

**CIDADES ESPONJAS: APLICABILIDADE DE SOLUÇÕES
SUSTENTÁVEIS NO RIBEIRÃO ARRUDAS, EM BELO
HORIZONTE-MG**

*SPONGE CITIES: APPLICABILITY OF SUSTAINABLE SOLUTIONS
IN ARRUDAS RIVER, IN BELO HORIZONTE-MG*

*CIUDADES ESPONJA: APLICABILIDAD DE SOLUCIONES
SOSTENIBLES EN RIBEIRÃO ARRUDAS, EN BELO HORIZONTE-
MG*

Talita Silvia de Souza

Mestrando em Arquitetura e Urbanismo pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). E-MAIL: talita_sil@outlook.com ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2318-9048>

Staël de Alvarenga Pereira Costa

Professora Doutora do Departamento de Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). E-MAIL: sapc@ufmg.br ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-1018-204X>

Maria Manoela Gimmler Netto

Doutora na Pontifícia Universidade Católica (PUC Minas). E-MAIL: manuelagimmler@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0045-8962>

RESUMO:

O termo "cidades esponjas" surgiu na China em 2013, porém já existiam cidades que funcionavam como esponjas antes disso, com objetivo de criar um sistema com soluções que mitigassem os impactos das mudanças climáticas cada vez mais intensas. Estas soluções são projetadas para que a água pluvial seja retida, absorvida e tratada através de solos permeáveis com vegetação filtrante na área urbana. O sistema permite a absorção da água quando substitui infraestruturas cinzas com superfícies impermeáveis por infraestruturas verdes com áreas permeáveis. O tecido urbano se transforma criando amplos espaços paisagísticos que possuem uma impactante função na paisagem ecológica das cidades. Estas transformações acontecem com a implementação de medidas que diminuem a vazão da água no solo garantindo a permeabilidade da água reduzindo as inundações. Desde a sua concepção, a cidade de Belo Horizonte negligenciou a existência dos corpos hídricos em seu plano urbano, resultando em problemas de enchentes e inundações ao longo do tempo. O objetivo é discutir como as soluções sustentáveis empregadas nas cidades-esponja no gerenciamento da água pluvial, podem mitigar os problemas de drenagem urbana em Belo Horizonte, em um trecho no ribeirão Arrudas.

PALAVRAS-CHAVE: cidades esponjas; drenagem urbana; paisagem urbana.

ABSTRACT:

The term "sponge cities" emerged in China in 2013, but there were already cities that functioned as sponges before that, with the aim of creating a system with solutions that mitigate the impacts of increasingly intense climate change. These solutions are designed so that rainwater is retained, absorbed and treated through permeable soils with filtering vegetation in urban areas. The system allows water absorption when replacing gray infrastructures with impermeable surfaces with green infrastructures with permeable areas. The urban fabric is transformed, creating large landscaped spaces that have an impactful role in the ecological landscape of cities. These transformations occur with the implementation of measures that reduce the flow of water into the soil, ensuring water permeability, reducing flooding. Since its conception, the city of Belo Horizonte has neglected the existence of water bodies in its urban plan, resulting in flooding problems over time. The objective is to discuss how sustainable solutions used in sponge cities to manage rainwater can mitigate urban drainage problems in Belo Horizonte, in a section of the Arrudas river.

KEYWORDS: *sponge city; urban drainage; urban landscape.*

RESUMEN:

El término "ciudades esponja" surgió en China en 2013, pero ya había ciudades que funcionaban como esponjas antes, con el objetivo de crear un sistema con soluciones que mitigaran los impactos de un cambio climático cada vez más intenso. Estas soluciones están diseñadas para que el agua de lluvia sea retenida, absorbida y tratada a través de suelos permeables con vegetación filtrante en zonas urbanas. El sistema permite la absorción de agua al sustituir infraestructuras grises con superficies impermeables por infraestructuras verdes con zonas permeables. El tejido urbano se transforma, creando grandes espacios ajardinados que tienen un papel impactante en el paisaje ecológico de las ciudades. Estas transformaciones se producen con la implementación de medidas que reducen el flujo de agua hacia el suelo, asegurando la permeabilidad del agua y reduciendo las inundaciones. Desde su concepción, la ciudad de Belo Horizonte ha descuidado la existencia de cuerpos de agua en su plan urbano, generando problemas de inundaciones con el tiempo. El objetivo es discutir cómo las soluciones sostenibles utilizadas en las ciudades esponja para gestionar el agua de lluvia pueden mitigar los problemas de drenaje urbano en Belo Horizonte, en un tramo del arroyo Arrudas.

Palabras clave: *ciudades esponja; drenaje urbano; paisaje urbano.*

INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos muitas cidades se desenvolveram às margens dos cursos d'água e consequentemente inúmeros são os problemas desta relação entre os rios e as cidades. Os problemas ocorrem devido a ocupação de áreas de planície de inundação que deveriam ter sua vegetação nativa preservada ao invés de serem ocupadas. Este fato intensifica a impermeabilização do solo que precisaria naturalmente permitir a permeabilidade da água no ambiente urbano, assim resultando em dificuldades para o sistema de drenagem urbana.

Ao longo da história, a exemplo, Belo Horizonte não possui uma boa relação com os cursos da água, sendo que alagamentos, enchentes e inundações impactam a capital desde a canalização dos corpos hídricos. O ribeirão Arrudas é o maior curso d'água de Belo Horizonte, e sua relação com a cidade tem sido conturbada desde sua construção. Inaugurada em 1897 como a nova capital do Estado de Minas Gerais, a cidade foi planejada pela Comissão Construtora da Nova Capital (CCNC), que desconsiderou os córregos afluentes do Arrudas na planta de 1895, exceto o próprio ribeirão (Borsagli, 2019). O município iniciou o processo de canalização do seu principal corpo d'água urbano, o Ribeirão Arrudas, na década de 20 com o objetivo de adequar o ribeirão ao cenário de expansão urbana, sendo que desde esta época havia um preceito de que a canalização resolveria os problemas de enchentes que já eram frequentes (Borsagli, 2019).

Devido as mudanças climáticas, nos últimos anos principalmente no verão, os problemas com a cheia do ribeirão estão cada vez mais recorrentes e, em consequência, acarretando em vários prejuízos para o centro urbano. A cidade desde a intensificação do processo de canalização do seu principal curso d'água na década de 60, não conseguiu solucionar esta realidade da difícil relação com a água fluvial. Infelizmente com o processo de canalização houve o aumento da vazão e da velocidade da água no ribeirão provocando as intensas e devastadoras inundações.

As mudanças climáticas extremas causados por períodos prolongados com chuvas intensas atinge várias cidades do país, como ocorreu no estado do Rio Grande do Sul afetado por enchentes e inundações com prejuízos para toda a população. As inundações são problemas que podem ser considerados globais afetando várias cidades, e as cidades chinesas enfrentam este cenário há milhares de anos (Montgomery, 2016). Com fenômenos climáticos mais fortes e recorrentes, a gestão sustentável da água pluvial ganha espaço para debates e consequentemente o conceito sobre cidade esponjas.

