do Córrego Cercadinho.

3.2 Drenagem urbana

A drenagem urbana consiste no conjunto de medidas e infraestruturas destinadas a captar e conduzir as águas provenientes das chuvas nas áreas urbanizadas, com o objetivo de minimizar os riscos de inundações e os impactos negativos sobre o ambiente e a infraestrutura urbana. Com a intensificação da urbanização, o aumento das superfícies impermeáveis, como pavimentos e telhados, compromete significativamente a capacidade natural de infiltração da água no solo, resultando no aumento do escoamento superficial e da vazão de pico em eventos chuvosos (BAPTISTA, 2005).

Historicamente, os sistemas de drenagem urbana no Brasil basearam-se em soluções convencionais, também chamadas de infraestrutura cinza, que priorizam a rápida condução da água por meio de galerias pluviais e canais artificiais. Segundo Noleto e Rodrigues (2024, p.

3), os sistemas tradicionais de drenagem urbana foram projetados principalmente para controlar e escoar rapidamente a água das chuvas, a fim de minimizar os efeitos das inundações. No entanto, de acordo com Riguetto, Moreira e Sales (2009), essa abordagem convencional tem se mostrado ineficaz para resolver a maior parte dos problemas relacionados à drenagem nas cidades brasileiras, devido à complexidade dos desafios atuais, como o aumento dos eventos climáticos extremos e a degradação ambiental associada. Além disso, a drenagem tradicional frequentemente desconsidera aspectos ecológicos e sociais, como a recarga de aquíferos, a melhoria da qualidade da água e a integração de espaços verdes nas cidades (SILVÉRIO, SALAS E REIS, 2024).

Diante da ineficiência dos sistemas convencionais de drenagem urbana - que priorizavam o rápido escoamento das águas pluviais - surgiu a drenagem compensatória como alternativa sustentável. Segundo Noleto e Rodrigues (2024, p. 8), essa abordagem busca compensar os impactos da impermeabilização do solo urbano através de três mecanismos principais: (1) incremento da infiltração da água no subsolo, (2) redução da velocidade de escoamento superficial e (3) estímulo aos processos de evapotranspiração. Diferentemente da drenagem tradicional, que simplesmente remove a água, essa solução integrada procura replicar o ciclo hidrológico natural, mitigando não apenas os riscos de inundações, mas também promovendo a recarga de aquíferos e a melhoria microclimática nas cidades. Essa mudança paradigmática reflete a necessidade de superar a visão convencional que durante décadas orientou o manejo das águas pluviais no Brasil. Como afirma Baptista (2018, p. 47), 'a drenagem sustentável representa uma ruptura com o modelo convencional, transformando o problema das águas pluviais em oportunidade para requalificação ambiental urbana através da reprodução dos processos naturais do ciclo hidrológico'.

3.1.1 Drenagem urbana em Belo Horizonte

A cidade de Belo Horizonte enfrenta desafios significativos relacionados à drenagem urbana, muitos dos quais são consequência direta do crescimento desordenado e da urbanização acelerada nas últimas décadas. Segundo a Prefeitura de Belo Horizonte (2008), grande parte da infraestrutura de drenagem do município é antiga e apresenta limitações diante da demanda atual. A intensa impermeabilização do solo, especialmente em áreas densamente construídas, reduz a capacidade de infiltração e aumenta o escoamento superficial, contribuindo para a

ocorrência frequente de inundações e alagamentos em diversos pontos da cidade (SANTOS, 2025).

Além disso, como apontado no Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte (2022b), os sistemas de drenagem foram concebidos com base em parâmetros técnicos que hoje se mostram defasados diante das mudanças no padrão de uso e ocupação do solo, bem como das alterações climáticas que intensificam os eventos extremos de precipitação. A bacia do córrego do Cercadinho é um exemplo desse cenário, uma vez que mais de 60% de sua área encontra-se consolidada, o que agrava os problemas de escoamento e aumenta os riscos de inundações.

A cidade tem buscado incorporar soluções mais sustentáveis e inovadoras para lidar com esses desafios, incluindo medidas de infraestrutura verde e práticas de gestão integrada das águas pluviais. No entanto, essas iniciativas ainda carecem de maior integração com o planejamento urbano e de políticas públicas que incentivem a adoção ampla de Soluções Baseadas na Natureza, especialmente em áreas críticas como a bacia do Cercadinho.

Em Belo Horizonte, por exemplo, a impermeabilização progressiva do solo, aliada à obsolescência de parte da rede de drenagem, tem contribuído para inundações recorrentes em diversas regiões, como a bacia do córrego do Cercadinho. A ênfase exclusiva em soluções baseadas em infraestrutura cinza mostra-se insuficiente para lidar com a complexidade do escoamento urbano e as demandas por sustentabilidade e resiliência urbana (LIMA, 2022).

Diante desse cenário, fica evidente a necessidade urgente de repensar o modelo de drenagem adotado, integrando estratégias que valorizem a retenção, infiltração e o reaproveitamento da água de chuva, conforme princípios de gestão ambientalmente orientada e de adaptação às mudanças climáticas.

3.3 Soluções Baseadas na Natureza

O conceito de Soluções Baseadas na Natureza ganhou relevância no contexto global devido à necessidade crescente de soluções sustentáveis para a adaptação às mudanças climáticas. Além da regulação hídrica (controle de enchentes), as SbN proporcionam diversos outros benefícios, como: (1) melhoria da qualidade da água através da filtragem natural de sedimentos e poluentes; (2) regulação microclimática com redução de 2-5°C em ilhas de calor; (3) incremento da

biodiversidade urbana; (4) sequestro de carbono; e (5) benefícios sociais como valorização de áreas públicas e melhoria do bem-estar psicofísico da população (UNEP, 2022; WRI BRASIL, 2024; WHO, 2023).

Existem diversas definições criadas para o termo Soluções Baseadas na Natureza (SbN), porém as duas principais mencionadas em artigos atualmente são as definições dadas pela União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) e pela União Europeia. No **Quadro 3.1** são apresentados, de forma resumida, os conceitos principais e áreas estratégicas para a implementação de SbN.

Quadro 3.1 - Definições de Soluções Baseadas na Natureza e áreas estratégicas.

	União Internacional para a Conservação da Natureza	União Europeia
Definição de Soluções baseadas na Natureza (SbN)	“Ações para proteger, gerir e restaurar de forma sustentável ecossistemas naturais ou modificados que abordem os desafios da sociedade de forma eficaz e adaptativa, proporcionando simultaneamente benefícios para o bem-estar humano e a biodiversidade” (COHEN-SHACHAM, 2016, p. 2)	“Ações inspiradas, apoiadas ou copiadas da natureza. Têm potencial para serem eficientes em termos de recursos e energia, e resilientes à mudança, porém, para serem bem-sucedidas devem ser adaptadas às condições locais. Muitas Soluções baseadas na Natureza resultam em múltiplos cobenefícios para a saúde, a economia, a sociedade e o meio ambiente e, portanto, podem representar soluções mais eficientes e economicamente viáveis do que as abordagens tradicionais”. (EC, 2015, p. 2)
Áreas estratégicas para intervenções com SbN	1. Segurança hídrica 2. Segurança alimentar 3. Saúde pública 4. Redução de riscos de desastres 5. Mudanças climáticas (COHEN-SHACHAM, 2016)	1. Urbanização sustentável 2. Recuperação de ecossistemas degradados 3. Adaptação e mitigação frente às mudanças climáticas 4. Gerenciamento de riscos e resiliência (EC, 2015)

Fonte: Fraga et al. (2020, p. 75).

Cohen-Shacham et al. (2016) define um conjunto de princípios a serem considerados em paralelo com a definição, para uma compreensão maior das SbN. Os oito princípios propostos para as SbN estão dispostos no **Quadro 3.2**.

Quadro 3.2 - Princípios das Soluções Baseadas na Natureza (SbN)

Nº	Princípio das SbN
1	Adotam normas e princípios de conservação da natureza.
2	Podem ser implementadas isoladamente ou de forma integrada com outras soluções para os desafios sociais (por exemplo, soluções tecnológicas e de engenharia).
3	São determinadas pelos contextos naturais e culturais específicos do local, incluindo saberes tradicionais, locais e científicos.
4	Geram benefícios sociais de forma justa e equitativa, promovendo a transparência e a ampla participação.
5	Mantêm a diversidade biológica e cultural, bem como a capacidade dos ecossistemas de evoluírem ao longo do tempo.
6	São aplicadas em escala de paisagem (ecológica e territorial).
7	Reconhecem e abordam os trade-offs entre a obtenção de benefícios econômicos imediatos e as opções futuras de produção da gama completa de serviços ecossistêmicos.
8	Fazem parte integrante do desenho de políticas, medidas ou ações, voltadas para enfrentar um desafio específico.

Fonte: Adaptado de Cohen-Shacham et al. (2016).

Com base nas definições dadas e os princípios propostos, pode-se realizar uma análise crítica das diversas conceituações de SbN propostas por autores como Cohen-Shacham et al. (2016), WRI Brasil (2024) e Falcone et al. (2024) que permite sintetizá-las como abordagens inovadoras que integram três dimensões fundamentais:

1. ambiental, ao utilizar ou reproduzir processos ecossistêmicos;
2. social, ao promover equidade e qualidade de vida urbana;
3. econômica, ao oferecer alternativas de custo-benefício superiores às infraestruturas convencionais.

Ao compreender todas estas dimensões das SbN, podemos identificar que o que diferencia radicalmente essas soluções do paradigma tradicional de urbanização é sua capacidade de transformar desafios em oportunidades. Onde a infraestrutura cinza vê apenas problemas a serem contidos, as SbN propõem a recriação de ciclos naturais. Essa mudança de perspectiva, que substitui a lógica da contenção pela da integração com os processos naturais, representa justamente o potencial transformador das SbN para cidades em contextos de mudanças climáticas e crise hídrica. A **Figura 3.1** apresenta de forma didática os tipos de SbN existentes.

Figura 3.1 - Tipos de Soluções Baseadas na Natureza.



Fonte: ONU-Habitat Brasil, 2025.

3.2.1 *SbN Estruturais e Não Estruturais*

As SbN compreendem um espectro de intervenções que podem ser categorizadas em estruturais e não estruturais, conforme proposto por Cohen-Shacham et al. (2016). Esta distinção é fundamental para compreender como diferentes abordagens podem ser aplicadas em contextos urbanos, onde os desafios de gestão de águas pluviais exigem respostas multifacetadas.

SbN estruturais caracterizam-se por intervenções físicas que incorporam elementos naturais na infraestrutura urbana, criando sistemas híbridos que replicam processos ecológicos. Como destacam Baptista, Nascimento e Barraud (2015), estas soluções são particularmente relevantes em áreas intensamente urbanizadas, onde a impermeabilização do solo atingiu níveis críticos. No contexto do Córrego Cercadinho, onde cerca de 60% da bacia já se encontra urbanizada (PBH, 2023), intervenções como pavimentos permeáveis, telhados verdes e sistemas de biorretenção emergem como alternativas viáveis. A eficácia dessas medidas é comprovada por estudos como o da WRI Brasil (2024), que demonstram reduções de até 50% no escoamento superficial quando implementadas em escala adequada. Particularmente relevantes são os jardins de chuva, já testados com sucesso em Belo Horizonte na Sub-Bacia do Córrego do Nado - área com características similares ao Cercadinho, onde 64 unidades implantadas pela Prefeitura contribuíram para a redução dos inundações em 40% (PBH, 2023).

Por outro lado, as SbN não estruturais referem-se a instrumentos de planejamento, gestão e políticas públicas que visam proteger ou restaurar processos naturais. Conforme argumenta Marques *et al.* (2021), estas abordagens são especialmente importantes na preservação de ecossistemas remanescentes e na regulação do uso do solo. No caso do Córrego Cercadinho, medidas como a criação de unidades de conservação para proteção das nascentes, a implementação de programas de educação ambiental e a adoção de instrumentos legais para gestão de áreas de preservação permanente representam estratégias complementares às intervenções físicas. Dinotte (2020) ressalta que a proteção das áreas de nascente nesta bacia poderia reduzir em 20% a carga de sedimentos, melhorando significativamente a qualidade da água. Contudo, como observado por Falcone *et al.* (2024), a eficácia dessas medidas depende fortemente de continuidade política e capacidade de fiscalização, desafios particularmente agudos em contextos de rápida urbanização.

A aplicação combinada de ambas as abordagens estruturais e não-estruturais se mostra promissora para a bacia do Córrego Cercadinho. Enquanto as SbN estruturais oferecem respostas imediatas para os problemas de drenagem em áreas já consolidadas, as não estruturais podem prevenir a deterioração das condições atuais através da proteção dos fragmentos naturais remanescentes. A experiência do Parque Linear do Córrego Jaguaré em São Paulo (EMBRAPA, 2024a) demonstra que mesmo em bacias altamente urbanizadas, a combinação estratégica dessas abordagens pode reduzir significativamente os impactos das inundações. No contexto

belo-horizontino, a "Nova Agenda Verde" (PBH et al., 2023), aponta que persistem desafios importantes na coordenação entre diferentes setores da administração pública.

