18° ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE PAISAGISMO EM ESCOLAS DE ARQUITETURA E URBANISMO NO BRASIL

BELO HORIZONTE - MG
11 - 14 / AGOSTO

PAISAGENS EM DIÁLOGOS
TERRITÓRIOS, MEMÓRIAS E NATUREZAS

ENEPEA 2026

CIDADES ESPONJA: INFRAESTRUTURA VERDE COMO ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO DE ENCHENTES NO RIBEIRÃO ARRUDAS, BELO HORIZONTE

ST1 – Paisagens e naturezas

SPONGE CITIES: GREEN INFRASTRUCTURE AS A FLOOD MITIGATION STRATEGY IN THE ARRUDAS STREAM, BELO HORIZONTE

SOUZA, Talita Silvia de

Mestranda PPG-ACPS | EAUFMG | Belo Horizonte, MG, Br | talita_sil@outlook.com |ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2318-9048

PEREIRA COSTA, Staël de Alvarenga

Professora Doutora PPG-ACPS | EAUFMG | Belo Horizonte, MG, Br | sapc@ufmg.br | ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1018-204X

RESUMO

A intensificação das enchentes urbanas constitui um dos principais desafios ambientais das cidades contemporâneas, agravado pela impermeabilização do solo, pela canalização de cursos d'água e pelas mudanças climáticas. Nesse cenário, cresce o interesse por abordagens urbanísticas que integrem natureza e infraestrutura urbana como estratégia de adaptação climática. Este artigo discute o papel da arquitetura da paisagem na mitigação de enchentes urbanas a partir da aplicação do conceito de cidades esponjas no contexto do Ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte. A pesquisa articula revisão teórica, análise espacial e simulações hidrodinâmicas com apoio de geotecnologias, buscando compreender a dinâmica das inundações e identificar áreas com potencial para implantação de infraestruturas verdes. Os resultados indicam que soluções baseadas na natureza podem reduzir significativamente o escoamento superficial e ampliar a capacidade de retenção da água pluvial no tecido urbano. Com base nessa análise, propõe-se a implantação de um parque esponja alagável ao longo do Ribeirão Arrudas, configurando uma infraestrutura paisagística capaz de integrar funções hidrológicas, ecológicas e sociais. Conclui-se que a arquitetura da paisagem possui papel estratégico na construção de cidades resilientes, ao promover a reconciliação entre processos naturais e estruturas urbanas.

Palavras-chave: arquitetura da paisagem; cidades esponjas; infraestrutura verde; enchentes urbanas; planejamento urbano.

ABSTRACT

The intensification of urban flooding constitutes one of the main environmental challenges of contemporary cities, aggravated by soil impermeability, the channeling of waterways, and climate change. In this scenario, there is a growing interest in urban planning approaches that integrate nature and urban infrastructure as a climate adaptation strategy. This article discusses the role of landscape architecture in mitigating urban flooding through the application of the sponge city concept in the context of the Arrudas River in Belo Horizonte. The research articulates theoretical review, spatial analysis, and hydrodynamic simulations with the support of geotechnologies, seeking to understand the dynamics of flooding and identify areas with potential for the implementation of green infrastructure. The results indicate that nature-based solutions can significantly reduce surface runoff and increase the capacity for rainwater retention in the urban fabric. Based on this analysis, the implementation of a floodable sponge park along the Arrudas Stream is proposed, configuring a landscape infrastructure capable of integrating hydrological, ecological, and social functions. It is concluded that landscape architecture plays a strategic role in building resilient cities by promoting the reconciliation between natural processes and urban structures.

Keywords: Landscape architecture; sponge cities; green infrastructure; urban flooding; urban planning.

1 INTRODUÇÃO

A crescente ocorrência de enchentes urbanas tem evidenciado os limites dos modelos tradicionais de drenagem adotados pelas cidades modernas. A expansão urbana acelerada, associada à impermeabilização do solo e à canalização de cursos d'água, alterou profundamente o funcionamento do ciclo hidrológico nas áreas urbanizadas. Como consequência, episódios de precipitação intensa passaram a produzir impactos cada vez mais significativos sobre a infraestrutura urbana e a vida cotidiana da população (Costa e Rodrigues, 2025; Sales et al., 2025; Carneiro et al., 2026).

Ao longo da urbanização moderna, rios e córregos foram canalizados e integrados à infraestrutura urbana, consolidando um modelo de drenagem baseado na rápida condução da água por redes artificiais. Essa abordagem, amplamente adotada no século XX, intensificou a impermeabilização do solo e o escoamento superficial, contribuindo para a recorrência de enchentes em áreas urbanizadas (Canholi, 2005; Baptista; Nascimento; Barraud, 2005). Embora tenha viabilizado a expansão urbana, esse modelo também aumentou a vulnerabilidade das cidades a eventos hidrológicos extremos.

Nas últimas décadas, entretanto, esse paradigma tem sido questionado por diferentes campos disciplinares, incluindo o urbanismo, a arquitetura da paisagem e a ecologia urbana. Nesse contexto, cresce o reconhecimento de que a gestão da água urbana não pode depender exclusivamente de infraestruturas rígidas e impermeáveis, exigindo abordagens que integrem processos naturais ao planejamento urbano (Morais, 2022).

Belo Horizonte, assim como diversas cidades brasileiras, enfrenta desafios urbanos associados a processos históricos de planejamento e expansão territorial que nem sempre consideraram de forma adequada as dinâmicas ambientais do território (Souza, 2020; Morais, 2022). Nas últimas décadas, sobretudo durante o período chuvoso, a cidade tem registrado episódios cada vez mais frequentes de alagamentos e inundações. Esse cenário tem sido agravado pelas mudanças climáticas, que vêm intensificando eventos de precipitação extrema e ampliando os impactos sociais, econômicos e ambientais associados às enchentes.

Além disso, a configuração urbana da capital mineira é marcada por um histórico de canalização e ocultação de diversos cursos d'água, processo que alterou significativamente o comportamento hidrológico da cidade (Borsagli, 2019) (Figura 1). A retificação e o confinamento dos rios aceleram o escoamento das águas pluviais, favorecendo a ocorrência de inundações em áreas urbanizadas. Soma-se a isso a presença de um relevo acidentado e as limitações do sistema de drenagem urbana, fatores que contribuem para a recorrência de enchentes. Nesse contexto, como observa Souza (2020), as mudanças climáticas têm intensificado tempestades e eventos extremos, configurando uma nova realidade climática que impõe desafios adicionais à gestão das águas nas cidades.

Figura 1: Planta topográfica da Cidade de Minas (1895), destacando a retificação dos cursos d'água realizada para viabilizar a implantação do traçado urbano ortogonal de Belo Horizonte.



Fonte: Fonte: Arquivo Público Mineiro, (1895).

Além das transformações urbanas, fatores naturais também influenciam a dinâmica hidrológica, especialmente no Quadrilátero Ferrífero, onde vales encaixados e canais rasos favorecem a rápida elevação do nível da água e o extravasamento dos cursos d'água durante chuvas intensas, como no caso do Ribeirão Arrudas (Amaral; Costa; Muzzi, 2017). Associada à elevada impermeabilização do solo urbano, essa condição intensifica o escoamento superficial e amplia a ocorrência de inundações, fazendo com que a água ocupe áreas não planejadas para seu fluxo.

A recorrência de enchentes em cidades como Belo Horizonte expõe as limitações do modelo tradicional de drenagem urbana, historicamente baseado na rápida condução da água por redes subterrâneas e canais artificiais. Diante desse cenário, tem-se ampliado o interesse por abordagens que integrem processos naturais ao planejamento urbano. Entre elas, destaca-se o conceito de cidades esponja, que propõe estratégias de manejo da água fundamentadas na infraestrutura verde e na construção de paisagens urbanas mais resilientes.

O conceito de cidades esponjas, desenvolvido inicialmente na China como resposta aos recorrentes episódios de inundação em áreas urbanas densamente ocupadas. Esse modelo propõe que as cidades sejam capazes de absorver, infiltrar, armazenar e reutilizar a água da chuva por meio da incorporação de infraestruturas verdes ao tecido urbano (Zeng et al., 2023; He et al., 2019; Chan et al., 2018).

