UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM PROPRIEDADE INTELECTUAL E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA PARA A INOVAÇÃO

PROSPECÇÃO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS COMO INSUMO PARA PROPOSITURA DE MUDANÇAS NO PLANO DIRETOR DE FRUTAL/MG

OSVALDO DE FREITAS FOGATTI

Frutal – MG
2022

OSVALDO DE FREITAS FOGATTI

PROSPECÇÃO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS COMO INSUMO PARA PROPOSITURA DE MUDANÇAS NO PLANO DIRETOR DE FRUTAL/MG

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Minas Gerais – UEMG como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação - PROFNIT, área de concentração em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Ney Millan

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo da Silva Martins

Frutal – MG
2022

Dedico este trabalho à minha esposa, Laura,
e aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Pela vida, saúde e por tudo o mais, a Deus.
Por todo suporte e inspiração, à minha esposa, aos meus pais e amigos.
Por todo auxílio e pelos valorosos ensinamentos, aos meus orientadores, professores doutores Rodrigo Ney Millan e Eduardo da Silva Martins, e aos demais professores e colegas do mestrado.
Pela gentil aceitação do convite de composição da banca de qualificação e pelas preciosas sugestões fornecidas, aos doutores Ester Feche Guimarães, Ricardo de Araújo Kalid e Eduardo Meireles.
Pelo incentivo, pelos ricos ensinamentos sobre urbanismo e pela gentil permissão de acesso a documentos imprescindíveis ao sucesso da pesquisa, ao promotor de justiça doutor Fabrício Costa Lopo.
Pela prontidão na cessão de materiais e documentos também essenciais, ao coordenador da Defesa Civil de Frutal/MG, sargento do corpo de bombeiros Fabiano Vieira.

"*Fizemos buscas em um riacho na área rural, uma busca visual. O córrego é curto, de três, quatro metros de largura. Fizemos a busca na beirada do rio, por conta da correnteza, para ver se tinha alguém pedindo socorro. Fizemos a busca na área urbana, também, de toda a linha onde ela caiu, no córrego, até onde ele desemboca na área rural. Não encontramos nada até o momento*".

Frank Fernando Andrade, bombeiro militar, sobre as ações de resgate de uma idosa desaparecida durante as inundações de janeiro de 2022, em Barretos/SP.

RESUMO

Associada às mudanças climáticas, a desordenada ocupação urbana propicia o surgimento de processos erosivos e inundações, cheias ou alagamentos, em prejuízo ao equilíbrio ambiental e à vida, saúde e patrimônio das pessoas atingidas. Contribuindo para minimizar esses impactos, os sistemas de drenagem urbana sustentáveis (SUDS) são tecnologias que dispensam as tradicionais galerias pluviais e têm como premissa a sustentabilidade. Constatou-se que o Plano Diretor de Frutal/MG e sua proposta de atualização não possuem referência a sistemas de drenagem sustentáveis. Diante disso, o trabalho estuda quais equipamentos SUDS poderiam solucionar os problemas urbanísticos decorrentes da ausência ou insuficiência dos equipamentos de drenagem urbana desse Município, apresentando proposta de incorporação dos SUDS ao seu Plano Diretor, destacando-se a replicabilidade do trabalho para Municípios de tamanhos semelhantes. Para tanto, adota-se procedimento metodológico de estudo de caso, revisão de literatura e mapeamento de patentes. Como resultados, o trabalho identifica os pontos críticos de inundações e processos erosivos no Município de Frutal/MG, expõe diretrizes sobre os SUDS que poderão nortear eventuais mudanças no Plano Diretor e futuros projetos legislativos e técnicos e fornece exemplos de tecnologias patenteadas ou em processo de análise de concessão de patente que poderão ser referência para posteriores ações de drenagem urbana na área em estudo.

Palavras-chave: Águas pluviais. Saneamento. Sustentabilidade. SUDS. Recursos hídricos.

ABSTRACT

Associated with climate change, the disorderly urban occupation favors the emergence of erosive processes and floods, flooding or inundation, harming the environmental balance and the life, health and property of the affected people. Contributing to minimize these impacts, sustainable urban drainage systems (SUDS) are technologies that dispense with traditional storm sewers and are premised on sustainability. It was found that the Master Plan of Frutal/MG and its proposed update do not have reference to sustainable drainage systems. In view of this, the work studies which SUDS equipment could solve the urban problems arising from the absence or insufficiency of urban drainage equipment in this Municipality, presenting a proposal to incorporate the SUDS into its Master Plan, but can also apply to similar cities. For that, it adopts a methodological procedure of case study, literature review and patent mapping. As the obtained results, the work identifies the critical points of floods and erosion processes in the Municipality of Frutal, exposes a series of guidelines on the SUDS that may guide eventual changes in the Master Plan and future legislative and technical projects and provides examples of patented technologies or in the process of analyzing the granting of a patent that could be a reference for future urban drainage actions in study area.

Keywords: *Sanitation. Sustainability. SUDS. Rainwater. Water resources.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo hidrológico com as correspondentes porcentagens entre os diferentes estados físicos da água. 12
Figura 2: Resumo das principais características dos SUDS. 18
Figura 3 – Aplicação de SUDS aos edifícios, parques, áreas verdes e outros equipamentos urbanos. 19
Figura 4 – Bacias de detenção superficiais. 20
Figura 5 – Bacia de retenção (Parque dos Lagos, Frutal/MG). 20
Figura 6 – Pavimentos permeáveis. 21
Figura 7 – Valas de infiltração. 22
Figura 8 – Sistema alagado construído. 23
Figura 9 – Parque linear. 24
Figura 10 – Telhados verdes. 24
Figura 11 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Município de Frutal/MG, com recorte sobre o perímetro urbano. 35
Figura 12 – Mapa de suscetibilidade a inundações no Município de Frutal/MG. 36
Figura 13 – Mapa das sub-bacias do Município de Frutal/MG. 37
Figura 14 – Mapa de localização de fenômenos de vulnerabilidade ambiental: Inundações/alagamentos/enchentes e processos erosivos. 42
Figura 15 – Mapa de densidade de Kernel de fenômenos de vulnerabilidade ambiental: Inundações/alagamentos/enchentes e processos erosivos. 43
Figura 16 – Mapa de densidade de Kernel de fenômenos de vulnerabilidade ambiental: Inundações/alagamentos/enchentes e processos erosivos, com destaque dos Bairros do Município de Frutal/MG. 44
Figura 17 – Mapa de Kernel com pontos de vulnerabilidade ambiental e com destaque dos cursos hídricos da área urbana. 46
Figura 18 – Análise de co-ocorrências no recorte de artigos das plataformas Science Direct e Scopus, no período de 2011 a 2013 52
Figura 19 – Análise de co-ocorrências no recorte de artigos das plataformas Science Direct e Scopus, no período de 2014 a 2017 52
Figura 20 – Análise de co-ocorrências no recorte de artigos das plataformas Science Direct e Scopus, no período de 2018 a 2021 53
Figura 21 – Famílias de patentes por país de publicação (excluídos EP e WO) 64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quantidade de artigos encontrados nas plataformas Scopus e Science Direct por ano de publicação 49
Gráfico 2 – Artigos pesquisados nas plataformas Scopus e Science Direct por periódicos em que foram publicados..... 50
Gráfico 3 – Autores com maior quantidade de publicações dentre os artigos selecionados 51
Gráfico 4 – Quantidade de famílias de patentes por ano de depósito entre 2001 e 2021..... 62
Gráfico 5 – Famílias de patentes por código CPC..... 63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Pontos de alagamentos, enchentes, inundações e processos erosivos em Frutal/MG 39
Quadro 2 – Artigos pesquisados na plataforma Science Direct 47
Quadro 3 - Artigos pesquisados na plataforma Scopus.....48
Quadro 4 - Barreiras para seleção e implementação dos SUDS citadas na literatura examinada 53
Quadro 5 - Modelos de apoio à decisão de escolha dos SUDS citados na literatura examinada 56
Quadro 6 - Documentos de patentes examinados que apresentaram vantagens em termos de performance hidráulica, resiliência e redução de custos 65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT	*Alternative techniques*
APA	*American Psychological Association*
CPC	Classificação Cooperativa de Patentes
CT	*Compensatory techniques*
C9	Chinese Excellence League
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
GI	*Green infrastructure*
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
LAR	*Lokal afledning af regnvand*
LOD	*Lokalt omhandertagande av dagvatten*
NBS	*Nature based solutions*
OMPI/WIPO	Organização Mundial da Propriedade Intelectual
OPE/EPO	Organização Europeia de Patentes
SCM	*Stormwater control measures*
SQIDS	*Stormwater quality improvement devices*
SUDS	*Sustainable drainage systems*
WRI	World Resources Institute
WSUD	*Water sensitive urban design*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 11
2.1 Ocupação urbana, mudanças climáticas e ciclo hidrológico 11
2.2 Sistemas de drenagem convencionais e sistemas de drenagem urbana sustentáveis – SUDS 15
2.3 Principais tecnologias SUDS atualmente empregadas 18
2.4 Política de drenagem urbana do Município de Frutal/MG 25
2.5 Política de drenagem urbana do Estado de Minas Gerais 29
2.6 Políticas de drenagem urbana de outros municípios 30
3 OBJETIVOS 32
3.1 Objetivo geral 32
3.2 Objetivos específicos 32
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 32
4.1 Estudo de caso 33
4.2 Revisão bibliográfica 33
4.3 Prospecção de tecnologias por meio de patentes 34
4.4 Características da área estudada 34
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 38
5.1 Da pesquisa documental para identificação de processos erosivos e eventos de inundação, enchentes ou alagamentos registrados em Frutal/MG 38
5.2 Sistemas de Drenagem Sustentáveis (SUDS): estado da arte 47
5.3 Prospecção tecnológica por meio da busca de patentes 60
6 CONCLUSÕES 71
REFERÊNCIAS 73
APÊNDICE A 89
APÊNDICE B 111

1 INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos constitui um dos objetivos da Organização das Nações Unidas – ONU (2015) para alcance do desenvolvimento sustentável (objetivo 16 da Agenda 2030). Suas metas abrangem, dentre outras, a restauração de ecossistemas relacionados à água (meta 6.6) e o apoio e fortalecimento da participação de comunidades locais para melhor gerenciamento dos recursos hídricos e das condições de saneamento básico (meta 6.6.b).

No plano legislativo nacional, o Marco Legal do Saneamento Básico define que o manejo e drenagem de águas pluviais, constituídos por atividades, infraestrutura e instalações responsáveis pela retenção, detenção e transporte de águas da chuva, integram o conceito legal de saneamento básico (Lei n. 14.026/20, art. 3º, I, "d") (BRASIL, 2020). Por sua vez, a Lei do Parcelamento do Solo Urbano determina que loteamentos, desmembramentos e zonas habitacionais de interesse social devem contar com equipamentos urbanos mínimos, dentre eles infraestrutura de escoamento das águas da chuva (Lei n. 6.766/79, artigos 2º, §§ 5º e 6º). Nessa mesma linha, o Estatuto da Cidade, promulgado em 2001, preconiza que o saneamento básico é um dos direitos sociais ínsitos à garantia de cidades sustentáveis (art. 2º, I) (BRASIL, 1979; 2001).

As normas citadas refletem as contingências sociais do nosso país: a intensa intervenção humana em áreas de expansão urbana, por meio da implantação de loteamentos ou outras formas de parcelamento do solo, interfere nos ciclos hidrológicos e no adequado escoamento das águas pluviais, provocando conhecidos problemas urbanísticos e ambientais, notadamente deslizamentos, alagamentos, enchentes, processos erosivos e voçorocas, assoreamento de rios, de córregos e de outros corpos d'água, etc. (CHEN *et al.*, 2021; FERREIRA *et al.*, 2019; YOUNG; PAPINI, 2020). Todas as adversidades mencionadas são agravadas, no Brasil, em razão das condições climáticas extremas relacionadas ao clima tropical e subtropical (MCCLYMONT *et al.*, 2020).

Uma das formas contemporâneas de solucionar os desafios aventados é a adoção dos sistemas de drenagem sustentáveis - *sustainable drainage systems* – SUDS, notabilizados pelo uso de técnicas (*low impact development* – LID, cidades-esponja, *water sensitive urban design* - WSUD), medidas (infiltração, biorretenção etc.) e tecnologias (*green roof*, valas de infiltração do tipo *swale*, *pervious pavement*) de engenharia que visam obter os máximos benefícios ambientais com baixo custo (WANG *et al.*, 2017).

No caso de Frutal/MG, cidade situada no interior do Estado de Minas Gerais, o vigente Plano Diretor, apesar de dispor explicitamente sobre a gestão do ciclo hídrico urbano, não aborda a sustentabilidade em seu rol de diretrizes e objetivos. Além disso, é vago quanto à disciplina do tema em apreço, a aludir, de modo genérico, sobre a necessidade de "[...] estabelecer medidas preventivas e corretivas para equilíbrio do sistema de drenagem urbana [...]", sem esclarecer o significado e extensão dessas normas (Lei Complementar 54/06 do Município de Frutal/MG, artigos 15 e 16) (FRUTAL, 2006). Salienta-se que a revisão decenal do Plano Diretor de Frutal/MG encontra-se em tramitação junto a Câmara Municipal (Projeto de Lei Complementar n. 108/18 do Município de Frutal/MG). Todavia, o anteprojeto praticamente limita-se a repetir os trechos da lei vigente, a preservar seus vícios (FRUTAL, 2018a).

Questiona-se, então, quais equipamentos SUDS poderiam solucionar os problemas urbanos e ambientais decorrentes da ausência ou subdimensionamento dos equipamentos de drenagem urbana instalados em Frutal/MG.

O presente tópico deste trabalho traçou elementos introdutórios ao tema, bem como as justificativas e problematização da pesquisa. O tópico 2 trata de breve fundamentação teórica para subsidiar as discussões relacionadas às tecnologias SUDS e ao Plano Diretor de Frutal/MG. Como ponto de partida, debate o modo como a ocupação humana e o aquecimento global interferem na gestão das águas nos espaços urbanos. Engloba sucinto histórico das tecnologias SUDS, e descrição de seu conceito, nomenclaturas correlatas, objetivos e espécies. Trata também da análise da legislação urbanística de Frutal/MG, especialmente seu Plano Diretor, e breve resumo de aspectos relativos à drenagem urbana sustentável presentes na legislação do Estado de Minas Gerais e de outros municípios, no caso São Paulo/SP, Porto Alegre/RS e São José do Rio Preto/SP. O tópico 3 traz os objetivos da pesquisa, o tópico 4 versa sobre os aspectos metodológicos e o tópico 5 trata dos resultados do estudo de caso da área, da revisão de literatura e da pesquisa patentária sobre os SUDS. No tópico 6 serão expostas as conclusões do trabalho. O estudo resultou na elaboração de artigo científico que foi submetido à Revista Brasileira de Gestão Urbana (urbe), cujo manuscrito encontra-se no Apêndice A, além de minuta de projeto legislativo, no Apêndice B.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os fundamentos doravante apresentados buscam fornecer a base teórica necessária para alcance dos objetivos do presente trabalho, por meio da descrição e análise de informações, conceitos, categorias e teorias reputadas essenciais para a compreensão das temáticas abordadas, notadamente as tecnologias SUDS (pressupostos, histórico, conceitos, objetivos, espécies, etc.) e as nuances do Plano Diretor do Município de Frutal/MG, essas analisadas em cotejo com planos diretores de outras cidades.

2.1 Ocupação urbana, mudanças climáticas e ciclo hidrológico

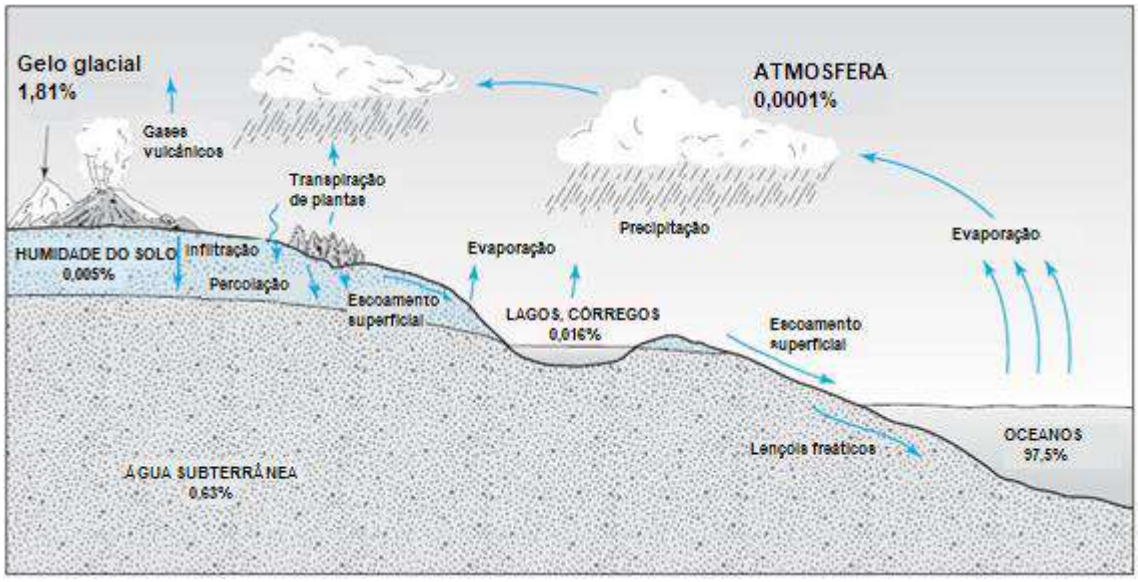
Para melhor compreensão dos conceitos que circundam os SUDS, rápidas considerações teóricas precisam ser feitas acerca das circunstâncias fáticas que pressupõem a necessidade de utilização de tais tecnologias, no caso, a forma como a ocupação urbana e as mudanças climáticas têm modificado o balanço hídrico e, via de consequência, o ciclo hidrológico dos ecossistemas naturais e urbanos. O objetivo da discussão desses assuntos não é esgotar a temática, mas apenas expor alguns delineamentos reputados úteis para o avanço das discussões sobre a necessidade cada vez mais premente de sistemas eficientes de drenagem urbana.