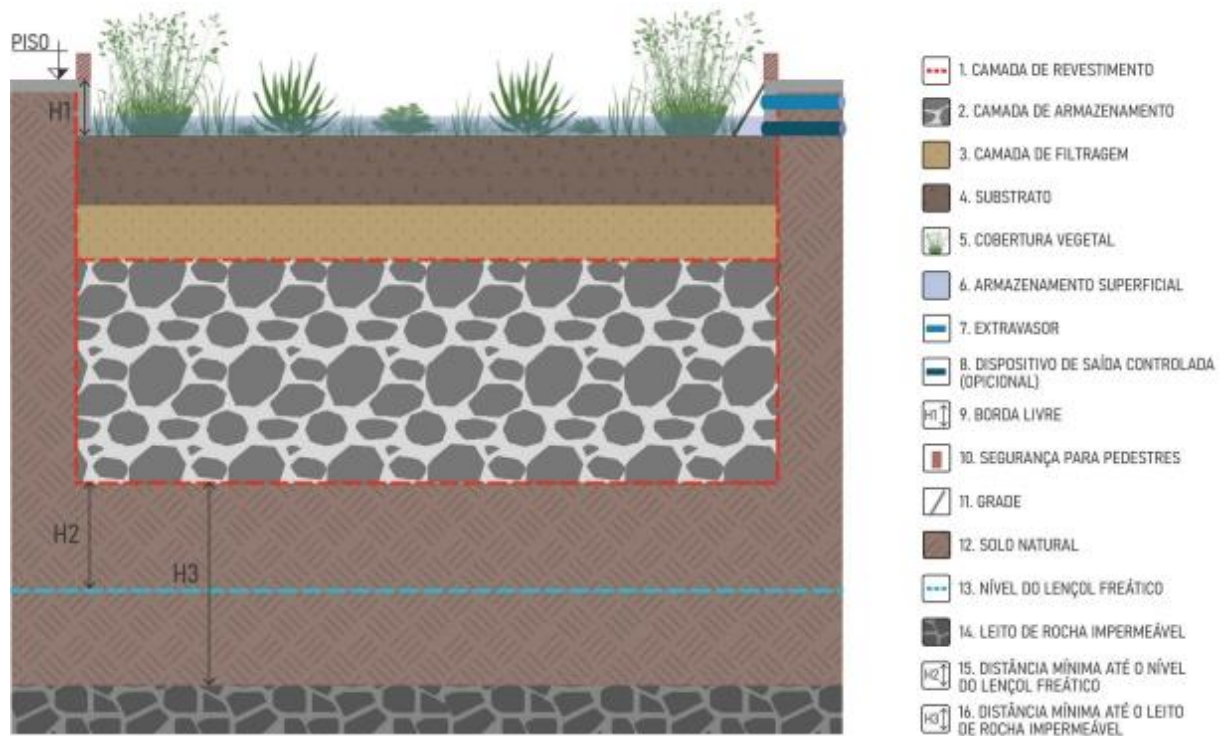
A seleção entre abordagens estruturais ou não estruturais deve considerar não apenas a eficácia técnica, mas também fatores sociais e econômicos. Como observado no Requerimento de Comissão nº 4572/2023 da ALMG, a aceitação pelas comunidades locais e os custos de implantação e manutenção são determinantes cruciais para o sucesso de qualquer intervenção. Neste sentido, o caso do Córrego Cercadinho ilustra claramente a necessidade de soluções adaptadas às condições específicas de cada trecho da bacia, combinando o potencial das SbN estruturais nas áreas mais densamente ocupadas com as ações não estruturais de proteção dos fragmentos naturais remanescentes, como é o caso das unidades de conservação já criadas. O presente estudo irá focar na proposição de medidas estruturais de SbN que aplaquem os desafios da gestão de águas pluviais no Córrego Cercadinho.

Segundo o estudo sobre o setor de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no Brasil (GO Associados, 2025), “soluções baseadas na natureza, como jardins de chuva, valas de infiltração, telhados verdes e pavimentos permeáveis, são projetadas para infiltrar a água no solo, reduzindo o escoamento superficial e aumentando a recarga de aquíferos”. O estudo também destaca que além de sua função hidrológica, telhados verdes e jardins de chuva melhoram o microclima urbano, aumentam a biodiversidade local, reduzem o efeito de ilhas de calor e contribuem para a adaptação às mudanças climáticas.

3.2.2 Jardins de chuva

Os jardins de chuva constituem uma técnica de controle na fonte baseada na infiltração e na biorretenção das águas pluviais, especialmente eficazes em áreas urbanas densamente impermeabilizadas. São estruturas projetadas como depressões rasas no solo, preenchidas com substratos vegetais e materiais drenantes, capazes de receber o escoamento superficial das chuvas, promovendo sua infiltração e retardando o fluxo que seria lançado diretamente no sistema de drenagem urbana (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015). Na **Figura 3.2** é apresentada a configuração típica de um jardim de chuva.

Figura 3.2 - Configuração típica de um jardim de chuva



Fonte: PBH, 2022.

Como observado na imagem, obtida do documento técnico da Prefeitura de Belo Horizonte (2022a), o jardim de chuva é composto por uma sequência de camadas funcionais que atuam de forma integrada no controle do escoamento superficial. A cobertura vegetal, posicionada na superfície, desempenha papel importante na interceptação da chuva, contribuindo para a evapotranspiração e a estabilização do substrato. Abaixo dela, encontra-se o substrato propriamente dito, responsável por sustentar a vegetação e iniciar o processo de infiltração da água. Em seguida, está a camada de filtragem, geralmente constituída por areia, cuja função é reter partículas sólidas e evitar o entupimento das camadas inferiores. Logo abaixo, localiza-se a camada de armazenamento, composta por material granular com elevada porosidade (como brita), que possibilita o acúmulo temporário da água infiltrada, promovendo o amortecimento da vazão e o prolongamento do tempo de retenção.

A base dessa estrutura pode ainda conter uma segunda camada de armazenamento superficial e, eventualmente, um extravasor conectado ao sistema de drenagem pluvial para escoar o excedente em eventos extremos. Em alguns casos, é instalado um dispositivo de saída controlada com orifício de descarga, permitindo o esvaziamento gradual do volume retido. O

fundo do jardim deve estar em contato com o solo natural e respeitar a distância mínima em relação ao nível do lençol freático e ao topo do aquífero, de modo a garantir a eficiência do sistema e evitar a saturação do terreno. A borda livre, a grade de proteção e os elementos de segurança para pedestres completam a estrutura, assegurando a integração segura e funcional da solução no espaço urbano.

A escolha das espécies vegetais que compõem a cobertura do jardim de chuva deve considerar sua resistência a condições de alagamento temporário e também a períodos de estiagem, visto que essas estruturas estão sujeitas à alternância entre saturação hídrica e secas prolongadas. Dessa forma, recomenda-se o uso de plantas nativas ou adaptadas ao clima local, com sistemas radiculares bem desenvolvidos, capazes de contribuir para a infiltração da água, a estabilidade do substrato e a melhoria da qualidade do escoamento. Espécies herbáceas, gramíneas, arbustos de pequeno porte e plantas ornamentais com boa tolerância à umidade variável são preferenciais, desde que não apresentem risco de invasividade. A diversidade vegetal também favorece a criação de micro-habitats e a valorização paisagística da área urbana.

Em Belo Horizonte, a aplicação dessa técnica tem mostrado resultados significativos, como observado na Sub-Bacia do Córrego do Nado, onde a implantação de dezenas de jardins de chuva contribuiu para a redução das inundações em até 40%, segundo dados da Prefeitura (PBH, 2023). Essas experiências demonstram o potencial de replicação da técnica em outras bacias hidrográficas urbanas, como a do Córrego Cercadinho, que apresenta características similares de urbanização intensa e déficit de áreas permeáveis.

De acordo com a Instrução Técnica da PBH (2022a), os jardins de chuva devem ser implantados preferencialmente próximos às áreas de contribuição direta, como calçadas, estacionamentos ou telhados, e devem ser dimensionados com base na vazão de projeto. Além disso, deve-se garantir um tempo de detenção suficiente para permitir a infiltração da água no solo, respeitando as condições locais de permeabilidade e o nível do lençol freático.

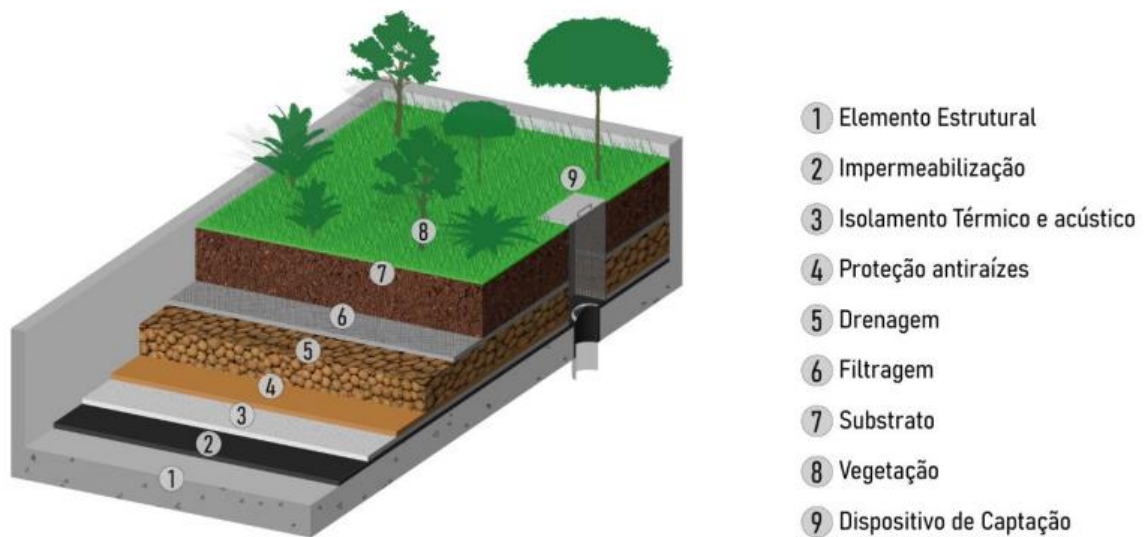
Além do controle hidrológico, os jardins de chuva proporcionam benefícios adicionais, como o aumento da biodiversidade urbana, a melhoria da qualidade da água por meio da filtragem de sedimentos e poluentes, e a criação de microclimas mais agradáveis. Em áreas como o Cercadinho, onde há tensão entre propostas de infraestrutura cinza e preservação ambiental,

essa técnica representa uma alternativa de intervenção mais integrada à paisagem e com menor impacto socioambiental.

3.2.3 Telhados Verdes

Com base no documento da Prefeitura de Belo Horizonte (2022a), os telhados verdes são dispositivos de controle na fonte que consistem na instalação de vegetação sobre a cobertura de edificações, permitindo a retenção temporária da água da chuva, a evapotranspiração e, em alguns casos, a infiltração controlada. Essa técnica tem sido cada vez mais adotada em projetos urbanos sustentáveis por sua capacidade de reduzir o volume e a velocidade do escoamento superficial, contribuindo para a mitigação das inundações e o alívio dos sistemas de drenagem convencionais.

Figura 3.3 - Configuração típica do telhado verde.



Fonte: PBH, 2022.

Conforme a imagem, a estrutura típica de um telhado verde é composta por diversas camadas sobrepostas, cada uma com função específica para garantir o bom desempenho hidrológico, estrutural e ambiental do sistema. O conjunto dessas camadas permite que o telhado verde desempenhe funções de retenção de água pluvial, isolamento térmico, proteção da cobertura e promoção da biodiversidade urbana.

A base de tudo é a estrutura de suporte, geralmente o próprio telhado da edificação, que deve

ser tecnicamente dimensionado para suportar a sobrecarga proveniente das camadas do telhado verde, tanto em condições secas quanto saturadas pela água da chuva. Logo acima, é colocada a membrana de impermeabilização, que tem a função de proteger a laje contra infiltrações. Essa camada é essencial para garantir que a água não penetre na estrutura do edifício, prevenindo danos e deteriorações.

Sobre a impermeabilização, instala-se a camada de proteção mecânica, que funciona como uma barreira física para evitar perfurações ou danos na manta impermeável, especialmente durante as fases de instalação e manutenção do telhado verde. Em seguida, é aplicada a camada de drenagem, cuja função é garantir o escoamento eficiente do excedente de água pluvial, prevenindo o acúmulo excessivo de umidade que possa comprometer as raízes das plantas ou a própria estrutura. Essa drenagem pode ser feita com elementos modulares, mantas específicas ou camadas de brita, por exemplo.

Acima da drenagem, encontra-se a camada filtrante, que geralmente é composta por manta geotêxtil. Essa camada evita que partículas do substrato sejam carreadas para a drenagem, prevenindo obstruções e garantindo a durabilidade do sistema. A seguir, vem o substrato vegetal, uma camada de solo com propriedades específicas, formulado para manter o equilíbrio entre drenagem e retenção de umidade, oferecendo as condições ideais para o desenvolvimento da vegetação. A espessura do substrato varia conforme o tipo de telhado verde (extensivo¹ ou intensivo²) e o tipo de vegetação desejada.¹

Por fim, a camada vegetal compreende as plantas escolhidas para compor o telhado verde. A seleção da vegetação deve considerar o clima local, a profundidade do substrato, a capacidade de suporte da estrutura e os objetivos do projeto (estéticos, funcionais ou ecológicos). Espécies nativas e de baixa manutenção são preferidas, especialmente em telhados extensivos, onde a manutenção deve ser mínima.

¹ Telhados verdes extensivos utilizam uma camada de solo mais fina, com plantas de menor porte, como suculentas e gramíneas, e demandam menos manutenção.

² Telhados verdes intensivos possuem uma camada de solo mais espessa, permitindo o cultivo de plantas maiores, como árvores e arbustos, e exigem mais manutenção.