A arquitetura da paisagem desempenha um papel fundamental nesse processo, ao possibilitar a concepção de espaços urbanos capazes de integrar funções ecológicas, hidrológicas e sociais. Nessa perspectiva, a paisagem deixa de ser entendida apenas como um elemento estético ou recreativo e passa a assumir funções infraestruturais essenciais para o funcionamento e a resiliência das cidades. Diante desse entendimento, torna-se necessário adotar abordagens

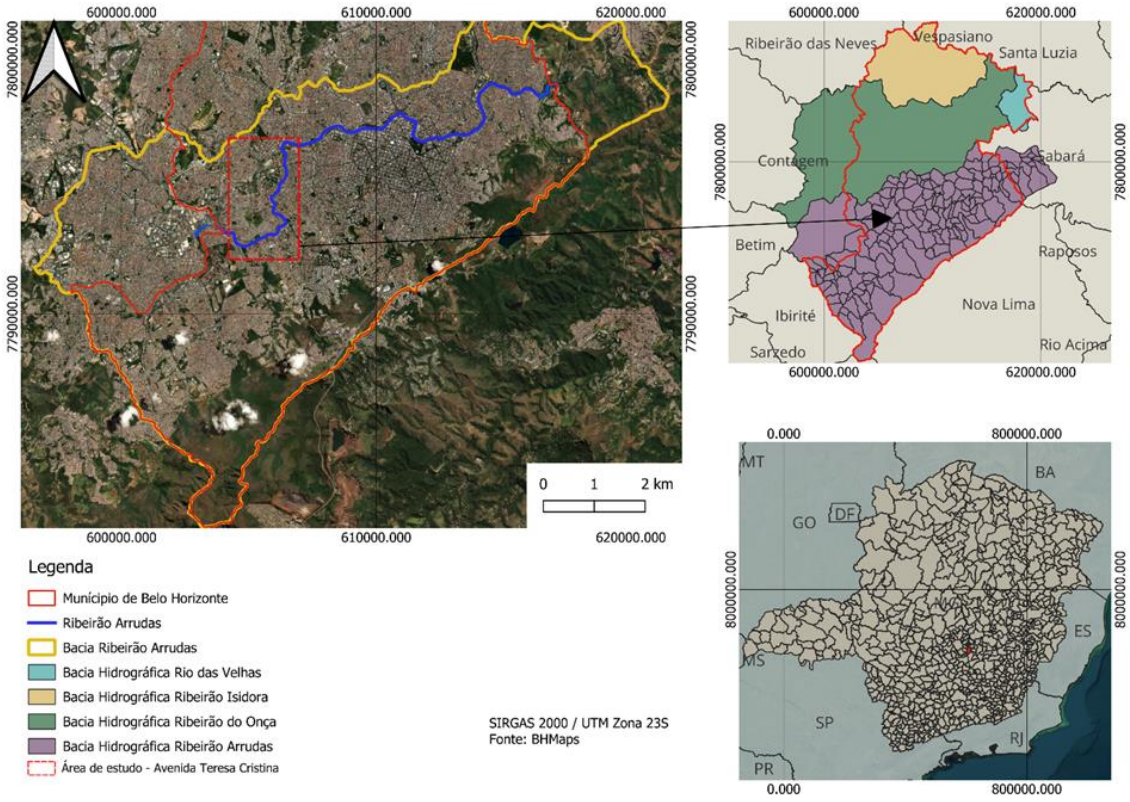
metodológicas que permitam analisar e aplicar esses princípios no contexto urbano em Belo Horizonte, orientando a investigação e a proposição de estratégias para a gestão das águas nas cidades como o estudo de caso.

1.1 Estudo de caso

A área de estudo compreende um trecho da Avenida Teresa Cristina, localizada na região oeste de Belo Horizonte, reconhecida como uma das áreas mais vulneráveis do ponto de vista ambiental e hidrológico. Esse setor apresenta recorrentes episódios de inundação, evidenciados pelas manchas de alagamento mapeadas ao longo do seu percurso, conforme indicado pela Carta de Inundações da Prefeitura de Belo Horizonte (Belo Horizonte, 2023). Trata-se de um trecho crítico associado ao Ribeirão Arrudas, cujo comportamento hidrológico, aliado às condições urbanas e à elevada impermeabilização, contribui para a intensificação das enchentes, especialmente durante eventos de chuva intensa.

Diante desse contexto, a área foi selecionada como recorte estratégico para a análise e proposição de intervenções baseadas no conceito de cidades esponja, com foco na mitigação dos impactos das águas pluviais. A Figura 2 apresenta a localização do município de Belo Horizonte e a delimitação da área de estudo, evidenciando sua inserção na bacia hidrográfica do Ribeirão Arrudas, bem como sua relação com bacias adjacentes. Essa contextualização territorial é fundamental para compreender a dinâmica hidrológica da região e orientar a aplicação de estratégias de drenagem urbana sustentável.

Figura 2: Localização espacial da área de estudo na bacia do Ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte – Minas Gerais.



Fonte: Autora, 2026.

2 METODOLOGIA

A pesquisa adotou uma abordagem metodológica de caráter quali-quantitativo, combinando revisão bibliográfica, análise espacial e estudo de caso urbano. Inicialmente foi realizada uma revisão teórica sobre arquitetura da paisagem, infraestrutura verde e cidades esponja, buscando identificar princípios e estratégias aplicáveis ao contexto urbano brasileiro. Em seguida foi desenvolvido um estudo de caso no Ribeirão Arrudas, com foco no trecho localizado na Avenida Teresa Cristina, área frequentemente afetada por episódios de inundação.

A análise espacial foi realizada por meio de Sistemas de Informação Geográfica, utilizando dados georreferenciados relacionados à topografia, uso e ocupação do solo e rede hidrográfica. Foram também empregadas simulações hidrodinâmicas com o software HEC-RAS[1], permitindo identificar áreas suscetíveis a inundação e avaliar diferentes cenários de intervenção urbana. Com base nesses dados foram elaboradas propostas de intervenção paisagística fundamentadas no conceito de cidades esponjas.

[1] É um software desenvolvido pelo United States Army Corps of Engineers (USACE) destinado à modelagem hidráulica e hidrodinâmica de sistemas fluviais. A ferramenta permite simular o escoamento da água em canais naturais e artificiais. (USACE, 2025).

3 CIDADES ESPONJAS E INFRAESTRUTURA VERDE

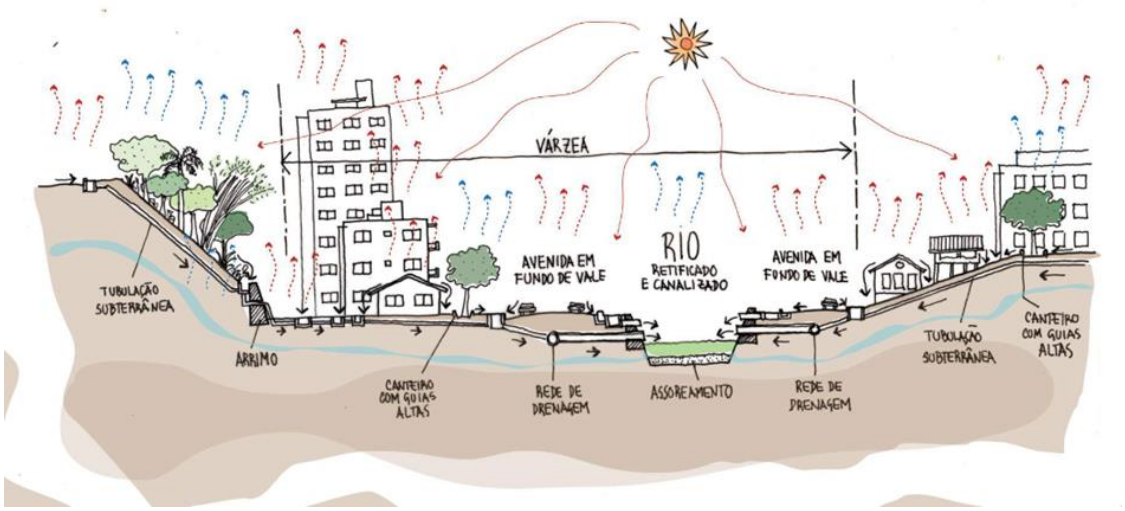
O conceito de cidades esponjas surge como resposta à crescente vulnerabilidade das cidades frente aos eventos climáticos extremos. Desenvolvido na China a partir da década de 2010, esse modelo propõe uma abordagem integrada de gestão da água urbana, baseada na capacidade das cidades de absorver e reter água da chuva (Asian Development Bank, 2022). Ao invés de conduzir rapidamente a água para fora do ambiente urbano, as cidades esponja buscam restaurar processos naturais do ciclo hidrológico, permitindo que a água seja infiltrada, armazenada e reutilizada (Yin et al., 2021).

A hidrologia é o campo científico dedicado ao estudo da água na Terra, analisando sua presença, movimentação e transformações nos diferentes ambientes naturais. Essa área do conhecimento busca compreender como a água interage com o solo, a atmosfera e os ecossistemas, além de investigar seu percurso dentro do ciclo hidrológico e suas propriedades físicas e químicas (Castagna, 2023). De acordo com Vilella e Mattos (1975), a hidrologia examina a água em suas diversas dimensões, considerando desde sua ocorrência e distribuição até sua circulação e suas relações com os sistemas naturais e com os seres vivos. Esses conhecimentos são fundamentais para o planejamento urbano, sobretudo quando se busca compreender e enfrentar problemas relacionados a enchentes e inundações nas cidades.

Em ambientes urbanos, a presença de extensas superfícies impermeáveis altera significativamente o funcionamento natural do ciclo da água. A redução da capacidade de infiltração do solo intensifica o escoamento superficial, o que aumenta o volume de água direcionado aos cursos d’água e sobrecarrega os sistemas de drenagem e esgotamento. Como consequência, diminui a capacidade de absorção e regulação natural dos rios, favorecendo a ocorrência de alagamentos em períodos de chuva intensa. Nesse contexto, a compreensão do ciclo hidrológico torna-se essencial para analisar a dinâmica das precipitações e o comportamento do escoamento superficial, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias mais adequadas de gestão das águas urbanas (Vestena, 2008).