A ocupação humana normalmente se inicia pelas margens dos corpos hídricos, nos vales e várzeas, tendo em vista a necessidade de água para dessedentação, preparar alimentos, higienizar-se, irrigar plantações e outros usos. Após as construções de imóveis e pavimentação das vias, a absorção da água pelo solo diminui, acarretando picos de vazão e, ocasionalmente, inundações (CANHOLI, 2015). Em regiões tropicais úmidas, os vales costumam apresentar clima “abafado” ao longo do dia (AHRENS; HENSON, 2016; MASCARÓ; MASCARÓ; FREITAS, 2008), provocando desconforto térmico que propicia a sucessiva ocupação das áreas mais altas após a construção de sistemas de captação e transporte da água. Consequentemente, as construções nas áreas mais elevadas aumentam as taxas de impermeabilização do solo e de escoamento (*runoff*) da água da chuva, que passa a ser maior a jusante, diretamente para o vale (MASCARÓ; MASCARÓ; FREITAS, 2008).

As alterações nos picos de vazão das águas pluviais, associadas a outras alterações na forma como o solo passa a ser utilizado após a ocupação humana, acarretam mudanças substanciais no ciclo das águas (BRANGER *et al.*, 2013; LIU *et al.*, 2019; STEPHENS *et al.*,

2020). Segundo Masten e Davis (2020), o ciclo hidrológico (Figura 1) compreende a movimentação e conservação da água na superfície terrestre, no interior do solo e na atmosfera, e envolve o escoamento (superficial ou subterrâneo), a evaporação e a precipitação da água. Mudanças no fluxo de entrada de água, nas taxas de precipitação, de escoamento, de infiltração, na vazão de córregos ou riachos saindo dos cursos d'água maiores, nas taxas de evapotranspiração e na densidade da água afetam o equilíbrio hidrológico e alteram o balanço hídrico, isto é, o volume total de entrada, saída e armazenamento da água (MASTEN; DAVIS, 2020).

Figura 1 – Ciclo hidrológico com as correspondentes porcentagens entre os diferentes estados físicos da água.



Fonte: Adaptado de Butler *et al.* (2018).

Depreende-se também que o aumento médio das temperaturas atmosféricas e dos oceanos, fenômeno denominado aquecimento global, oriundo da emissão de gases que provocam ou intensificam o efeito estufa, e sobre o qual há consenso científico, tende a agravar os problemas de drenagem urbana (COOK *et al.*, 2016; ORESKES, 2004; POWELL; 2017). Estudos demonstram que o ciclo hidrológico sofrerá alterações severas por conta desse aquecimento, em geral com intensificação de secas e inundações (BENGTSSON, 2010; MADAKUMBURA *et al.*, 2019). Esse cenário torna premente a investigação de alternativas mais eficientes, dos pontos de vista técnico, econômico e socioambiental, de drenagem de águas da chuva em locais propensos a inundações e surgimento de processos erosivos.

Os cenários futuros desses eventos são nefastos não apenas para os ecossistemas naturais e a biodiversidade, mas também para a própria humanidade, com risco de escassez

alimentar em razão de secas (FILHO; BARBIR; PREZIOSI, 2019); perda de vidas, degradação de condições sanitárias e prejuízos patrimoniais em decorrência de fenômenos climáticos adversos (ciclones, tufões e precipitações intensas e seus consectários, como inundações, cheias, alagamentos, enchentes, deslizamentos, processos erosivos, etc.) (KUNDZEWICZ *et al.*, 2014), necessidade de migração em massa (MCADAM, 2012; WENNERSTEN; ROBBINS, 2017) e guerras climáticas (WELZER, 2015).

Embora parcela minoritária da sociedade persista em negar ou desacreditar o aquecimento climático como consequência da ação humana, seus argumentos não poderiam justificar a inação do Brasil frente ao tema, pois o país adotou, em sucessivas esferas normativas, o princípio da precaução, segundo o qual a atuação do Estado e da sociedade em defesa do meio ambiente deve ocorrer quando existirem evidências suficientes de que determinada atividade é perigosa ou danosa ao equilíbrio ambiental, mesmo diante de incertezas ou perigos abstratos e potenciais (MACHADO, 2013; TRENNEPOHL, 2019). Esse princípio encontra-se listado na Declaração do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e na Convenção Internacional da Diversidade Biológica (BRASIL, 1998a), bem como no Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança (BRASIL, 2006), documentos aos quais o Brasil aderiu.

Tratando-se de problema que diz respeito à humanidade como um todo, o debate sobre o aquecimento global pela comunidade internacional remonta à década de 80 do Século XX, quando instalado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas da ONU (IPCC), com o objetivo de avaliar as informações científicas disponíveis sobre mudanças climáticas, dimensionar seus impactos socioeconômicos e formular soluções (HULME; MAHONY, 2010; ONU, 1998). Com efeito, no âmbito do conjunto de normas internacionais que se sucederam, destaca-se a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança no Clima (UNFCCC), de 1992 (BRASIL, 1998b), que, dentre os vários compromissos propostos aos signatários, previa que estes deveriam promover a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias, práticas ou processos de controle de gases do efeito estufa. Em 2016, o Brasil ratificou o Acordo de Paris e assumiu diversos compromissos perante a comunidade internacional para reduzir a escalada do aquecimento médio da temperatura do planeta, a fim de mantê-la abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, bem como limitar esse aumento da temperatura a 1,5°C em relação a esses mesmos níveis. O acordo prevê várias disposições concernentes ao estímulo de políticas de desenvolvimento tecnológico e transferência de tecnologia para o alcance das finalidades propostas (BRASIL, 2017). E, no âmbito da legislação nacional, a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, instituída pela Lei n. 12.187/09, trouxe dentre suas diretrizes

político-normativas o estímulo ao desenvolvimento de tecnologias de mitigação das mudanças do clima associadas às emissões antrópicas, dentre elas o fomento à pesquisa e difusão de tecnologias sustentáveis para mitigação da redução de gases de efeito estufa, como são o caso de alguns equipamentos SUDS (BRASIL, 2009).

Esse complexo de normas internacionais e nacionais é validado por pesquisas que apontam o papel das evoluções tecnológicas como parte essencial da solução do problema em tela (FAWZY *et al.*, 2020). Nesse aspecto, somam-se tecnologias convencionais e alternativas de descarbonização. O primeiro grupo é representado por tecnologias de captura, armazenamento e utilização do carbono, energias renováveis (hidroelétrica, eólica etc.), energia nuclear e tecnologias de substituição de combustíveis fósseis, a exemplo de biocombustíveis (FAWZY *et al.*, 2020; GHOSHAL *et al.*, 2019). As tecnologias alternativas, tidas não como substitutivas, mas como medidas de suporte às primeiras, são também chamadas de tecnologias de emissões negativas, e encontram exemplo nas tecnologias de captura e armazenamento de carbono de bioenergia, no florestamento e reflorestamento, no biocarvão, nas técnicas de sequestro de carbono pelo solo ou de captura direta de carbono do ar, na fertilização dos oceanos, dentre outras (FAWZY *et al.*, 2020; GHOSHAL *et al.*, 2019). Além da premente necessidade de se estimular a pesquisa dessas tecnologias como uma janela para a sustentabilidade – até mesmo para a própria sobrevivência da espécie humana no planeta, esse debate também interessa ao desenvolvimento das nações, pois essas tecnologias possuem imenso impacto socioeconômico e, em termos estratégicos, poderiam fornecer um atalho para que o Brasil alcançasse o nível de desenvolvimento dos países mais prósperos (LEE, 2019).

Destaca-se, todavia, que o trabalho não se aprofundará nas temáticas de mudanças climáticas, clima e ciclo hidrológico, aqui comentadas apenas com o propósito de ilustrar a relevância cada vez maior da pesquisa e do desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, dentre elas os SUDS, para mitigar as mudanças nos ecossistemas causadas pela ação humana.

Além disso, o presente trabalho dá um primeiro passo para inaugurar os debates sobre a adoção e aplicação dos SUDS no contexto da área estudada, demonstrando a necessidade de estímulo a políticas públicas de drenagem urbana para solução de inundações e problemas de erosão do solo que frequentemente atingem o Município. Todavia, o presente estudo tem algumas limitações:

- Primeiramente, não houve avaliação de parâmetros técnicos para adoção dos SUDS, como viabilidade do local (topografia, impermeabilidade, inclinação, largura, parâmetros de infiltração, coeficiente de rugosidade de Manning, etc),

mensuração da eficácia dos equipamentos já existentes, avaliação realística de custos e benefícios, dentre outros que são próprios da área de engenharia;

- Em segundo lugar, o estudo não avaliou o interesse dos *stakeholders* ou da população local na implementação dos equipamentos SUDS;
- Por fim, a metodologia de exame patentário apresenta restrições para correta mensuração da importância das soluções tecnológicas tratadas, seus custos e sua adequação à realidade local.

2.2 Sistemas de drenagem convencionais e sistemas de drenagem urbana sustentáveis - SUDS

Sistemas de drenagem da água são parte integrante da infraestrutura urbana não apenas nos tempos contemporâneos ou modernos, pois existem registros históricos da utilização de sistemas primitivos de coleta e esgotamento de águas pluviais em civilizações antigas, como a Hindu e Minoana, entre 3000 a.C. e 2800 a.C. (BURIAN; EDWARDS, 2002). Para a civilização Persa, a poluição da água era considerada um sacrilégio, de modo que razões religiosas a levaram a desenvolver complexos sistemas de canalização para drenar a água da chuva (BURIAN; EDWARDS, 2002). De acordo com Tamburrino (2010), a cidade Suméria de Habuba Kebira, situada às margens do Eufrates, em 3.500 a.C., já contava com traçado urbano pavimentado em cascalho, provido com uma rede de canos de drenagem de águas, ao passo que as moradias dispunham de drenos para evacuação do esgoto e da água das chuvas, os quais poderiam ser despejados nas calhas das vias, em poços ou em canais instalados junto às muralhas da cidade, a depender da localização da casa. Povos astecas já possuíam sistemas de aquedutos nas cidades de Coyohuacan, Chapultepec e Tenochtitlan, entre 1.200 a 1.500 d.C. Roma antiga, em seus períodos de república e império, viu florescer uma série de sistemas de canalização (*Cloaca Maxima*, *Aqua Appia*, *Aqua Anio Vetus*, *Aqua Marcia*, dentre outros) de água da chuva e de esgoto doméstico, que eram despejados no Rio Tibre (TAMBURRINO, 2010).

Com a queda do Império Romano, os sistemas de canalização de águas foram abandonados na Europa Ocidental e os avanços tecnológicos ficaram estagnados. As sociedades medievais pouco evoluíram na promoção da drenagem urbana, as inovações em termos de tecnologias hidráulicas ficaram restritas ao desenvolvimento de moinhos (TAMBURRINO,

2010). Os dejetos eram lançados diretamente nas ruas, que promoviam sua drenagem superficial, juntamente com as águas das chuvas (MIGUEZ; VERÓL; CARNEIRO, 2012). Na alta Idade Média, técnicas de aterramento e drenagem de pântanos e construção de diques e canais foram resgatadas (BURIAN; EDWARDS, 2002; TAMBURRINO, 2010), mas de modo pontual, sem acompanhar o crescimento das cidades. Já na idade moderna, com o advento da Revolução Industrial, ocorreu intensa migração do campo para as cidades, que passaram a apresentar precárias condições sanitárias. Isso propiciou o surgimento da corrente higienista ou sanitarista da drenagem urbana, ainda vigente nos dias atuais (BURIAN; EDWARDS, 2002; MIGUEZ; VERÓL; CARNEIRO, 2012).

O modelo higienista de solução dos problemas de drenagem urbana baseia-se na premissa de que as águas pluviais e residuais precisam ser rapidamente coletadas e transportadas para corpos d'água a jusante, via sistemas cada vez mais complexos de canalização (BURIAN; EDWARDS, 2002; CANHOLI, 2015). A instalação e manutenção dos equipamentos de canalização é dispendiosa e frequentemente ocorre em locais ocupados por residências e comércios, o que torna tais intervenções social e financeiramente custosas (MIGUEZ; VERÓL; CARNEIRO, 2012). Além disso, a rápida condução das águas nos picos de cheia constantemente sobrecarrega os corpos d'água a jusante e dá ensejo a alagamentos e inundações (CANHOLI, 2015), daí porque vertentes teóricas contemporâneas (denominadas "conservacionistas" ou "não convencionais") têm como paradigma manter o escoamento das águas pluviais em locais próximos de suas fontes, sem transportá-las para córregos receptores ou outros corpos d'água distantes (CANHOLI, 2015). Tucci (2008) aponta para o surgimento de duas novas fases do desenvolvimento de drenagem de águas urbanas, denominadas (i) Corretiva (entre 1970 e 1990), com enfoque no tratamento do esgoto e redução do *runoff,* e (ii) Fase do Desenvolvimento Sustentável (após 1990), que prioriza o escoamento natural e a infiltração das águas da chuva no solo.

Na literatura estrangeira, as medidas "não convencionais" são objeto de estudo do campo de sistemas de gerenciamento de águas da chuva - *Rainwater Management Systems* (RWH) (BUTLER, 2018). As abordagens para gestão sustentável da drenagem urbana receberam diversas terminologias a depender dos países em que foram aplicadas: (i) *stormwater control measures* (SCM) ou, dentro de um gênero mais amplo, *green infrastructure* (GI), nos Estados Unidos, (ii) *water sensitive urban design* (WSUD) ou *stormwater quality improvement devices* (SQIDs) na Austrália, (iii) cidades-esponja (*Sponge City*) na China, (iv) *sustainable drainage systems* (SUDS) no Reino Unido, (v) *alternative techniques* (AT) ou *compensatory techniques* (CT) na França e Brasil, (vi) *Source Control* ou *pratiques de gestion optimales* no

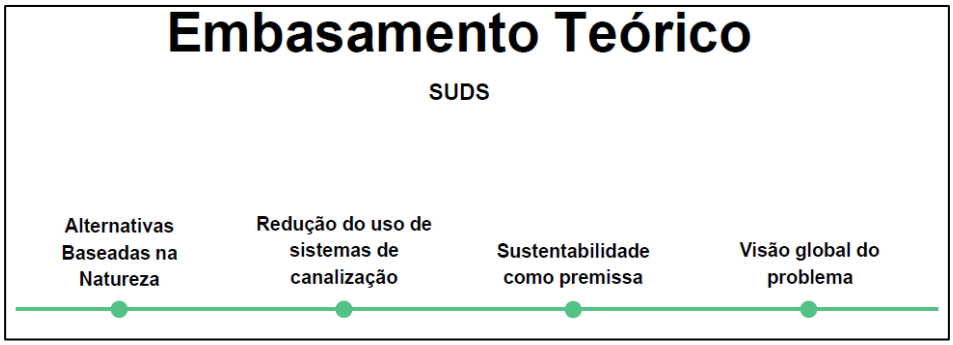
Canadá, (vii) *lokalt omhandertagande av dagvatten* (LOD) ou *oppen dagvattenavledning* na Suécia, (viii) *lokal afledning af regnvand* (LAR) na Dinamarca, (ix) *Alternativen zur Regenwasserableitung* ou *naturnahe Regenwasserbewirtschaftung* na Alemanha (FLETCHER *et al.*, 2015). Os sistemas de drenagem sustentáveis – SUDS, analisados pelo presente estudo, constituem uma dessas medidas corretivas, não convencionais, para a drenagem urbana. É importante salientar que não há uniformidade conceitual entre as categorias citadas, pois seu desenvolvimento ocorreu ou vem ocorrendo em diferentes contextos e mediante adoção de diferentes teorias de base. Em outras palavras, as diferenças, em alguns casos, são meramente terminológicas.

Os SUDS se consolidaram como alternativas baseadas na natureza – *nature based solutions* (NBS), com o enfoque na promoção de drenagem de águas com baixo impacto para o ciclo hidrológico, por meio do retorno e subsequente absorção da água de forma natural ao solo (BUTLER, 2018). O primeiro aspecto a ser ressaltado nos sistemas em apreço é o compromisso com a sustentabilidade, premissa que, no eixo socioambiental, se baseia em uma espécie de compromisso tácito das gerações presentes com as futuras, a fim de que o desenvolvimento levado a cabo nos dias de hoje não comprometa as necessidades de futuras (MASTEN; DAVIS, 2020). A ideia de desenvolvimento sustentável ganhou força a partir da publicação, em 1987, do Relatório Brundtland, documento formalmente intitulado "*Our common future*", a partir dos trabalhos da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU (ONU, 1987). De modo geral, os SUDS apresentam alternativas ao uso dos custosos sistemas de canalização, o que está em consonância com o propósito de racionalização dos recursos naturais. Além disso, por meio da redução de inundações e controle de processos erosivos, medidas que por si só evitam danos ao meio ambiente, os SUDS mitigam as mudanças no ciclo hidrológico, também responsáveis pela redução da qualidade ambiental.

Com o propósito de sedimentar as especificidades teóricas que contribuem para diferenciar os SUDS de outros modelos de drenagem urbana contemporâneos, Woods-Ballard *et al.* (2015) apontaram seus objetivos: (i) reduzir a taxa de escoamento das águas para evitar inundações a jusante; (ii) reduzir o volume de escoamento e a frequência de escoamento que resultam da urbanização; (iii) estimular a recarga das águas subterrâneas para reduzir os impactos nos aquíferos e minimizar o aporte de águas nos rios; (iv) reduzir as concentrações de poluentes nas águas pluviais e (v) evitar a descarga direta de contaminantes nos corpos d'água receptores; (vi) reduzir o volume de água superficial e seu subsequente aporte nas estações de tratamento de esgoto; (vii) contribuir para aprimorar a comodidade e estética urbanas; (viii)

criar ambientes naturais para a vida selvagem no interior dos espaços urbanos e promover a biodiversidade (Figura 2).

Figura 2: Resumo das principais características dos SUDS.