Esse arranjo em camadas garante que o telhado verde cumpra sua função de controle na fonte do escoamento pluvial, contribuindo para a mitigação de impactos urbanos como inundações e ilhas de calor, além de promover benefícios estéticos e ecológicos para a cidade

Conforme estabelecido pela Prefeitura de Belo Horizonte (2022a), os telhados verdes podem ser do tipo extensivo, com menor espessura de substrato e baixa manutenção, ou intensivo, com maior profundidade e possibilidade de cultivo de espécies maiores. Independentemente do tipo, devem ser projetados considerando as cargas estruturais do edifício, a eficiência hidrológica esperada e a necessidade de manutenção periódica.

Do ponto de vista hidrológico, os telhados verdes ajudam a reduzir as vazões de pico ao captar a água diretamente onde ela incide, evitando o lançamento imediato na rede pluvial. Os critérios técnicos indicam que a retenção das chuvas com tempo de retorno de até 2 anos deve ser priorizada, com volumes de detenção que promovam o retardo do escoamento e a mitigação de eventos extremos.

No contexto da bacia do Córrego Cercadinho, a implementação de telhados verdes pode ser particularmente benéfica em áreas altamente edificadas, onde há escassez de solo exposto para técnicas de infiltração. Além disso, esse tipo de intervenção pode ser integrado a políticas de incentivo à construção sustentável, promovendo, além dos benefícios hidrológicos, melhorias estéticas, isolamento térmico das edificações e incremento da biodiversidade urbana.

3.2.4 Desafios para a Implementação das SbN

Apesar do reconhecimento crescente de seus benefícios, a implementação de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) enfrenta diversas barreiras técnicas, institucionais, financeiras e culturais. Um dos principais desafios está na falta de diretrizes normativas e de regulamentações específicas que incentivem sua adoção de forma sistemática nos planos urbanos. Muitos gestores públicos e projetistas ainda operam sob uma lógica voltada exclusivamente à infraestrutura cinza, o que dificulta a inserção das SbN como prática comum no planejamento urbano (COSTA et al., 2022).

Outro fator limitante é a escassez de recursos financeiros e de mecanismos de financiamento adequados. Embora as SbN ofereçam uma boa relação custo-benefício a longo prazo, seu

investimento inicial pode ser visto como elevado, especialmente em contextos municipais com restrições orçamentárias (PINTO E CUNHA, 2021). Além disso, a ausência de indicadores consolidados de desempenho, que demonstrem de forma mensurável os ganhos ambientais e sociais, ainda reduz a confiança de tomadores de decisão na efetividade dessas intervenções.

A resistência institucional e cultural também é um ponto sensível. Em muitos casos, há uma carência de capacitação técnica entre os profissionais envolvidos na concepção e operação dos sistemas de drenagem. Como destaca Silva (2023), o desconhecimento sobre o funcionamento e a manutenção das SbN pode gerar desconfiança quanto à sua eficiência e durabilidade, o que compromete sua adoção em escala.

Estudos de caso também revelam que a fragmentação entre setores (como meio ambiente, obras públicas, habitação e planejamento urbano) compromete a aplicação integrada dessas soluções. Falcone et al. (2024) ressaltam a importância da governança intersetorial e da construção de instrumentos legais que favoreçam a inclusão das SbN nos instrumentos de política pública.

Por fim, cabe destacar que mesmo experiências positivas de aplicação de SbN em cidades como Campinas (SP), Recife (PE) e Joinville (SC) ainda enfrentam obstáculos para replicação em maior escala, como a dificuldade de articulação entre diferentes níveis de governo e a falta de engajamento da população local (TORRES et al., 2023). Esses entraves reforçam a necessidade de políticas públicas robustas, campanhas de sensibilização e incentivos técnicos e financeiros voltados à transição para uma infraestrutura mais sustentável e adaptada às mudanças climáticas.

3.4 Contexto das Soluções Baseadas na Natureza no Brasil e na cidade de Belo Horizonte

No Brasil, diversas cidades começam a adotar SbN em seus planos diretores e projetos de drenagem urbana. Exemplos incluem a implantação de parques lineares e pavimentos permeáveis em São Paulo e Curitiba, também visando o controle do escoamento superficial e a redução de inundações (SILVEIRA, RODRIGUES e DORNELLES, 2023).

Além dos exemplos citados, destaca-se a experiência do Rio de Janeiro com a revitalização de bacias hidrográficas por meio de reflorestamento de margens e criação de corredores verdes, reduzindo em 30% os registros de inundações em áreas críticas (WRI Brasil, 2024). Em Recife, o programa Capital da Resilência integrou SbN em seu plano de adaptação climática, incluindo a instalação de sistemas de biorretenção em zonas de alto risco, resultando na diminuição de 25% do escoamento superficial em eventos extremos (EMBRAPA, 2024b). Essas iniciativas refletem uma tendência nacional de alinhar o planejamento urbano aos princípios de sustentabilidade, embora ainda enfrentem desafios como a fragmentação institucional e a carência de financiamento dedicado.

Em Belo Horizonte, o avanço das SbN tem sido impulsionado por políticas públicas locais e experiências piloto bem-sucedidas. Além dos 64 jardins de chuva implementados na Sub-Bacia do Córrego do Nado, a cidade incorporou telhados verdes em edifícios públicos, como o Centro Cultural Salgado Filho, que reduziram em 15% a carga de drenagem em seu entorno (PBH, 2023). A "Nova Agenda Verde", lançada em 2024, estabeleceu metas ambiciosas, como a ampliação de áreas permeáveis em 20% até 2030 e a integração de SbN em 100% dos novos projetos de infraestrutura urbana. Essa agenda também prevê a criação de um fundo municipal para financiar intervenções baseadas em ecossistemas, priorizando bacias críticas como a do Córrego Cercadinho.

3.5 Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte

O Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) de Belo Horizonte, revisado em 2023, representa um marco na transição para uma gestão integrada de águas pluviais. Seu objetivo principal é reduzir os riscos de inundações por meio de estratégias que combinam infraestrutura tradicional e SbN, alinhando-se às diretrizes do Plano Municipal de Saneamento e da Política Nacional de Resíduos Sólidos. O PDDU prioriza a recuperação de áreas de preservação permanente (APPs), a implantação de sistemas de retenção distribuída e a requalificação de canais urbanos com técnicas de bioengenharia, como o uso de vegetação ripária para estabilização de margens (PBH, 2023).

Um dos eixos centrais do plano é a hierarquização de bacias hidrográficas, classificando-as conforme seu grau de vulnerabilidade. A bacia do Córrego Cercadinho, por exemplo, foi categorizada como prioritária devido à sua taxa de impermeabilização (60%) e à frequência

histórica de inundações. Para essas áreas, o PDDU estabelece metas específicas, como a implementação de pavimentos permeáveis em 30% das vias secundárias e a criação de zonas de biorretenção em espaços públicos, com capacidade para infiltrar até 80% do volume de chuvas de 10 anos de recorrência (PBH, 2023). Além disso, o plano prevê a restauração de nascentes por meio de parcerias com entidades ambientais, utilizando técnicas como cercamento de áreas e replantio de espécies nativas.

A integração das SbN ao PDDU é reforçada por instrumentos legais, como a Lei Municipal nº 11.181/2023, que obriga a inclusão de infraestrutura verde em empreendimentos com área construída superior a 5.000 m². Paralelamente, o plano incentiva a participação comunitária por meio de programas como Adote uma Nascente, que oferece incentivos fiscais a moradores que contribuam para a preservação de áreas críticas. Embora o PDDU represente um avanço significativo, sua eficácia depende da alocação consistente de recursos e da capacitação técnica dos agentes públicos.

3.6 Políticas públicas ambientais de Belo Horizonte relacionadas a Soluções Baseadas na Natureza

Belo Horizonte tem demonstrado um compromisso crescente com a sustentabilidade e a resiliência climática, implementando políticas que se alinham aos princípios das SbN. A Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) é responsável por elaborar e implementar a política ambiental do município, visando promover a proteção, conservação e melhoria da qualidade de vida da população.

Em 2024, a Prefeitura de Belo Horizonte anunciou a "Nova Agenda Verde", uma iniciativa que busca preparar a cidade para emergências climáticas. Essa agenda inclui ações como a ampliação de áreas verdes, implementação de infraestrutura verde e promoção de práticas sustentáveis, como o programa Adote uma Cisterna, que oferece subsídios para instalação de sistemas de captação de água pluvial em residências e edifícios públicos. Essa iniciativa não apenas reduz a demanda por água potável, mas também contribui para a mitigação de alagamentos e inundações ao diminuir o escoamento superficial. Além disso, a agenda prevê parcerias com instituições de ensino para desenvolver tecnologias acessíveis e oficinas comunitárias, fortalecendo a resiliência urbana por meio da participação social.

Além disso, destaca-se o Plano Municipal de Arborização Urbana de Belo Horizonte, instituído em 2023, como uma das principais estratégias ambientais de base ecológica integradas ao espaço urbano. Este plano propõe diretrizes para o plantio, manejo e conservação de árvores nas vias e praças da cidade, com o objetivo de ampliar a cobertura vegetal e, com isso, contribuir para a melhoria do microclima, a redução do escoamento superficial e a valorização dos espaços públicos. Segundo a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA), o plano é estruturado com base em critérios técnicos de adequação ao espaço urbano, priorizando espécies nativas, diversidade arbórea e distribuição equitativa entre as regiões administrativas.

Um exemplo prático dessa iniciativa pode ser observado no bairro Horto, região Leste de Belo Horizonte, onde foi conduzido um projeto-piloto de arborização em parceria com escolas locais. O aumento da cobertura vegetal resultou em temperaturas locais até 2°C menores durante os meses mais quentes, além da redução perceptível da formação de poças e enxurradas após chuvas intensas, segundo relatório da PBH (2023). Esse tipo de intervenção, quando planejado de forma integrada com a drenagem urbana, assume papel estratégico como SBN ao favorecer a infiltração da água no solo, diminuir a carga sobre as redes de drenagem e oferecer benefícios sociais e ecológicos, como sombreamento, recreação e estímulo à biodiversidade urbana.

Adicionalmente, Belo Horizonte tem se destacado em iniciativas de SbN com a implantação de 64 jardins de chuva pela Prefeitura. Inicialmente, os primeiros três dispositivos foram instalados em espaços públicos – na Praça JK, na Praça José de Magalhães e no Parque Lagoa do Nado. Em 2021, a medida se expandiu com a criação de um novo jardim de chuva, e no ano seguinte, foram implementados outros 60 na Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego do Nado, afluente do Córrego Vilarinho. Distribuídos nos bairros Santa Amélia, Santa Branca, Itapoã e Planalto, esses jardins foram estrategicamente posicionados para contribuir na redução das inundações nas áreas mais baixas da sub-bacia, que já é alvo de investimentos contínuos em infraestrutura de macrodrenagem. Nas **Figura 3.4** e **Figura 3.5** são mostrados exemplares destes dispositivos construídos pela Prefeitura de BH.

Figura 3.4 - Jardim de chuva implantado no ano de 2023 na Rua Cel. Emílio Martins, no

bairro Santa Amélia.



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2024.

Figura 3.5 - Jardins de Chuva no bairro Itapoã - Belo Horizonte.



Fonte: SUPLAN / SUDECAP, 2022.

Com o intuito de expandir o alcance do projeto e engajar a comunidade, os 64 jardins de chuva situados em logradouros públicos podem ser adotados por moradores cujos imóveis estão próximos a essas áreas por meio do Programa Adote um Jardim de Chuva. Essa iniciativa permite que os participantes obtenham até 10% de desconto no IPTU, incentivando a preservação e manutenção desses espaços sustentáveis.

Essas iniciativas demonstram o alinhamento de Belo Horizonte com as SbN, no entanto, apesar

de Belo Horizonte possuir uma das trajetórias mais antigas e consistentes de gestão da drenagem urbana no país, com marcos importantes como a criação do Plano Diretor de Drenagem Urbana, segundo Pinheiro e Santos (2019), observa-se que os avanços institucionais e normativos ainda não se refletem de maneira abrangente na prática cotidiana de projeto e gestão urbana. A cidade enfrenta um descompasso entre os conceitos modernos incorporados às políticas públicas e a efetivação dessas diretrizes no território, assim como na bacia do Córrego do Cercadinho. As inundações recorrentes nessas regiões demonstram a persistência de um modelo de intervenção que ainda prioriza soluções estruturais convencionais, mesmo diante da existência de instrumentos legais que já reconhecem e recomendam abordagens baseadas em sustentabilidade e resiliência.

Essa lacuna entre o discurso técnico-normativo e a realidade da implementação se deve, em parte, à fragmentação institucional e à dificuldade de integrar diferentes setores do planejamento urbano. Como consequência, a aplicação de Soluções Baseadas na Natureza ainda é pontual e insuficiente frente à escala dos desafios enfrentados pela cidade. Em vez de uma transição consolidada para um modelo de gestão adaptativa das águas urbanas, cidades como Belo Horizonte seguem marcadas por intervenções localizadas, sem articulação plena com as diretrizes dos seus planos (PINHEIRO e SANTOS, 2019). Nesse cenário, o caso da bacia do Cercadinho se insere como exemplo emblemático da urgência em alinhar políticas públicas, capacidades institucionais e soluções técnicas mais integradas, eficazes e sensíveis ao contexto urbano consolidado.