Castagna (2023), na figura 3 ilustra um modelo urbano tradicional ainda bastante comum em diversas cidades brasileiras, caracterizado pela transformação dos cursos d’água em elementos rigidamente controlados pela infraestrutura urbana. Nesse cenário, o leito natural do rio é substituído por canais de concreto, resultado de processos de retificação e canalização que alteram significativamente sua dinâmica natural. Essa intervenção aumenta a velocidade do escoamento da água e reduz a capacidade de infiltração no solo, contribuindo para o agravamento de problemas relacionados às enchentes. As margens do rio passam a ser ocupadas por avenidas implantadas em fundos de vale, estruturas de contenção e edificações construídas próximas à calha fluvial, o que amplia a exposição dessas áreas a eventos de inundação.

Figura 3: Representação do modelo urbano convencional caracterizado pela canalização e retificação dos cursos d’água.

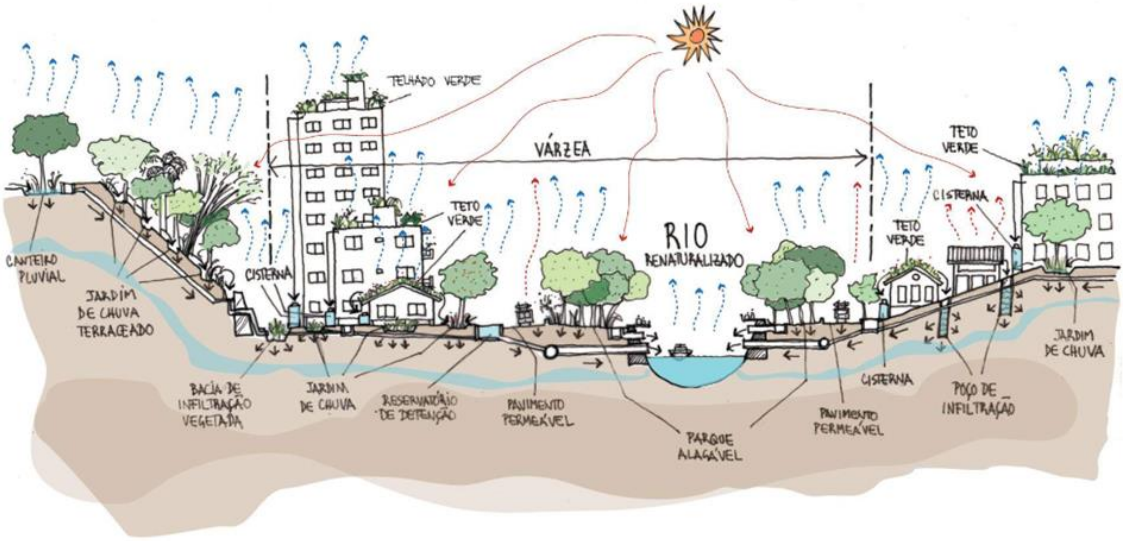


Fonte: Castagna, 2023.

A figura 4, apresentada por Castagna (2023), ilustra um modelo urbano fundamentado na renaturalização dos cursos d'água e na incorporação de infraestruturas verdes, alinhado ao conceito de cidades esponja. Nesse cenário, soluções como telhados verdes, pavimentos permeáveis, jardins de chuva, bacias de infiltração, cisternas e parques alagáveis são integradas ao tecido urbano com o objetivo de ampliar a retenção, infiltração e reaproveitamento da água pluvial. Essas estratégias representam alternativas sustentáveis para o manejo das águas nas cidades, contribuindo para a redução do escoamento superficial e para a mitigação dos impactos das chuvas intensas.

Além de melhorar a gestão da água urbana, essas intervenções também dialogam diretamente com os princípios da arquitetura da paisagem, ao integrar natureza e cidade por meio de espaços verdes multifuncionais. Nesse modelo, o rio é reintegrado ao ambiente urbano em um curso mais naturalizado, cercado por vegetação e conectado aos espaços públicos. A transição de uma infraestrutura predominantemente cinza para sistemas baseados em infraestrutura verde e azul favorece o restabelecimento do ciclo hidrológico, reduz o risco de inundações e contribui para a melhoria da qualidade ambiental das cidades.

Figura 4: Representação de modelo urbano orientado pela infraestrutura verde e pela renaturalização dos sistemas fluviais.



Fonte: Castagna, 2023.

Os estudos de Forman (2019), ao abordar a Ecologia da Paisagem aplicada ao planejamento urbano, ressaltam a relevância de integrar os sistemas naturais ao ambiente construído, de modo a favorecer a conectividade ecológica e o funcionamento adequado dos processos ambientais nas cidades, especialmente os relacionados ao ciclo da água. De maneira complementar, Cormier e Pellegrino (2008) destacam a importância da adoção de estratégias que articulem infraestrutura verde e planejamento urbano ecológico, buscando não apenas melhorar a gestão das águas pluviais, mas também contribuir para a preservação da biodiversidade e para o equilíbrio ambiental no meio urbano.

A análise comparativa entre os diferentes modelos de urbanização reforça, portanto, a necessidade de repensar as formas tradicionais de ocupação das cidades. A renaturalização dos rios ultrapassa o campo técnico da drenagem urbana e passa a representar também uma abordagem social, ambiental e política para o planejamento das cidades. Ao incorporar princípios defendidos por autores como McHarg (1992), Spink (2006), Forman (2019) e Cormier e Pellegrino (2008), as soluções baseadas na natureza fortalecem a aplicação do conceito de cidades esponja e contribuem para a construção de estratégias urbanas mais sensíveis às mudanças climáticas, à valorização da paisagem e à melhoria da qualidade de vida urbana.

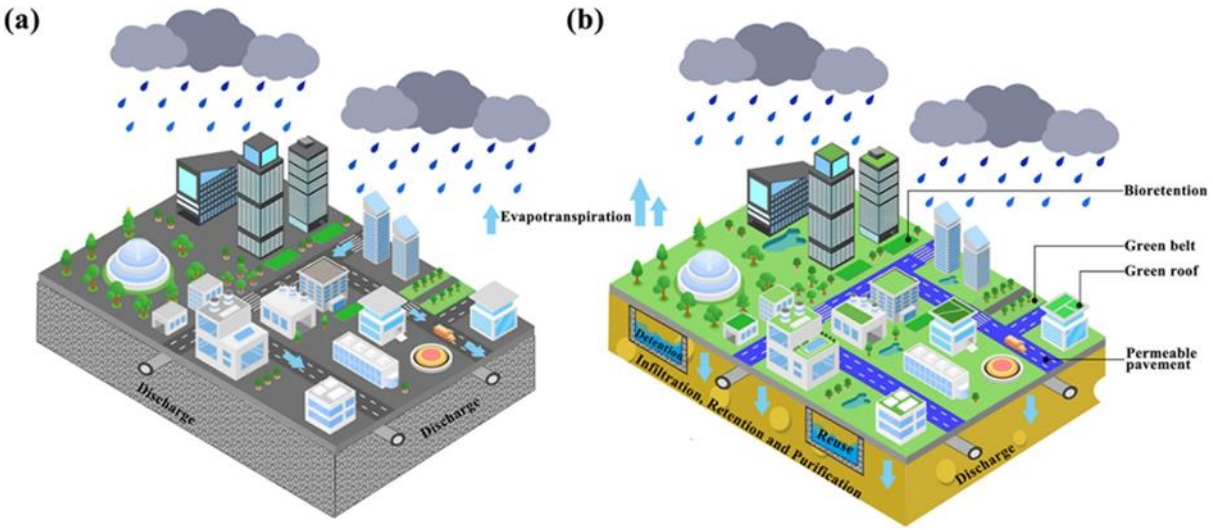
Entre as principais estratégias de intervenções destacam-se os jardins de chuva, as biovaletas, os pavimentos permeáveis, os telhados verdes e os parques alagáveis, elementos que integram a chamada infraestrutura verde. A adoção dessas soluções representa uma mudança significativa na forma de planejar a drenagem urbana com o conceito de cidades esponja, ao substituir modelos centrados apenas na condução rápida da água por abordagens que valorizam a integração entre natureza, paisagem e cidade.

3.1 Programa de Cidade Esponja

A abordagem teórica deste estudo aprofunda a compreensão do conceito de cidades esponja. Esse modelo evidencia o papel da arquitetura da paisagem ao incorporar soluções sustentáveis baseadas na natureza em diferentes escalas. Entre essas estratégias destacam-se zonas úmidas, corredores verdes, parques, áreas arborizadas, jardins de chuva, telhados verdes, pavimentos permeáveis e biovaletas. Segundo Souza (2025), tais elementos contribuem para reorganizar o espaço urbano, promovendo maior integração entre os sistemas naturais e o ambiente construído.