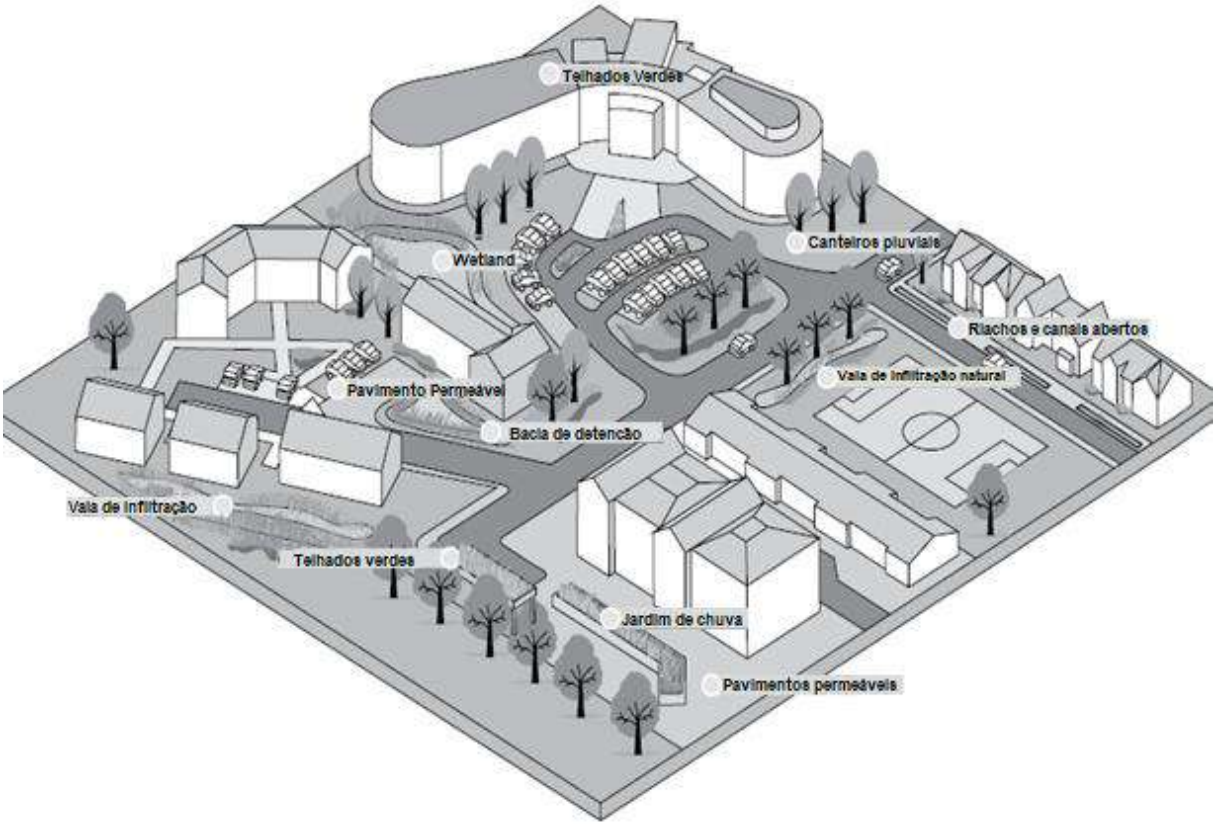
Fonte: Autoria própria (2022), com base em Butler (2018), Canholi (2015), Masten e Davis (2020) e Woods-Ballard *et al.* (2015).

Vale destacar que a utilização dos SUDS prima pelo controle e absorção das águas, objetivos principais de quaisquer sistemas de drenagem, mas também apresenta soluções para outros problemas socioambientais igualmente relevantes, como a redução do lançamento de poluentes nos cursos hídricos, a estética urbana e a biodiversidade. Para cumprimento dessas ambições, apresentam técnicas, equipamentos, materiais e soluções de design específicos para (i) volume hídrico, (ii) qualidade hídrica, (iii) amenidades e (iv) biodiversidade (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015).

2.3 Principais tecnologias SUDS atualmente empregadas

Os processos e equipamentos mais comumente elencados no âmbito dos SUDS são áreas verdes (jardins, parques, corredores verdes, praças, faixas não edificáveis, faixas sanitárias) e áreas verdes permeáveis, áreas permeáveis construídas com pavimentos de asfalto poroso ou concreto permeável, pisos intertravados, britas e pedriscos e pavimentos permeáveis, reservatórios, bacias de infiltração, detenção ou retenção, sistemas de captação da água da chuva, sistemas de atenuação e infiltração da água da chuva e ecopavimentos (BUTLER *et al.*, 2018; OLIVAL *et al.*, 2017; WOODS-BALLARD *et al.*, 2015) (Figura 3).

Figura 3 – Aplicação de SUDS aos edifícios, parques, áreas verdes e outros equipamentos urbanos.



Fonte: Adaptado de Butler *et al.* (2018).

Com ênfase na minimização dos processos erosivos, as bacias de detenção buscam reduzir a velocidade de escoamento das águas da chuva, por meio do retardamento do aporte de águas para regiões à jusante. Podem ser superficiais ou subterrâneas, sendo que as primeiras com frequência são aproveitadas como equipamentos urbanos de lazer, a exemplo de quadras esportivas abertas ou pistas de *skate*, ao passo que as últimas não oferecem essas vantagens e possuem custos de manutenção mais elevados. As bacias de detenção podem operar por entrada ou saídas por gravidade ou por bombeamento (BUTLER *et al.*, 2018; NATIONAL SUDS WORKING GROUP, 2004; OLIVAL *et al.*, 2017; WOODS-BALLARD *et al.*, 2015). As vantagens das bacias de detenção superficiais (Figura 4) incluem a simplicidade de projeto e construção e a facilidade de manutenção, com reflexos diretos na redução de custos. Além disso, se revestidas com vegetação (p.e. gramíneas), propiciam a fitoestabilização e fitorremediação de contaminantes eventualmente despejados (LANDMEYER, 2012; WARD; SINGH, 2004), protegendo o solo ou as águas subterrâneas. As desvantagens são o reduzido volume de redução da taxa de escoamento e a desvalorização das áreas. As bacias de detenção

subterrâneas, a seu turno, não ocupam a superfície do terreno, que pode ser empregada em finalidades diversas (SUSDRAIN, 2022; WOODS-BALLARD *et al.*, 2015).

Figura 4 – Bacias de detenção superficiais.

Fonte: SusDrain (2022) e SuDS Wales (2022).

As bacias de retenção, por sua vez, diferem-se das anteriores porque não buscam apenas retardar o escoamento das águas da chuva, mas também armazená-las. Sua construção depende de fatores complexos, como declividade, tipo de solo do terreno e índices pluviométricos do local em que se busca implementá-las. Algumas bacias de retenção também possuem função paisagística e de lazer, a exemplo de lagos (Figura 5).

Figura 5 – Bacia de retenção (Parque dos Lagos, Frutal/MG).

Fonte: Portari (2016).

As bacias de retenção são adequadas para o aporte de grandes volumes de água (OLIVAL *et al.*, 2017; SUSDRAIN, 2022; WOODS-BALLARD *et al.*, 2015) e sua instalação pode agregar valor às propriedades locais (SUSDRAIN, 2022). Devem ser apontadas também as qualidades de criação de habitats naturais (inclusive ribeirinhos), a redução da temperatura em seu entorno e a produção natural de biomassa (DIREÇÃO GERAL DE MEIO AMBIENTE DA UNIÃO EUROPÉIA, 2022). Podem contribuir para o restabelecimento de níveis de água de aquíferos (LIMA; SILVA; RAMINHOS, 2006; OLIVAL *et al.*, 2017) e possuem boa capacidade de remoção de poluentes, como metais, coliformes e matéria orgânica, por meio da biodegradação ou da instalação de filtros (SUDS SWALES, 2022; SUSDRAIN, 2022).

Outro exemplo de técnica de compensação da drenagem urbana são os pavimentos porosos e permeáveis, que visam reduzir a área impermeável, em busca de um retorno gradual às taxas de absorção do ciclo hidrológico natural. Em regra, são instalados em locais com tráfego leve, uma vez que não são tão resistentes quanto o concreto convencional (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015). Os pavimentos permeáveis geralmente são constituídos de revestimentos permeáveis, como concreto poroso, blocos intertravados (Octabrick), blocos vazados de concreto, blocos de concreto Rima, blocos com canais laterais e blocos com juntas amplas (PINTO, 2011). Superfícies com base agregada podem promover o tratamento da água, evitando que poluentes sejam lançados nas águas subterrâneas (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015). Em acréscimo, tais pavimentos costumam ser resilientes à falta de manutenção (SUSDRAIN, 2022) e permitem o aproveitamento do espaço urbano, já que é possível o tráfego de pessoas ou veículos leves (Figura 6).

Figura 6 – Pavimentos permeáveis.

Fonte: SusDrain (2022).

Valas ou trincheiras de infiltração consistem em canais lineares, rasos (entre 40 cm a 60 cm), com largura entre 0,5 m a 2 m, geralmente gramados, que possuem função retentiva, além de apresentarem vantagens paisagísticas (LEE *et al.*, 2012). Propiciam o escoamento temporário de água pelo solo e subsolo a seu redor e suportam o escoamento de volumes consideráveis de água (SUSDRAIN, 2022). São também versáteis, pois podem ser instalados ao redor de vias e edifícios diversos (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015). Por apresentarem alta entrada de detritos, sua manutenção deve ser feita com frequência, já que podem entupir (SUSDRAIN, 2022) (Figura 7).

Figura 7 – Valas de infiltração.

Fonte: SusDrain (2022).

Medidas que se destacam na absorção de resíduos industriais, os sistemas alagados construídos (*wetlands*) são semelhantes a pântanos artificiais, destinados ao armazenamento de volumes consideráveis de águas (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015). Dividem-se em *wetlands* de escoamento horizontal subsuperficial, de escoamento vertical ou de escoamento vertical pelo sistema francês, os dois primeiros suportando esgoto pré-tratado, e o último esgoto bruto, que é tratado em dois estágios (SPERLING; SEZERINO, 2018). São compostos por uma bacia de sedimentos, com vegetação densa, e um canal que desvia o fluxo de água para a lagoa, com vegetação em seu redor (SUSDRAIN, 2022). Tal método estimula a biodiversidade e também

tem função estética (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015), porém sua instalação deve considerar o tipo de solo e o volume de água suportado, para evitar processos erosivos (SPERLING; SEZERINO, 2018; SUSDRAIN, 2022) (Figura 8).

Figura 8 – Sistema alagado construído.

Fonte: SusDrain (2022).

Por sua vez, parques lineares constituem-se em parques multifuncionais, os quais oferecem soluções não-estruturais para os problemas de drenagem urbana, pois a vegetação que margeia o curso d'água (chamada também de corredor verde) possui função detentiva do fluxo hídrico e de armazenamento temporário da água (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015). Os parques lineares são espaços de preservação ambiental construídos ou conservados às margens de rios, córregos, ribeirões e riachos que propiciam o contato da população com a natureza, além da inegável contribuição estética que agregam aos espaços urbanos. Sua instalação previne a construção de habitações nas regiões de fundo de vale (TAMBOLIM, 2019), evitando, assim, a impermeabilização do solo por conta das construções e da supressão da vegetação eventualmente presente (Figura 9).

Figura 9 – Parque linear.

Fonte: Martins (2017).

Como última espécie de tecnologia SUDS citada, os telhados e paredes verdes (*green roofs* e *green walls*) consistem em camadas vegetais que cobrem os telhados ou outras superfícies de edifícios, e são projetados para coletar as águas da chuva e retê-las temporariamente, atenuando sua velocidade de escoamento superficial. Tais telhados possuem função paisagística e auxiliam, em pequena escala, na remoção de poluentes urbanos atmosféricos, além de serem úteis para redução da temperatura e promoção do isolamento acústico nos prédios em que forem instalados (SUSDRAIN, 2022; WOODS-BALLARD *et al.*, 2015) (Figura 10).

Figura 10 – Telhados verdes.

Fonte: Talbot (2021).

Compete salientar que o objetivo do presente tópico não é esgotar a análise dos tipos de tecnologias SUDS, mas apresentar um panorama geral sobre os equipamentos de drenagem urbana sustentável mais comumente citados por pesquisadores e organizações envolvidos com essa temática.

2.4 Política de drenagem urbana do Município de Frutal/MG

O Plano Diretor é o instrumento normativo básico da política de desenvolvimento urbano e, somente quando cumpridas suas disposições, pode-se afirmar que a propriedade urbana cumpriu sua função social (Constituição Federal, art. 182, §§ 1º e 2º). Trata-se de verdadeiro marco regulatório da propriedade urbana, por meio do qual os municípios, no esquema constitucional de distribuição de atribuições (Constituição Federal, art. 30, VIII), dispõem sobre o planejamento e controle do uso do solo (BRASIL, 1988).

O Estatuto da Cidade preconiza que o Plano Diretor constitui um instrumento da política urbana (art. 4º, III, "a") que possui natureza jurídica de lei, ou seja, deve ser aprovado por processo legislativo municipal, e suas disposições integram o planejamento de médio e longo prazo do município, razão pela qual devem constar do plano plurianual, das diretrizes orçamentárias e do orçamento anual (art. 40, *caput*, e § 1º). Dependerá de inclusão no Plano Diretor a área sobre a qual os municípios pretendam fazer uso do parcelamento, edificação e utilização compulsórios (art. 5º, *caput*). A mais, o Plano Diretor servirá de base para a delimitação de áreas sobre as quais incidirão o direito de preempção conferido ao Poder Público municipal (art. 25, § 1º), a outorga onerosa do direito de construir (art. 28, *caput* e §§ 1º e 2º, art. 29), as operações urbanas consorciadas (art. 32, *caput*) e a transferência do direito de construir (art. 35, *caput*) (BRASIL, 2001). Não apenas, o Estatuto da Cidade prevê a obrigatoriedade do Plano Diretor para cidades com mais de vinte mil habitantes (como Frutal/MG); integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas; nas quais o Poder Público municipal pretenda utilizar parcelamento, edificação e utilização compulsórios; integrantes de áreas de especial interesse turístico; inseridas na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional ou incluídas no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos (art. 41, I a VI) (BRASIL, 2001).

Dentre outras normas de relevo sobre o tema dispostas no Estatuto das Cidades, destacam-se a necessidade de revisão do Plano Diretor a cada dez anos (art. 40, §3º) e a exigência de que sejam promovidos debates e audiências públicas com a sociedade civil, com livre acesso aos documentos e informações produzidos, além de ampla publicidade (art. 40, § 4º, I, II e III) (BRASIL, 2001). Por todas as características citadas, o Plano Diretor é definido por Meirelles (2006) como "[...] a expressão das aspirações dos munícipes quanto ao progresso do território municipal no seu conjunto cidade/campo".

O Plano Diretor do Município de Frutal/MG foi instituído pela Lei Complementar n. 54, de 5 de outubro de 2006, através da aprovação do Projeto de Lei Complementar n. 52/2005, apresentado como substitutivo do projeto original pela Comissão de Constituição e Justiça da Câmara Municipal (FRUTAL, 2005). Tem como princípio mais relevante a sustentabilidade, característica que inclusive foi aposta ao seu nome jurídico: Plano Diretor Sustentável do Município de Frutal/MG (FRUTAL, 2006). A aparente preocupação com a sustentabilidade se confirma pela quantidade de vezes em que tal expressão ou sua principal variação (sustentável) são empregadas no texto legislativo: 34 vezes no decorrer dos 69 artigos. Os princípios do Plano Diretor compreendem a garantia do bem-estar da população, o cumprimento das funções sociais da cidade, da propriedade urbana e do território municipal, a sustentabilidade urbana e rural, e a gestão democrática e participativa (art. 2º) (FRUTAL, 2006).

Quanto à gestão do ciclo das águas (arts. 15 e 16, Capítulo V, Título II), o Plano Diretor de Frutal/MG ocupa-se da matéria em apenas dois artigos, modéstia legislativa que não se limita à mera referência textual do tema, mas também ao raso significado normativo de suas expressões, que nada mais são do que um conjunto genérico de normas programáticas (FRUTAL, 2006). Normas programáticas, nas lições de Silva (2012), são aquelas que apenas estabelecem princípios ou finalidades, sem impor ao legislador a obrigação de concretizá-las no plano normativo.

No caso do Plano Diretor do município em análise, as normas sobre drenagem urbana são essencialmente programáticas, pois não trazem critérios técnicos, administrativos e mesmo jurídicos concretos para sua aplicação. Apenas discorrem que os sistemas de drenagem de águas pluviais, o sistema de coleta de águas servidas e o sistema de abastecimento de água potável são considerados componentes de gestão do ciclo urbano das águas (art. 15), trazendo as seguintes diretrizes e objetivos dessa gestão, no artigo 16:

> I - adotar uma política permanente de conservação e melhoria da água para abastecimento; II - promover o uso racional da água e combate às perdas e desperdícios; III - adotar políticas de intervenção e de investimentos, específicas por

> bacias, promovendo um desenvolvimento que considere as questões ambientais; IV - proteger o sistema de captação superficial de água potável; V - estabelecer medidas preventivas e corretivas para equilíbrio do sistema de drenagem urbana; VI - estimular a manutenção de áreas permeáveis, por lote, nas bacias de drenagem urbana; VII - reduzir os impactos promovidos pela condução superficial da água de drenagem por meio da implantação de parques urbanos em locais estratégicos à macrodrenagem urbana, onde sejam previstos grandes áreas permeáveis e reservatórios de retenção de água; VIII - normalizar sobre a execução de obras de terraplanagem, visando evitar problemas de assoreamento e de erosão nos canais de drenagem; IX - articular, interagir e integrar com outros planos setoriais, especialmente o de circulação e transporte, e o urbanístico; X - distribuição espacial e socialmente equitativa de infra-estrutura da água; XI - ampliar sempre que necessário e conservar a qualidade do sistema de tratamento de resíduos líquidos; XII - atribuir nos parcelamentos, clubes, hotéis, pousadas e grandes empreendimentos localizados nas áreas de especial interesse turístico, a responsabilidade pelo abastecimento de água, assim como pela coleta e tratamento de efluentes líquidos ao empreendedor ou ao condomínio (FRUTAL, 2006).

Eu seu artigo 20, ao estabelecer determinadas áreas de especial interesse ambiental (AEIA), o vigente Plano Diretor preconiza que os locais situados nas regiões de erosão dos bairros Ipê Amarelo e Progresso, e do Corredor Boiadeiro e do antigo aterro (“lixão”) (AIEA.02) deverão ser recuperadas e transformadas em parques urbanos. Determina também que se deve procurar o equilíbrio da macrodrenagem urbana, por meio de execução de bacias de retenção de água (FRUTAL, 2006).