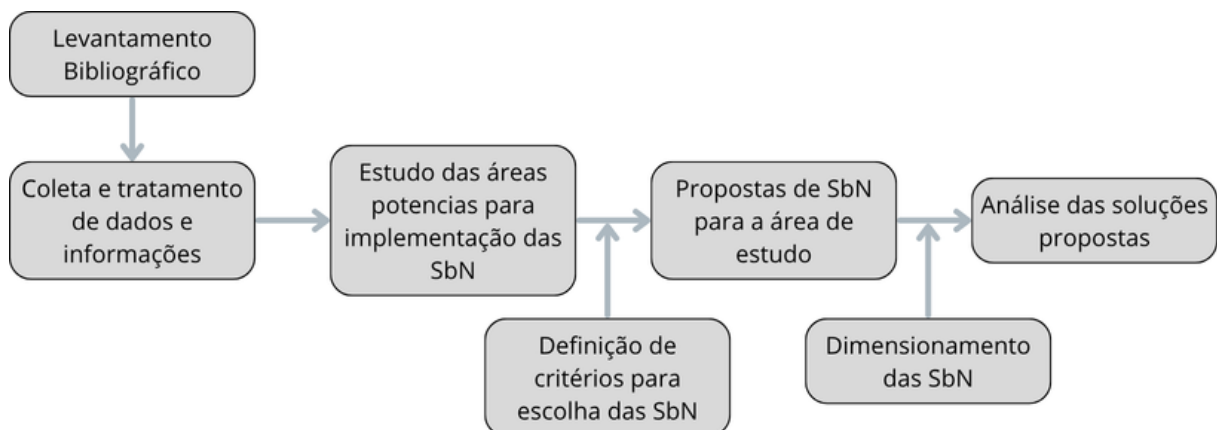
4 METODOLOGIA

Foram levantados inicialmente dados bibliográficos para melhor compreensão de todos os assuntos envolvidos. As informações foram obtidas em artigos científicos, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e legislações vigentes para embasamento teórico dos conteúdos deste trabalho.

Após o levantamento dos subsídios teóricos presentes nas literaturas consultadas, foi realizado o levantamento de informações acerca da área de estudo para análise dos potenciais locais para implementação das SbN, com base nos mapas disponibilizados no site “BH Maps” para identificação das áreas de risco de inundação, bem como mapas de curvas de nível.

Em seguida, baseado nas bibliografias estudadas, foram feitas proposições de potenciais SbN adequadas para a área de estudo que atuem como sistemas de infiltração ou biorretenção. Por fim, as estruturas propostas foram dimensionadas e realizada a análise do volume de água retido e possíveis limitações. Na **Figura 4.1** são sintetizadas as etapas do trabalho.

Figura 4.1 - Fluxograma das etapas da pesquisa.



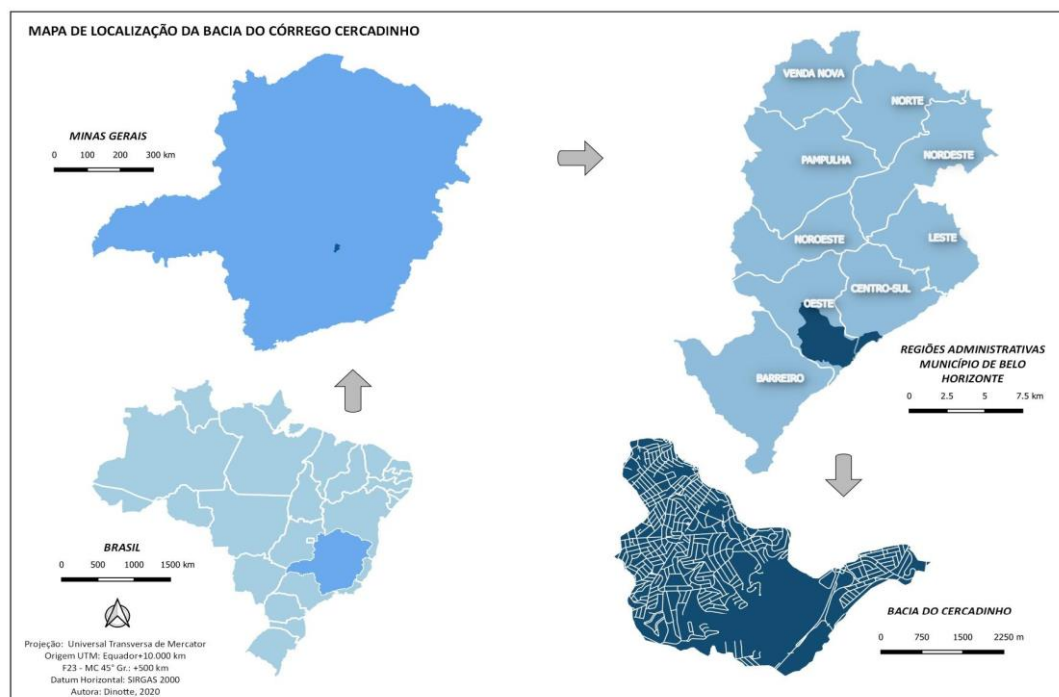
Fonte: Autor, 2025.

No caso da bacia do Córrego do Cercadinho, em Belo Horizonte, a crescente impermeabilização do solo tem agravado problemas de alagamento e comprometido a qualidade da água. A adoção de SbN nessa região pode representar uma alternativa viável para a gestão das águas pluviais, reduzindo impactos ambientais e promovendo uma cidade mais resiliente e sustentável.

4.1 Área de estudo: bacia do Córrego do Cercadinho

A área de estudo deste trabalho compreende a bacia hidrográfica do Córrego do Cercadinho, localizada na porção Oeste do município de Belo Horizonte, Minas Gerais. Essa bacia é um afluente da bacia do Ribeirão Arrudas, que, por sua vez, integra a sub-bacia do Rio das Velhas, pertencente à bacia do Rio São Francisco. A bacia do Cercadinho possui aproximadamente 9,6 km² de extensão, atravessando importantes bairros da capital mineira, como Buritis, Estoril, Palmeiras e Havaí (PBH, 2023). Na **Figura 4.2** é apresentada a localização da bacia do Cercadinho.

Figura 4.2 - Mapa de localização da bacia do córrego Cercadinho.



Fonte: Dinotte, 2020.

O clima da região é classificado como tropical de altitude (Cwa), segundo a classificação de Köppen-Geiger, com verões quentes e chuvosos, e invernos secos e amenos. A média anual de precipitação gira em torno de 1.400 mm, com maior concentração entre os meses de outubro e março, o que intensifica os riscos de inundações em áreas impermeabilizadas (INMET, 2023).

O relevo predominante na bacia é ondulado a fortemente ondulado, com cotas variando entre 850 m e 1.150 m de altitude. Essas características morfológicas contribuem para a velocidade

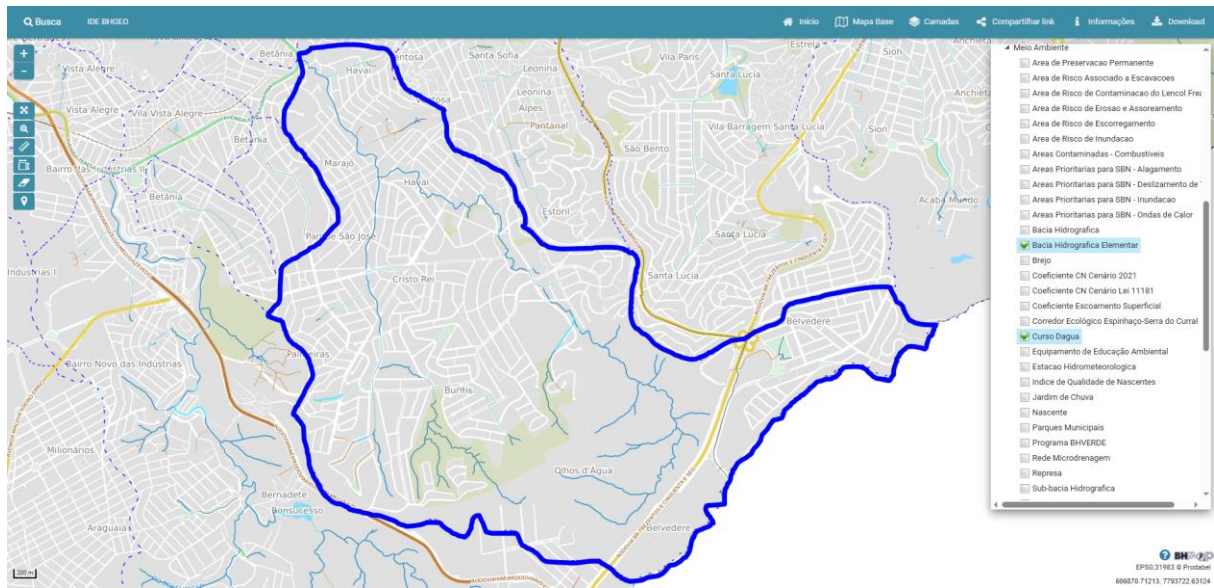
do escoamento superficial durante os eventos de chuva intensa, sobretudo nas áreas onde a cobertura vegetal foi substituída por construções e pavimentações (IGAM, 2022).

Em relação à geologia e aos solos, predominam formações do Grupo Barreiro, com presença de quartzitos e filitos, e solos classificados majoritariamente como Latossolos Vermelhos e Cambissolos, de média a baixa permeabilidade (CPRM, 2022). Essa limitação natural à infiltração agrava os efeitos da urbanização desordenada e a concentração do escoamento superficial.

Quanto à qualidade da água, o estudo de Merllo e Stroppa (2012), do Centro Universitário de Belo Horizonte – UniBH, analisou amostras da água do Córrego Cercadinho bimestralmente no período de setembro de 2010 a setembro de 2011, em dois pontos distintos do bairro Buritis. O trabalho teve como resultado que o primeiro ponto variou em sua classificação de qualidade de água entre as classes I, II e III e o segundo ponto como classe IV, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005. A partir disso, o estudo concluiu que o córrego vem sofrendo com o despejo irregular de esgotos domésticos, fazendo com que a qualidade da água seja muito inferior às condições naturais.

Estima-se que a região da bacia do Cercadinho abriga uma população de aproximadamente 35 mil habitantes, distribuída em bairros com diferentes níveis de densidade demográfica e vulnerabilidade socioambiental (PBH, 2021). A expansão urbana, em muitos casos, ocorreu de forma acelerada e sem infraestrutura adequada de drenagem, resultando em pontos recorrentes de alagamento, inundação, assoreamento e degradação da qualidade da água. Na **Figura 4.3** é apresentada a bacia hidrográfica do Córrego Cercadinho destacada de azul juntamente com o córrego, obtida no BHMap.

Figura 4.3 - Bacia Hidrográfica do Córrego Cercadinho.



Fonte: BHMap, 2025.

Historicamente, essa região apresentou crescimento urbano acelerado, especialmente a partir da década de 1990, resultando em elevada impermeabilização do solo. Atualmente, cerca de 60% de sua área encontra-se urbanizada, o que compromete os processos naturais de infiltração da água da chuva e agrava os riscos de escoamento superficial elevado e inundações (PBH, 2023). Esse cenário se reflete nos recorrentes episódios de inundações observados em períodos chuvosos intensos, afetando diretamente a mobilidade urbana e a segurança de moradores da região.

Do ponto de vista ambiental, a bacia ainda mantém fragmentos de vegetação nativa, especialmente nas regiões de cabeceira e nos parques urbanos adjacentes, como o Parque Jacques Cousteau, que exerce função ecológica relevante para a regulação microclimática e proteção de nascentes. Contudo, a presença de ocupações irregulares e a expansão de áreas edificadas têm pressionado esses remanescentes, exigindo ações de manejo e recuperação ambiental (SILVA E MOURA, 2021).

A escolha da bacia do Cercadinho como área de estudo justifica-se tanto pela sua importância na drenagem urbana de Belo Horizonte quanto pelo potencial de aplicação de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) para mitigar os impactos negativos da urbanização. A área apresenta condições críticas e características propícias à implantação de infraestruturas verdes, como jardins de chuva, pavimentos permeáveis e corredores ecológicos ao longo do curso

d'água, o que pode servir como modelo para outras bacias urbanas da capital. Quinze de suas nascentes estão localizadas dentro de três tipos de unidades de conservação: Área de Proteção Ambiental, Área de Proteção Especial e Estação Ecológica, todas a nível estadual. No **Quadro 4.1** são descritas as unidades de conservação presentes na bacia do Córrego Cercadinho e suas legislações vinculadas.