Segundo Yin et al. (2021), o programa propõe substituir as infraestruturas tradicionais, marcadas por superfícies impermeáveis, por soluções que favorecem a infiltração, retenção e tratamento das águas pluviais. Essa abordagem busca reduzir o escoamento superficial e melhorar a eficiência da drenagem urbana. Para isso, são adotadas estratégias como sistemas de drenagem sustentável, pavimentação permeável, bacias de biorretenção e telhados verdes, que também contribuem para o aumento da evapotranspiração e para a melhoria do microclima urbano. A Figura 5 ilustra essa transformação ao comparar dois modelos: um com elevado escoamento superficial e outro baseado na infraestrutura verde, que promove maior retenção e qualidade da água nas cidades.

Figura 5: Representação comparativa entre infraestrutura cinza e sistemas urbanos baseados em infraestrutura verde.



Fonte: Yin et al, 2021.

Essas soluções contribuem para a redução da sobrecarga dos sistemas convencionais de drenagem urbana, ao mesmo tempo em que promovem melhorias significativas na qualidade ambiental das cidades (Souza, 2025). Para além de sua função hidrológica, tais infraestruturas desempenham papel relevante na qualificação dos espaços públicos, favorecendo a criação de ambientes urbanos mais confortáveis, sustentáveis e resilientes. Nesse sentido, torna-se fundamental compreender como essas estratégias se articulam com os princípios da arquitetura da paisagem, apresentados no próximo tópico, especialmente no que se refere à integração entre natureza, cidade e gestão das águas urbanas.

4 PAISAGEM E GESTÃO DA ÁGUA URBANA EM BELO HORIZONTE

A configuração da paisagem de Belo Horizonte, desde sua origem como cidade planejada até os processos posteriores de expansão e adensamento, evidencia um território resultante da interação contínua entre condicionantes naturais e intervenções humanas. Inserida em um contexto geomorfológico particular e estruturada por uma rede hidrográfica que orientou historicamente sua ocupação, a cidade apresenta uma paisagem construída tanto a partir das diretrizes de planejamento quanto das transformações socioeconômicas intensificadas ao longo do século XX (Macedo, 2004; Borsagli, 2019; Souza, 2020). Essa dinâmica revela como os processos urbanos e ambientais se sobrepõem, influenciando diretamente a forma e o funcionamento do espaço urbano.

A interpretação dessa paisagem requer, portanto, uma abordagem integrada que considere sua base físico-natural — incluindo relevo, hidrografia e cobertura vegetal — associada às dinâmicas urbanas que continuamente reconfiguram o território. É a partir dessa leitura ampliada que se tornam possíveis reflexões mais consistentes sobre o conceito de paisagem e suas abordagens no campo do planejamento urbano e da arquitetura da paisagem, articulando diferentes escalas de análise e incorporando dimensões ambientais, sociais e culturais (Forman, 2019; McHarg, 1992; Spink, 2006).

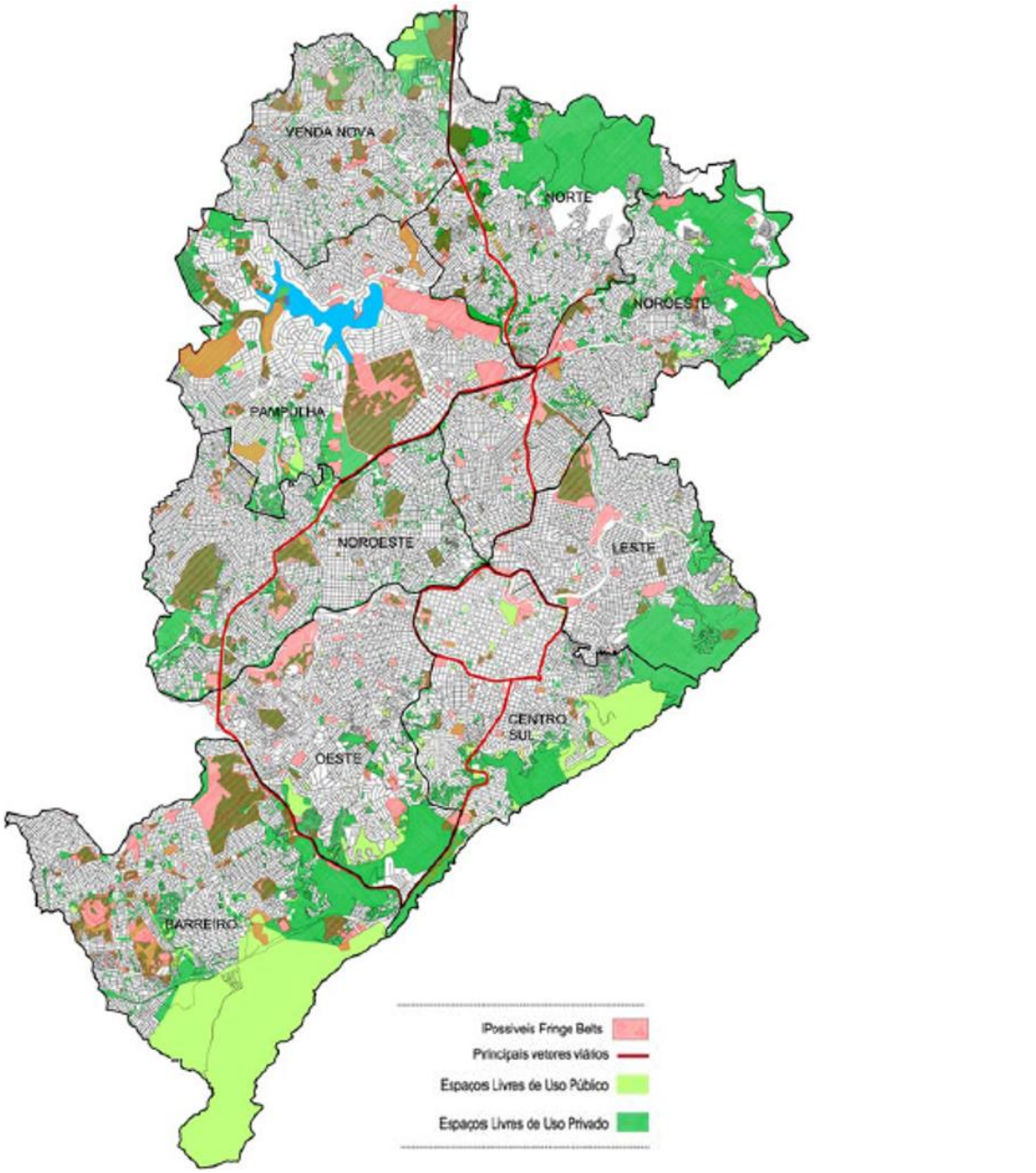
A relação entre paisagem e planejamento urbano tem sido amplamente discutida ao longo das últimas décadas, especialmente no contexto das transformações ambientais que afetam as cidades contemporâneas. Nesse debate, a arquitetura da paisagem emerge como campo disciplinar capaz de integrar processos ecológicos, sociais e espaciais na organização do território. McHarg (1992) defende que o planejamento urbano deve considerar a leitura ecológica do território como fundamento para a tomada de decisões urbanísticas. A partir dessa perspectiva, rios, solos, vegetação e sistemas hidrológicos deixam de ser obstáculos à urbanização e passam a ser reconhecidos como estruturas fundamentais para o funcionamento das cidades.

Nesse contexto, a incorporação da infraestrutura verde ao planejamento urbano não se limita à introdução de soluções pontuais, mas exige a compreensão da estrutura espacial da cidade e de seus elementos morfológicos. A leitura da paisagem urbana, a partir de suas continuidades e descontinuidades, permite identificar áreas com potencial para a implantação de estratégias baseadas na natureza, especialmente aquelas com menor adensamento construtivo e maior presença de espaços livres (Costa et al., 2009; Maciel et al., 2009). Assim, a articulação entre os princípios da ecologia da paisagem e a análise morfológica do território contribui para orientar intervenções mais integradas e eficazes, capazes de promover a conectividade ecológica e fortalecer o papel da paisagem na gestão das águas urbanas (Costa et al., 2024; Conzen, 2009).

No campo da análise morfológica da paisagem urbana, os estudos sobre *fringe belts* em Belo Horizonte têm permitido identificar padrões de descontinuidade e permanência no processo de expansão da cidade. Essas áreas são caracterizadas por baixa densidade construtiva, usos extensivos e significativa presença de espaços livres, estando geralmente associadas a períodos de desaceleração do crescimento urbano (Costa et al., 2024; Conzen, 2009). No contexto local, essas franjas foram identificadas principalmente em áreas ocupadas por grandes equipamentos urbanos, instituições, parques e cemitérios, frequentemente localizadas ao longo de eixos estruturantes ou limites naturais. O mapeamento desses espaços, figura 6, evidencia seu papel estratégico na organização da paisagem urbana, funcionando como reservas territoriais e

elementos capazes de articular o sistema de espaços livres do município (Costa et al., 2009; Maciel et al., 2009).

Figura 6: Identificação dos possíveis *fringe belts* e dos espaços livres no município de Belo Horizonte.