O Projeto de Lei Complementar n. 108/2018, que busca atualizar o Plano Diretor, trouxe poucas alterações às citadas normas (FRUTAL, 2018a). Os dispositivos legais mencionados apenas migraram para os artigos 24, 25, 52 e 53, com pequenas alterações quanto ao seu conteúdo:

> CAPÍTULO VI - DA GESTÃO DO CICLO URBANO DAS ÁGUAS
> Art. 24. Para efeito dessa lei são considerados componentes do ciclo urbano das águas os sistemas de drenagem de águas pluviais, o sistema de coleta de águas servidas e o sistema de abastecimento de água potável.
> Art. 25. Para sua integração com a presente lei, a Política das Águas deve atender as seguintes diretrizes e objetivos: I - adotar uma política permanente de conservação e melhoria da água para abastecimento; II - promover o uso racional da água e combate às perdas e desperdícios; III - adotar políticas de intervenção e de investimentos, específicas por bacias, promovendo um desenvolvimento que considere as questões ambientais; IV - proteger o sistema de captação superficial de água potável; V - estabelecer medidas preventivas e corretivas para equilíbrio do sistema de drenagem urbana; VI - estimular a manutenção de áreas permeáveis, por lote, nas bacias de drenagem urbana; VII - reduzir os impactos promovidos pela condução superficial da água de drenagem por meio da implantação de parques urbanos em locais estratégicos à macrodrenagem urbana, onde sejam previstos grandes áreas permeáveis e reservatórios de retenção de água; VIII - normalizar sobre a execução de obras de terraplanagem, visando evitar problemas de assoreamento e de erosão nos canais de drenagem; IX - articular, interagir e integrar com outros planos setoriais, especialmente o de circulação e transporte, e o urbanístico; X - distribuição espacial e socialmente equitativa de infra-estrutura da água; XI - ampliar sempre que necessário e conservar a qualidade do sistema de tratamento de resíduos líquidos; XII - atribuir nos parcelamentos, clubes, hotéis, pousadas e grandes empreendimentos

> localizados nas áreas de especial interesse turístico, a responsabilidade pelo abastecimento de água, assim como pela coleta e tratamento de efluentes líquidos ao empreendedor ou ao condomínio.
> Art. 52 A Área Especial de Interesse Ambiental (AEIA) – Anexo 05 caracteriza-se por áreas de terras públicas ou privadas que devem ser preservadas ou recuperadas em virtude da sua composição e vegetação, bem como na estabilidade do solo urbano e importância na drenagem natural.
> Art. 53. As AEIA classificam-se nas seguintes categorias: I - AEIA.01 – constituem-se nas faixas de proteção de fundo de vale. Estas áreas devem possuir largura de acordo com a respectiva faixa de drenagem de cada curso d´água ou fundo de vale, independente se for seco. Para tanto é necessária a execução de estudos de drenagem urbana e municipal, bem como a Lei Federal n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965 e Medida Provisória n.º 2.080-58, de 27 de dezembro de 2.000. Nestas faixas são apenas permitidos usos preservacionistas; b) AEIA.02 – tratam-se de áreas degradadas na área urbanizada ou próxima a ela, sendo referentes a erosão do bairro Ipê Amarelo, erosão do bairro Progresso e erosão do Corredor Boiadeiro e antigo lixão. Estas áreas devem ser recuperadas e transformadas em parques urbanos sendo permitidos usos conservacionistas e deve procurar se manter a máxima taxa de permeabilidade do solo possível. Por estas áreas estarem junto a cursos d´água, se deve procurar o equilíbrio da macro drenagem urbana, por meio de execução de bacias retenção de água. (FRUTAL, 2018a).

As alterações referidas foram a remoção do trecho que previa a utilização dos instrumentos da desapropriação, do direito de preempção e das operações urbanas consorciadas para resolução dos problemas de erosão na AEIA.02, o que se mostra um contrasenso, pois tais instrumentos legais são essenciais para a gestão urbana e para o planejamento de políticas públicas, especialmente a desapropriação (SILVA, 2010). Com isso, é certo que a atualização do Plano Diretor não traz avanços significativos em termos político-legais para gestão hídrica do Município, especialmente na drenagem pluvial.

Dentre outras normas que integram a política urbanística do município, o Código de Obras e Posturas (Lei Complementares n. 6/1991 e 28/2002) e a Lei n. 6.349/2018, que institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, não possuem disposições relevantes para a drenagem de águas da chuva (FRUTAL, 1991, 2002, 2018b). A Lei Ordinária n. 5.977/2012, que regulamenta o parcelamento do solo urbano em âmbito municipal, apenas menciona que a presença de equipamentos de drenagem urbana são relevantes para a caracterização do imóvel como situado em área urbana consolidada (art. 2º, parágrafo único, III, “a”) (FRUTAL, 2012).

A exceção do citado artigo 20 do Plano Diretor, que tenta, de maneira contida, estabelecer a obrigação de instalação de parques e de bacias de retenção em determinadas áreas municipais, a legislação do município é falha em relação ao estabelecimento de critérios técnicos de drenagem urbana. Apesar de o Plano Diretor repetir a expressão “sustentável” dezenas de vezes ao longo de seu texto, não há na legislação municipal, aqui analisada de

maneira global, um conjunto ordenado de regras que detalhe a implementação da sustentabilidade em relação aos equipamentos urbanos de drenagem de águas.

Portanto, a análise legislativa empreendida resultou na conclusão de que tanto a legislação urbanística vigente quanto o atual Projeto de Lei que busca atualizar o Plano Diretor de Frutal/MG são omissos quanto à drenagem sustentável de águas, em descompasso com os modelos técnicos contemporâneos de gerenciamento hídrico, como os SUDS.

2.5 Política de drenagem urbana do Estado de Minas Gerais

Comumente, as ações de drenagem são desenvolvidas prioritariamente pelos Municípios, o que pode transmitir a errônea impressão de que as esferas estadual e federal não possuem competência legal para adoção de ações administrativas. Porém, a Constituição Federal estabelece que competirá à Federação estabelecer diretrizes gerais sobre desenvolvimento urbano e saneamento básico (art. 21, XX), e à União, aos Estados e aos Municípios a adoção de medidas de saneamento básico (art. 23, IX, da Constituição Federal) (BRASIL, 1988). Tratam-se de competências comuns, que devem ser devidamente executadas pelas três esferas e que podem acarretar a responsabilização solidária dos três entes.

No âmbito do Estado de Minas Gerais, a Constituição Estadual trazia, em sua redação original, disposição de que a drenagem pluvial representava exemplo de medida de saneamento básico, definindo-a como função pública de interesse comum (art. 43) (MINAS GERAIS, 1989). Não havia, porém, maior aprofundamento sobre a temática, quiçá sobre drenagem sustentável, cabendo apontar que a palavra “sustentável” ingressou pela primeira vez no texto da Constituição Estadual em 2020, quando da aprovação da Emenda n. 105, relacionada ao plano estratégico de transportes (MINAS GERAIS, 2020).

Em 1994, foi editada a Lei 11.720, que estabeleceu a Política Estadual de Saneamento Básico (MINAS GERAIS, 1994), cujo enfoque é promover a saúde humana e proteger a salubridade nas áreas urbanas e rurais. Inicialmente, aponta-se que a Lei foi editada em período no qual o tema da sustentabilidade estava em voga, cerca de dois anos após a Conferência Eco-92, no Rio de Janeiro. Porém, a despeito disso, a Lei não se aprofunda na temática da sustentabilidade, na verdade, sequer usa tal expressão em seu texto. Dentre os pontos que se destacam para o tema debatido estão a previsão de que os municípios mineiros deverão zelar pela implantação prévia de serviços de saneamento básico em áreas com assentamentos urbanos, solucionar problemas de saneamento básico em locais de urbanização irregular

(inclusive favelas) e adequar os sistemas de saneamento básico às normas de preservação do meio ambiente (art. 4º). Outro ponto importante, que está em conformidade com a legislação federal, é a inclusão da drenagem urbana nas medidas de saneamento básico (art. 2º, II, "d") (MINAS GERAIS, 1994).

O Código de Saúde de Minas Gerais (Lei 13.317/99) (MINAS GERAIS, 1999), que estabelece as normas para promoção e proteção da saúde no Estado, também replica a aludida definição de saneamento básico como um conjunto de medidas composto, dentre outros, pelo abastecimento de água, coleta de resíduos sólidos e líquidos (esgoto), drenagem de águas pluviais e controle de vetores (art. 42). Mais do que isso, traz importantes normas sobre drenagem urbana, como a exigência de tratamento do esgoto antes de seu lançamento em cursos hídricos, a proibição de lançamento de esgoto sanitário nas redes de galerias pluviais, a determinação para que tais redes sejam mantidas limpas e em bom estado de funcionamento e a obrigação de que sejam instalados equipamentos de drenagem em construções civis (arts. 49 a 51).

No aspecto político-administrativo, a gerência das ações relacionadas ao saneamento básico estadual ficou a cargo da Superintendência de Saneamento Básico, cuja estrutura alberga a Diretoria de Resíduos Sólidos Urbanos e Drenagem de Águas Pluviais, incumbida de desenvolver projetos pluviais, estimular o desenvolvimento tecnológico no setor, capacitar gestores municipais, dentre outras ações (Decreto Estadual n. 47.787/19) (MINAS GERAIS, 2019). O Decreto Estadual n. 47.787/19, por sua vez, mantém melhor alinhamento às exigências de sustentabilidade ambiental, o que se reflete mesmo na própria nomenclatura da pasta (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD), havendo expresso alinhamento aos objetivos de desenvolvimento da ONU (art. 30, IX), razão pela qual conclui-se que o tema da drenagem sustentável vem ganhando espaço na política de saneamento mineira.

2.6 Políticas de drenagem urbana de outros municípios

Para fins de estudo comparativo, selecionamos três exemplos de cidades que incluíram em seus planos diretores ou em outras leis municipais políticas de drenagem urbana sustentável, a saber, São Paulo/SP, Porto Alegre/RS e São José do Rio Preto/SP. No caso de São Paulo/SP, o Plano Diretor, instituído pela Lei n. 16.050/14, traz uma série de diretrizes e ações prioritárias que, direta ou indiretamente, exemplificam a implementação dos SUDS, como: (i) preservação

e recuperação de áreas com interesse para drenagem; (ii) implementação de sistemas de detenção ou retenção temporária de águas pluviais que contribuam para melhoria do espaço urbano, da paisagem e do meio ambiente; (iii) adoção de pisos drenantes em vias públicas e passeios; e (iv) instalação de parques lineares (*greenways*) (arts. 216 a 218). Além disso, no plano normativo, determina a criação do Plano Municipal de Saneamento Ambiental Integrado, que deverá abordar propostas para garantia de sustentabilidade na drenagem urbana (art. 202, VI, "f") (SÃO PAULO, 2014). Não apenas, a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de São Paulo/SP elaborou o Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais, documento cuja função é orientar e dar subsídios técnicos a profissionais da Prefeitura, a prestadores de serviço e a empreendedores, e que, de modo expresso, recomenda a implementação de bacias de detenção e de retenção, valas de infiltração, pavimentos porosos, trincheiras de infiltração e valas gramadas (SÃO PAULO, 2012).

A cidade de Porto Alegre/RS, por força legislativa (art. 3º, § 5º, do Decreto n. 15.371/06, e art. 4º, § 5º, do Decreto n. 18.611/14), conta com Plano Diretor de Drenagem Urbana elaborado na forma de manual (PORTO ALEGRE, 2005, 2006, 2014). Esse manual, por sua vez, elenca vários exemplos de tecnologias SUDS que devem ser empregados em Porto Alegre/RS, como reservatórios de detenção e retenção, valas e trincheiras permeáveis, pavimentos permeáveis e áreas de infiltração. Declara, também, que o Plano Diretor de Drenagem Urbana, em respeito ao Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Municipal, tem como princípio e diretriz a visão da sustentabilidade ambiental (PORTO ALEGRE, 2005).

Por fim, São José do Rio Preto/SP constitui outro exemplo de cidade que incorpora tecnologias SUDS em seu Plano Municipal de Saneamento Básico (Lei n. 12.882/2018), como bacias de detenção e de retenção, parques lineares, valas de detenção e de infiltração, trincheiras de infiltração e calçadas ou pavimentos permeáveis (SÃO JOSÉ DO RIO PRETO, 2018).

Decerto que citados municípios possuem contextos socioeconômicos, demográficos, ambientais e urbanísticos distintos do Município de Frutal/MG, de tal modo que as práticas assinaladas em seus respectivos quadros normativos de ordenação urbana podem não ser adequadas à Frutal/MG. Porém, isso não significa que as experiências das soluções de drenagem adotadas em outros locais não possam ser úteis para a compreensão dos problemas enfrentados nesse município e possam servir de inspiração para a busca de soluções adequadas à sua realidade.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O presente trabalho discute a possibilidade de aplicação de tecnologias SUDS no Município de Frutal/MG, situado no Estado de Minas Gerais, como forma de solução para os agravos urbanos e ambientais inerentes à ausência ou subdimensionamento dos equipamentos de drenagem urbana existentes nesse local, visando apresentar proposta de incorporação de tais tecnologias ao seu Plano Diretor.

3.2 Objetivos específicos

- Pesquisar os principais problemas relacionados à drenagem pluvial no Município de Frutal/MG;
- Realizar levantamento das principais questões envolvendo SUDS na literatura, tais como barreiras ou entraves à sua implementação, questões técnicas das tecnologias, *frameworks* existentes, principais *players* e *stakeholders* e políticas de fomento à sua adoção;
- Identificar as tecnologias SUDS mais indicadas para a realidade do Município de Frutal/MG;
- Buscar patentes de tecnologias SUDS que se destaquem em termos de performance hidráulica, resiliência e redução de custos.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa adota procedimento metodológico de estudo de caso, com enfoque no planejamento urbano do Município de Frutal/MG. Apesar de se tratar de trabalho que aborda a realidade local, seus resultados podem ser aproveitados por Municípios com dimensões e características semelhantes. O trabalho tem viés exploratório em relação à bibliografia e acervo documental pertinentes. Seu desenvolvimento ocorreu em três etapas, detalhadas nos itens seguintes.

4.1 Estudo de caso

Para delineamento do estudo de caso, foi realizada pesquisa documental junto a órgãos públicos sediados em Frutal/MG (Ministério Público e Corpo de Bombeiros Militar), no intuito de identificar e descrever processos erosivos e eventos de inundação, enchentes ou alagamentos registrados nesse Município, decorrentes da ineficiência ou inexistência de equipamentos urbanos de drenagem pluvial. Justifica-se a necessidade de se averiguar quais são os principais focos de problemas relacionados à inefetividade ou mesmo inexistência dos sistemas de drenagem tradicionais na área em estudo como primeiro passo para a escolha de tecnologias sustentáveis de drenagem urbana. Esse mapeamento também tem o objetivo de contribuir para o dimensionamento dos desafios enfrentados por Frutal/MG no que concerne à drenagem urbana, fornecendo um panorama sobre sua gravidade.

Os dados desses documentos foram processados para elaboração de mapas de localização de fenômenos de vulnerabilidade ambiental e mapas de densidade de Kernel desses fenômenos, por meio do emprego do software ArcGis 10.6.1, da empresa Esri. A estimativa de densidade de Kernel consiste em método de análise de pontos de distribuição de eventos, utlizado para detecção de “pontos quentes” ou “manchas quentes” dos fenômenos analisados (BAILEY *et al*., 1995). Os mapas contendo estimativas de densidade de Kernel foram elaborados por meio de recurso presente no software ArcGis 10.6.1.

Ademais, contou com breve descrição da área urbana, compreendendo informações sobre a localização, o clima e microclima do Município de Frutal/MG.

4.2 Revisão bibliográfica

Na etapa de revisão sistemática de literatura, foram selecionados para análise artigos de pesquisa ou revisão catalogados pelos periódicos Science Direct e Scopus, bancos de dados selecionados pela amplitude do acervo e pelos criteriosos processos de avaliação e indexação, que levam em conta, dentre outros fatores, a contribuição acadêmica para o campo de pesquisa, aferida segundo métricas objetivas. As buscas foram realizadas com os termos: “*sustainable drainage*” e “*sustainable urban drainage*” (respectivamente, “drenagem sustentável” e “drenagem urbana sustentável”, na língua portuguesa), no título, tendo como recorte temporal os últimos dez anos (2011-2021). Os 20 primeiros artigos de cada um dos bancos de dados,

classificados segundo a métrica CiteScore, da Scopus, foram objeto de análise bibliométrica mediante utilização do software *VOSViewer*, para identificação de co-ocorrências textuais. Ademais, as publicações foram criteriosamente analisadas e os resultados da pesquisa foram expostos no Tópico 6.2.

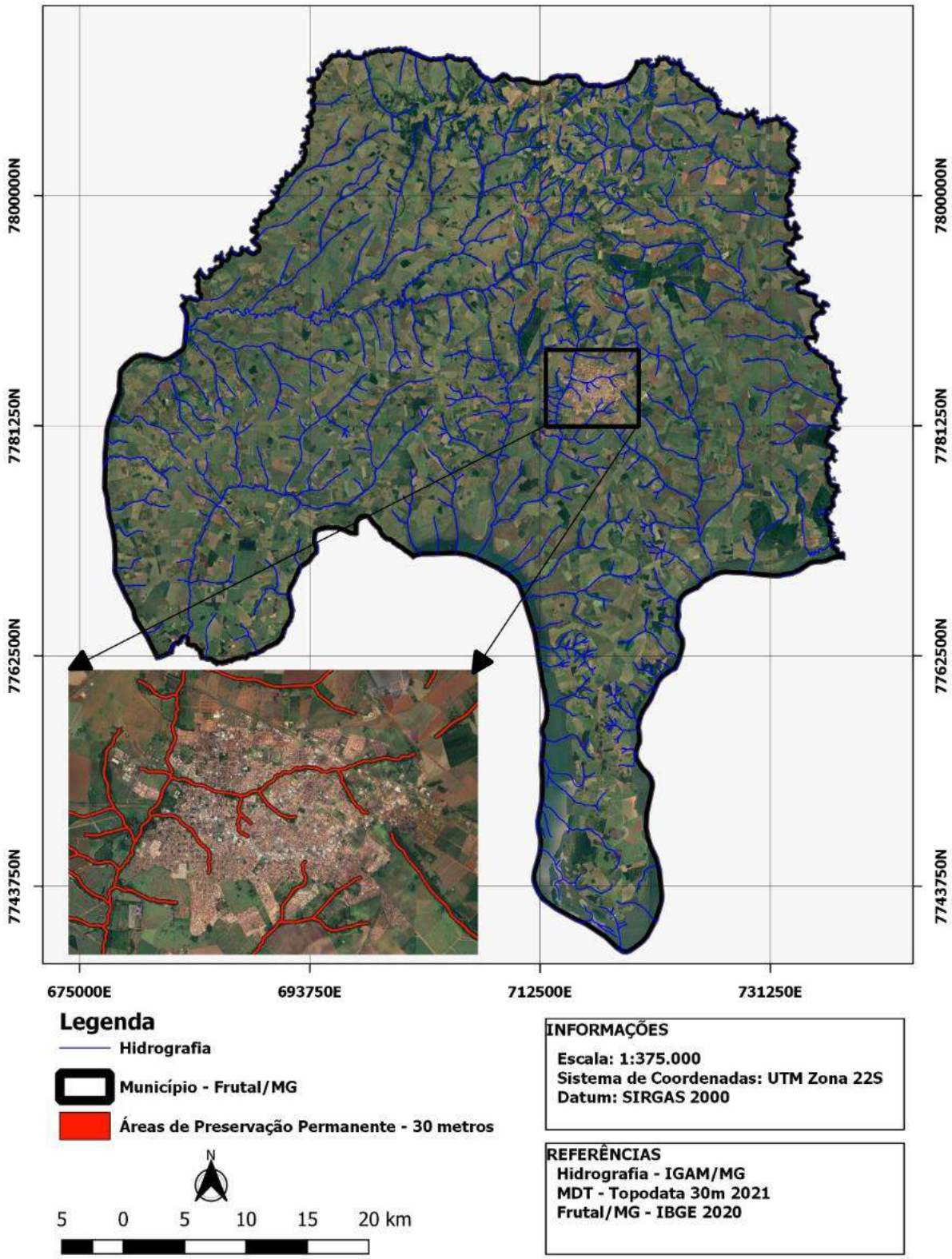
4.3 Prospecção de tecnologias por meio de patentes

Realizou-se prospecção de tecnologias por meio de patentes pesquisadas na plataforma Orbit Intelligence, da empresa francesa Questel Expansion SAS. Essa ferramenta dispõe de vasta gama de fontes, constituída pelos bancos de dados de 90 escritórios nacionais e de 6 escritórios regionais de patentes (QUESTEL, 2020). A pesquisa patentária utilizou o seguinte *script* de busca: "*((green roofs OR permeable pavement OR filter trench OR bioretention area OR soakaway OR infiltration trench OR infiltration basin OR rain garden OR detention basin OR retention pond OR wetland OR (sustainable and drainage))/ti and (SUDS OR wsud OR lid OR sponge city OR sponge cities OR sqid OR compensatory techniques OR CT OR source control OR LOD or LAR or sustainable drainage system)/TI/AB)*". Os resultados foram delimitados às patentes ativas, que foram individualmente analisadas, para identificação de tecnologias promissoras no âmbito da drenagem urbana sustentável, com base em análise que levou em conta critérios de performance hidráulica, resiliência e redução de custos.