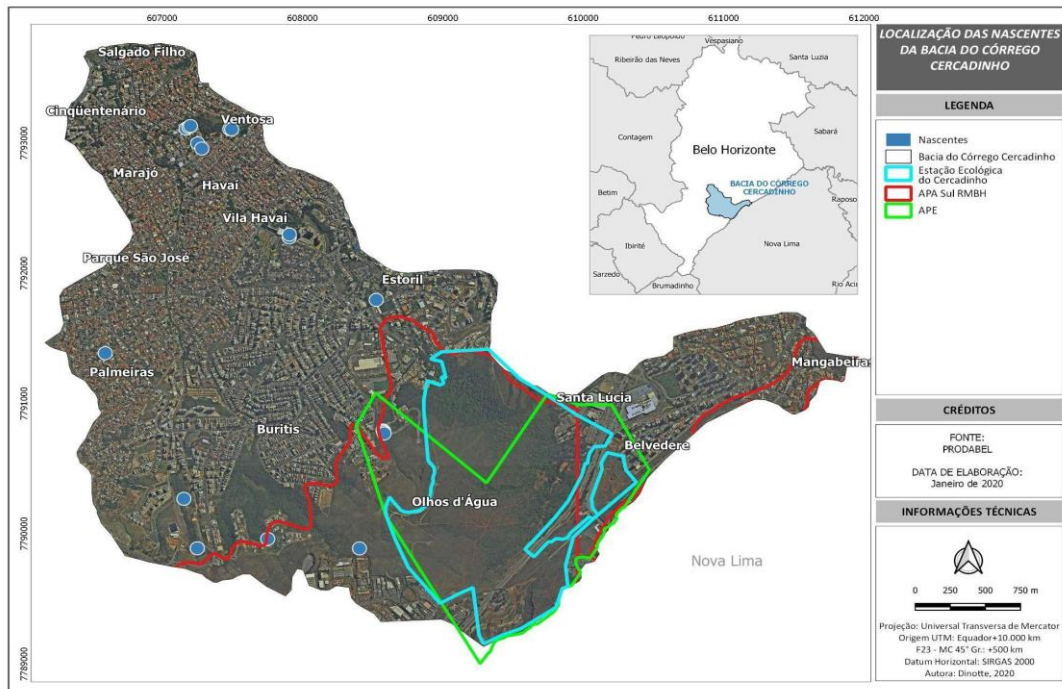
Quadro 4.1 - Descrição das Unidades de Conservação da bacia hidrográfica do Córrego do Cercadinho.

Unidade de Conservação	Sigla	Nome	Competência	Legislação
Área de Proteção Ambiental	APA	APA Sul RMBH	Estadual	Decreto 35624/1994, Decreto 37812/1996 e Lei Estadual 13960/2001
Área de Proteção Especial	APE	APE Cercadinho	Estadual	Decreto 22108/1982 e Decreto 32017/1990
Estação Ecológica	ESEC	Estação Ecológica do Cercadinho	Estadual	Lei nº 15.979 de 13/01/2006 e Lei nº 18.042 de 13/01/2009

Fonte: Autor, 2025.

Na **Figura 4.4** é apresentada a localização das unidades de conservação presentes na bacia do Córrego Cercadinho.

Figura 4.4 - Localização das unidades de conservação da bacia do Córrego Cercadinho.



Fonte: Dinotte, 2020.

Para analisar a área de estudo, foi utilizado o BHMap, software desenvolvido pela Prefeitura de Belo Horizonte que disponibiliza um conjunto de mapas e ferramentas para uso geral. Todos os mapas utilizam o SRID (Sistema de Referência Espacial) EPSG 31983, padrão da Prefeitura de Belo Horizonte.

Primeiramente, foram ativadas as camadas de bacia hidrográfica elementar, para localização da bacia do Córrego Cercadinho e área de risco de inundação, para identificar os pontos com maior vulnerabilidade a eventos de inundação. A área de implantação das SbN que este estudo irá propor terá como foco a minimização dos impactos socioambientais e econômicos causados pelas inundações na região de maior risco a inundações.

4.2 Escolha de SbN e suas áreas de implementação

A partir do diagnóstico da bacia do Córrego do Cercadinho, foram selecionadas duas Soluções Baseadas na Natureza (SbN) prioritárias: jardins de chuva e telhados verdes. Essas soluções destacam-se por sua viabilidade em áreas urbanizadas, capacidade de retenção de águas pluviais e múltiplos benefícios ambientais. Essas técnicas se mostram adequadas à área de estudo que

apresenta alta taxa de impermeabilização do solo. Por serem soluções descentralizadas e de baixo impacto, elas permitem intervenções localizadas em lote ou quadra, contribuindo para a redução da vazão de pico, retenção e infiltração de águas pluviais e despressurização da rede de drenagem existente.

Os jardins de chuva propostos poderão se situar ao longo das ruas Senador Lima Guimarães, Olympio Teixeira Guimarães, Desembargador Amilcar de Castro, Pedro Laborne Tavares e Avenida Professor Mário Werneck. Serão considerados que todos os telhados impermeáveis identificados pela imagem de satélite para o dimensionamento de telhados verdes.

4.3 Método de Determinação da Vazão de Projeto

O modelo utilizado para a conversão de chuva em vazão é o Hidrograma Unitário Sintético Triangular, desenvolvido pelo Soil Conservation Service (atualmente Natural Resources Conservation Service – NRCS, 1986). Esse modelo se destaca por sua aplicação simples e pelo número reduzido de parâmetros exigidos.

A metodologia considera que parte da água da chuva é retida na bacia e parte infiltra no solo, sendo esses os principais fatores que influenciam na fração da precipitação que se transforma em escoamento superficial, denominada precipitação efetiva (PE). Para estimar essa precipitação efetiva, é levado em conta o parâmetro Curve Number (CN), que varia entre 0 e 100. Valores mais altos de CN indicam maior propensão ao escoamento. Com base no volume precipitado em cada intervalo de tempo, é possível determinar o volume de chuva excedente, responsável pelo escoamento superficial direto.

Para aplicar o Hidrograma Unitário Sintético Triangular do SCS/NRCS, são necessários os seguintes dados e parâmetros:

- Área da bacia (A): em km².

Representa a área de contribuição de escoamento. Foi obtida por meio do software QGIS.

- Tempo de concentração (T_c): Em horas.

É o tempo necessário para que a gota mais distante da bacia alcance a seção de saída. Foi estimado pela fórmula empírica de Kirpich, expressa pela Equação 1.

$$T_c = 23,38 * \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,77} \quad (1)$$

Em que:

T_c: tempo de concentração (min);

L: comprimento do rio principal (km);

I: declividade da sub-bacia (%).

A declividade (I) da sub-bacia é obtida pela Equação 2:

$$I = \frac{C_m - C_j}{L} \quad (2)$$

Em que:

I: declividade da sub-bacia (%).

C_m: cota a montante (m);

C_j: cota a jusante (m);

L: comprimento do rio principal (m);

Os dados das cotas a montante e a jusante, comprimento do rio e área de contribuição foram obtidos com o auxílio do software QGIS.

- Duração da chuva efetiva (D): Em horas.

Tempo durante o qual ocorre a precipitação efetiva, ou seja, a parte da chuva que se transforma em escoamento superficial. Assume-se que $D \approx T_c$.

- Precipitação efetiva (PE): Em mm.

Calculada com o método do Curve Number (CN), determinada pela Equação 3.

$$PE = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (3)$$

Onde:

P: precipitação total (mm);

S: capacidade máxima de retenção da bacia (mm).

A precipitação total P é calculada conforme Equação 4.

$$P = i * D \quad (4)$$

Sendo:

i : intensidade de chuva (mm/h);

D : duração da chuva (h);

A capacidade máxima de retenção S calcula-se pela Equação 5.

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254 \quad (5)$$

- Curve Number (CN)

Valor adimensional que varia entre 30 e 100. Quanto maior o CN, maior a tendência de escoamento. Determinado a partir do site BHMAP.

- Intensidade de chuva (i)

A intensidade de chuva (i) foi calculada segundo o trabalho de Nascimento *et al.* (2020), cuja equação IDF para a cidade de Belo Horizonte é expressa na Equação 6.

$$i = \frac{2481,99 * Tr^{0,1245}}{(Tc + 20)^{0,89748}} \quad (6)$$

Em que:

i : intensidade de chuva (mm/h);

Tr : período de retorno (anos); e

Tc : tempo de concentração (min).

O tempo de retorno (Tr) foi adotado como 5 anos conforme diretrizes do Manual de Soluções de Drenagem Sustentável para Belo Horizonte (PBH, 2015), que orienta o uso de tempo de retorno de 2 a 5 anos para estruturas de controle de cheias.

- Tempo ao pico (T_p)

Calculado com a fórmula da Equação 7:

$$T_p = D/2 + tr \quad (7)$$

Onde:

$tr = 0,6 \cdot T_c$ (tempo de retardo);

D: duração da chuva efetiva;

- Vazão de pico (Q_p)

Determinada pela Equação 6:

$$Q_p = \frac{2,08 \cdot A \cdot PE}{T_p} \quad (8)$$

(Com A em km² e PE em mm e o resultado em m³/s)

- Duração total do hidrograma (T_f)

Duração da base do triângulo, expressa pela Equação 9:

$$T_f = 2 \cdot T_p \quad (9)$$

4.4 Estimativa dos Telhados Verdes e Jardins de Chuva

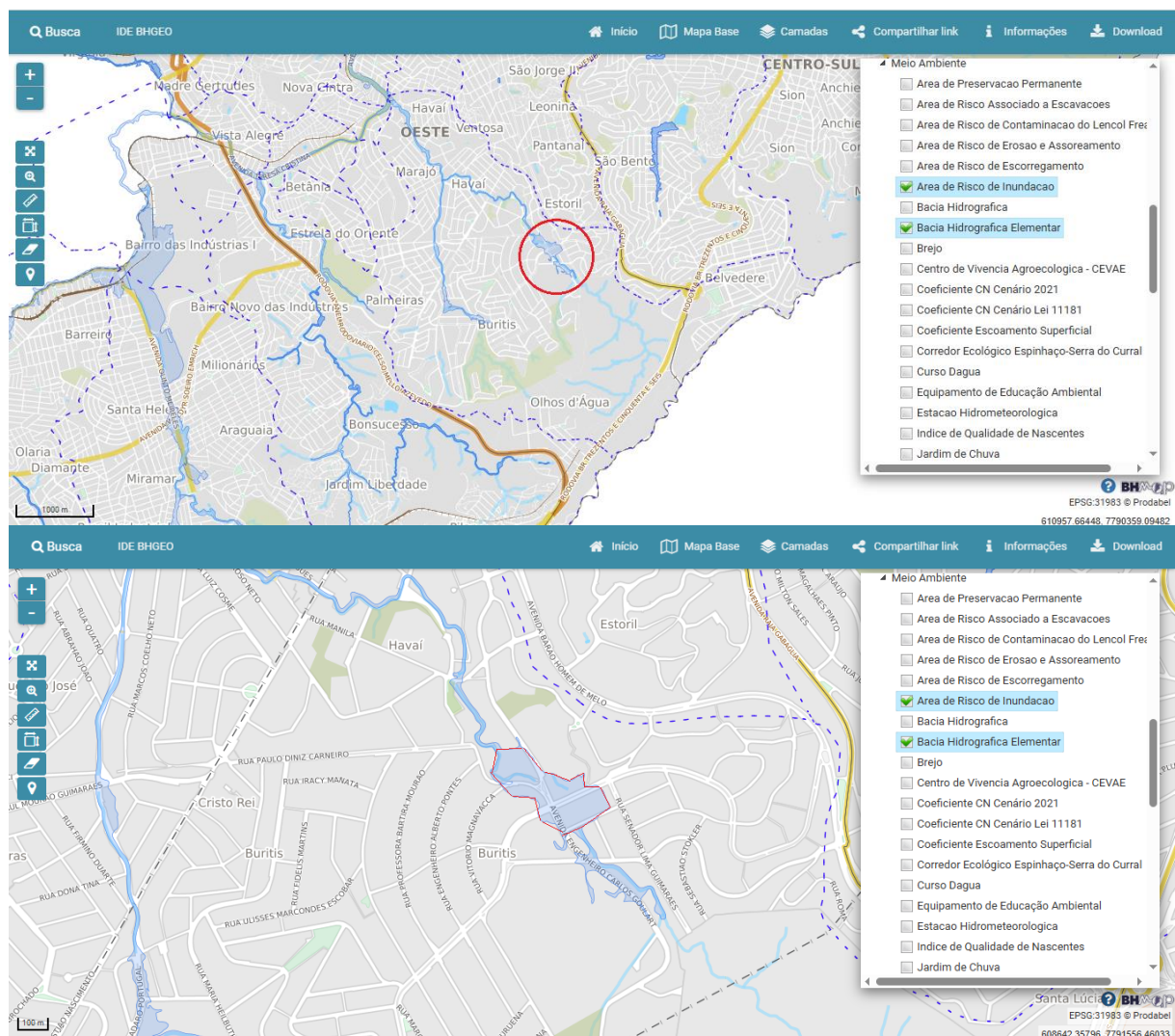
Para a estimativa da quantidade das SbN propostas para a área estudada, foi realizada uma revisão da literatura de pesquisas que tenham estimado a capacidade de retenção do escoamento superficial dos jardins de chuva e telhados verdes. A partir dos valores de redução de escoamento para cada dispositivo obtida por meio da bibliografia estudada, foram estimadas as áreas necessárias a serem destinadas aos dispositivos de infiltração para conter 30% do volume escoado pela vazão de projeto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Identificação da área de maior risco de inundação

Este estudo teve como foco a área de maior risco a inundações do córrego Cercadinho. Por meio do software BHMap foi possível observar visualmente a área com maior mancha de inundação do córrego, destacada de vermelho na **Figura 5.1**. A primeira imagem mostra a visualização da bacia hidrográfica como um todo e a segunda imagem amplia a área selecionada de maior risco.

Figura 5.1 – Área de maior risco de inundações.



Fonte: BHMap, 2025.