Segundo Xin et al. (2024) no mundo, a China é um dos países mais afetados pelos impactos da água, por isso desde 2015, o Programa de Cidades Esponjas vem sendo inserido nos centros urbanos, com a implementação de sistemas sustentáveis de drenagem urbana. Esta política tem o objetivo de mitigar a gestão da água urbana adotando medidas para a infiltração, estagnação, armazenamento, purificação, utilização e descarga da água pluvial potencializando o aproveitamento da precipitação para reduzir os impactos do desenvolvimento urbano e da construção no ambiente ecológico.

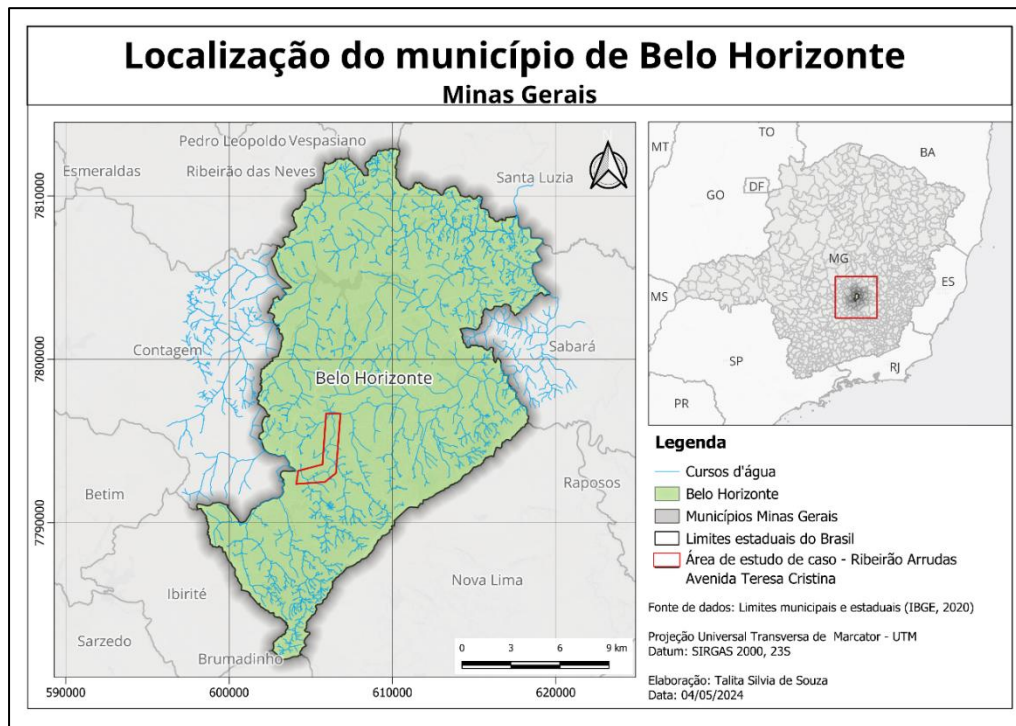
O trabalho aborda o seguinte questionamento: Como o programa das cidades esponjas com a gestão sustentável da água pode auxiliar no planejamento urbano e no combate às inundações em Belo Horizonte?. O estudo analisará o Programa de Cidades Esponjas (SCP) implantado na China para entender como ele minimiza os impactos da água pluvial na malha urbana. Segundo Xin et al. (2024), o SCP utiliza infraestrutura verde-azul, que consiste em redes interconectadas de componentes paisagísticos naturais e projetados, como corpos d'água e espaços verdes livres, associados aos sistemas hidrológicos urbanos. Estes sistemas nas cidades esponjas incluem parques alagáveis, jardins pluviais, valas biológicas, zonas úmidas construídas, lagoas de retenção e telhados verdes.

Este trabalho investiga como as técnicas de cidades esponjas podem mitigar os impactos das intensas precipitações com análises e mapeamento. O objetivo é compreender como a tecnologia e os sistemas de drenagem urbana do Programa de Cidades Esponjas, relacionado a análise espacial podem melhorar a gestão da água de precipitações em Belo Horizonte, reduzindo alagamentos e enchentes.

ÁREA DE ESTUDO DE CASO

A área de estudo está localizada em um trecho da Avenida Teresa Cristina, na região oeste de Belo Horizonte, com maior vulnerabilidade ambiental e com a presença de manchas de inundação no seu percurso. Neste trecho crítico da capital será realizado o mapeamento das possíveis aplicações e medidas empregadas em uma cidade esponja. A Figura 1 apresenta o mapa de localização do município de Belo Horizonte, destacando a área de estudo do Ribeirão Arrudas no trecho da Avenida Teresa Cristina, localizado na região oeste da cidade, sendo essencial para compreender a distribuição espacial dos limites de Belo Horizonte em relação aos outros municípios do estado.

Figura 1 – Localização do município de Belo Horizonte – Minas Gerais.



Fonte: Autores (2024).

METODOLOGIA

O estudo é de caráter qualitativo e exploratório, desenvolvido a partir de uma revisão bibliográfica que busca referenciar teorias nacionais e internacionais sobre o tema. De acordo com Creswell (2010), estudos qualitativos possuem caráter inovador e exploratório, especialmente quando o tema ainda carece de informações aprofundadas. A metodologia inclui levantamento teórico sobre soluções sustentáveis adotadas em cidades esponjas, com foco em arquitetura paisagística para mitigação de problemas de drenagem urbana. Os conceitos abordados incluem cidades esponjas, paisagem urbana, planejamento urbano e drenagem urbana, com o Ribeirão Arrudas e sua geomorfologia fluvial como estudo de caso.

O estudo contempla a elaboração de mapas e propostas para avaliar a viabilidade de implementação de sistemas de cidade esponja em Belo Horizonte, utilizando o software QGIS para gerar mapas temáticos e interativos que subsidiem diagnósticos e políticas públicas. Para entender o contexto histórico, foi criada uma linha do tempo que explora as intervenções no Ribeirão Arrudas, como a canalização e alterações em seu curso natural, avaliando os impactos dessas ações. No próximo tópico, serão apresentados o Programa de Cidades Esponjas e as principais medidas implementadas em contextos internacionais.

CONCEITOS E FERRAMENTAS

As cidades esponjas priorizam grandes infraestruturas em escala ampla, incluindo zonas úmidas, corredores verdes, parques, proteção de árvores e bosques, jardins de chuva, telhados verdes, pavimentos permeáveis e biovaletas na paisagem ecológica, com soluções aplicadas nas cidades, conforme apresentado nos tópicos a seguir.