Fonte: Laboratório da Paisagem EA UFMG, 2009.

Em Belo Horizonte, as bacias hidrográficas urbanas expressam a interação entre condicionantes naturais e transformações antrópicas. Assim, compreender o Ribeirão Arrudas como elemento estruturador da cidade é fundamental para analisar vulnerabilidades e orientar estratégias de adaptação e resiliência na paisagem urbana.

2.1 Ribeirão Arrudas

O Ribeirão Arrudas integra a bacia do rio das Velhas, pertencente à bacia hidrográfica do rio São Francisco, e possui cerca de 44 km de extensão, com nascente em Contagem, atravessando Belo Horizonte no sentido sudoeste–leste até desaguar em Sabará (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 2016; Belo Horizonte, 2022). No contexto municipal, a bacia do Ribeirão Arrudas se articula com as bacias dos ribeirões do Onça e Isidoro, configurando um sistema hídrico interdependente (figura 7). Com área aproximada de 228,37 km² e relevo variando entre 750 e 1.500 metros de altitude, a bacia apresenta condições que favorecem o escoamento superficial rápido, especialmente em períodos chuvosos.

Figura 7: Bacia hidrográfica do Ribeirão Arrudas e bacias contíguas.



Fonte: Adaptado de Prefeitura de Belo Horizonte (PBH), 2010.

A partir das bases teóricas e das análises espaciais desenvolvidas, torna-se possível avançar para a apresentação dos resultados obtidos. A análise dos resultados permite, ainda, refletir sobre as

possibilidades de intervenção no território, articulando diagnóstico e proposição no âmbito da arquitetura da paisagem e da gestão das águas urbanas.

5 ANÁLISE INTEGRADA DAS ENCHENTES URBANAS NO RIBEIRÃO ARRUDAS, BELO HORIZONTE

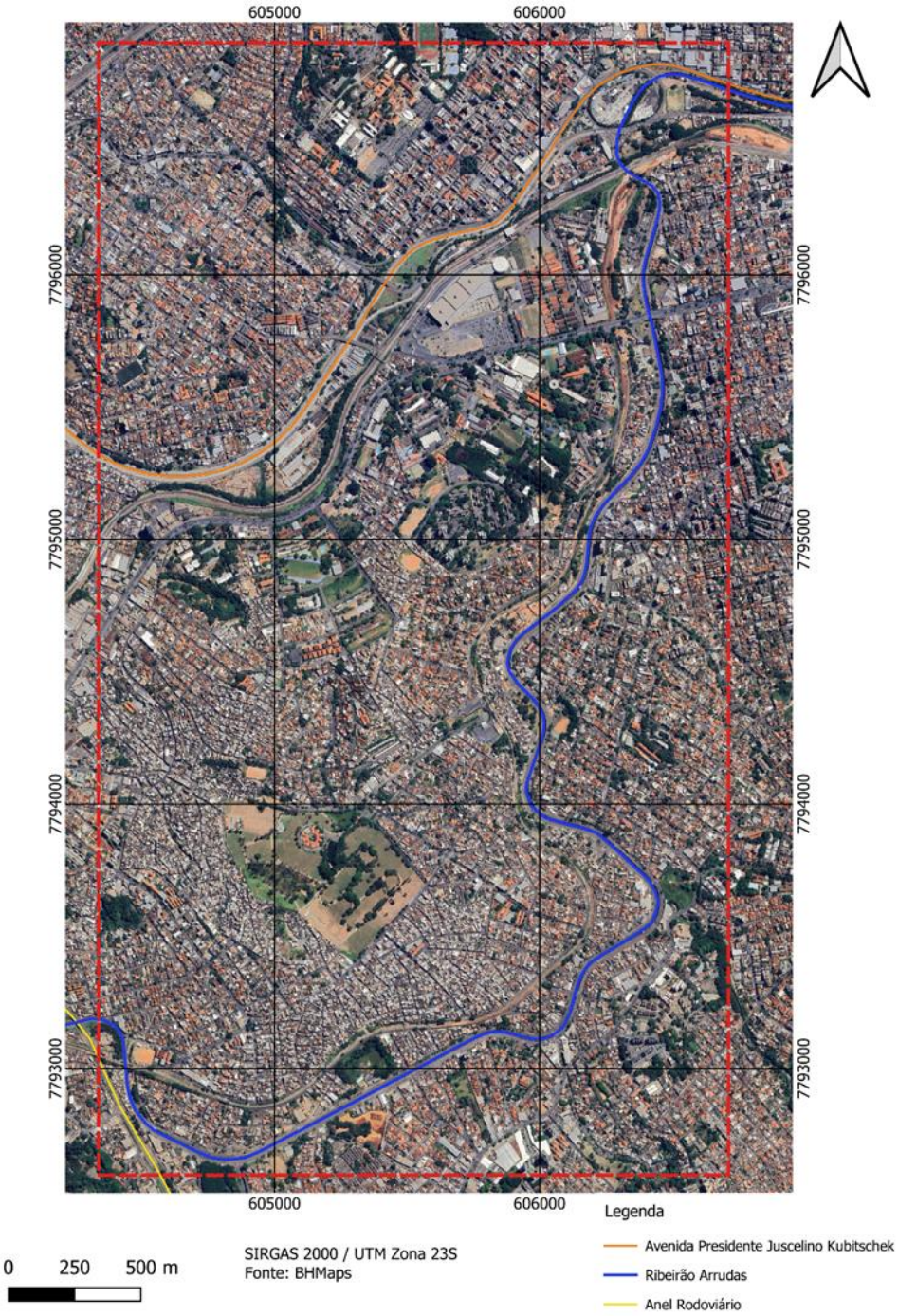
Este tópico apresenta os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, com foco na análise do Ribeirão Arrudas no trecho da Avenida Teresa Cristina, em Belo Horizonte. A metodologia contempla o uso de dados geoespaciais, como o Modelo Digital do Terreno[2] (MDT) disponibilizado pela Prefeitura de Belo Horizonte (Belo Horizonte, 2026), integrados a processos de análise espacial e modelagem hidrodinâmica[3]. Para a simulação do comportamento das águas e a avaliação das áreas suscetíveis a inundação, foi utilizado o software HEC-RAS (USACE, 2025), permitindo subsidiar a proposição de estratégias de intervenção alinhadas aos princípios das cidades esponja.

A figura 8 delimita a área de estudo no trecho do Ribeirão Arrudas ao longo da Avenida Teresa Cristina, entre o Anel Rodoviário e a Avenida Presidente Juscelino Kubitschek, na região oeste de Belo Horizonte. Trata-se de um setor intensamente urbanizado, com alto grau de impermeabilização, presença marcante de vias expressas e ocupações consolidadas. O curso d'água encontra-se canalizado e inserido em uma infraestrutura rígida, evidenciando processos históricos de retificação. Devido à recorrência de inundações nessa área, o trecho se configura como estratégico para análises hidrodinâmicas e para a compreensão das relações entre urbanização e dinâmica das águas.

Figura 8: Localização espacial da área de estudo no Ribeirão Arrudas, na Avenida Teresa Cristina, Belo Horizonte.

[2] Corresponde a uma representação tridimensional da superfície terrestre, na qual são considerados apenas os elementos do relevo, desconsiderando vegetação, edificações e demais estruturas artificiais (Felgueiras, 1999).

[3] Pode ser compreendida como um procedimento técnico que simula o comportamento da água em movimento, considerando variáveis como vazão, velocidade, nível d'água e interação com o relevo e as superfícies urbanas (Chow, 1988; Tucci, 2009)



Fonte: Autora, 2026.

As simulações hidrodinâmicas realizadas no HEC-RAS, permitiram representar com maior precisão a topografia urbana e o comportamento do escoamento no trecho do Ribeirão Arrudas. A integração desses dados com o modelo possibilitou analisar a propagação das manchas de inundação e compreender a influência das características físicas do terreno e do canal na dinâmica das cheias, especialmente em uma área densamente urbanizada.

Nesse processo, a incorporação dos dados de uso e ocupação do solo como elemento fundamental para a simulação, uma vez que esses dados foram utilizados na definição de parâmetros hidráulicos, como os coeficientes de rugosidade (Manning[4]). Áreas altamente impermeabilizadas, associadas a usos urbanos intensivos, apresentaram maior velocidade de escoamento, enquanto áreas com vegetação indicaram maior capacidade de retenção e dissipação da água.

A simulação hidrodinâmica realizada com base no MDT da Prodabel evidencia a significativa propagação das manchas de inundação ao longo do Ribeirão Arrudas, especialmente nas margens da Avenida Teresa Cristina (figura 9). As áreas mais críticas concentram-se em trechos de canal aberto e em zonas densamente urbanizadas, como nos bairros Gameleira e Padre Eustáquio, onde fatores como elevada impermeabilização do solo, baixa declividade e proximidade das edificações favorecem o acúmulo e o extravasamento das águas.