Além da extensão física de 48.000 m², a área de maior risco de inundação concentra-se em um ponto estratégico do bairro Buritis, na confluência da Avenida Professor Mário Werneck —

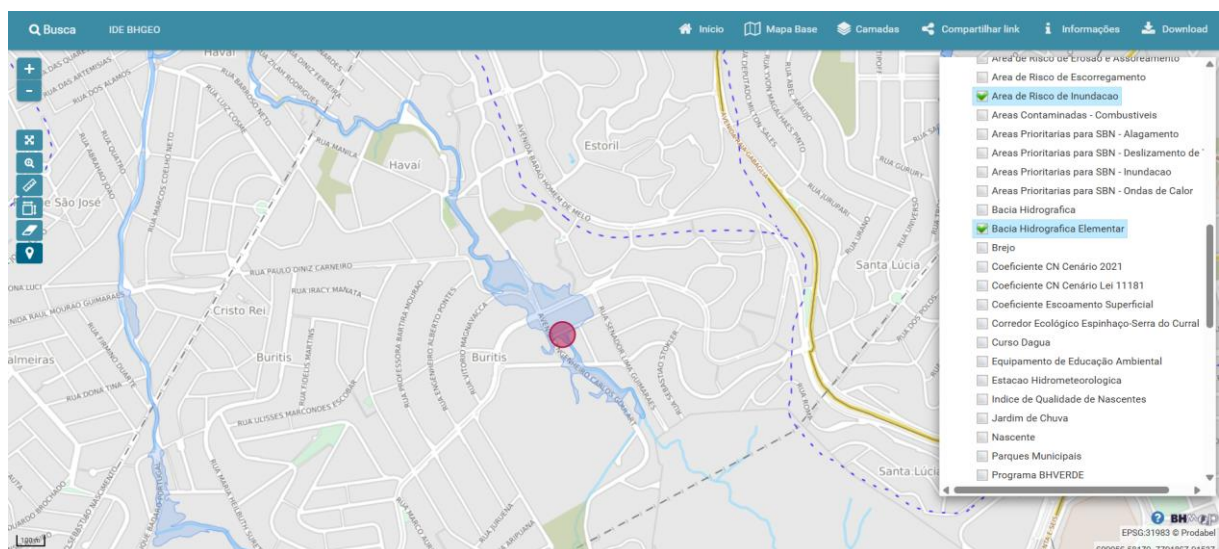
principal corredor viário e comercial da região — com as ruas Engenheiro Carlos Goulart, Pedro Laborne Tavares, Heitor Menin e Paulo Piedade Campos. Trata-se de uma localização com intenso fluxo de pedestres e veículos, servindo como uma das principais portas de entrada para o bairro, que é hoje o mais populoso de Belo Horizonte, com cerca de 42.342 habitantes, conforme o Censo do IBGE de 2022.

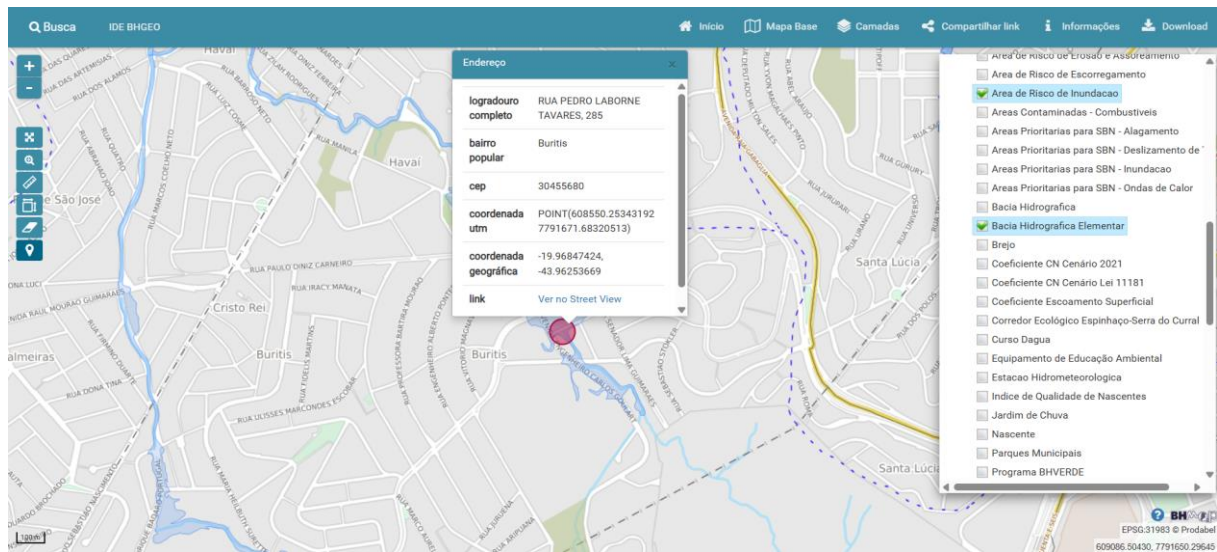
O trajeto da inundação abrange uma área densamente urbanizada, composta por comércio variado, como restaurantes, academias e supermercados e instituições de ensino, estando situada muito próximo do Supermercado Verdemar, Shopping Paragem e ao campus Buritis do Centro Universitário de Belo Horizonte (UNIBH). Essa confluência de usos reforça a relevância social e econômica do trecho afetado, destacando a criticidade dos eventos de inundação. A mobilidade nesta região é essencial para a rotina dos moradores, e qualquer interrupção na circulação tem impacto direto na acessibilidade e segurança pública.

5.2 Delimitação da Área de Contribuição

A área de contribuição à mancha de inundação destacada no tópico anterior foi calculada a partir da identificação do exutório, que recebe toda a contribuição de escoamento até a mancha de inundação, conforme a **Figura 5.2**.

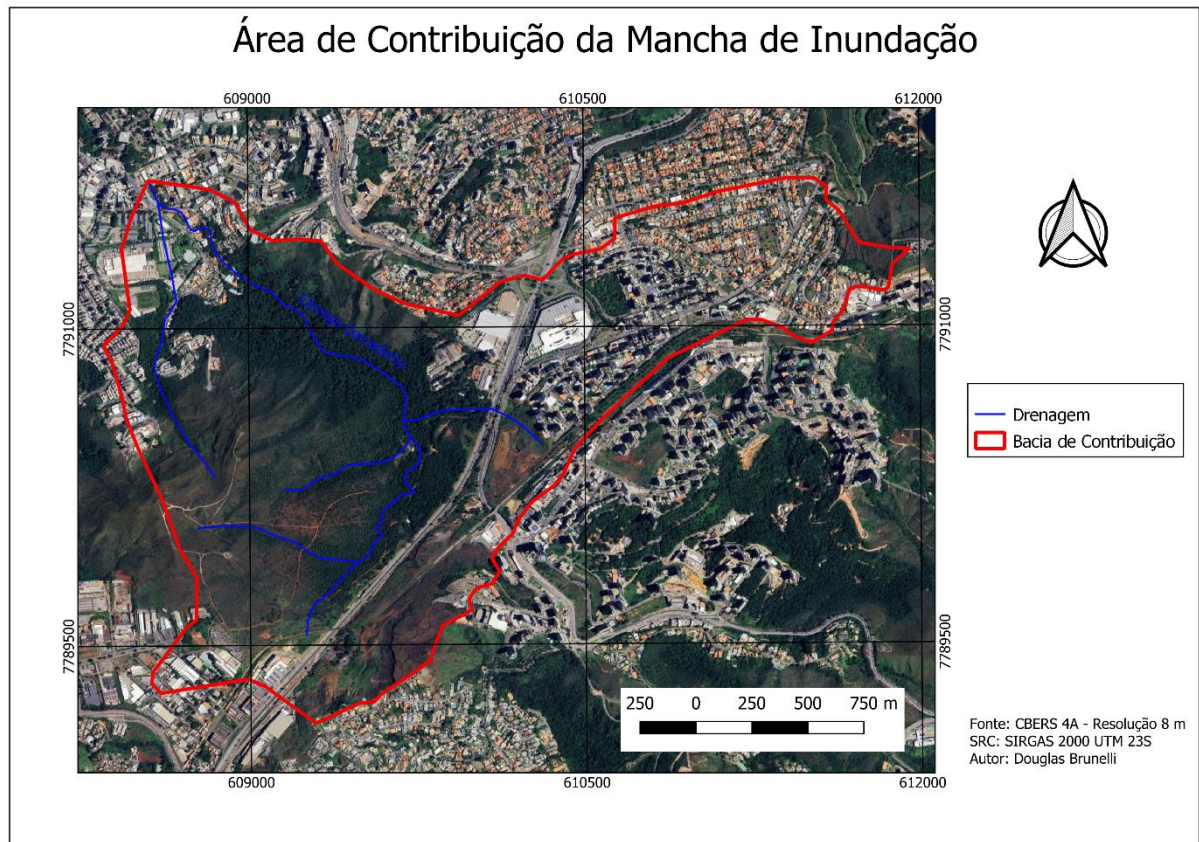
Figura 5.2 - Identificação do ponto de exutório da área de contribuição.





Fonte: BHMap, 2025.

O exutório se encontra nas coordenadas UTM 608550.25343192 7791671.68320513 e, a partir dele, foi utilizado o software QGIS para a delimitação da área de contribuição. Na **Figura 5.3** é mostrada a área de contribuição, responsável por direcionar todo o fluxo de águas pluviais até a mancha de inundação.

Figura 5.3 - Área de Contribuição.

Fonte: Autor, 2025.

A área de contribuição possui 4.447.802 m² ou 4,45 km² de área, com comprimento do rio principal de 3.093 m. A cota a montante (altitude do início do escoamento) é de 1.152 m e a jusante (altitude no ponto de exutório) é de 943 m. Pode ser observado na figura 5.3 a grande presença de áreas permeáveis dentro das Unidades de Conservação e áreas impermeáveis espalhadas ao redor.

5.3 Estimativa da Chuva de Projeto

5.3.1 Declividade da sub-bacia de contribuição

Para calcular a duração de chuva, que coincide com o tempo de concentração (T_c), é necessário calcular a declividade (I) da sub-bacia, expressa pela Equação 2.

Os dados obtidos por meio do software QGIS foram os seguintes:

Cota a montante (Cm) = 1.152 m;

Cota a jusante (Cj) = 943 m;

Comprimento do rio (L) = 3.093 m.

Substituindo os dados acima na Equação 2, obtém-se:

$$I = \frac{1.152 - 943}{3.093} * 100$$

$$I = 6,76\%$$

5.3.2 Tempo de concentração e de retardo

O tempo de concentração (Tc) foi calculado conforme a Equação 1:

$$Tc = 23,38 * \left(\frac{3,093}{\sqrt{6,76}} \right)^{0,77}$$

$$Tc = 26,7 \text{ min}$$

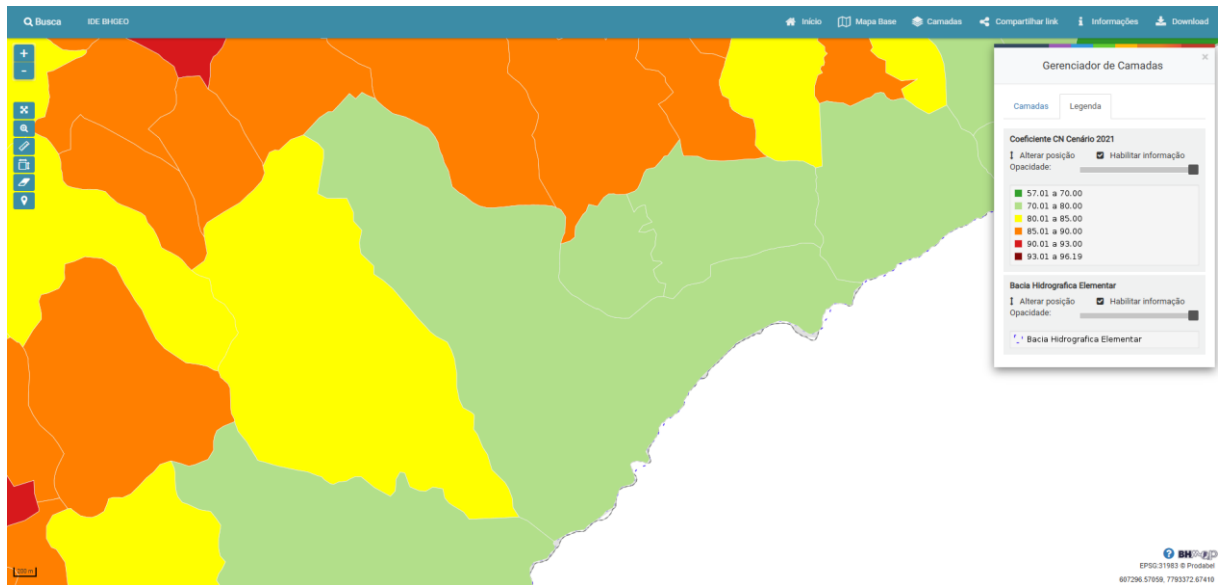
Portanto, o tempo de concentração é adotado como 30 minutos ou 0,5 h.

O tempo de retardo (Tr) é igual a 60% do tempo de concentração, portanto Tr = 18 min = 0,3h.