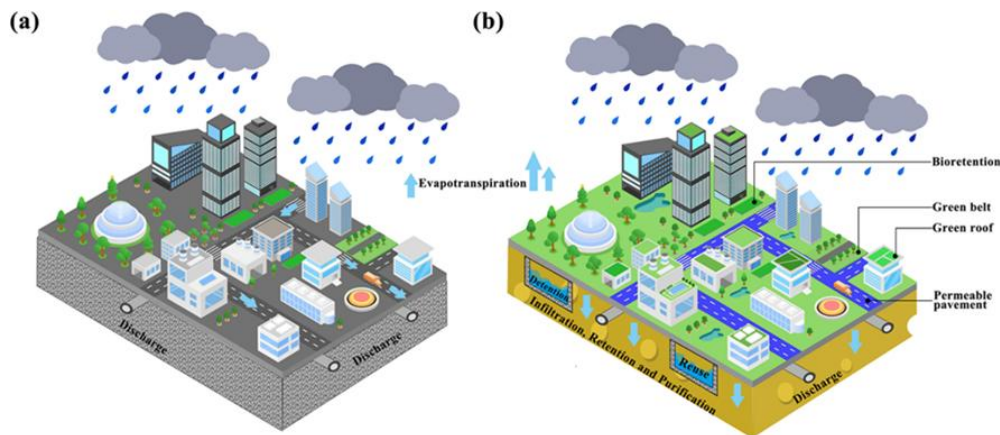
SPONGE CITY PROGRAM (PROGRAMA CIDADES ESPONJAS)

O termo "Cidade Esponja" refere-se a uma cidade que, por meio de infraestruturas verde-azul, inova na gestão hídrica da água pluvial urbana, conseguindo assim mitigar os efeitos das devastadoras precipitações. Segundo Dai et al., (2017) é quando a água pluvial permeia e flui em um sistema de escoamento dentro da cidade, ela pode ser coletada, armazenada e reutilizada por meio do gerenciamento ecologicamente sustentável.

O objetivo do programa é substituir as áreas impermeáveis com asfalto e concreto por áreas permeáveis como parques alagáveis e jardins de chuva que absorvem a água pluvial funcionando como um filtro. O sistema faz com que a água seja absorvida pelo solo e depois destinada para os rios, lagos e áreas que podem ser alagadas dentro da cidade. O Programa de Cidades Esponjas (SCP) busca resolver a escassez e a abundância de água em determinadas épocas do ano, armazenando-a no período de cheias para que possa ser utilizada em períodos de seca.

Este transforma infraestruturas cinza, com superfícies impermeabilizadas por concreto e asfalto, em infraestruturas verdes que garantem infiltração, detenção, retenção, purificação, reutilização e descarga da água da chuva (Yin et al., 2021). Sistemas de drenagem urbana sustentáveis, juntamente com pavimentação permeável, bacias de bioretenção e telhados verdes são implementados para proporcionar maior evapotranspiração e melhorar o microclima local (Yin et al., 2021). A Figura 2 mostra um diagrama comparativo de uma cidade que promove maior escoamento da água (a), em comparação com uma cidade onde são implementadas soluções de infraestruturas verdes para a retenção e limpeza da água pluvial (b).

Figura 2 – Diagrama comparativo entre as infraestruturas cinza e verdes.



Fonte: Yin et al, 2021.

JARDINS DE CHUVA

Os jardins de chuva amortecem os impactos das precipitações no sistema de drenagem urbana, promovendo o retorno da água ao ciclo hidrológico. As plantas utilizadas nesses jardins desempenham funções biológicas importantes, como a remoção de poluentes e a melhoria da infiltração e retenção da água nos lençóis freáticos, ajudando a mitigar os efeitos da impermeabilização do solo nas cidades. Em Belo Horizonte, a Prefeitura lançou o programa “Adote um Jardim de Chuva”, que incentiva a implantação desses jardins oferecendo descontos de 10% no IPTU, limitados a R\$ 2 mil, para moradores que adotarem os jardins, contribuindo para a redução do escoamento pluvial em tempos de emergência climática.

Figura 4 – Diagrama comparativo entre as infraestruturas cinza e verdes.



Fonte: Jornal Estado de Minas, 2024.

BIOVALETAS

As biovaletas ou valetas de biorretenção com vegetação são responsáveis pela limpeza da água da chuva aumentando o tempo de escoamento para os jardins de chuva ou sistemas de retenção da água. Elas são semelhantes aos jardins de chuva com depressões lineares com vegetação, solo e demais elementos filtrantes (Cormier e Pellegrino, 2008). Elas são estruturas menores que os jardins de chuva, sendo construídas próximas umas das outras em uma disposição em série, com o objetivo de reduzir o escoamento da água da chuva. As biovaletas podem se caracterizadas como valas de drenagem natural com espécies de plantas que se adaptam a umidade e são aptas a se desenvolver em áreas inundadas. Na figura 5 apresenta-se um exemplo em um estacionamento.

Figura 5 – Biovaleta do estacionamento do New Seasons Market em Portland, Oregon.



Fonte: Cormier E Pellegrino, 2008.

TELHADOS VERDES

Os telhados verdes são estruturas compostas por camadas, como base inclinada, membrana impermeabilizante, camada de drenagem, solo, substrato e vegetação, que auxiliam na absorção da água da chuva nos centros urbanos e protegem as edificações contra infiltrações. Em áreas críticas, podem incluir membranas líquidas para reforço, com o excesso de água sendo direcionado para sistemas de drenagem tradicionais (Baldessar, 2012).

Além disso, esses telhados oferecem melhor desempenho térmico e eficiência energética em comparação com coberturas convencionais (Sousa et al., 2021). Na Figura 6, há um exemplo de telhado verde em Belo Horizonte.

Figura 6 – Telhado verde com vegetação forrageira na cidade de Belo Horizonte.



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (PBH), 2017.

PRAÇAS-PISCINAS

A praça-piscina é uma solução de baixo custo que ajuda a conter a água da chuva e evitar alagamentos em áreas urbanas críticas, ao permitir o escoamento lento do volume pluvial. Além de funcionar como um sistema de drenagem, esses espaços públicos oferecem lazer e convivência, permitindo que a água acumulada nas áreas mais baixas infiltre no solo ou seja direcionada para grandes bacias de forma gradual, sem se misturar a efluentes de esgoto. Um exemplo em Belo Horizonte é a Barragem Santa Lúcia (figura 7), que possui um espelho d'água, áreas vegetadas e equipamentos públicos alagáveis, cumprindo a função de amortecer as cheias do córrego Leitão, conforme apontado por Borsagli (2011).

Figura 7 – Praça-Piscina com água acumulada na parte com cota inferior as demais.



Fonte: G1, 2021.

PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

O calçamento ou pavimentos permeáveis são elementos utilizados na cobertura e pavimentação que permitem que a água infiltre e seja absorvida no solo. Ele é composto por materiais que garantem a porosidade da peça com a função de garantir a permeabilidade da água. Os elementos utilizados na formação do calçamento permeável possuem granulometrias diferentes, o que possibilita a maior presença de vazios aumentando a capacidade de concentração de água. Os pavimentos permeáveis, feitos de materiais porosos que permitem a infiltração da água da chuva, ajudam na recarga do lençol freático e são uma solução eficaz para mitigar os impactos do escoamento nas cidades esponjas (Souza, 2020).

Figura 8 – Comparação da porosidade do calçamento permeável com o calçamento de concreto.



Fonte: Revista Universidade, 2019.

PARQUES ALAGÁVEIS

Os parques alagáveis são projetados para absorver altos índices pluviométricos, especialmente durante os períodos de cheia, utilizando solos naturais permeáveis, pisos porosos, equipamentos resistentes à água e vegetação adaptada. Um exemplo é o Parque Haikou Fengxiang, na China, que transformou um rio poluído em um parque alagável com infraestrutura verde-azul, integrando tratamento de esgoto a um sistema ecológico que reabilita o rio e proporciona espaços públicos com vitalidade social.