Destacam-se ainda pontos de maior vulnerabilidade associados a cruzamentos viários e à confluência de córregos afluentes, que intensificam o risco de inundação. Esses resultados evidenciam a relação direta entre uso e ocupação do solo, características topográficas e dinâmica hidrológica, além de reforçarem a importância do uso de dados altimétricos de alta resolução para a análise precisa dos processos de inundação em áreas urbanas.

[4] É um parâmetro empírico amplamente utilizado na hidráulica para representar a resistência ao escoamento da água em canais naturais ou artificiais. (Chow, 1959; Tucci, 2009).

Figura 9: Delimitação das áreas inundáveis obtida por modelagem hidrodinâmica com o MDT da Prodabel



Fonte: USACE (2025) modificado pela autora, 2026.

Os resultados obtidos aprofundam a compreensão da dinâmica hidrológica urbana associada ao Ribeirão Arrudas e oferecem base técnica para a proposição de estratégias pautadas em soluções baseadas na natureza. A partir dessas análises, são apresentados, a seguir, a simulação e o mapeamento de intervenções alinhadas ao conceito de cidades esponja no trecho estudado.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

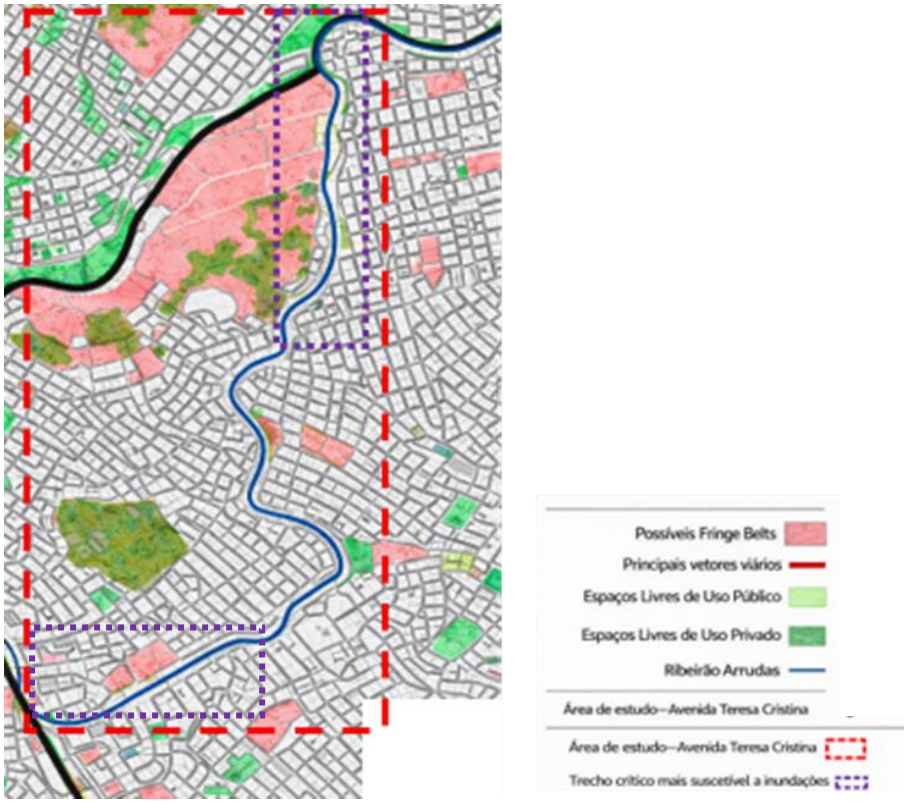
A análise espacial revelou a presença de extensas áreas impermeabilizadas ao longo do Ribeirão Arrudas, especialmente em regiões ocupadas por infraestrutura viária e grandes equipamentos urbanos. Esse padrão de ocupação contribui significativamente para o aumento do escoamento superficial durante eventos de chuva intensa.

As simulações hidrodinâmicas permitiram identificar áreas críticas de inundação ao longo do trecho estudado, evidenciando a necessidade de estratégias capazes de reduzir o volume e a velocidade do escoamento da água. A partir dessa análise foram identificadas áreas com potencial para implementação de infraestruturas verdes. Entre as estratégias propostas destaca-se a criação de um parque esponja alagável ao longo do Ribeirão Arrudas.

A proposta incorpora um parque alagável com soluções como jardins de chuva, pavimentos permeáveis e faixas vegetadas, estruturando um sistema integrado de retenção e infiltração das águas pluviais. Nesse contexto, o mapeamento assume papel fundamental na avaliação da resiliência hídrica da bacia, evidenciando como a reconfiguração da paisagem urbana pode reduzir os riscos de inundação e promover a recuperação ecológica do ribeirão.

As áreas destinadas ao parque alagável foram definidas ao longo das margens do Ribeirão Arrudas com base na análise integrada da paisagem urbana, considerando especialmente o mapeamento dos *fringe belts*, caracterizados por baixa densidade de ocupação e presença de espaços livres ou grandes equipamentos (Figura 10). A sobreposição entre áreas de menor adensamento e manchas de inundação reforça o potencial desses espaços para a implantação do parque alagável, justificando sua adoção como estratégia de intervenção no planejamento urbano.

Figura 10: Recorte ampliado dos possíveis *fringe belts* na área destinada ao projeto de parque alagável.



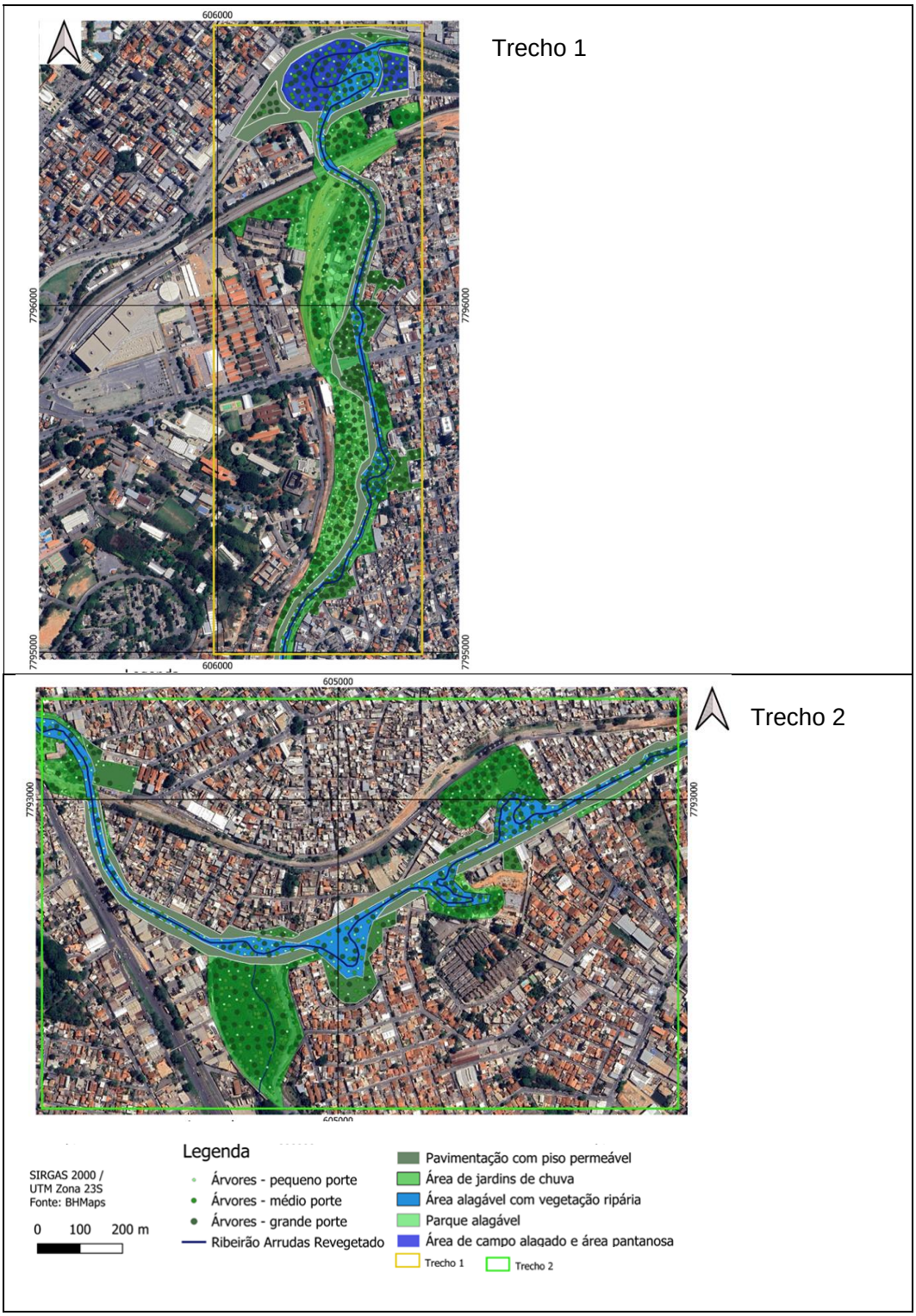
Fonte: Autora 2026, adaptado de Laboratório da Paisagem EA UFMG, 2009.