4.4 Características da área estudada

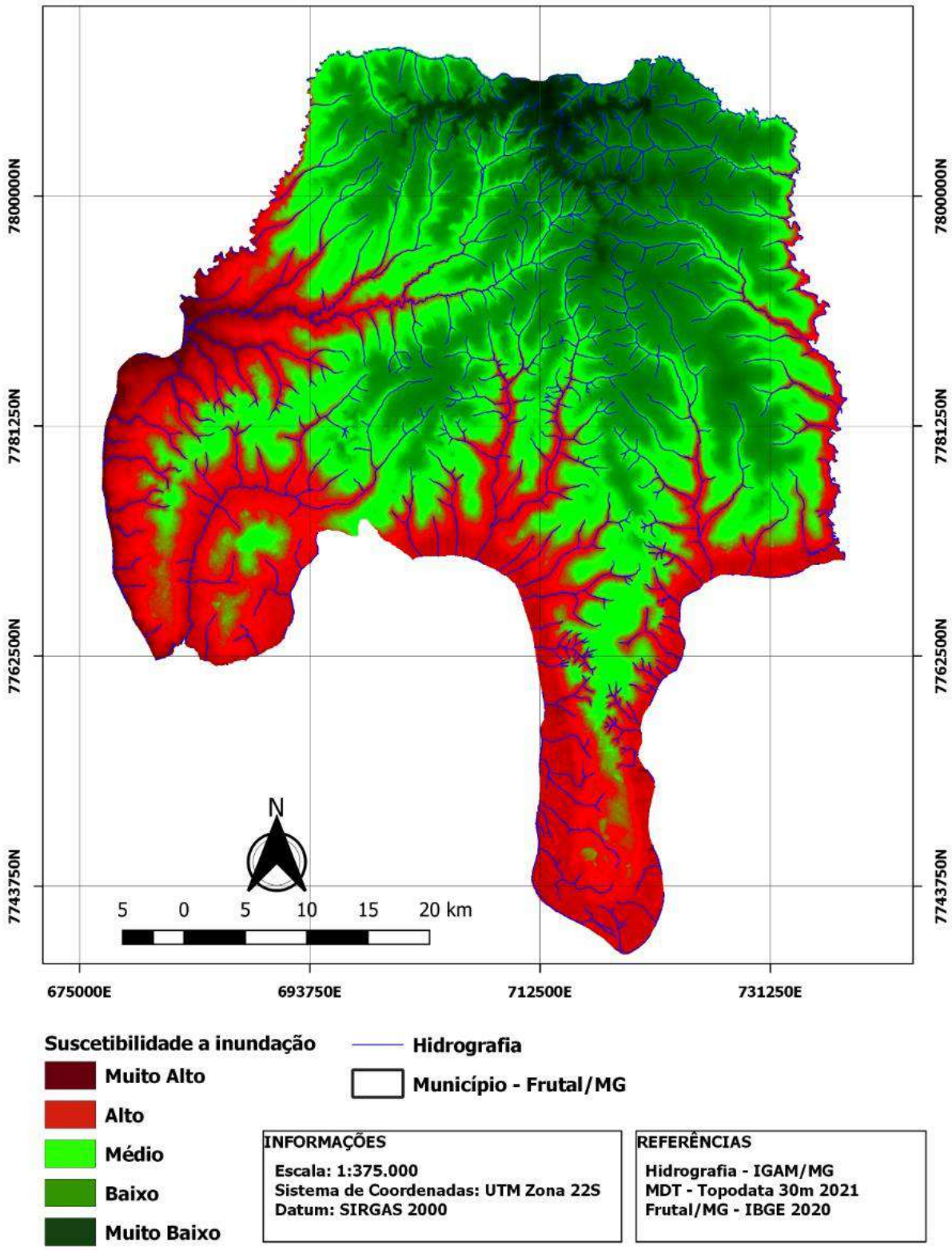
O Município de Frutal/MG situa-se na mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, sob influência dos biomas Cerrado e Mata Atlântica. Possui área de 2.426,965 km^2 e faz divisas com os municípios de Fronteira/MG, Itapagipe/MG, Comendador Gomes/MG, Campo Florido/MG, Pirajuba/MG e Planura/MG. Sua população, segundo censo realizado em 2021, é de 60.508 pessoas (IBGE, 2022). A cidade está localizada perto da confluência dos rios Grande e Paranaíba, que formam o Rio Paraná. Possui clima tropical, caracterizado por períodos de chuvas bem definidos, com precipitações concentradas entre os meses de outubro a março (BRITO; PEREIRA; MARTINS, 2017). Assenta-se na Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Baixo Rio Grande (IGAM, 2020) (Figura 11), tendo várias áreas topograficamente suscetíveis a inundações nas adjacências do Rio Grande (IGAM, 2020) (Figura 12).

Figura 11 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Município de Frutal/MG, com recorte sobre o perímetro urbano.



Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG (2020), INPE – Topodata (2022) e IBGE (2022).

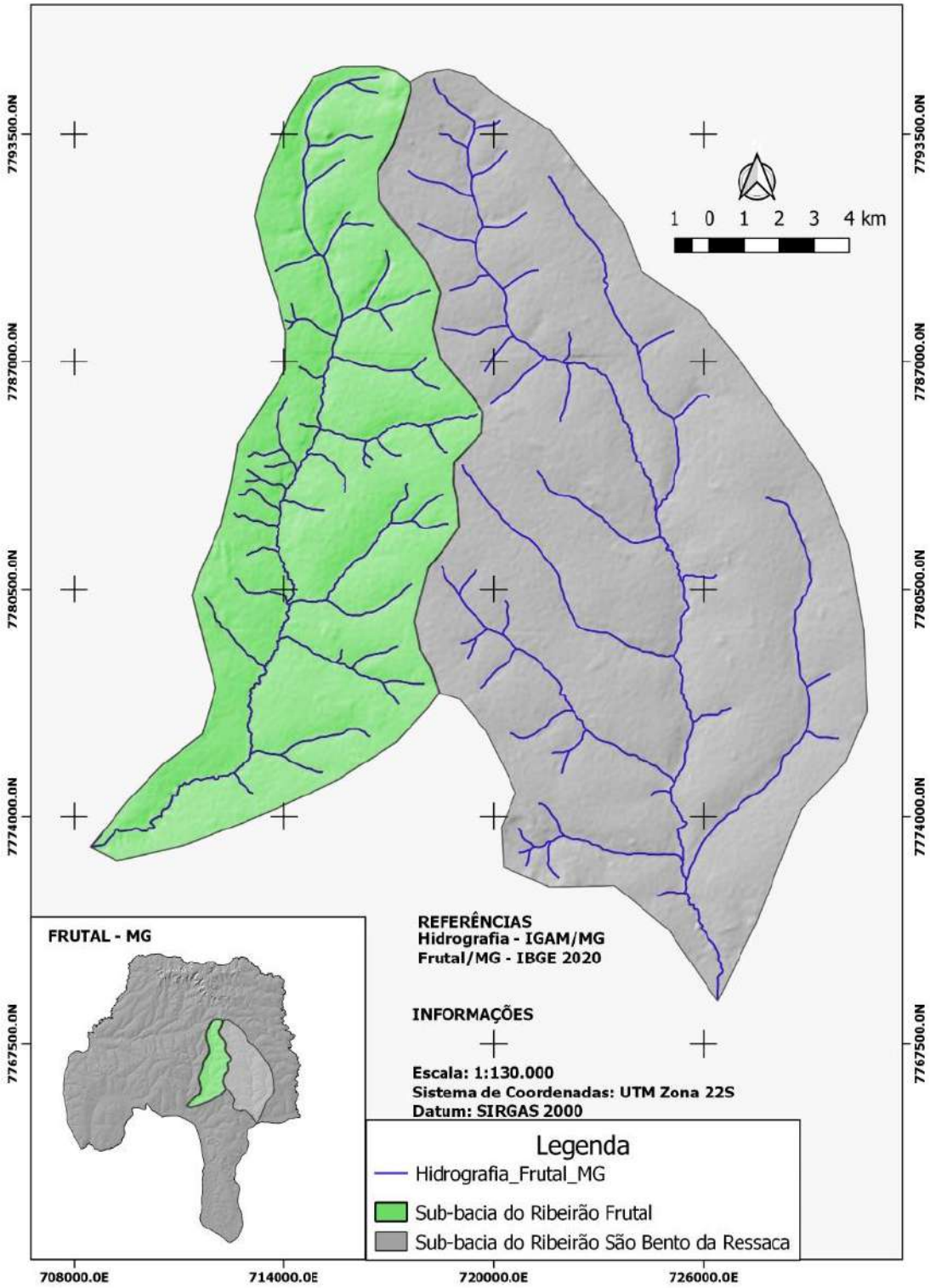
Figura 12 – Mapa de suscetibilidade a inundações no Município de Frutal/MG.



Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG (2020), INPE – Topodata (2022) e IBGE (2022).

A maior porção de sua área urbana situa-se na sub-bacia do Ribeirão Frutal (Figura 13), que serve para a captação do serviço público de água pela concessionária COPASA (TIEPPO, 2016).

Figura 13 – Mapa das sub-bacias do Município de Frutal/MG.



Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG (2020) e IBGE (2022) (2022).

Considerando fatores como densidade populacional, índice de saneamento, razão de dependência, percentual de cobertura vegetal, balanço hídrico, índices de extremo climático, dentre outros, distribuídos nos critérios de sensibilidade, exposição e capacidade de adaptação, Frutal/MG possui uma vulnerabilidade moderada para mudanças climáticas, isto é, uma suscetibilidade moderada aos efeitos adversos do clima (FEAM, 2020). Situado na Bacia Geológica do Paraná, tem relevo plano ou suavemente ondulado, com altitudes que variam de 500 a 600 metros. Quanto ao solo, predominam latossolos vermelho-amarelo e vermelho, de textura arenosa ou areno-argilosa (PINHEIRO; CAETANO; PEREIRA, 2018). Acerca da granulosidade e plasticidade, a areia é predominantemente fina e média e o solo apresenta alta erodibilidade, condições suscetíveis a processos erosivos (MATEUS *et al.*, 2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente tópico destina-se a apresentar os resultados obtidos relativamente à coleta de dados em órgãos públicos para a elaboração do estudo de caso, à revisão de literatura e ao mapeamento de patentes. Destaca-se que tais resultados foram consolidados em artigo científico submetido à Revista Brasileira de Gestão Urbana – URBE, conforme Apêndice A, e em minuta de projeto de lei, conforme Apêndice B, que será apresentada à Prefeitura e à Câmara de Vereadores do Município.

5.1 Da pesquisa documental para identificação de processos erosivos e eventos de inundação, enchentes ou alagamentos registrados em Frutal/MG

A metodologia do presente estudo incluiu a coleta de documentos ou informações oficiais junto a dois órgãos públicos que lidam diretamente com os problemas versados, no caso a Promotoria de Justiça com atribuições perante a Curadoria de Habitação e Urbanismo e o Corpo de Bombeiros Militar, frisando-se que o último está vinculado às atividades da Defesa Civil, obviamente relacionadas aos problemas em análise.

Foram obtidas digitalizações integrais de 10 (dez) procedimentos extrajurisdicionais que tramitam ou tramitaram pela Promotoria de Justiça de Habitação e Urbanismo (procedimentos MPMG-0271.16.000216-5, MPMG-0271.19.000271-4, MPMG-0271.19.000541-0, MPMG-0271.18.000356-5, MPMG-0271.18.000673-3, MPMG-0271.19.000597-2, MPMG-0271.18.000604-8, MPMG-0271.12.000006-9, MPMG-

0271.20.000013-8 e MPMG-0271.02.000010-2), cópia de uma ação judicial de improbidade administrativa por conta de omissão quanto à drenagem urbana do Município (AIA MPMG-0271110004006), bem como cópias de 81 boletins de ocorrência registrados entre 23/3/2010 até 12/7/2021, concernentes à processos erosivos nas áreas urbana e rural, e 101 boletins de ocorrência registrados entre 28/4/2011 e 20/7/2021, relativos à alagamentos, inundações e enchentes. Por fim, obteve-se junto ao Corpo de Bombeiros relatório da Defesa Civil referente ao Município, documento esse elaborado pela Coordenadoria Estadual De Proteção e Defesa Civil – CEDEC (CEDEC, 2021). Após análise individualizada desses documentos, com a exclusão dos eventos em zona rural, além da filtragem de fatos que não tinham relação com o escopo do presente trabalho, os locais em que mais ocorreram tais problemas foram consolidados, conforme quadro 1. Nos casos em que a geolocalização dos locais não foi informada nos documentos, foram utilizadas outras informações disponíveis sobre o endereço do evento, como logradouro, número do imóvel e pontos de referência, no intuito de identificar o ponto em que o evento foi reportado.

Quadro 1 – Pontos de alagamentos, enchentes, inundações e processos erosivos em Frutal/MG

Documento(s) de referência	Endereço	Coordenadas	Tipo de problema
REDS 2011-000731536-001	Avenida Marechal Deodoro, Princesa Isabel	20° 1'51.50"S / 48°56'13.45"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2013-000186986-001	Rua Silviano Brandão, Princesa Isabel	20°1'41.00"S / 48°56'24.83"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2013-000187240-001	Rua Lincoln Campos, Jardim do Bosque	20°2'9.59"S / 48°56'18.19"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2013-000187283-001	Avenida Marechal Deodoro, Princesa Isabel	20° 1'50.60"S / 48°56'15.65"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2013-000292432-001	Rua Treze de Maio, Centro	20°1'14.50"S / 48°56'19.61"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2013-000186881-001	Avenida Marechal Deodoro, Princesa Isabel	20°1'51.50"S / 48°56'14.13"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2013-000187138-001	Avenida Marechal Deodoro, Princesa Isabel	20°1'51.50"S / 48°56'14.13"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2013-000187351-001	Avenida Marechal Deodoro, Princesa Isabel	20°1'51.50"S / 48°56'14.88"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2013-000187372-001	Avenida Marechal Deodoro, Princesa Isabel	20°1'50.60"S / 48°56'15.65"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2013-000187525-001	Avenida Marechal Deodoro, Princesa Isabel	20°1'50.60"S / 48°56'14.93"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2016-024998340-001	Rua Silviano Brandão, Princesa Isabel	20°1'41.00"S / 48°56'24.83"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2017-022300762-001	Rua Avelino Furtado de Mendonça, Vila Esperanca	20° 1'19.01"S / 48°54'50.75"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2018-057586228-001	Avenida Coronel Delfino Nunes, Centro	20° 1'25.50"S / 48°56'14.22"O	Alagamento/Enchente/ Inundação