Figura 9 – Parque alagável de Haikou Fengxiang.



Fonte: Great Garden Soft. The World, 2019.

O renomado arquiteto paisagista Kongjian Yu é internacionalmente reconhecido por sua expertise no desenvolvimento e aplicação do conceito de cidades esponjas, considerado uma referência em estratégias destinadas a lidar e prevenir inundações urbanas. Ele é o fundador do escritório de arquitetura paisagística Turenscape, e nos seus 25 anos de carreira trabalha contra a deterioração das ecologias urbanas, com pesquisas nas áreas de infraestrutura ecológica, planejamento negativo e cidades esponja (Florian, 2023). Ele é pioneiro na implantação da política chinesa como liderança de iniciativas de proteção e campanhas de restauração ecológica na paisagem urbana.

Segundo Braun (2024) Kongjian Yu explica que o conceito de Cidades Esponjas ocorre quando o rio se nivela como se fosse uma escada viva, no qual a natureza se adapta regulando a água. O conceito foi aplicado em mais de 70 cidades pelo mundo e possui três princípios:

1. Reter a água pluvial assim que ela chega ao solo, adaptando o terreno para que 20% de toda a área seja reservada para a retenção, com sistemas de açudes para que ela não desague no rio principal. As regiões próximas às margens dos cursos d'água devem ser destinadas às extensas áreas verdes e porosas.
2. Reduzir a velocidade da água nos rios, sendo que, ao desacelerá-los, criar a oportunidade para a natureza absorvê-la, por meio do redesenho do corpo hídrico recriando meandros, como uma reabilitação, através de vegetação nativa e com a criação de lagos.
3. E o terceiro é principal ponto com a adaptação das cidades para que haja áreas alagáveis criando grandes estruturas naturais para que água possa escorrer e ser contida por um tempo e logo após ser absorvida pelo lençol freático. O arquiteto Yu afirma que nas cidades os rios são canalizados com concreto, fato que amplia ainda mais a sua velocidade de escoamento em períodos chuvosos (Braun, 2024).

As soluções mencionadas acima, implementadas nas cidades, fazem parte de uma política pública que deve ser aplicada de forma integrada para alcançar os resultados desejados. Quando aplicadas isoladamente, essas soluções não atingem os objetivos

esperados. No entanto, de acordo com Zhou et al. (2018), é necessário realizar uma simulação do modelo para avaliar a eficácia das diretrizes estabelecidas no Programa de Cidades Esponjas (SCP). Isso auxiliará na avaliação da capacidade de controle de inundações, fornecendo dados importantes para a tomada de decisões e para a implementação de medidas que promovam um planejamento urbano sustentável na gestão da água pluvial.

ESTUDO DE CASO

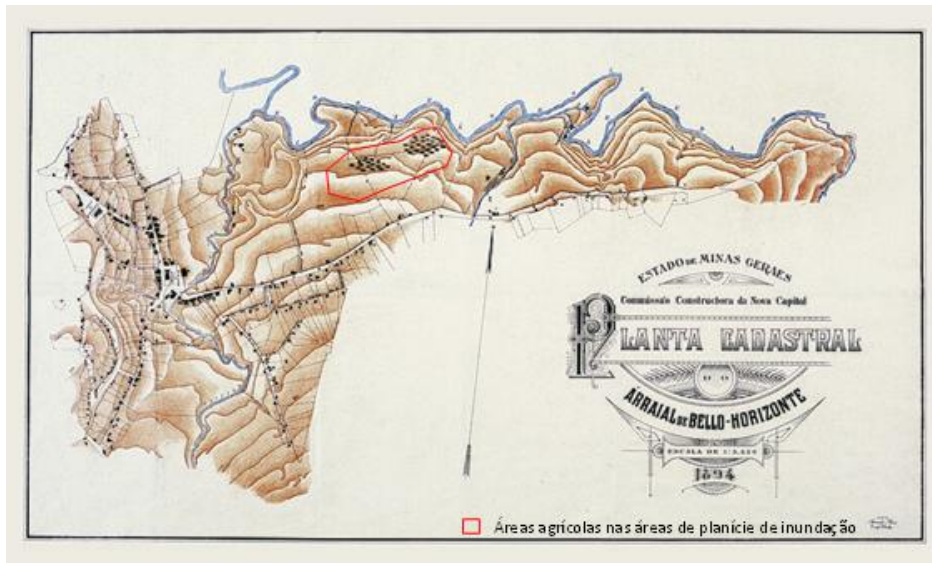
RIBEIRÃO ARRUDAS E BELO HORIZONTE (CONTEXTO HISTÓRICO E URBANO)

Desde o início do planejamento urbano de Belo Horizonte, os cursos d'água foram excluídos do traçado da cidade, ignorando sua importância para a permeabilidade do solo e o desenho natural, o que resultou em graves problemas de inundações e alagamentos. O ribeirão Arrudas, o maior corpo hídrico da cidade, foi afetado por políticas semelhantes, sendo canalizado a partir de 1928 para lidar com os desafios impostos pelas águas do ribeirão e seus córregos adjacentes (Borsagli, 2019).

Por que ribeirão Arrudas? Qual a origem deste nome para o entendimento de todo o processo histórico? O significado de ribeirão é quando um curso d'água é menor que um rio, porém maior que um riacho ou um córrego em extensão e volume de água. Quanto a origem do nome Arrudas vem do fato do ribeirão desaguar no lugar onde existia a fazenda de Francisco de Arruda de Sá (Silva, 2014). Até 1894 os habitantes do Arraial de Curral Del Rey nomeavam os lugares nas suas margens como Marzagão, Freitas, Cardoso, Calafate, dentre outros nomes (Barreto, 1995). Para o historiador Barreto (1995), no entanto, o nome seria Ribeirão Grande.

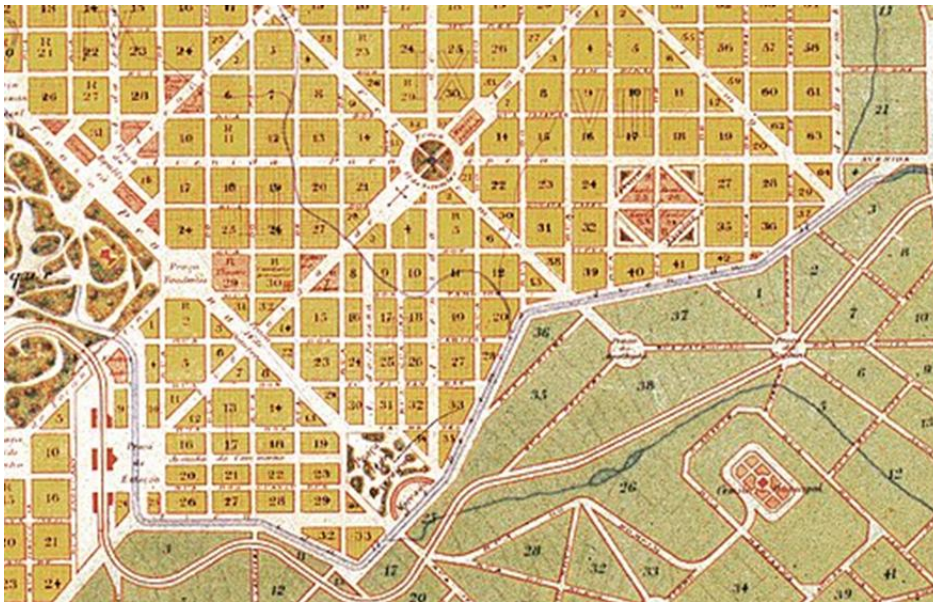
Antes da implantação do projeto da nova capital de Minas Gerais, as habitações estavam afastadas dos cursos d'água, respeitando as áreas de vales de inundação destinadas ao plantio, conforme o mapa (figura 10). Contudo, o projeto aprovado pela Comissão Construtora da Nova Capital (CCNC) em 1894, além de ignorar as áreas de planície de inundação adjacentes ao ribeirão, propôs a retificação do seu leito natural, marcando a primeira intervenção no curso do ribeirão Arrudas (Borsagli, 2019) (figura 11). A comparação entre o Arraial de Belo Horizonte e o projeto ortogonal da nova capital (figura 11) revela que a intervenção desconsiderou os cursos d'água, com a retificação intensiva do ribeirão, que retirou seus meandros naturais e os substituiu pelo novo desenho urbano.