5.3.3 Curve Number (CN)

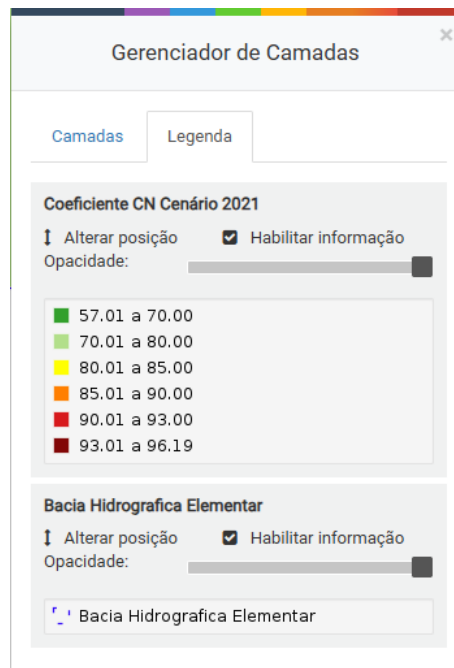
O CN foi obtido por meio do site BHMap, habilitando a camada “coeficiente CN Cenário 2021” sobre a área da bacia hidrográfica do Córrego Cercadinho, conforme a **Figura 5.4** e sua legenda apresentada na **Figura 5.5**.

Figura 5.4 - Curve Number da bacia hidrográfica do Córrego Cercadinho.



Fonte: BHMMap, 2025.

Figura 5.5 - Legenda da Figura 5.4.



Fonte: BHMMap, 2025.

Por meio da análise das figuras, pode-se observar que a área da bacia hidrográfica do Cercadinho apresenta a cor verde claro que, conforme a legenda, representa CN entre 70,01 a 80,00. Portanto, para este estudo foi adotado o valor médio entre estes limites superiores, obtendo que $CN = 75$.

A partir do valor de CN, foi obtida a capacidade máxima de retenção da bacia (S) em mm por meio da Equação 4, resultando que $S = 84,7$.

5.3.4 Intensidade de Chuva

A intensidade de chuva (i) foi calculada conforme Equação 6, substituindo o tempo de retorno T_r de 5 e o tempo de concentração T_c de 30 minutos. Logo, a intensidade da chuva é de:

$$i = \frac{2481,99 * 5^{0,1245}}{(30 + 20)^{0,89748}}$$

$$i = 90,6 \text{ mm/h}$$

5.3.5 Precipitação Efetiva

Para o cálculo da Precipitação Efetiva (PE) é necessário calcular a Precipitação Total (P), que foi obtida com a Equação 4, por meio do produto entre a intensidade (i) pela duração da chuva (D), obtendo que: $P = 45,3 \text{ mm}$. Adotando este valor de P e de $S = 84,7$ na Equação 3, tem-se que $PE = 7,1 \text{ mm}$.

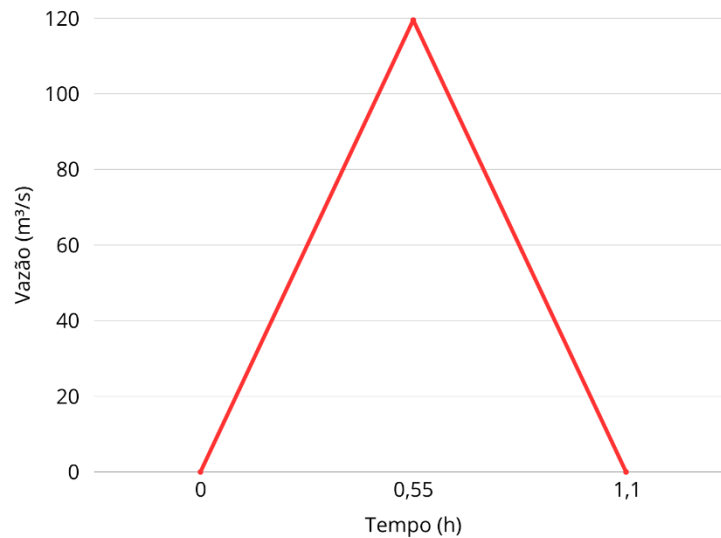
5.3.6 Tempo ao Pico, Vazão de Pico e Duração Total

O Tempo de Pico (T_p) e Vazão de Pico (Q_p) foram calculados pelas Equações 7 e 8, respectivamente, obtendo que: $T_p = 0,55 \text{ h}$ e $Q_p = 119,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Como a Duração Total (T_f) do hidrograma é o dobro de T_p , tem-se que: $T_f = 1,1 \text{ h}$.

5.3.7 Hidrograma Unitário Sintético Triangular

A **Figura 5.6** apresenta o hidrograma unitário sintético triangular gerado para a bacia do Córrego do Cercadinho, com base no modelo proposto pelo SCS/NRCS. Esse hidrograma representa a resposta da bacia a um evento de precipitação efetiva de curta duração ($D = T_c = 0,5 \text{ h}$), resultando em um escoamento superficial direto caracterizado por um rápido aumento da vazão até o pico, seguido de um declínio igualmente linear.

Figura 5.6 - Hidrograma Unitário Sintético Triangular da bacia de contribuição



Fonte: Autor, 2025.

O pico de vazão (Q_p) obtido foi de 119,5 m³/s, atingido no tempo de pico (T_p) de 0,55 horas após o início do evento. A duração total do hidrograma (T_f), considerada como o dobro de T_p , foi de 1,1 hora, refletindo o tempo necessário para que a bacia retorne à condição de pré-evento. Esse tipo de representação gráfica é útil para estimar o comportamento hidrológico de uma bacia diante de chuvas intensas, sendo aplicável em projetos de drenagem urbana, análise de riscos de inundação e dimensionamento de estruturas de controle de escoamento.

Além dos parâmetros de pico, foi possível estimar o volume total de escoamento superficial direto gerado pelo evento de precipitação efetiva, a partir da área sob a curva do hidrograma unitário triangular. Considerando que esse hidrograma possui geometria triangular, o volume (V) foi calculado com base na Equação da área de um triângulo, conforme:

$$V = \frac{Q_p * T_f}{2}$$

Substituindo os valores temos que:

$$V = \frac{119,5 * 3.960}{2} = 236.610 \text{ m}^3$$

Assim, o volume total de escoamento superficial direto resultante do evento foi estimado em

236.610 m³ aproximadamente. Esse valor representa a quantidade de água que efetivamente escoou pela superfície da bacia de contribuição durante o episódio de chuva simulado, sendo útil para subsidiar a estimativa da área necessária de jardins de chuva e telhados verdes na bacia.

Apesar de o volume total de escoamento superficial direto estimado ser de aproximadamente 236.610 m³, considerou-se que não seria viável reter integralmente esse montante por meio de intervenções de infraestrutura verde em ambiente urbano consolidado. Além disso, a eficiência de retenção hídrica de sistemas sustentáveis pode variar significativamente conforme as condições de implantação, intensidade da chuva, manutenção e saturação do solo. Segundo a EPA (2016), em contextos urbanos consolidados, é recomendada a adoção de valores conservadores de retenção de águas pluviais, situando-se geralmente entre 20% e 40% do volume total de escoamento superficial, a depender das características do local e das soluções adotadas.

Por esse motivo, adotou-se um valor de referência conservador de 30% de retenção, resultando em um volume retido aproximado de 70.980 m³. Este valor será distribuído equitativamente entre duas estratégias distintas de infraestrutura verde, de modo que aproximadamente 35.490 m³ sejam retidos por telhados verdes e os outros 35.490 m³ por jardins de chuva.

5.4 Estimativa da área de jardins de chuva e telhados verdes

5.4.1 Estimativa da área de telhados verdes

O estudo intitulado “Telhados verdes para retenção de escoamento de águas pluviais: uma síntese quantitativa global do desempenho”, de Zheng et al., publicado na revista “*Resources, Conservation & Recycling*”, em 2021, fez uma síntese global do desempenho de telhados verdes. A partir de 75 estudos publicados entre 2005 e 2020 em 21 países diferentes, foi aplicada uma abordagem estatística sobre um conjunto de dados de 2.375 amostras experimentais que verificaram a retenção de escoamento dos telhados verdes.

Os dados analisados indicam que a eficiência de retenção de água da chuva por telhados verdes pode variar significativamente entre os eventos, com taxas que oscilam de 0% a 100%. Essa variação no desempenho está associada a diversos fatores, como a intensidade da precipitação, a profundidade do substrato, o grau de cobertura superficial do telhado, o tipo de vegetação

implantada, o clima da região e a estação do ano em que ocorrem os eventos, porém, em média, observa-se uma capacidade de retenção em torno de 62% (ZHENG et al., 2021).

Como a média é de 62% de retenção, pode-se estimar o volume retido com base na precipitação do evento, adotando 30 min = 0,5 h.

Sabe-se que:

$$\text{Precipitação} = 90,6 \text{ mm/h} \times 0,5 \text{ h} = 45,3 \text{ mm}$$

A unidade milímetro de precipitação (mm) mede a altura da lâmina de água que se acumula sobre uma área de 1 metro quadrado (TUCCI, 2008). Se a precipitação total durante o evento foi de 45,3 mm, isso significa que 45,3 litros de água caíram sobre cada metro quadrado da superfície:

$$45,3 \text{ mm} = 45,3 \text{ L/m}^2$$

Então, multiplicando pela taxa de retenção (62%), temos:

$$45,3 \text{ L/m}^2 \times 0,62 = 28,09 \text{ L/m}^2$$

Convertendo para m³:

$$28,09 \text{ L/m}^2 = 0,02809 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Isto significa que os telhados verdes têm, em média, para a chuva de projeto, a capacidade de reter 0,02809 metros cúbicos por metro quadrado de área. Como o volume a ser retido é de 37.500 m³, pode ser calculada a área necessária de telhado verde por meio da Equação 7, em que A_{TV} é a área dos telhados verdes.

$$A_{TV} = \frac{35.490 \text{ m}^3}{0,02809 \text{ m}^3/\text{m}^2} \quad (7)$$

$$A_{TV} = 1.263.439 \text{ m}^2$$

Convertendo para km²:

$$A_{TV} = 1,26 \text{ km}^2$$

Os resultados demonstram que seriam necessários 1,26 km² de telhados verdes (28% da área total da bacia de contribuição) para reter 35.490 m³ do volume da chuva de projeto, considerando uma eficiência média de 62%. Essa área corresponde a 85% da superfície impermeável disponível (1,48 km²), evidenciando que a implementação em larga escala exigiria uma transformação significativa do tecido urbano existente. Quando considerada a limitação estrutural apontada por Chen (2022) - onde apenas 10% dos telhados poderiam suportar a carga adicional - a área potencialmente viável reduz-se para 0,126 km² (3% da área total), quantidade insuficiente para a retenção necessária.

5.4.2 Estimativa da área de jardins de chuva

No estudo conduzido por McGauley (2023), foi realizado um monitoramento hidrológico de longo prazo, abrangendo um período de vinte anos em um jardim de chuva. Esse acompanhamento permitiu a análise aprofundada das dinâmicas de entrada, armazenamento e saída de água no sistema. Utilizando modelagem baseada em dados coletados em tempo real e fundamentada em equações físicas, o autor construiu um balanço hídrico completo do dispositivo. Os resultados indicam que o jardim de chuva reteve, em média, 73,5% do escoamento superficial gerado nos eventos analisados, sendo 19,2% por evapotranspiração, 54,1% por infiltração e 0,2% por armazenamento.

Esta média, um pouco maior que a do telhado verde, nos permite realizar o mesmo cálculo de área necessária de jardim de chuva para todo o volume de projeto. Sabe-se que a chuva de projeto produz 45,3 mm de lâmina d'água, então, multiplicando pela taxa de retenção (73,5%), temos que:

$$45,3 \text{ L/m}^2 \times 0,735 = 33,30 \text{ L/m}^2$$

Convertendo para m³:

$$33,30 \text{ L/m}^2 = 0,0333 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Com o volume a ser retido de 37.500 m³, foi calculada a área necessária de jardins de chuva por

meio da Equação 8, em que A_{JC} é a área dos jardins.

$$A_{JC} = \frac{35.490 \text{ m}^3}{0,0333 \text{ m}^3/\text{m}^2} \quad (8)$$

$$A_{JC} = 1.065.766 \text{ m}^2$$

Convertendo para km^2 :

$$A_{JC} = 1,07 \text{ km}^2$$

Os resultados demonstram que a implantação de jardins de chuva requer uma área significativa de $1,07 \text{ km}^2$ (24% da bacia) para reter 35.490 m^3 de água pluvial. Essa demanda territorial - equivalente a 72% da área impermeável disponível ($1,48 \text{ km}^2$) - revela o desafio de implementação em escala necessária para o controle efetivo de cheias. Embora apresentem maior eficiência de retenção (73,5%) comparados aos telhados verdes (62%), os jardins de chuva ainda exigem extensas superfícies para manejar volumes pluviais críticos.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicabilidade de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) para o controle do escoamento superficial na sub-bacia do Córrego do Cercadinho, localizada na Região Oeste de Belo Horizonte, uma área densamente urbanizada e com histórico de inundações recorrentes. A partir da caracterização físico-territorial da bacia, da estimativa do volume de escoamento gerado em evento crítico e da análise de técnicas de controle na fonte, foi possível dimensionar, de forma teórica, a área necessária para duas estratégias de mitigação: telhados verdes e jardins de chuva.

O estudo obteve como resultados que considerando uma chuva de 45,3 mm e uma área de contribuição de 4,45 km², o volume total escoado pode atingir aproximadamente 236.610 m³. Para reter 30% desse volume (70.980 m³), utilizando as SbN propostas, seriam necessários cerca de 1,26 km² de cobertura vegetal por telhados verdes, o que representa aproximadamente 28% da área da sub-bacia e 1,07 km² de jardins de chuva, equivalente a 24% da bacia.