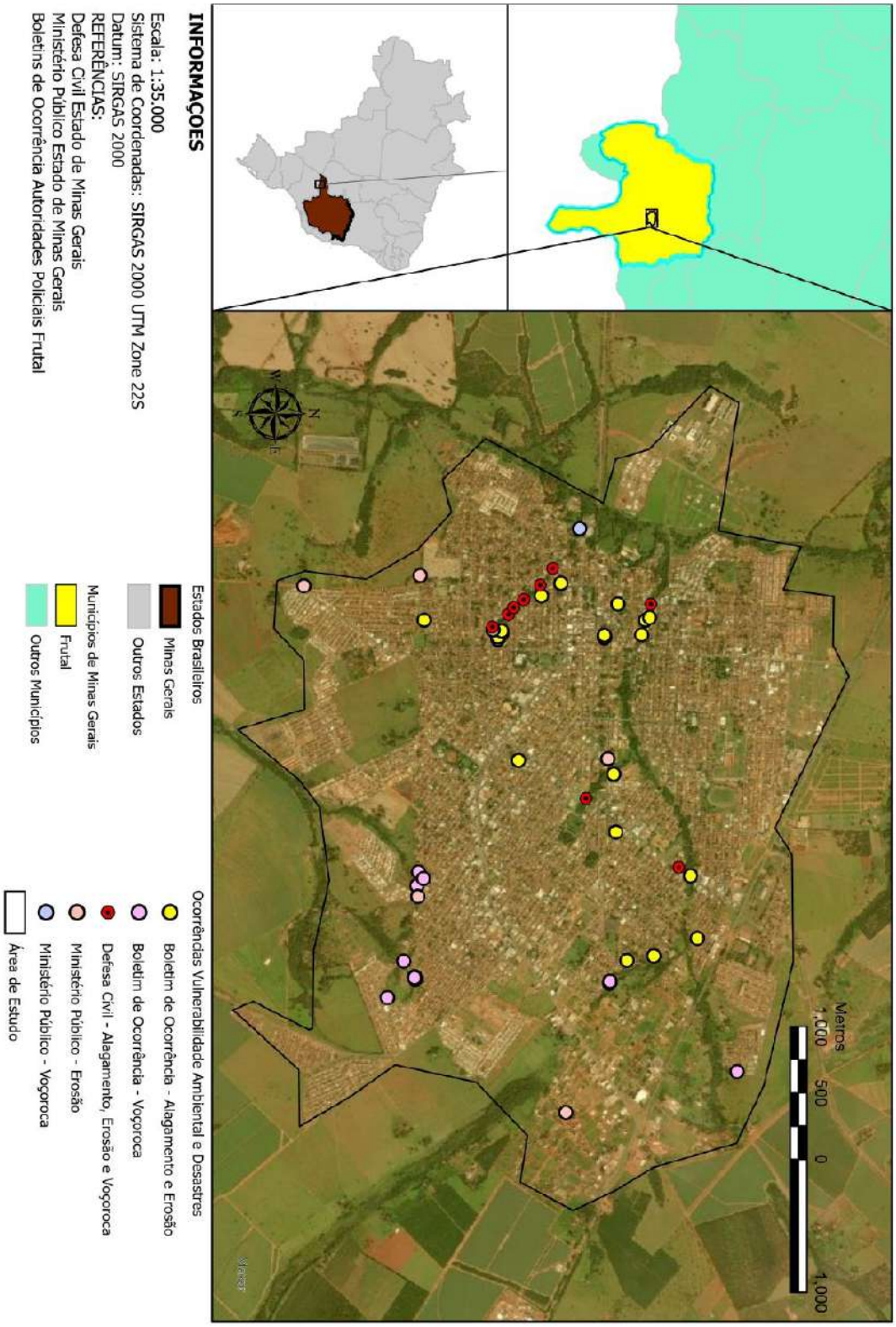
REDS 2018-057586767-001	Avenida Homero Alves de Souza, Centro/Nossa Senhora Aparecida	20° 1'15.53"S / 48°56'18.89"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2018-057587523-001	Rua Senador Gomes Silva, Centro	20° 1'22.30"S / 48°56'23.02"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2018-057585314-001	Avenida Brasília, Jardim das Laranjeiras	20° 1'22.10"S / 48°55'23.90"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2018-057589288-001	Avenida Homero Alves de Souza, Centro	20° 1'16.40"S / 48°56'15.07"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2018-057587160-001	Avenida Coronel Delfino Nunes, Centro	20°1'25.50"S / 48°56'14.85"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2018-057584820-001	Avenida Brasília, Nossa Senhora Aparecida	20°1'46.10"S / 48°55'42.14"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2020-003005269-001	Rua Senador Gomes Silva, Nossa Senhora Aparecida	20°1'22.80"S / 48°55'38.87"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2020-059820589-001	Rua Sebastião Jonas Ferreira, Caju	20° 1'1.89"S / 48°54'56.69"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2021-032370640-001	Rua João Pinheiro / Rua Santos Dumont, Centro	20°1'36.30"S / 48°56'28.13"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2021-012996611-001	Rua Silviano Brandão, Princesa Isabel	20°1'41.00"S / 48°56'24.83"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2021-012974652-001	Rua João Pinheiro / Rua Santos Dumont, Centro	20°1'36.30"S / 48°56'28.13"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
REDS 2021-012864412-001	Avenida Brasília, Jardim das Laranjeiras	20°1'3.74"S / 48°55'12.80"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
Plano de Gestão de Risco da Defesa Civil (item 9.1) (CEDEC, 2021)	Rua Marechal Deodoro, Princesa Isabel	20° 1'52.88"S / 48°56'16.64"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
Plano de Gestão de Risco da Defesa Civil (item 9.1) (CEDEC, 2021)	Rua Raul Soares, Princesa Isabel	20° 1'48.99"S / 48°56'19.91"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
Plano de Gestão de Risco da Defesa Civil (item 9.1) (CEDEC, 2021)	Rua Gonçalves Dias, Princesa Isabel	20° 1'47.79"S / 48°56'21.74"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
Plano de Gestão de Risco da Defesa Civil (item 9.1) (CEDEC, 2021)	Rua do Carmo, Princesa Isabel	20° 1'45.29"S / 48°56'23.81"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
Plano de Gestão de Risco da Defesa Civil (item 9.1) (CEDEC, 2021)	Rua Silviano Brandão, Princesa Isabel	20° 1'41.32"S / 48°56'27.61"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
Plano de Gestão de Risco da Defesa Civil (item 9.1) (CEDEC, 2021)	Avenida Brasília, Novo Horizonte/Jardim das Laranjeiras	20° 1'6.63"S / 48°55'14.95"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
Plano de Gestão de Risco da Defesa Civil (item 9.1) (CEDEC, 2021)	Cruzamento entre Av. Brasília e Av. Cel. Delfino Nunes, Nossa Senhora Aparecida	20° 1'29.52"S / 48°55'32.49"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
Plano de Gestão de Risco da Defesa Civil (item 9.1) (CEDEC, 2021)	Cruzamento das Ruas João Pinheiro e Santos Dumont	20° 1'38.31"S / 48°56'31.96"O	Alagamento/Enchente/ Inundação

Plano de Gestão de Risco da Defesa Civil (item 9.1) (CEDEC, 2021)	Avenida Homero Alves, Centro	20° 1'14.26"S / 48°56'23.06"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
ICP MPMG-0271200000138	Rua Senador José Gomes da Silva, Nossa Senhora Aparecida	20° 1'24.28"S / 48°55'42.83"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
MPMG-0271.02.000010-2	Rua Amazonas, Universe Residence Plaza	20° 1'33.46"S / 48°54'11.23"O	Alagamento/Enchente/ Inundação
ICP MPMG-0271160002165	Rua Joaquim dos Santos, Antiga Rua 7, Ipê Amarelo	20° 2'10.67"S / 48°54'45.21"O	Processo Erosivo - Voçoroca
ICP MPMG-027118000356-5	Rua Nossa Senhora das Dores, Centro	20° 1'31.84"S / 48°56'42.34"O	Processo Erosivo – Voçoroca
AIA MPMG-0271110004006	Rua Dom Bosco, Ipê Amarelo	20° 2'10.54"S / 48°55'9.38"O	Processo Erosivo – Voçoroca
REDS 2015-BOS-0002050833	Rua José Morelli Sobrinho, Frutal II	20° 0'51.76"S / 48°54'22.38"O	Processo Erosivo – Voçoroca
REDS 2015-016841354-001	Avenida Euvaldo Lodi, Ipê Amarelo	20° 2'10.20"S / 48°55'12.95"O	Processo Erosivo – Voçoroca
REDS 2016-006512199-001	Rua Joaquim José dos Santos, Ipê Amarelo	20° 2'10.84"S / 48°54'45.88"O	Processo Erosivo – Voçoroca
REDS 2017-018598571-001	Rua Pirajuba, v	20° 2'10.85"S / 48°54'45.58"O	Processo Erosivo – Voçoroca
REDS 2017-021933813-001	Rua Antônio Borges Martins, Progresso	20° 1'23.19"S / 48°54'44.84"O	Processo Erosivo – Voçoroca
REDS 2017-023361676-001	Rua Antônio Borges Martins, Progresso	20° 1'23.13"S / 48°54'45.30"O	Processo Erosivo – Voçoroca
REDS 2017-026970680-001	Rua Viriato Correia, Ipê Amarelo	20° 2'8.97"S / 48°55'11.26"O	Processo Erosivo – Voçoroca
REDS 2020-034540666-001	Avenida Rio de Janeiro, Ipê Amarelo	20° 2'13.54"S / 48°54'49.85"O	Processo Erosivo – Voçoroca
REDS 2020-049363073-001	Avenida Rio de Janeiro, Waldemar Marchi	20° 2'17.37"S / 48°54'40.37"O	Processo Erosivo – Voçoroca
ICP MPMG-0271160000425	Avenida Marechal Deodoro, Princesa Isabel	20° 1'52.72"S / 48°56'15.90"O	Processo Erosivo
ICP MPMG-0271120000408	Rua Lincoln Campos, Jardim do Bosque	20° 2'10.71"S / 48°56'29.70"O	Processo Erosivo
ICP MPMG-0271120000408	Rua Silviano Brandão, Jardim do Bosque	20° 2'38.97"S / 48°56'26.67"O	Processo Erosivo
REDS 2012-002620955-001	Rua José Benedito dos Reis, Vila Esperança	20° 1'12.47"S / 48°54'52.01"O	Processo Erosivo

Fonte: Autoria própria, com base nos em dados do Ministério Público, Corpo de Bombeiros e CEDEC (2022)

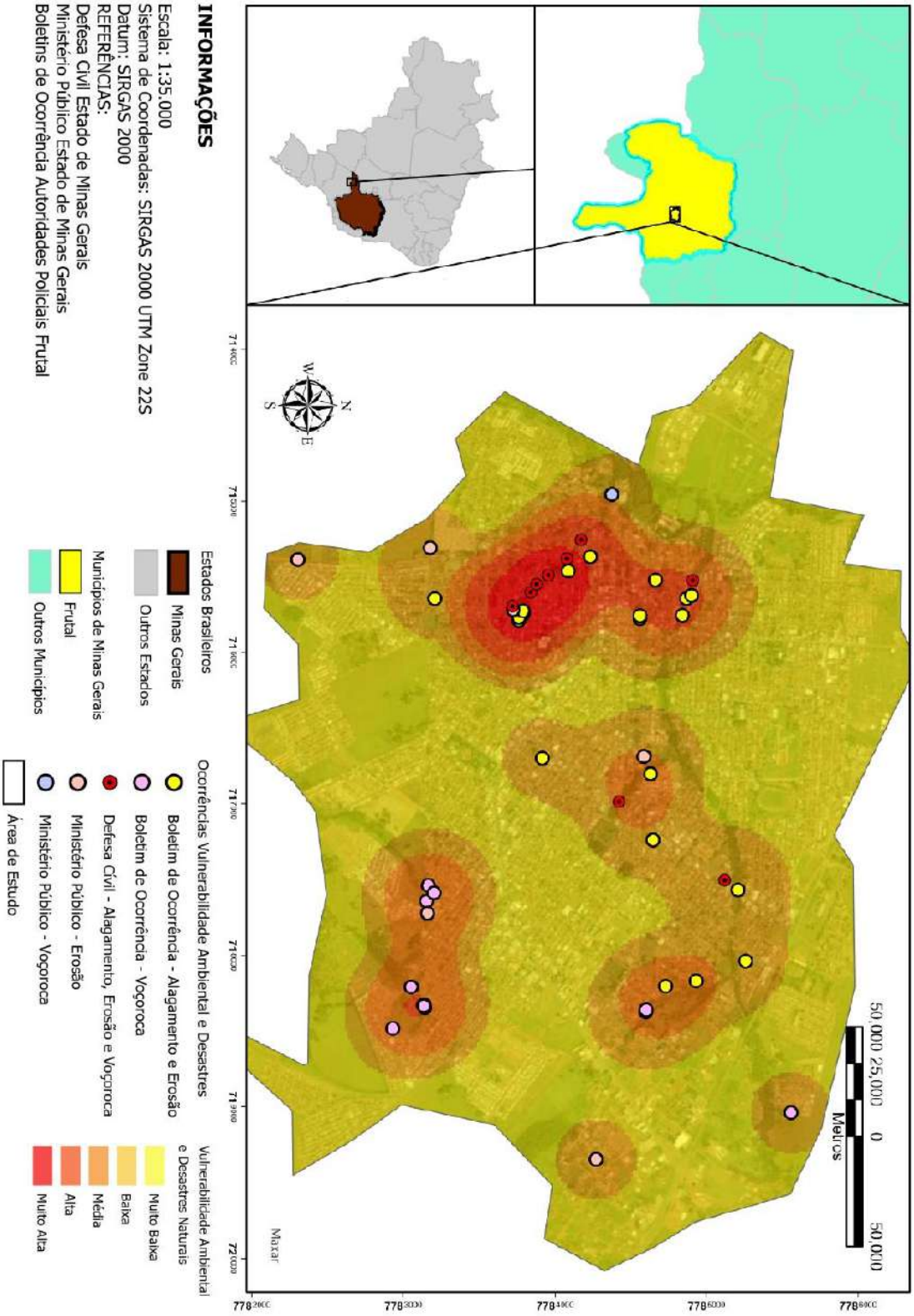
Foram elaborados mapas de localização de fenômenos de vulnerabilidade ambiental e mapa de densidade de Kernel de fenômenos de vulnerabilidade ambiental, conforme figuras 14, 15 e 16.

Figura 14 – Mapa de localização de fenômenos de vulnerabilidade ambiental: Inundações/alagamentos/enchentes e processos erosivos.



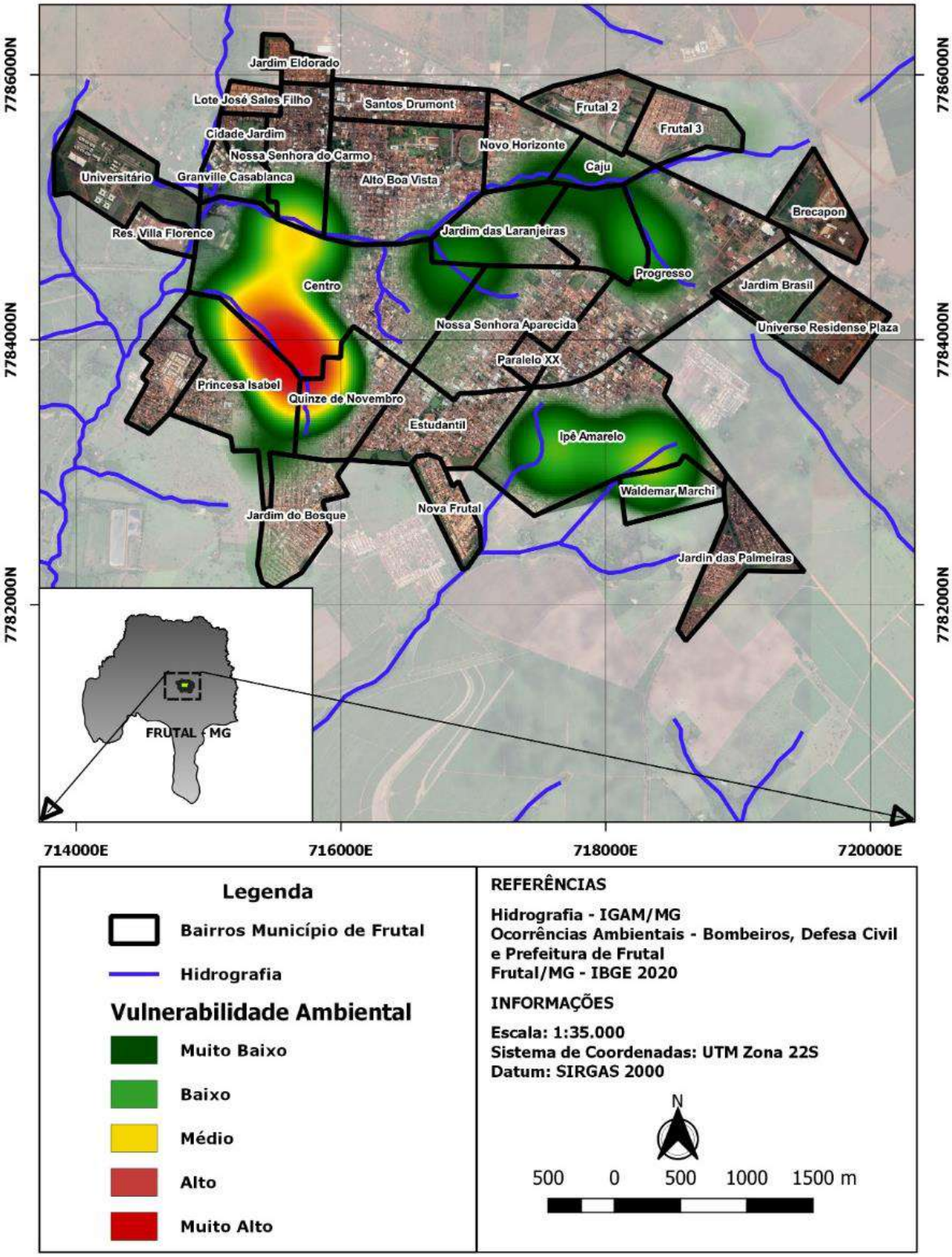
Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG (2020), INPE – Topodata (2022), IBGE (2022), Ministério Público e Corpo de Bombeiros Militar (2022).

Figura 15 – Mapa de densidade de Kernel de fenômenos de vulnerabilidade ambiental: Inundações/alagamentos/enchentes e processos erosivos.



Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG (2020), INPE – Topodata (2022), IBGE (2022), Ministério Público e Corpo de Bombeiros Militar (2022).

Figura 16 – Mapa de densidade de Kernel de fenômenos de vulnerabilidade ambiental: Inundações/alagamentos/enchentes e processos erosivos, com destaque dos Bairros do Município de Frutal/MG.