Figura 10 – Mapa do Arraial de Belo Horizonte em 1894



Fonte: Modificado de ACPBH acervo CCNC, 1894.

Figura 11 – Planta Cadastral da cidade de Belo Horizonte projetada pela CCNC com a retificação do curso natural do ribeirão Arrudas.

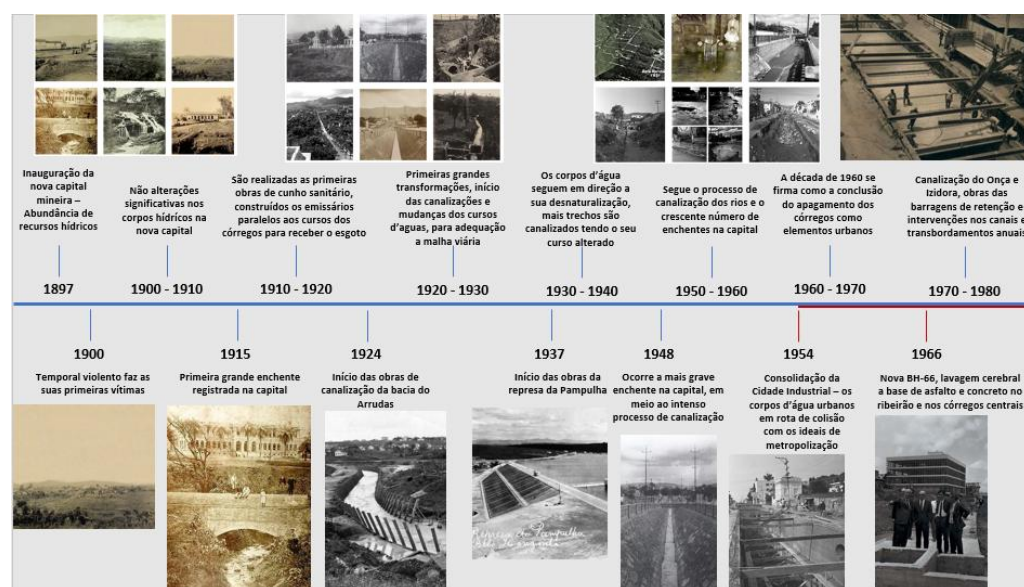


Fonte: Acervo Museu Histórico Abílio Barreto, 1996.

O projeto desenvolvido pelo engenheiro Aarão Reis adotou um traçado ortogonal rígido que desconsiderava o relevo natural da cidade, alterando o curso do ribeirão e dos córregos, e construindo pontes e viadutos para adequá-los à superfície plana, caracterizada por vales e baixas declividades. Essa mudança no curso natural do ribeirão foi influenciada pelo pensamento positivista da época, em que a técnica superava a natureza, refletindo a concepção urbana que ignorava o suporte ambiental da cidade (Pereira Costa, 2006).

As figuras 12 e 13 apresentam uma linha do tempo que ilustra a evolução do processo de canalização do ribeirão Arrudas e os problemas resultantes ao longo dos anos. A Figura 12, que cobre o período de 1897 a 1980, mostra a inauguração da nova capital, planejada em uma área rica em recursos hídricos, mas sem grandes alterações nos corpos d'água, apesar da previsão de retificação do leito do ribeirão Arrudas. No início do século XX, as intensas chuvas causaram as primeiras vítimas, com a primeira grande enchente ocorrendo em 1915, e, na década de 1920, iniciou-se o processo de canalização do ribeirão e intensificaram-se as modificações para adequá-lo ao traçado ortogonal da cidade (Borsagli, 2019).

Figura 12 – Linha do tempo da história hídrica de Belo Horizonte de 1897 a 1980.



Fonte: Borsagli (2018), adaptado pela autora (2024).

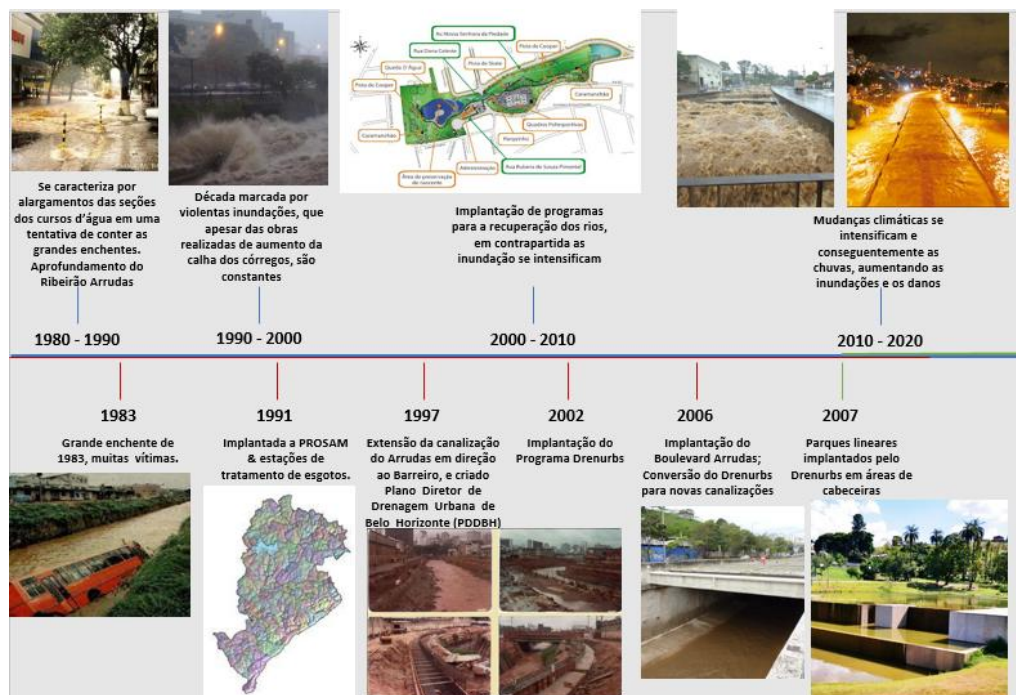
O período entre 1930 e 1980, destacando a intensificação da desnaturalização dos corpos d'água, com a alteração de seus cursos e o crescente processo de canalização, que levou ao aumento das enchentes na capital. Nesse período, a urbanização se intensificou, acompanhada pela canalização do ribeirão Arrudas e dos córregos do Onça e Itzidora, além da construção de barragens e obras de retenção e intervenções nos canais. Em 1966, o slogan "Nova BH-66" sugeria que os problemas das enchentes seriam resolvidos com o uso de asfalto e concreto nos ribeirões e nos córregos (Borsagli, 2019).