Esse parque atuaria como espaço público multifuncional, capaz de desempenhar simultaneamente funções ecológicas, hidrológicas e sociais. Durante períodos de chuva intensa, o parque funcionaria como área de retenção temporária de água, reduzindo o risco de inundação nas áreas urbanas adjacentes. Além disso, a implantação de jardins de chuva, biovaletas, áreas pantanosas alagáveis e pavimentos permeáveis ao longo do sistema viário poderia contribuir para reduzir o volume de água direcionado ao sistema convencional de drenagem.

Os mapas apresentados na figura 11 sintetizam a proposta de implantação de um Parque Esponja Alagável ao longo da Avenida Teresa Cristina, resultado do mapeamento das áreas prioritárias. A proposta prevê a renaturalização do Ribeirão Arrudas, com a recuperação de seu traçado por meio de meandros e planícies alagáveis, ampliando a infiltração e o amortecimento das cheias.

A vegetação foi planejada de forma estratégica, combinando a preservação de espécies existentes com o plantio de novas árvores, enquanto a revegetação das margens contribui para a estabilidade do solo e o equilíbrio ecológico. Associado a isso, a inserção de jardins de chuva, áreas pantanosas alagáveis e pavimentos permeáveis estrutura um sistema integrado de infraestrutura verde, capaz de reduzir o escoamento superficial, melhorar o microclima e requalificar a paisagem urbana, reconectando o ribeirão à cidade.

Figura 11: Proposta de parque alagável estruturado por estratégias de cidade esponja.

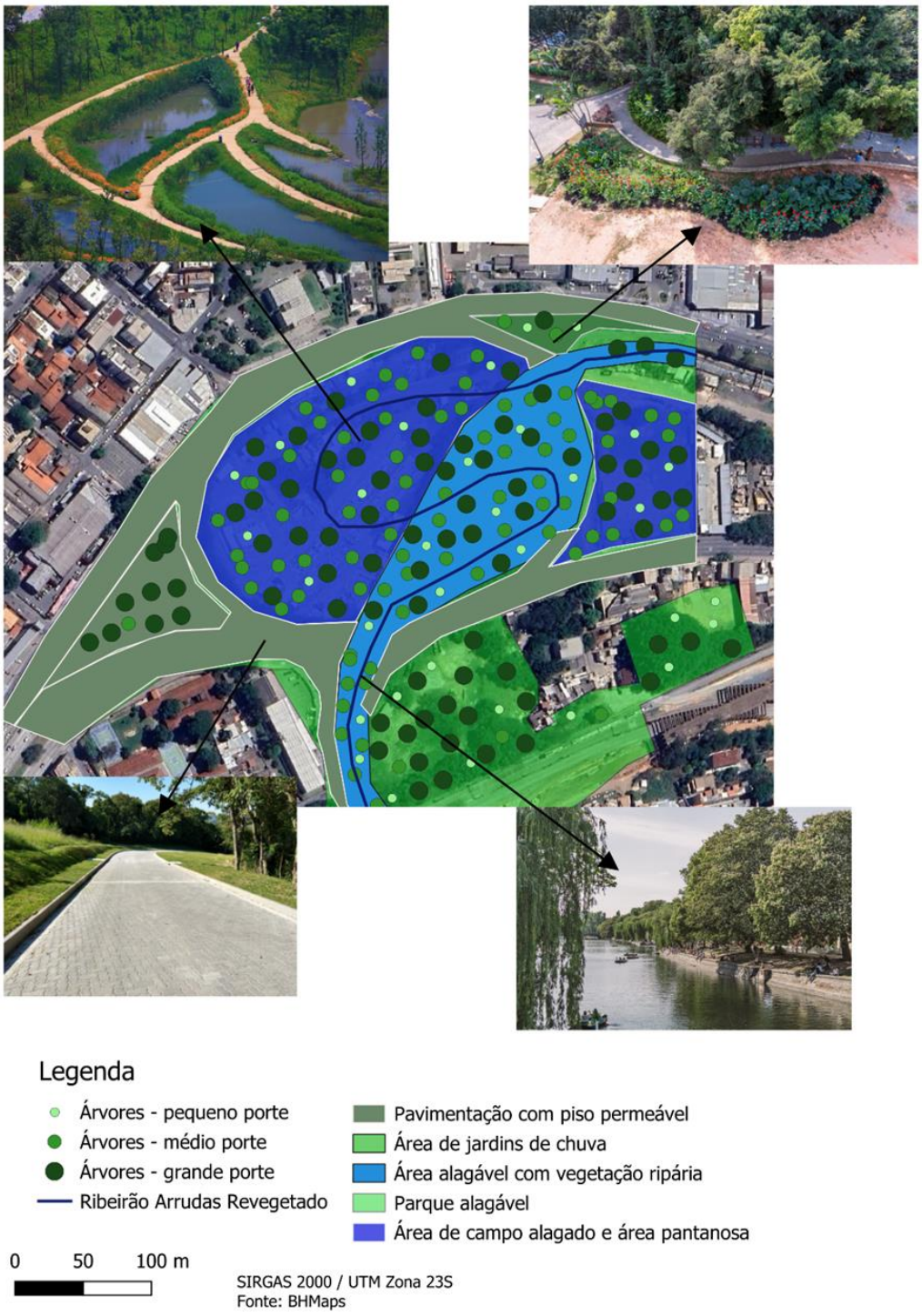


Fonte: Autora, 2026.

As figuras 12 e 13 apresentam a proposta do parque esponja alagável a partir da perspectiva da arquitetura da paisagem, evidenciando a integração entre processos hidrológicos, vegetação e organização dos espaços livres. A configuração espacial articula áreas alagáveis, zonas úmidas, e a revegetação do Ribeirão Arrudas, compondo um sistema que favorece a absorção, retenção e redistribuição das águas pluviais, ao mesmo tempo em que promove a qualificação ambiental do espaço urbano.

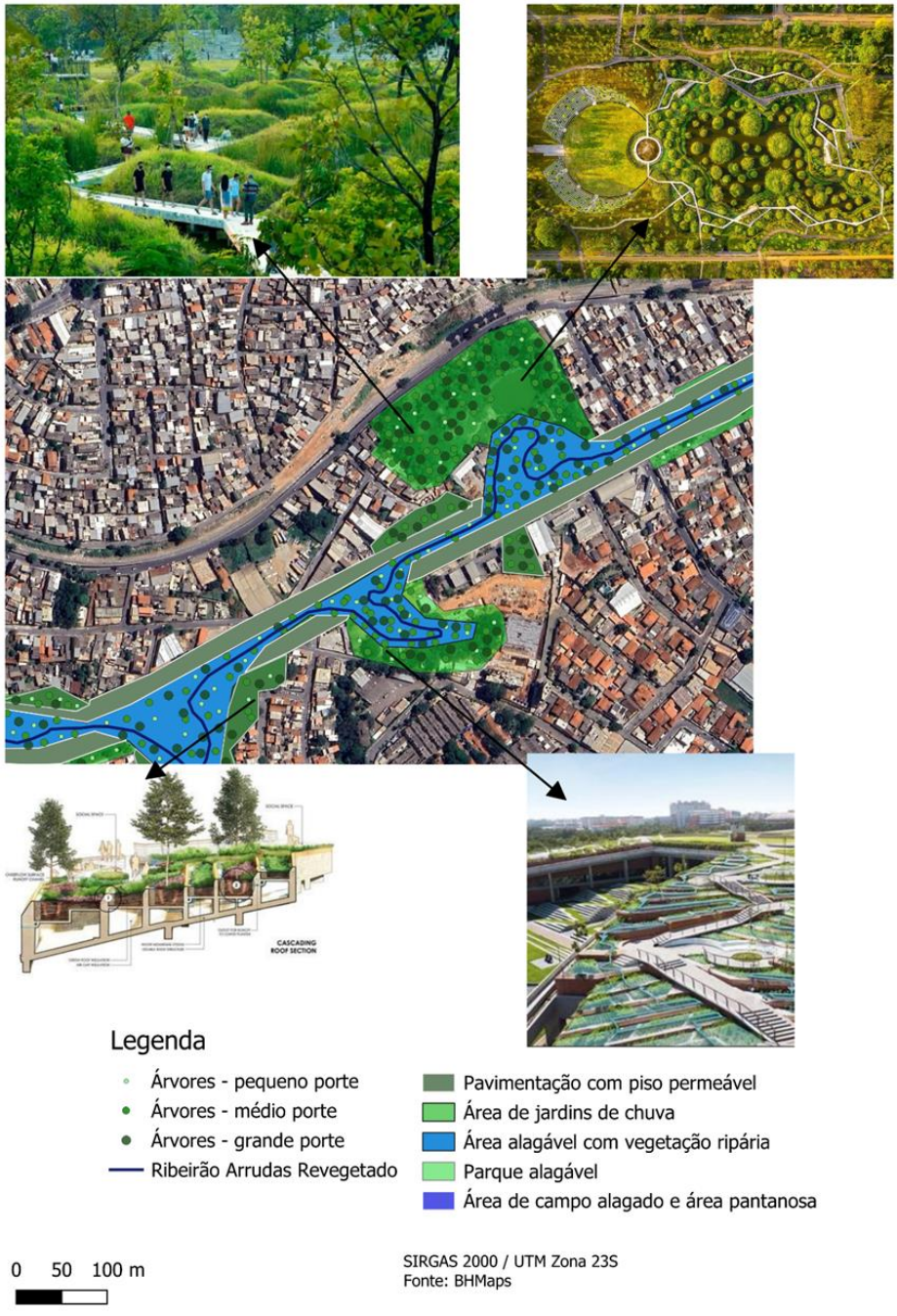
A distribuição da vegetação segue critérios ecológicos, com espécies de pequeno e médio porte localizadas em percursos e áreas de transição, contribuindo para o conforto térmico e a infiltração superficial. As árvores de grande porte são concentradas nas áreas mais suscetíveis à inundação e em espaços livres subutilizados, como os *fringe belts*, onde sua maior capacidade de interceptação da chuva e desenvolvimento radicular favorece a absorção de água, a estabilidade do solo e o fortalecimento do parque como elemento estruturador da infraestrutura verde na paisagem urbana.