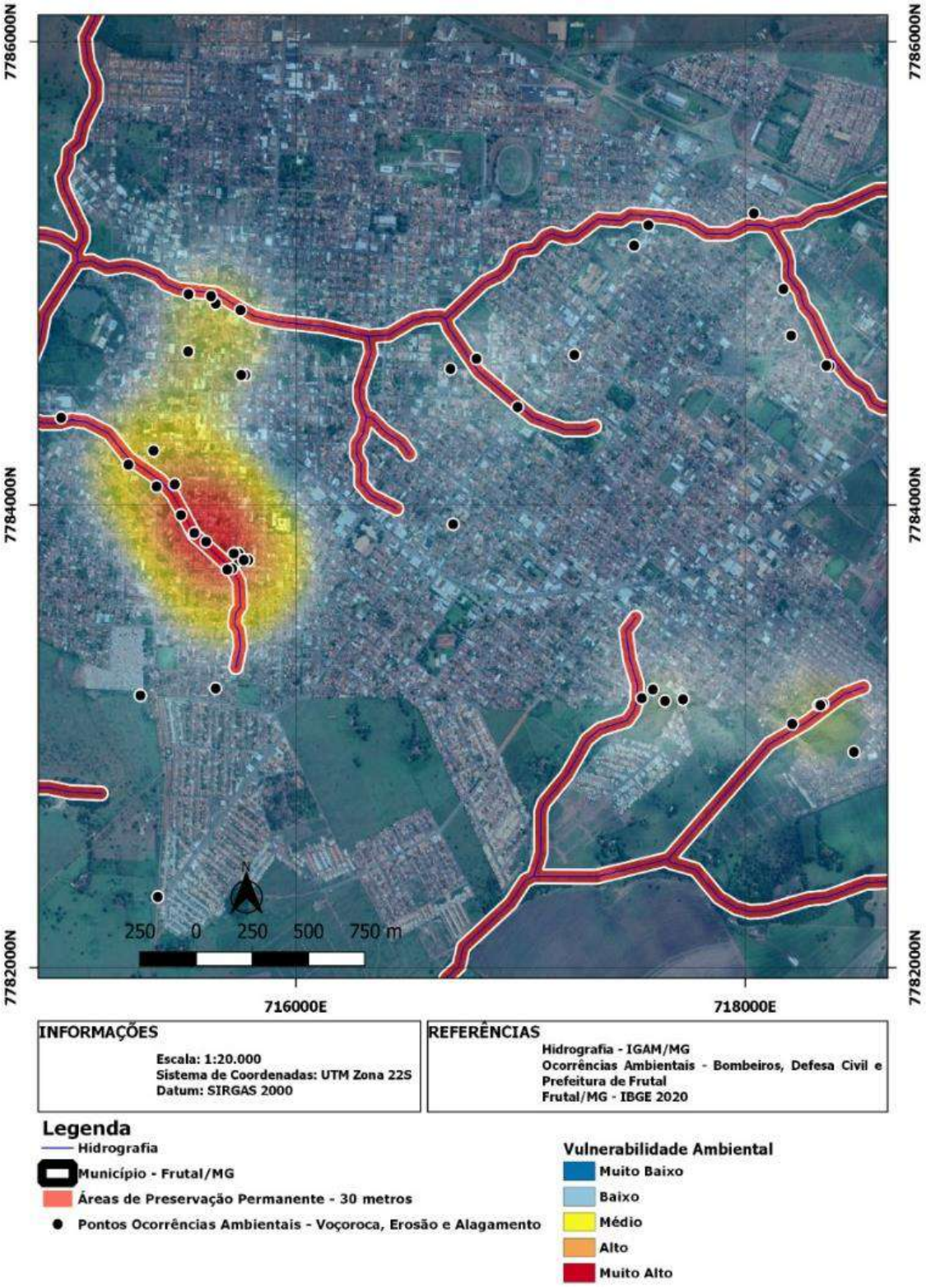


Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG e IBGE (2020), Ministério Público e Corpo de Bombeiros Militar (2022).

O mapa de Kernel tornou possível a identificação das áreas com maiores incidências (manchas quentes) de eventos de inundação/alagamento/enchentes e de processos erosivos em três regiões do Município. Uma central, que engloba os Bairros Jardim das Laranjeiras, Progresso, Novo Horizonte e Caju; uma a oeste, nos Bairros XV de Novembro, Princesa Isabel e Centro, e uma a sudeste, nos Bairros Ipê Amarelo e Waldemar Marchi. Denota-se que os problemas experimentados pelas regiões oeste e sudeste são mais frequentes e em áreas mais concentradas, representando as manchas mais escuras do mapa da figura 16.

Na região sudeste do Município, verificaram-se vários focos de erosão/voçoroca nas margens do Córrego Marianinho, local em que foram instalados dois conjuntos habitacionais (Ipê Amarelo e Waldemar Marchi) pela Prefeitura Municipal. As áreas suscetíveis a alagamentos/inundações/enchentes, por sua vez, situaram-se na região oeste, sede de construções mais antigas (Centro, Princesa Isabel, XV de Novembro) e altitudes mais baixas, típicas de fundo de vale, no entorno do Córrego da Vertente Grande e sua confluência com o Ribeirão Frutal, e no Córrego Brejinho, um contribuinte do Ribeirão Frutal, e na área central, às margens do Córrego da Vertente Grande. Tratam-se de áreas de edificações baixas, com ruas estreitas e permeabilidade intermediária, melhor destacadas no mapa de Kernel com pontos de vulnerabilidade ambiental e com destaque dos cursos hídricos da área urbana da figura 17.

Figura 17 – Mapa de Kernel com pontos de vulnerabilidade ambiental e com destaque dos cursos hídricos da área urbana.



Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG (2020), INPE – Topodata (2022), IBGE (2022), Ministério Público e Corpo de Bombeiros Militar (2022).

5.2 Sistemas de Drenagem Sustentáveis (SUDS): estado da arte

A revisão bibliográfica possibilita o levantamento prévio de informações relevantes para a familiarização com a tecnologia, o encontro e reunião de documentos relevantes para outras técnicas de prospecção tecnológica e o levantamento de informações sobre pesquisadores, profissionais, empresas e organizações atuantes no setor estudado (ANTUNES *et al.*, 2018). À luz dessas premissas é que o trabalho propõe a revisão sistemática da literatura pertinente aos SUDS, conforme os critérios metodológicos apontados no Tópico 4.

Segundo os critérios de busca propostos, foram selecionados 40 artigos científicos, descritos nos quadros 2 e 3. Salienta-se que publicações presentes tanto no repositório da Science Direct quanto da Scopus foram computadas apenas uma vez, selecionando-se os artigos em sequência após a exclusão, de acordo com os os índices CiteScore dos respectivos periódicos.

Quadro 2 – Artigos pesquisados na plataforma Science Direct

Autores e ano de publicação	**Título**	**Índice CiteScore**
CHARLESWORT; FARAJ-LLYOD; COUPE, 2017	*Renewable energy combined with sustainable drainage: Ground source heat and pervious paving*	30.5
WANG; WANG, 2018	*Extending the Rational Method for assessing and developing sustainable urban drainage systems*	15.6
CHEN *et al.*, 2021	*Designing sustainable drainage systems in subtropical cities: Challenges and opportunities*	13.1
GIMENEZ-MARANGES; BREUSTE; HOF, 2020	*Sustainable Drainage Systems for transitioning to sustainable urban flood management in the European Union: A review*	13.1
PERALES-MOMPARLER *et al.*, 2017	*The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain*	13.1
YANG; ZHANG, 2021	*Assessing the performance of gray and green strategies for sustainable urban drainage system development: A multi-criteria decision-making analysis*	13.1
WILLIAMS *et al.*, 2019	*Residents' perceptions of sustainable drainage systems as highly functional blue green infrastructure*	11.6
GIMENEZ-MARANGES; BREUSTE; HOF, 2021	*A new analytical tool for a more deliberate implementation of Sustainable Drainage Systems*	10.7
PAPPALARDO; LA ROSA, 2020	*Policies for sustainable drainage systems in urban contexts within performance-based planning approaches*	10.7
LA ROSA; PAPPALARDO, 2020	*Planning for spatial equity - A performance based approach for sustainable urban drainage systems*	10.7

CHARLESWORT *et al.*, 2012	*Laboratory based experiments to assess the use of green and food based compost to improve water quality in a Sustainable Drainage (SUDS) device such as a swale*	10.5
MBANASO *et al.*, 2019	*Reuse of materials from a Sustainable Drainage System device: Health, Safety and Environment assessment for an end-of-life Pervious Pavement Structure*	10.5
TEDOLDI *et al.*, 2016	*Impact of runoff infiltration on contaminant accumulation and transport in the soil/filter media of Sustainable Urban Drainage Systems: A literature review*	10.5
ZUBELZU *et al.*, 2019	*Design of water reuse storage facilities in Sustainable Urban Drainage Systems from a volumetric water balance perspective*	10.5
ELLIS; LUNDY, 2016	*Implementing sustainable drainage systems for urban surface water management within the regulatory framework in England and Wales*	9.8
WANG *et al.*, 2017	*A framework to support decision making in the selection of sustainable drainage system design alternatives*	9.8
WANG *et al.*, 2019	*Combination and placement of sustainable drainage system devices based on zero-one integer programming and schemes sampling*	9.8
BENZERRA *et al.*, 2012	*Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria*	9.8
CHOW *et al.*, 2014	*Using a Systematic, Multi-criteria Decision Support Framework to Evaluate Sustainable Drainage Designs*	4
SURIPIN; WIDJONARKO, 2017	*The Initial Step for Developing Sustainable Urban Drainage System in Semarang City-Indonesia*	4

Fonte: Autoria própria, com base nos dados da plataforma Science Direct (2022)

Quadro 3 - Artigos pesquisados na plataforma Scopus

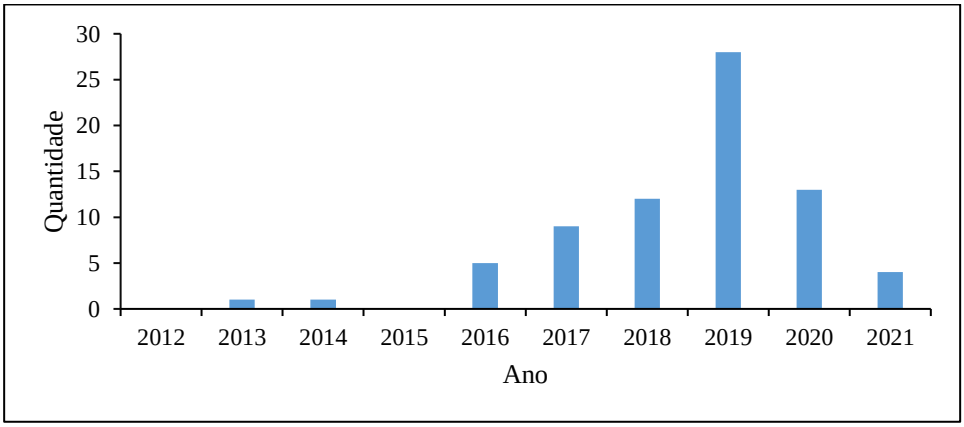
Autores e ano de publicação	**Título**	**Índice CiteScore**
CASAL-CAMPOS *et al.*, 2018	*Reliable, Resilient and Sustainable Urban Drainage Systems: An Analysis of Robustness under Deep Uncertainty*	13.8
RIECHEL *et al.*, 2020	*Sustainable urban drainage systems in established city developments: Modelling the potential for CSO reduction and river impact mitigation*	9.8
TORRES *et al.*, 2020	*A participatory approach based on stochastic optimization for the spatial allocation of Sustainable Urban Drainage Systems for rainwater harvesting.*	9.4
JOHNSON; GEISENDORF, 2019	*Are Neighborhood-level SUDS Worth it? An Assessment of the Economic Value of Sustainable Urban Drainage System Scenarios Using Cost-Benefit Analyses*	9.1
MORUZZI *et al.*, 2020	*Liquid phase nonpoint source pollution dispersion through conveyance structures to sustainable urban drainage system within different land covers*	7.8
URSINO, 2015	*Risk analysis of sustainable urban drainage and irrigation*	7.7
SAÑUDO-FONTANEDA; ROBINA-RAMÍREZ, 2019	*Bringing community perceptions into sustainable urban drainage systems: The experience of Extremadura, Spain*	7.5
O'DONNELL *et al.*, 2020	*Developing the implicit association test to uncover hidden preferences for sustainable drainage systems*	6.9
VILCAN; POTTER, 2020	*Delivering sustainable drainage systems through the English planning system: A proposed case of institutional void*	6.6
ARCHER *et al.*, 2020	*Infiltration efficiency and subsurface water processes of a sustainable drainage system and consequences to flood management*	6.6
MUKHTAROV *et al.*, 2019	*Collaborative learning for policy innovations: sustainable urban drainage systems in Leicester, England*	6.3

SEYEDASHRAF; BOTTACIN-BUSOLIN; HAROU, 2021	*Many-Objective Optimization of Sustainable Drainage Systems in Urban Areas with Different Surface Slopes*	5.8
BIRGANI; YAZDANDOOST, 2018	*An Integrated Framework to Evaluate Resilient-Sustainable Urban Drainage Management Plans Using a Combined-adaptive MCDM Technique*	5.8
CHARLESWORT; BENNETT; WAITE, 2016	*An evaluation of the use of individual grass species in retaining polluted soil and dust particulates in vegetated sustainable drainage devices*	5.6
MBANASO *et al.*, 2020	*State of a sustainable drainage system at end-of-life: assessment of potential water pollution by leached metals from recycled pervious pavement materials when used as secondary aggregate*	5.5
BAKHSHIPOUR *et al.*, 2021	*Toward Sustainable Urban Drainage Infrastructure Planning: A Combined Multiobjective Optimization and Multicriteria Decision-Making Platform*	5.1
MAK; SCHOLZ; JAMES, 2017	*Sustainable drainage system site assessment method using urban ecosystem services*	5
O'BRIEN, 2015	*Sustainable drainage system (SuDS) ponds in Inverness, UK and the favourable conservation status of amphibians*	5
LOC *et al.*, 2017	*Applicability of sustainable urban drainage systems: an evaluation by multi-criteria analysis*	5
MONBERG *et al.*, 2018	*Exploring structural habitat heterogeneity in sustainable urban drainage systems (SUDS) for urban biodiversity support*	5

Fonte: Autoria própria, com base nos dados da plataforma Scopus (2022)

Como mostra o gráfico 1, cujos eixos X e Y apresentam, respectivamente, o ano de publicação dos artigos e a quantidade de artigos publicados dentro do conjunto de 40 artitos selecionados, há tendência de crescimento no número de publicações da temática em estudo, com oscilações periódicas, a sugerir que o tema tem ganhado relevância crescente no meio acadêmico (Gráfico 1).

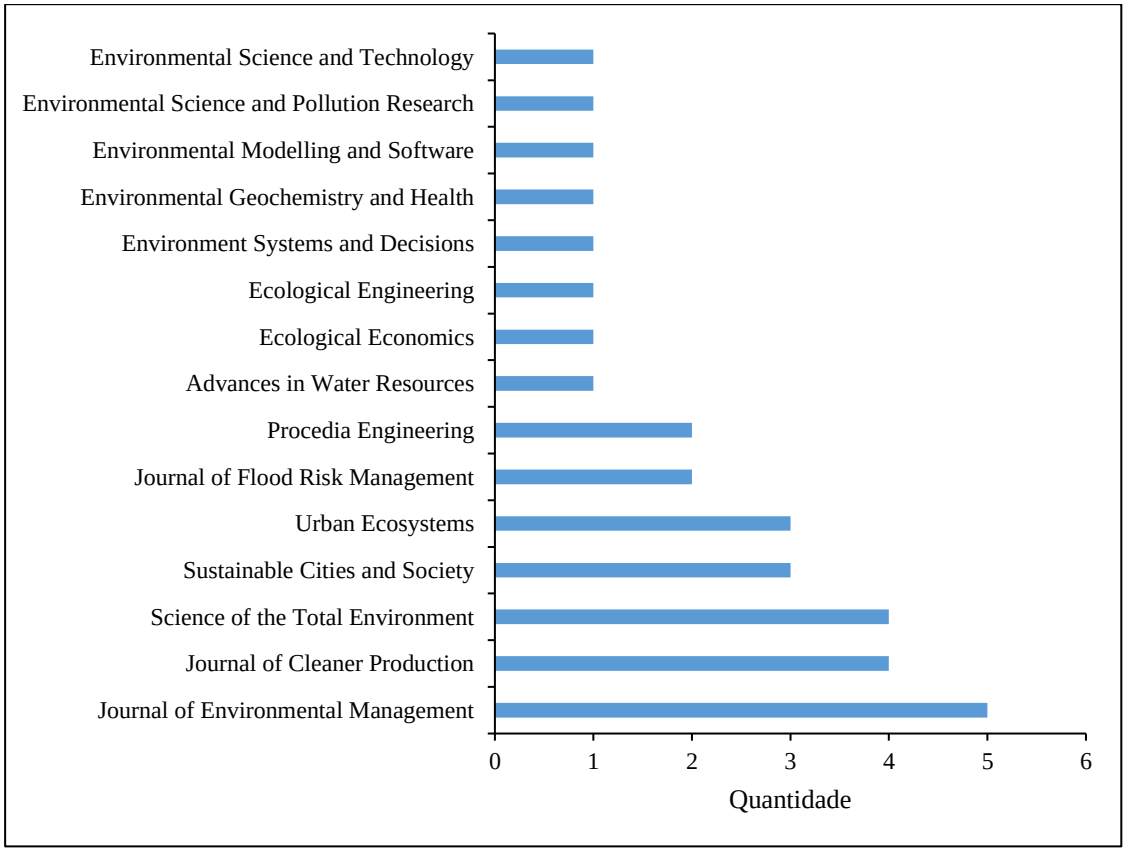
Gráfico 1 – Quantidade de artigos encontrados nas plataformas Scopus e Science Direct por ano de publicação



Fonte: Autoria própria, com base no quantitativo de publicações por ano nas plataformas Science Direct e Scopus (2022)

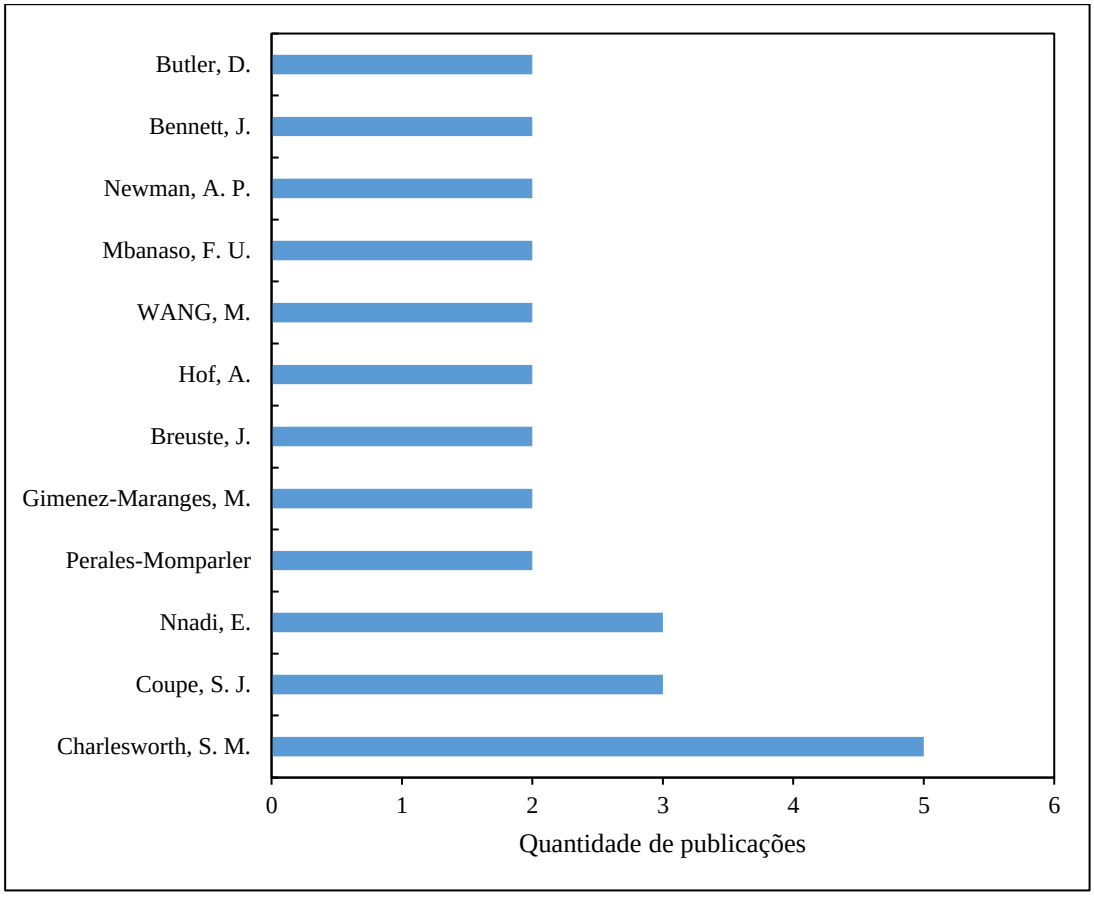
Os cinco periódicos com maior número de publicações no conjunto de 40 artigos analisados foram *Journal of Environmental Management* (5), *Journal of Cleaner Production* (4), *Science of the Total Environment* (4), *Sustainable Cities and Society* (3) e *Urban Ecosystems* (3), conforme gráfico 2, cujo eixo X descreve os periódicos e o eixo Y a quantidade de publicações. Depreende-se que a temática em discussão é objeto de publicações voltadas às áreas da sustentabilidade e meio ambiente. Por sua vez, os autores Susanne M. Charlesworth (5), Stephen J. Coupe (3) e Ernest Nnadi apresentaram a maior quantidade de publicações (3), conforme gráfico 3, em que o eixo X apresenta o nome dos autores e o eixo Y a quantidade de artigos publicados. Os dados sobre a autoria das publicações se mostram relevantes para futuros estudos sobre os SUDS.