A Figura 13 caracteriza-se a história hídrica de Belo Horizonte entre 1980 e 2020. A década de 1980 foi marcada por intensos alagamentos e grandes enchentes, incluindo uma severa enchente em 1983 que resultou em várias vítimas. Apesar da expansão na calha do ribeirão e dos córregos adjacentes, os estragos e prejuízos se intensificaram na década seguinte. Em 1997, a canalização do Arrudas foi estendida até o Barreiro. No início dos anos 2000, foi criado o Programa de Recuperação Ambiental de Belo

Horizonte – DRENURBS, um programa de recuperação de córregos e nascentes, que incluiu a implantação de parques lineares em várias regiões da capital.

Entre 2000 e 2020, a implantação do Boulevard Arrudas e a canalização de córregos ocorreram em meio ao aumento das chuvas intensas devido às mudanças climáticas, enquanto o Programa DRENURBS implantou parques lineares nas margens dos corpos hídricos, preservando as nascentes.

Figura 13 – Linha do tempo da história hídrica de Belo Horizonte de 1980 a 2020.

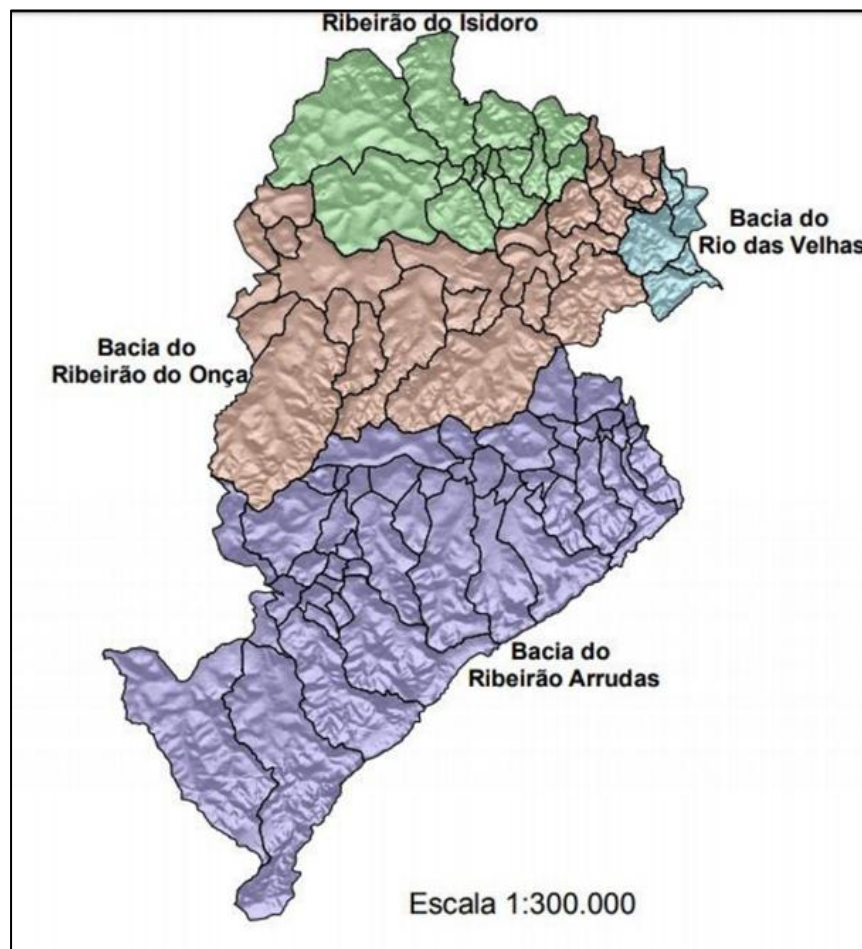


Fonte: Borsagli (2018), adaptado pela autora (2024).

CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

A influência do Ribeirão Arrudas se estende de Contagem até Sabará, sendo considerada uma Unidade Territorial Estratégica (UTE) no Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio das Velhas. Ele abrange os municípios de Belo Horizonte, Contagem e Sabará, com uma área total de 228,37 km² e uma população de cerca de 1,2 milhões de habitantes. Inserida na Bacia do Rio das Velhas, que faz parte da Bacia hidrográfica do Rio São Francisco, a bacia do Ribeirão Arrudas tem seu curso iniciado em Contagem e deságua no Rio das Velhas, em Sabará, estando próxima a outras bacias como a do Ribeirão do Onça e a do Ribeirão Isidora (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 2016; Belo Horizonte, 2022) (Figura 14).

Figura 14 – Bacia do Ribeirão Arrudas e as bacias adjacentes.



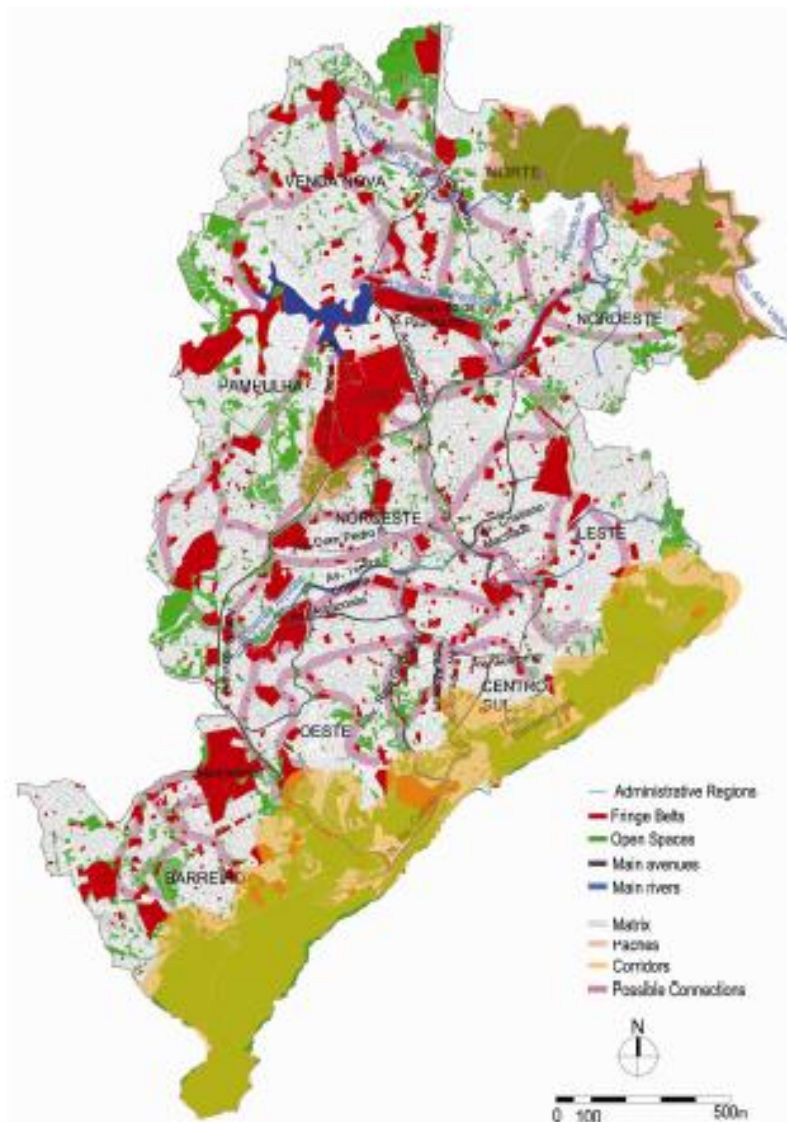
Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (PBH), 2010.