Figura 12: Recorte ampliado da proposta de parque alagável e infraestrutura verde no Trecho 1.



Fonte: Autora, 2026.

Figura 13: Recorte ampliado da proposta de parque alagável e infraestrutura verde no Trecho 2.



Fonte: Autora, 2026.

A proposta transforma o Ribeirão Arrudas em um eixo ecológico estruturador, por meio da renaturalização do curso d'água, com a recuperação de meandros e a incorporação de planícies

de inundação. Ao longo das margens, a inserção de vegetação ripária nativa, com diferentes portes e estratos, contribui para o aumento da biodiversidade, da permeabilidade do solo e da estabilidade das encostas. Associadas a essa estratégia, soluções de infraestrutura verde, passam a integrar o espaço público, favorecendo o manejo sustentável das águas pluviais e a redução do escoamento superficial.

Nesse contexto, o parque esponja alagável configura-se como uma proposta de requalificação da paisagem urbana, ao articular processos ecológicos, hidrológicos e sociais em um sistema integrado. A inserção de passarelas elevadas amplia a acessibilidade e permite a convivência segura com as dinâmicas da água, mesmo em períodos de cheia, reforçando uma mudança de paradigma no planejamento urbano. A paisagem passa, assim, a desempenhar papel ativo na gestão das águas, transformando áreas vulneráveis em espaços multifuncionais, resilientes e ambientalmente qualificados.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A intensificação das enchentes urbanas exige novas abordagens de planejamento capazes de integrar processos naturais e estruturas urbanas. Nesse contexto, a arquitetura da paisagem assume papel estratégico ao possibilitar a criação de infraestruturas urbanas baseadas em processos ecológicos.

A aplicação do conceito de cidades esponjas demonstra que soluções baseadas na natureza podem contribuir significativamente para a mitigação de enchentes urbanas. Ao restaurar parcialmente o ciclo hidrológico nas cidades, essas estratégias reduzem o escoamento superficial e ampliam a capacidade de adaptação urbana frente às mudanças climáticas.

No caso de Belo Horizonte, a implementação de infraestruturas verdes ao longo do Ribeirão Arrudas apresenta grande potencial para reduzir os impactos das enchentes e promover a requalificação ambiental da paisagem urbana. Dessa forma, a integração entre arquitetura da paisagem, planejamento urbano e geotecnologias revela-se fundamental para a construção de cidades mais resilientes, capazes de enfrentar os desafios ambientais.

AGRADECIMENTOS

Ao apoio financeiro recebido do CAPES.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, Rubens; COSTA, Stael de Alvarenga Pereira; MUZZI, Maria Rita Scotti. **O sequestro de carbono em trechos da floresta urbana de Belo Horizonte:** por um sistema de espaços livres mais eficiente no provimento de serviços ecossistêmicos urbanos. Paisagem e Ambiente, São Paulo, Brasil, 2017.

ASIAN DEVELOPMENT BANK (ADB). **Sponge Cities:** Integrating Green and Gray Infrastructure to Build Climate Change Resilience in the People's Republic of China**.** Manila: Asian Development Bank, 2022.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005.

BELO HORIZONTE (MG). Prefeitura Municipal. **Carta de Inundações de Belo Horizonte.** Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2023.

BELO HORIZONTE (MG). Prefeitura Municipal. **BHGEO: Infraestrutura de Dados Espaciais de Belo Horizonte.** Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2026.

BELO HORIZONTE (MG). Prefeitura Municipal**. Dados territoriais e ambientais do município de Belo Horizonte.** Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2022.

BORSAGLI, Alessandro**. Do convívio à ruptura:** a cartografia na análise histórico pluvial de Belo Horizonte (1894-1977). 2019. 224f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CARNEIRO, Vandervilson Alves et al. **Eventos extremos e impactos urbanos**. Revista Territorial, 2026.

CASTAGNA, Guilherme. **Guia prático de jardins de chuva para cidades**. SOS Mata Atlântica, Instituto Nova Água. 2023.

CHAN, F. K. S.; JIANG, C.; MAN, K. **"Sponge city" in China—a breakthrough of planning and flood risk management in the urban context**. Land Use Policy, 2018.

CHOW, V. T. **Open-channel hydraulics.** New York: McGraw-Hill, 1959.

CHOW, V. T. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. **Plano diretor de recursos hídricos da bacia do rio das Velhas**. Belo Horizonte: CBH Rio das Velhas, 2016.

CONZEN, M. R. G. **Thinking about urban form:** papers on urban morphology, 1932–1998. Oxford: Peter Lang, 2009.

CORMIER, Nathaniel S.; PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita. **Infra-estrutura verde:** uma estratégia paisagística para a água urbana. Paisagem e Ambiente, São Paulo, Brasil, 2008.

COSTA, Staël de Alvarenga Pereira. et al. Laboratório da Paisagem. **Os sistemas de espaços livres e a constituição da esfera pública contemporânea:** estudos de caso em metrópoles-cidades e novas territorialidades urbanas brasileiras – Núcleo Belo Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Belo Horizonte, 2009.

COSTA, Staël de Alvarenga Pereira. et al**. Os espaços livres na paisagem de Belo Horizonte.** Paisagem e Ambiente, São Paulo, 2009.

COSTA, Stael de Alvarenga Pereira. et al. ***Fringe belts* em uma perspectiva brasileira**. Revista de Morfologia Urbana, 2025.

FELGUEIRAS, Carlos Alberto. **Análises sobre modelos digitais de terreno em ambiente de sistemas de informações geográficas**. São José dos Campos: DPI/INPE, 1999.

FORMAN, Richard T. T. **Urban ecology:** science of cities. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.

FORMAN, Richard T. T.; GODRON, Michel. **Landscape ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986.

HE, Bao-Jie. et al. **Co-benefits approach:** Opportunities for implementing sponge city and urban heat island mitigation. Land Use Policy, 2019.

MACIEL, Marieta Cardoso; COSTA. et al. **Os espaços livres na paisagem de Belo Horizonte.** Paisagem e Ambiente: Ensaios, São Paulo, 2009.

MCHARG, Ian L. **Design with nature.** New York: John Wiley & Sons, 1992.

MORAIS, Bárbara Roberta. **Uso de técnicas de modelagem e análise espacial para avaliação do potencial de aplicação de infraestruturas verdes:** estudo de caso da bacia hidrográfica do Córrego da Ressaca. 2022. 106 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

SALES, Eduardo Henrique Souza et al. **Análise espacial das áreas verdes de Belo Horizonte e sua relação com a qualidade de vida**. Revista Contemporânea, 2025.

SOUZA, Talita Silvia de. **Estudo de Tecnologias em Sponge City para Drenagem da Água Pluvial:** Aplicação no Rio Arrudas em BH. 78 fl. 2020. Monografia (Programa de Especialização em Sistemas tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído), Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

SOUZA, T. S. de; COSTA, S. de Alvarenga Pereira; GIMMLER NETTO, M. M. **Cidades esponjas:** aplicabilidade de soluções sustentáveis no Ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte-MG. Desafios – Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2025.

SPINK, Ana Clara. **O jardim de concreto:** um estudo sobre a apropriação de espaços livres públicos em áreas urbanas consolidadas. 2006. 216 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão de águas pluviais urbanas.** Brasília: Ministério das Cidades, 2008.

USACE-US Army Corps of Engineers. **HEC-ResSim User's Manual Version 3.5.** Davis, CA: US Army Corps of Engineers. Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center. 2025.

VESTENA, Leandro Redin. **A importância da hidrologia na prevenção e mitigação de desastres naturais.** 2008. Revista Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, 2008.

VILLELA, Swami M. Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

YIN, Dingkun. et al. **Sponge city practice in China:** A review of construction, assessment, operational and maintenance. Science Direct, 17 fl. 2021.

ZENG, Liyun; ZENG, Huiling; SONG, Lingxi. **Perception of sponge city for achieving circularity goal and hedge against climate change:** a study on Weibo. Preprints / vLex International Law, 2023.