Os resultados mostram que, embora as Soluções Baseadas na Natureza ofereçam importantes contribuições para o controle do escoamento superficial, sua aplicação isolada enfrenta limitações em áreas urbanas densas, onde o espaço é reduzido. Nesse sentido, recomenda-se uma abordagem integrada, combinando diferentes estratégias baseadas na natureza, como pavimentos permeáveis, jardins de chuva e a ampliação de áreas vegetadas, de forma a potencializar sua efetividade no contexto da sub-bacia do Córrego do Cercadinho.

Para pesquisas futuras, sugere-se:

- A realização de modelagens hidrológicas integradas que considerem cenários combinados de implantação das SbN;
- A análise de custo-benefício comparando SbN com soluções convencionais de drenagem;
- O levantamento de barreiras institucionais, sociais e técnicas para implementação das SbN em áreas urbanas densamente ocupadas;
- Estudos de monitoramento em campo na bacia do Cercadinho para validar estimativas e aprimorar os parâmetros de projeto.

Com base nos dados obtidos e nas evidências da literatura, conclui-se que as Soluções Baseadas na Natureza representam uma abordagem promissora e necessária para a gestão das águas pluviais em Belo Horizonte, especialmente em bacias urbanas críticas como a do Córrego do Cercadinho. No entanto, sua aplicação ainda enfrenta desafios de viabilidade, os quais exigem novos estudos e políticas públicas voltadas ao aprimoramento de sua incorporação no espaço urbano.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10844: Drenagem urbana – Sistema de microdrenagem. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. de O.; BARRAUD, S. *Drenagem urbana: uma abordagem integrada para o controle de enchentes e poluição difusa*. 1. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2015.

BAPTISTA, M; NASCIMENTO, N; BARRAUD, S. Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana. Porto Alegre: Editora ABRH, 2005. 318 p.

CHEN, Ying-Chu; CHEN, Shih-Kai; CHEN, Zih-An. Aumento da capacidade de retenção de água por meio da transformação de telhado cinza em telhado verde. *Revista Água e Meio Ambiente*, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/wej.12777>. Acesso em: 02 jul. 2025.

COHEN-SHACHAM, E.; WALTERS, G.; JANZEN, C.; MAGINNIS, S. **Nature-based solutions to address global societal challenges**. IUCN International Union for Conservation of Nature, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>. Acesso em: 29 abr. 2025.

CORREA, T. A. Desempenho hidrológico de infraestruturas verdes em microdrenagem urbana. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2021.

DE JESUS, Antônio Marcos; SILVA, Nilson da. Os ODS e o Caminho para as Cidades Sustentáveis. *Revista Educação Contemporânea - REC*, v. 1, n. 2, p. 330-346, 2024. Disponível em: <https://www.editoraverde.org/portal/revistas/index.php/reca/article/view/321/450>. Acesso em: 19 jun. 2025.

DEVECCHI, Alejandra Maria; Chirmici, Alyne Cetrangolo; SIMONETTI, Cristina; CORREA, Thiago Bezerra. *Desenhando cidades com Soluções Baseadas na Natureza*. ResearchGate, 2021.

DINOTTE, Ana Carolina Barbosa Pereira. Interferência do avanço da urbanização na morfodinâmica da Bacia do Córrego Cercadinho, Belo Horizonte, MG. Dissertação de Mestrado (Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental). IFMG - Campus Bambuí, 2020.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem. Publicação IPR-715. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf. Acesso em: 20 jun. 2025.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.

Manual de Drenagem Urbana. 2. ed. Brasília: IPR/DNIT, 2014.

EMBRAPA. **Alagados construídos como solução para tratamento hídrico.** Brasília, 2024a.

EMBRAPA. **Relatório técnico sobre conservação de bacias hidrográficas no Cerrado.** Brasília, 2024b.

EMBRAPA. **SbN e conservação de recursos hídricos: lições do Cerrado.** Brasília, 2024c.

EPA- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. National stormwater calculator: technical manual. Washington: EPA, 2021.

FALCONE, D.; PELLEGRINO, P.; MÜLFARTH, R. **Planejamento de cidades a partir da Infraestrutura Verde e de Soluções Baseadas na Natureza: revisão de Planos Diretores e Planos Municipais das capitais brasileiras.** ResearchGate, 2024.

FRAGA, Raiza Gomes et al. **Soluções baseadas na natureza: uma revisão sobre o conceito.** In: CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Parcerias Estratégicas*, v. 25, n. 50, p. 67–82, jun. 2020. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/publicacao>. Acesso em: 10 mai. 2025.

GO ASSOCIADOS et al. Estudo sobre o setor de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas no Brasil. Brasília: Tratabrasil, abr. 2025. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2025/04/Estudo-Estudo-sobre-o-setor-de-drenagem-e-manejo-de-aguas-pluviais-urbanas-no-Brasil.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2025.

GOBATTI, M. A. **Telhados verdes em áreas urbanas: eficácia na gestão hídrica.** São Paulo, 2022.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). *Relatório de Caracterização das Bacias Hidrográficas de Minas Gerais.* Belo Horizonte: IGAM, 2022. Disponível em: <https://igam.mg.gov.br/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa.* Brasília: INMET, 2023. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr>. Acesso em: 28 nov. 2024.

LIMA, A.; PEREZ, D.; BINSTOK, J. **Considerações sobre o uso de soluções baseadas na**

natureza (sbn) para problemas relacionados à água. CNEG - Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2024.

LIMA, Fellipe. **Análise comparativa de técnicas compensatórias de drenagem urbana nos municípios de Natal e Mossoró.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Curso de Engenharia Ambiental. 2022.

LOURENÇO, R. R. de A. Sistemas urbanos de drenagem sustentáveis. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.26/14071>. Acesso em: 06 jan. 2025.

MARQUES, T.; RIZZI, D.; FERRAZ, V.; HERZOG, C. **Soluções baseadas na natureza: conceituação, aplicabilidade e complexidade no contexto latino-americano, casos do Brasil e Peru.** Revista LABVERDE, v. 11, n. 1, p. 12–49. 2021.

MCGAULEY, M.W.; AMUR A.; SHAKYA M.; WADZUK B.M. Um balanço hídrico completo de um jardim de chuva. Water Resources Research, v-19, ed. 12, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2023WR035155>. Acesso em: 03 jul. 2025.

MERLLO, Juliane Ferreira; STROPPIA, Cibele Tosin. Avaliação Microbiológica Da Água Na Bacia Do Córrego Cercadinho Em Belo Horizonte, MG. e-Scientia, Belo Horizonte, Vol. 5, N.º 1, p. 51-53. (2012). Disponível em: <https://unibh.emnuvens.com.br/dcbas/article/view/811/480>. Acesso em: 02 jul. 2025.

NASCIMENTO, Adélia Santana do; NUNES, Aline de Araújo; ABADE, Dayane Santos Oliveira; CASTRO, Gabriela Alves; OLIVEIRA, Juliana Gonçalves; CASTRO, Kelton Douglas Ribeiro de; TEODORO, Marcella Rosa. Equações de intensidade, duração e frequência para a cidade de Belo Horizonte – MG. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 12400–12412, mar. 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/10806/9026>. Acesso em: 28 jun. 2025.

PBH - Prefeitura de Belo Horizonte. Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem. 2022a. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/publicacoes/instrucao-estudos-e-projetos-de-drenagem>. Acesso em: 03 fev. 2025.

PBH - PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Manual de Soluções de Drenagem Sustentável para Belo Horizonte.** Belo Horizonte: SMMA, 2015. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/meio-ambiente>.

PBH - PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Plano Diretor de Drenagem Urbana.** Belo Horizonte: PBH, 2023.

PBH - PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. *Plano Municipal de Saneamento: Diagnóstico Socioambiental da Bacia do Córrego do Cercadinho*. Belo Horizonte: SMMA, 2021. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/meio-ambiente>. Acesso em: 30 jun. 2025.

PBH - PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Plano Municipal de Saneamento**. Belo Horizonte: PBH, 2022b.

PINHEIRO, Cristiane Borda; SANTOS, Roberto Eustáquio dos. Trajetória da drenagem urbana no Brasil: uma perspectiva a partir da análise de políticas públicas recentes de Belo Horizonte. ENCONTRO NACIONAL DA ENANPUR, Natal. Anais XVIII, 2019. Disponível em: https://praxisbh.com.br/wp-content/uploads/2021/02/17_ArtigoEnanpur_2019.pdf. Acesso em: 7 jul. 2025.

POMBO, Riciane M. Reis; JACOBI, Pedro Roberto. SBN – **Soluções baseadas em qual Natureza?**. Diálogos Socioambientais, [S. l.], v. 7, n. 19, p. 49–53, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufabc.edu.br/index.php/dialogossocioambientais/article/view/1071>. Acesso em: 22 maio. 2025.

POSSANTTI, I.; MARQUES, G. **Soluções Baseadas na Natureza para sistemas hídricos de cidades: conceituação e modelagem a nível de planejamento**. Porto Alegre: ABRH, 2019.

RIGUETTO, A. M.; MOREIRA, L. F. F.; SALES, T. E. A. **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 19-73.

SANTOS, J. O.; SOARES, R. P. C. Planejamento Urbano, Inundações e Alagamentos: por uma Análise dos Desafios Hídricos de Feira de Santana - BA. **I Simpósio Internacional Cidades Médias e Pequenas VII Simpósio Cidades Médias e Pequenas da Bahia**. [s. l.: s. n.], 2025. Disponível em: <https://anais.uefs.br/index.php/cmpba/article/view/857/795>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SANTOS, Janaina Santana dos; CARVALHO, Silvia Méri. Ocorrências de alagamentos e enchentes na bacia do arroio da Ronda em Ponta Grossa, PR, Brasil. *TerraPlural*, Ponta Grossa, v. 15, p. 1-17, e2115390, 2021. DOI: 10.5212/TerraPlural.v.15.2115390.006.

SANTOS, T. A. A. Análise de drenagem urbana em microescala: uma modelagem hidrológica da bacia hidrográfica de Serra Talhada -PE em diferentes cenários de áreas verdes. TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Serra Talhada, Serra Talhada, PE, 76f., 2025.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). *Mapeamento Geológico e Geoambiental de Belo Horizonte e Região Metropolitana*. Belo Horizonte: CPRM, 2022. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SHIAO, T.; KAMMEYER, C.; BRILL, G.; et al. **Avaliando os benefícios das Soluções**

Baseadas na Natureza para o planejamento de bacias hidrográficas. 2020.

SILVA, Maria Fernanda; MOURA, João Carlos. *Fragmentação e pressão antrópica em áreas de preservação permanente na bacia do Córrego do Cercadinho – BH/MG*. Revista de Geografia e Meio Ambiente, v. 13, n. 2, p. 67-85, 2021. Disponível em: <https://revistas.universidade.br/rgma/article/view/2021>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SILVEIRA, G. B.; RODRIGUES, L. H. R.; DORNELLES, F. Uso de Soluções baseadas na Natureza (SbN) pela Gestão Pública Brasileira no Manejo de Águas Pluviais Urbanas. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 2025, v. 17, e20240012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.017.e20240012>. Acesso em: 22 jul. 2025.

SILVÉRIO, W. L.; SALAS, J. C. G.; REIS, R. P. A. Drenagem Urbana: Telhados Inteligentes com Controle em Tempo Real (RTc), Revista Jatobá, Goiânia, 2024, v.6, e-78994. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/revjat/article/view/78994/42171>. Acesso: 02 jul. 2025.

SUPLAN/SUDECAP. Memorial técnico: Jardins de chuva em logradouros públicos de Belo Horizonte. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal, 2024.

TORRES, Pedro Henrique Campello; FRANÇA, Isabella; ANDRADE, Diego; MARTINS, Alessandra; RORIZ, Márcio. Just cities and nature-based solutions in the Global South: a diagnostic approach to move beyond panaceas in Brazil. Ambio, [S. l.], v. 52, p. 1087–1104, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-022-01783-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-022-01783-1>. Acesso em: 23 jun. 2025.

TUCCI, Carlos E. M. Drenagem urbana. 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2008.

TUCCI, Carlos E. M. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 59-73, 2004. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/279725>. Acesso em: 20 jun. 2025.

UICN 2016: **International Union for Conservation of Nature Annual report, 2016**. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/node/46619>. Acesso em: 28 nov. 2024.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. **Nature-based Solutions for Sustainable Development**. 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME- UNEP. **Nature-based Solutions: Opportunities and Challenges for Scaling Up**. 2022.

UNITED NATIONS GLOBAL COMPACT CEO WATER MANDATE. **Avaliando os benefícios das Soluções Baseadas na Natureza para o planejamento de bacias hidrográficas**. Disponível em: https://ceowatermandate.org/wp-content/uploads/2020/12/UNScalingNBS_portugues_v05.pdf. Acesso em: 4 dez. 2024.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. **Técnicas de SbN em drenagem urbana**. Brasília, 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Impactos de SbN em drenagem urbana**. Porto Alegre, 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Urban green spaces and health: a review of evidence. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289055586>. Acesso em: 13 mai. 2025.

WORLD RESOURCES INSTITUTE BRASIL - WRI Brasil. Soluções baseadas na natureza para cidades resilientes. Brasília, 2024. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes>. Acesso em: 13 mai. 2025.

ZHENG, Xinzhu; ZOU, Yicheng; LOUNSBURY, Amanda W.; WANG, Pode; WANG, Ranran. Telhados verdes para retenção de escoamento de águas pluviais: uma síntese quantitativa global do desempenho. *Resources, Conservation & Recycling*, 170, 2021, 105577. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921001841>. Acesso em: 27 jun. 2025.