Para compreender a dinâmica das águas do ribeirão, é essencial entender como as águas subterrâneas se movimentam, o ciclo hidrológico e as características dos aquíferos. O ribeirão está localizado em dois sistemas de aquíferos sendo composto de rochas de embasamento do complexo Cráton da bacia do Rio São Francisco com forte expressão areal e o outro sistema localizado nas rochas metassedimentares do supergrupo Minas, na área sul do município segundo Reis (2012). Com o despejo de grande volume de efluentes no ribeirão Arrudas, as interações hidrodinâmicas e hidro geoquímicas das águas estão anormais segundo Goulart e Cruz (2012), alterando a paisagem urbana.

Entretanto, quanto a análise no âmbito da ecologia da paisagem, considerando os patches, os corredores e matriz. A ecologia da paisagem é estabelecida quando existe uma conexão entre manchas, corredores e a matriz, caracterizando uma composição dos aspectos biológicos das espécies de vegetação e animais, em conjunto com os ecossistemas. Segundo Forman e Godron (1986) os patches são áreas não lineares e diferentes das áreas do seu entorno em termos de aparência, forma, tipo, heterogeneidade e aspectos dos seus limites, apresentando estrutura e composição de espécies distintas. Os corredores são faixas isoladas que estão interligadas e possuem vegetação semelhante em ambos os lados. E uma matriz é um elemento com uma área relativamente maior, conectada a paisagem e a sua porosidade. Assim, uma paisagem é

composta por vários tipos de elementos e a junção deles formam a paisagem ecológica. Na figura 19 apresenta-se o mapa da paisagem ecológica de Belo Horizonte, com as estruturas de das manchas, matrizes e corredores caracterizado pelos principais cursos d'água, com as possíveis conexões entre os espaços livres e cinturões marginais (Pereira Costa et al, 2010).

Figura 15 – Mapa de possíveis conexões de espaços livres e zonas de hiatos urbanos.



Fonte: Pereira Costa et al, 2010.

O ribeirão Arrudas sofre com a poluição devido ao descarte inadequado de esgoto e lixo, agravado pela canalização sem a preservação das águas (Andrade, 2014). Embora medidas do Programa de Cidades Esponjas, como jardins de chuva e telhados verdes, estejam sendo implantadas em Belo Horizonte, soluções isoladas não apresentam a mesma eficácia do que a implementadas em conjunto. A eficácia do sistema hídrico

depende de estudos volumétricos, legislações adequadas e a aplicação integrada das soluções como políticas públicas municipais e nacionais.

O trabalho levanta algumas questões: Será que o conjunto de ações propostas pelo programa de cidades esponjas é capaz de minimizar as enchentes em Belo Horizonte e transformá-la em uma cidade esponja? A reabilitação do ribeirão Arrudas, com a redução de infraestruturas cinzas e o aumento de infraestruturas verdes, como parques alagáveis e vegetação específica, pode reduzir os impactos dos alagamentos, especialmente na área de estudo? As medidas integradas seriam suficientes para conter e absorver o volume das precipitações, ou seriam necessárias outras ações complementares para mitigar os danos causados por chuvas intensas? Como Belo Horizonte seria impactada caso enfrentasse o mesmo volume pluviométrico registrado em Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul?

Segundo Kongjian Yu, em visita ao Brasil, o país tem um grande potencial para implementar as soluções das cidades esponjas e se tornar uma referência mundial, destacando a premência de substituir infraestruturas cinzas por estruturas que incorporem elementos naturais. Entretanto, isso exige uma mudança de paradigmas e uma nova abordagem para o planejamento urbano, adotando soluções estratégicas em conjunto com a formulação de políticas públicas sobre a paisagem. Ao longo do desenvolvimento do trabalho busca-se respostas para as questões e dados que comprovem que com a utilização das medidas implantadas de infraestrutura verde e azul das cidades esponjas na capital mineira possam mitigar as enchentes e alagamentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise histórica do ribeirão Arrudas, em trecho da Avenida Teresa Cristina, revela os impactos negativos da canalização e retificação do curso d'água, que alteraram sua função natural, resultando em enchentes e alagamentos. Esses problemas são agravados pela construção de edifícios em áreas vulneráveis, impermeabilização excessiva e ocupações irregulares, como a da Vila Guaratã localizada na Avenida Teresa Cristina e consolidada desde a década de 60, sendo uma área de preservação permanente desde 1985, onde os moradores, sem projeto de desapropriação, continuam a viver em áreas de risco (Belo Horizonte, 1985). A drenagem urbana sustentável, utilizada nas cidades esponjas, envolve sistemas naturais como parques alagáveis, jardins de chuva, telhados verdes e pavimentos permeáveis para mitigar inundações urbanas. Para resolver os problemas de drenagem em Belo Horizonte, é necessário implementar infraestruturas verde-azul, políticas públicas, educação ambiental, parcerias público-privadas e monitoramento. Além de reabilitar o ribeirão Arrudas, interrompendo o despejo de esgoto e criando corredores verdes para melhorar a absorção de água e controlar enchentes. Para tornar uma cidade esponja, é essencial implementar soluções de infraestrutura, planejamento urbano, políticas públicas e educação ambiental, visando mitigar os impactos das enchentes, melhorar a gestão da água pluvial e promover a sustentabilidade urbana. Essas medidas têm o potencial de transformar a cidade, enfrentando as mudanças climáticas e os desafios na gestão da água, com impacto positivo, especialmente na capital mineira. Espera-se que esse trabalho demonstre como as ferramentas empregadas nas cidades esponjas podem ser úteis garantindo uma gestão

sustentável da água urbana.

Agradecimentos

Ao apoio financeiro recebido do CAPES.

Referências Bibliográficas

ANDRADE, Wallace Carrieri de Paula. O acaba mundo já era”: O ocultamento dos cursos d’água no centro de belo horizonte (1893-1973). 2014. 127 fl. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós- Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MMMD-AUTEWK/1/dissertacao_wallace_17_06_17.pdf Acesso em: 15 mai. 2024.

BALDESSAR, Silvia Maria Nogueira. Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada. 2012. 125 fl. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós- Graduação em Engenharia da Construção Civil - Departamento de Construção Civil do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/52621> Acesso em: 10 mai. 2024.

BARRETO, Abílio. Belo Horizonte: memória histórica e descritiva – história antiga e história média. v. 2. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, Centro de Estudos Históricos e Culturais, 1996.

BELO HORIZONTE, Lei Municipal nº 4034. 25 de mar. De 1985. Dispõe sobre o uso e a ocupação do solo urbano do município de Belo Horizonte.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. Instrução técnica para elaboração de estudos e projetos de drenagem. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal, 2022. Capítulo 1: Drenagem urbana em Belo Horizonte. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/publicacoes/instrucao-estudos-e-projetos-de-drenagem#Captulo1DrenagemUrbanaemBeloHorizonte> Acesso: 22 mar. 2024.

BORSAGLI, Alessandro. O Vale do Córrego do Leitão em Belo Horizonte: contribuições da cartografia para compreensão de sua ocupação. Seminário Brasileiro de Cartografia Histórica, v. 1, 2011.

BORSAGLI, Alessandro. Do convívio à ruptura: a cartografia na análise histórico pluvial de Belo Horizonte (1894-1977). 2019. 224f. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Disponível em: http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/TratInfEspacial_BorsagliA_1.pdf. Acesso em: 10 fev. 2021.

BRAUN, Julia. Como conter enchentes no Brasil, segundo criador das 'cidades-esponja': 'Barragens estão fadadas ao fracasso'. 2024. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/ce44n8n14ewo> Acesso em: 22 mai. 2024.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. Cartilha Unidade Territorial Estratégica e Plano Diretor de Recursos Hídricos - UTE Ribeirão Arrudas. Belo Horizonte, 12 p. 2016. Disponível em: https://cbhvelhas.org.br/wp-content/uploads/2016/04/06_cartilha_arrudas_225x27cm_2016_04_13_issuuu.pdf Acesso em: 10 fev. 2021.

CORMIER, Nathaniel S.; PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita. Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. **Paisagem e Ambiente**, São Paulo, Brasil, n. 25, p. 127–142, 2008. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.v0i25p127-142. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/105962>. Acesso em: 18 abr. 2024.

CRESWEL, John W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. Porto Alegre: Artmed. 2007.

DAI, Liping; VAN RIJSWICK, Helena F. M. W.; DRIESSEN, Peter P. J.; KEESEN Andrea M. Governance of the Sponge City Programme in China with Wuhan as a case study. **International Journal of Water Resources Development**, n. 34:4, p. 578-596, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07900627.2017.1373637#abstract>. Acesso em: 10 jun. 2020.

FLORIAN, Maria Cristina. Paisagista Kongjian Yu, pioneiro do conceito de "cidade esponja", recebe o Prêmio Oberlander 2023. 2023. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/1008501/paisagista-kongjian-yu-pioneiro-do-conceito-de-cidade-esponja-recebe-o-premio-oberlander-2023>. Acesso em: 28 out. 2023.

FORMAN, Richard T.T; GODRON, Michel. **Landscape Ecology**. United States of America: John Wiley & Sons, Inc. 1986.

GOULART, Patrícia Pascoal; CRUZ, Raphael Elias Pereira da. Proposta da rede de monitoramento das águas Subterrâneas na sub-bacia do ribeirão arrudas, região Central de Belo Horizonte-MG. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], 2012. 4 p. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27769>. Acesso em: 8 abr. 2024.

MONTGOMERY, David R. Emperor Yu's Great Flood: Geological data provide support for a legendary flood in China ~4000 years ago. **Science**, 2fl. 2016. Disponível em: <https://www.science.org/journal/science> Acesso em: 14 mai. 2024.

PEREIRA COSTA, Staël de Alvarenga. A expansão das cidades brasileiras: um processo sem fim. **Paisagem e Ambiente**, São Paulo, Brasil, n. 22, p. 257–266, 2006. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.v0i22p257-266. Disponível em: <https://revistas.usp.br/paam/article/view/90663..> Acesso em: 28 jun. 2024.

PEREIRA COSTA, Staël de Alvarenga; MACIEL, M. C. ; TEIXEIRA, Maria Cristina Villefort ; SIMÃO, Karina Machado de Castro . A research on fringe belts in Belo Horizonte/ Brazil. In: XVIII International Seminar on Urban Form- 2011, 2011, Montreal. The Post Carbon City. Montreal: Department of Geography, Planning and Environment Concordia University, 2011. v. unico. p. 52-76. Disponível em: https://512ef7f8-b754-467d-92f1-7444aaee380e.filesusr.com/ugd/703710_a9cc915d155b48a09b873201f9e9392c.pdf Acesso em: 19 jul. 2024.

REIS, Patrícia Elizamma; PARIZZI, Maria Giovana; MAGALHÃES, Danilo Marques de; MOURA, Ana Clara Mourão. O escoamento superficial como condicionante de inundações em belo horizonte, MG: Estudo de caso da sub-bacia córrego do leitão, Bacia do ribeirão arrudas. 2012. 148 fl. 2012. **Dissertação** - Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MPBB8JAJ8X/1/disserta_o_completa_impress_o.pdf Acesso em: 08 abr. 2024.

SILVA, Edward Rodrigues da. Arrudas Em Minas Gerais – Miguel De Souza Arruda. **Revista da ASBRAP**, Nº. 21, P. 637-796. 2014. Disponível em: https://asbrap.org.br/artigos/rev21_art11.pdf Acesso: 20 abr. 2024.

SOUSA, Ícaro Viterbre Debique; SOUSA, Heron Viterbre Debique; JUNIOR, Antonio Mendes Magalhães; NUNES, Pedro Henrique; FARIA, Igor Luis de Castro; FARIA, Aliff Junio de Castro. Os benefícios do telhado verde e a sua utilização pela construção civil. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, V. 13, Nº. 2 12 fl. 2021. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/download/17679/209209214426/209209236485> Acesso em: 15 mai. 2024.

SOUZA, Talita Silvia de. Estudo de Tecnologias em Sponge City para Drenagem da Água Pluvial – Aplicação no Rio Arrudas em BH. 2020. 78 fl. 2020. **Monografia** – Programa de Especialização em Sistemas tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/37963> Acesso em: 10 abr. 2021.

XIN, Zhang; CHENYI, Zhou; HAO, Luo; XIAOYU, Zeng; ZHILE, Shu; LIJUN, Jiang; ZELIN, Wang; ZHENG, Fei. Study on the risk of rainstorm waterlogging disaster in hilly cities based on Sponge City construction-liking Suining. **Science Direct**, 21 fl. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/urban-climate/vol/53/suppl/C> Acesso em: 28 mar. 2024.

YIN, Dingkun; CHEN, Ye; JIA, Haifeng; WANG, Qi; CHEN, Zhengxia; XU, Changqing; LI, Qian; WANG, Wenliang; YANG, Ye; FU, Guangtao; CHEN, Albert S. Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance. **Science Direct**, 17 fl. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620350071> Acesso em: 30 mar. 2024.

ZHOU, Jinjun; LIU, Jiahong; SHAO, Weiwei; YU, Yingdong; ZHANG, Kun; Wang, Ying; MEI, Chao. Effective Evaluation of Infiltration and Storage Measures in Sponge City Construction: A Case Study of Fenghuang City. **Water**, 11fl. 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/7/937>. Acesso em: 11 jun. 2020.