Gráfico 2 – Artigos pesquisados nas plataformas Scopus e Science Direct por periódicos em que foram publicados



Fonte: Autoria própria, com base no quantitativo de publicações por periódico nas plataformas Science Direct e Scopus (2022)

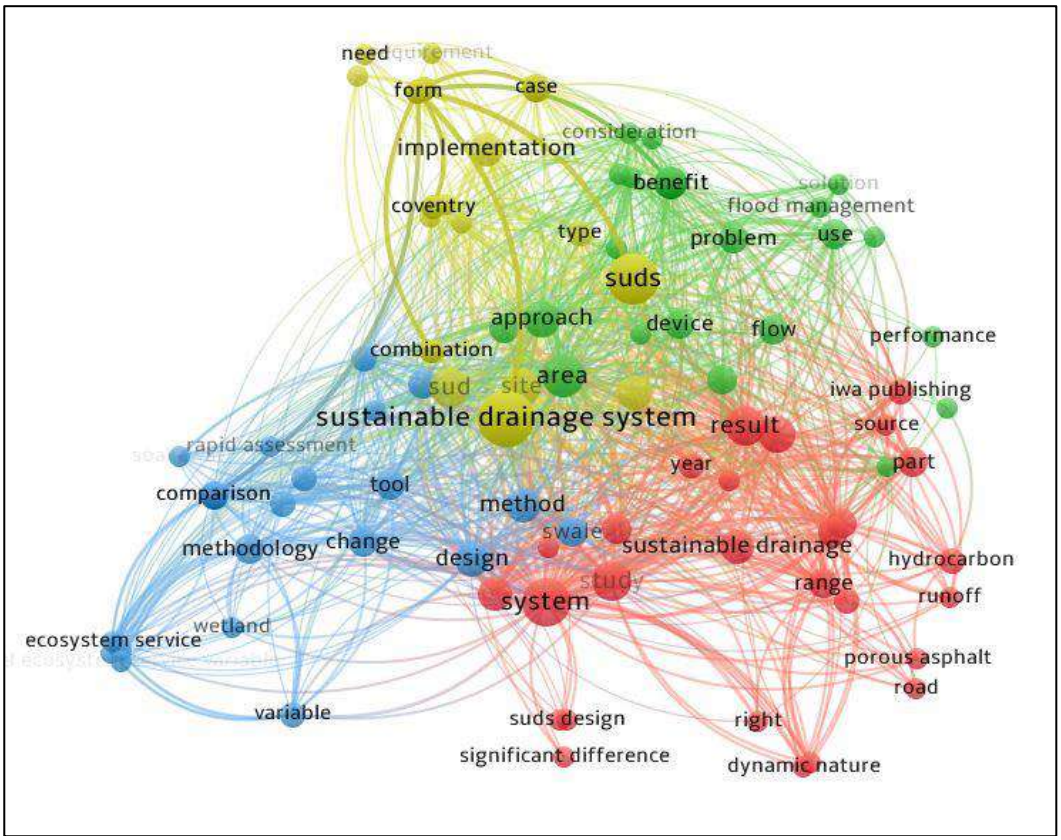
Gráfico 3 – Autores com maior quantidade de publicações dentre os artigos selecionados



Fonte: Autoria própria, com base no quantitativo de publicações por autor nas plataformas Science Direct e Scopus (2022)

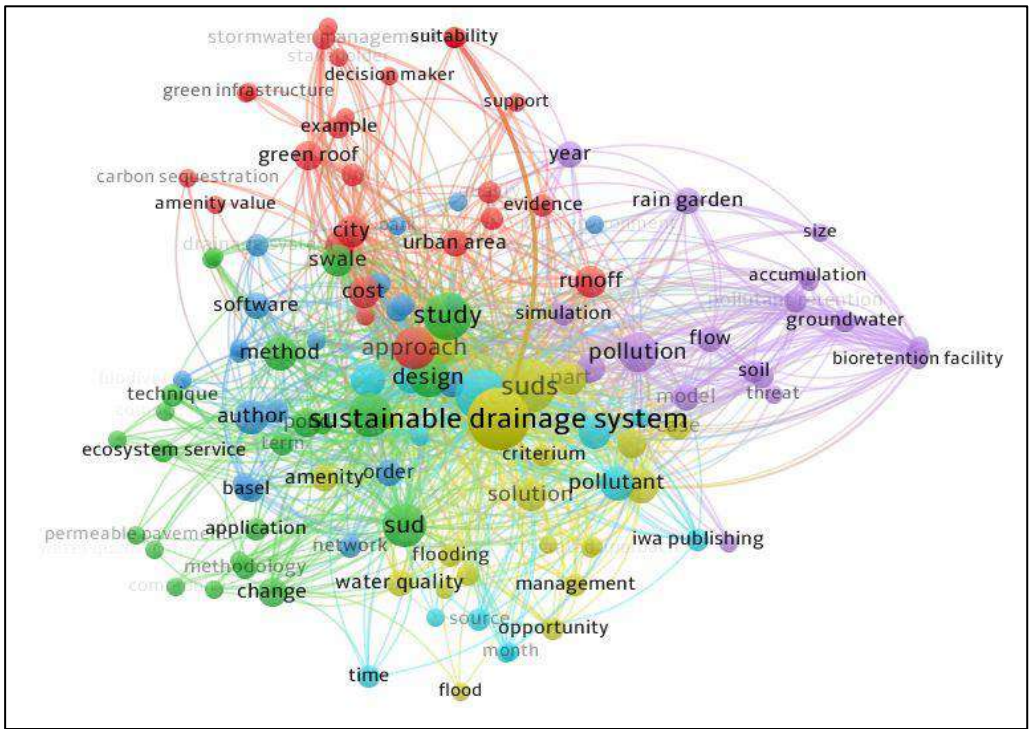
Os artigos passaram por análise bibliométrica preliminar, para identificação de padrões e fornecimento de *insights*. Com a utilização do software *VOSViewer*, versão 1.6.16, obteve-se o conjunto de co-ocorrências textuais dos artigos do recorte, que foi divido em períodos de 2011 a 2013 (Figura 18), 2014 a 2017 (Figura 19) e 2018 a 2021 (Figura 20). Vislumbra-se que os termos “SUDS”, “desenvolvimento sustentável” e “sustentabilidade”, “drenagem” (traduzidos da língua inglesa) ocupam o *cluster* central de co-ocorrências em todos os períodos. *Clusters* periféricos também fornecem relevantes pontos de vista sobre temas associados aos SUDS, como “poluentes”, “metais pesados”, poluição”, “mudança climática”, “armazenamento de água”, “águas subterrâneas”, “biorretenção”, mas também de países referidos nos estudos (Inglaterra, França, Brasil, Suíça), equipamentos SUDS (bacias, lagos, armazenadores de água).

Figura 18 – Análise de co-ocorrências no recorte de artigos das plataformas Science Direct e Scopus, no período de 2011 a 2013



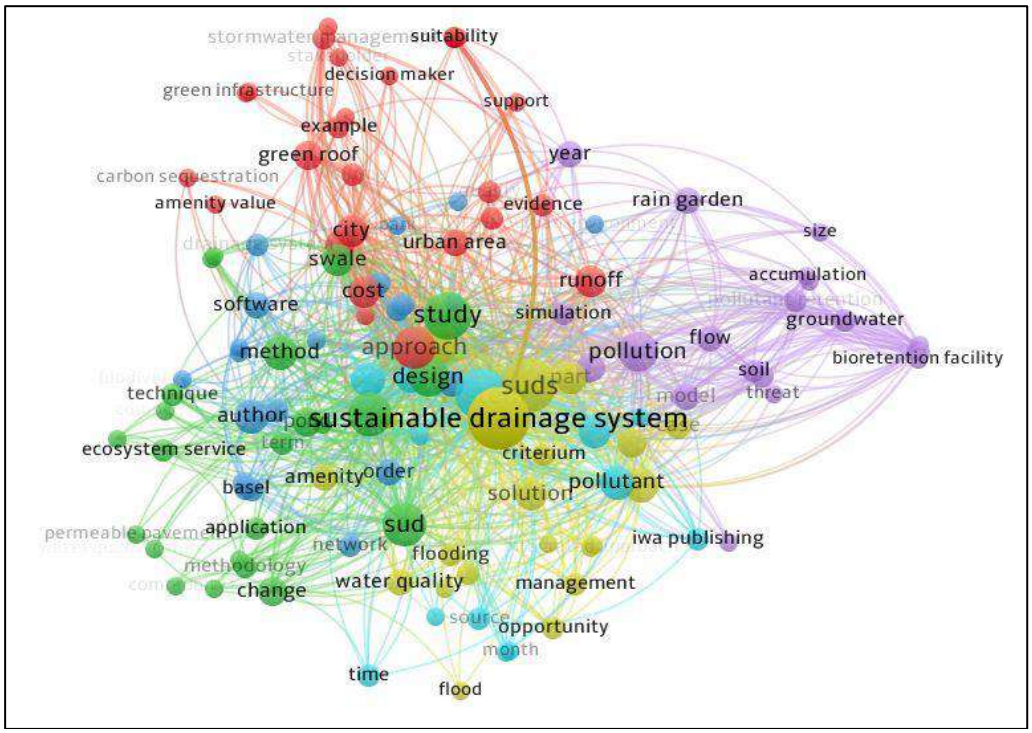
Fonte: Autoria própria, com utilização do software *VOSViewer* e de dados das plataformas Science Direct e Scopus (2022)

Figura 19 – Análise de co-ocorrências no recorte de artigos das plataformas Science Direct e Scopus, no período de 2014 a 2017



Fonte: Autoria própria, com utilização do software *VOSViewer* e de dados das plataformas Science Direct e Scopus (2022)

Figura 20 – Análise de co-ocorrências no recorte de artigos das plataformas Science Direct e Scopus, no período de 2018 a 2021



Fonte: Autoria própria, com utilização do software *VOSViewer* e de dados das plataformas Science Direct e Scopus (2022)

Após exame dos 40 artigos selecionados, constatou-se a existência de diversas barreiras à adoção dos SUDS, porém tratadas em estudos esparsos, o que dificulta discussões acadêmicas sobre a temática e eventualmente pode impedir o aproveitamento de soluções técnicas, políticas, econômicas ou jurídico-institucionais já examinadas em trabalhos prévios (Quadro 4).

Quadro 4 - Barreiras para seleção e implementação dos SUDS citadas na literatura examinada

Autores e ano de publicação	Barreiras
BIRGANI; YAZDANDOOST, 2018; PERALES-MOMPARLER *et al.*, 2017; YANG; ZHANG, 2021;	Falta de estudos conclusivos sobre resiliência e eficiência
PERALES-MOMPARLER *et al.*, 2017	Desconhecimento por parte dos profissionais da área
MUKHTAROV *et al.*, 2019	Relutância por parte dos engenheiros na adoção de métodos alternativos de drenagem
PERALES-MOMPARLER *et al.*, 2017	Falta de interação entre os grupos interessados (governo, iniciativa privada e sociedade)
VILCAN; POTTER, 2020	Ausência de políticas públicas uniformes e consistentes
MUKHTAROV *et al.*, 2019	Ausência de respaldo institucional e legal
MUKHTAROV *et al.*, 2019; WILLIAMS *et al.*, 2019	Incertezas quanto aos custos de instalação e manutenção

JOHNSON; GEISENDORF, 2020	Incertezas quanto ao custo-benefício
O'DONNELL *et al.*, 2020; WILLIAMS *et al.*, 2019	Associação de equipamentos SUDS com ambientes descuidados ou sujos
WILLIAMS *et al.*, 2019	Proliferação de ratos e mosquitos
BIRGANI; YAZDANDOOST, 2018; LA ROSA; PAPPALARDO, 2020	Possibilidade de distribuição não equânime dos benefícios (injustiça ambiental)

Fonte: Autoria própria, com embasamento nos autores referenciados no próprio quadro (2022).

A maior parte das barreiras mencionadas são inerentes às incertezas sobre aspectos técnicos (inclusive custos) e às dificuldades políticas para substituição da drenagem convencional (ou cinza) por infraestrutura verde. No âmbito dos aspectos técnicos, um dos principais questionamentos é a necessidade de quantificação da resiliência de diferentes SUDS a inundações (BIRGANI; YAZDANDOOST, 2018), preocupação essa que figurou como a mais decisiva em diversos modelos de escolha de projetos de drenagem sustentável (WANG *et al.*, 2017). Nesse sentido, a literatura analisada é favorável em relação à habilidade dos SUDS de reduzir o risco de inundações, ou seja, de prover resiliência aos sistemas de drenagem (BAKHSHIPOUR *et al.*, 2021; CASAL-CAMPOS *et al.*, 2018; LOC *et al.*, 2017; PERALES-MOMPARLER *et al.*, 2017; RICHEL *et al.*, 2020; WANG; WANG, 2018; ZUBELZU *et al.*, 2019). Além disso, estudos também destacam o potencial dos SUDS em impedir o aporte de águas pluviais nos sistemas convencionais de captação e de esgoto, obtendo boa performance no controle de transbordamento de esgoto doméstico combinado nas estações de tratamento, com consequente proteção do ecossistema aquático dos corpos receptores (PERALES-MOMPARLER *et al.*, 2017; RICHEL *et al.*, 2020).

Tais resultados não indicam que SUDS sejam mais eficientes do que sistemas tradicionais de drenagem no aspecto quantitativo, mas que tiveram resultados positivos em ambiente prático ou laboratorial. Em verdade, Yang e Zhang (2021), por meio de modelos computacionais de testagem de cenários, demonstraram que a infraestrutura cinza tende a ser mais eficiente para mitigação de enchentes, ao passo que a infraestrutura verde possui melhor performance nos indicadores de qualidade ambiental. A combinação de ambas apresenta os melhores resultados em termos de performance hidráulica e proteção ambiental, conclusão essa corroborada por Seyedashraf *et al.* (2021). Segundo pesquisa conduzida por Casal-Campos *et al.* (2018), os sistemas tradicionais de canalização provocam maiores desequilíbrios econômicos, sociais e ambientais, embora apresentem bons resultados de performance de drenagem pluvial. Logo, a substituição da infraestrutura cinza pela verde, recomendável do

ponto de vista da sustentabilidade, pode ser postergada em face de escolhas técnicas ou políticas acríticas, feitas com base apenas nos aspectos volumétricos de macro e microdrenagem.

Relativamente às incertezas sobre os custos dos empreendimentos, é natural se esperar que os preços de instalação ou manutenção dos equipamentos sejam relativamente maiores, seja porque muitos sistemas utilizam novas tecnologias ou materiais, seja porque os SUDS são desenhados para proporcionar melhoria da qualidade hídrica e outros benefícios socioambientais já abordados, multifuncionalidade que naturalmente se reflete em seus custos. Porém, a depender das características do projeto, SUDS podem ser economicamente viáveis. Faixas gramadas, jardins de chuva, bacias de detenção ou de retenção possuem bom custo-benefício, ao contrário de paredes verdes, que não se justificam por uma análise estrita de custo-benefício (JOHNSON; GEISENDORF, 2020; MUKHTAROV *et al.*, 2019). Em regra, SUDS tendem a ser mais acessíveis para locais planos, onde as restrições de layout são menores (MUKHTAROV *et al.*, 2019). Também possuem bom custo-benefício quando destinados a áreas mais extensas, com pelo menos 210 habitações (DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD & RURAL AFFAIRS, 2013).

Convém pontuar que sistemas convencionais de drenagem transferem custos econômicos e sociais para as áreas a jusante, que ficam mais suscetíveis aos problemas inerentes ao seu mau funcionamento ou a chuvas muito intensas. Esse fator também deve ser sopesado no processo de estudo do custo-benefício da infraestrutura verde, já que custos iniciais mais elevados podem justificar a proteção de áreas com maior densidade populacional, concentração de serviços públicos ou áreas comerciais, dentre outras. Ademais, a infraestrutura verde tende a ser mais flexível (BAKHSHIPOUR *et al.*, 2021), adaptando-se melhor a diferentes cenários climáticos, propriedade que, a depender das características do local, pode viabilizar economicamente sua escolha. Como exemplo, cita-se a utilização de SUDS para fornecimento de água para irrigação, como barris de coleta da água da chuva e telhados verdes combinados com pavimentos permeáveis. Estudo de caso conduzido no Campus da Universidade Los Andes, em Bogotá, Colômbia, com a utilização dos três equipamentos citados, demonstrou a eficiência do sistema para redução em 50% do consumo de água para irrigação dos jardins do campus universitário (TORRES *et al.*, 2020).

As incertezas quanto aos custos podem ser contornadas ou mitigadas por meio da utilização de frameworks específicos para projetos de SUDS. A revisão sistematizada de literatura revelou que esforços estão sendo empreendidos para criação de modelos refinados de apoio à decisão dos gestores ambientais, com especial enfoque para adoção de metodologias de decisão multicritério (MCDM) (Quadro 5).

Quadro 5 - Modelos de apoio à decisão de escolha dos SUDS citados na literatura examinada

Autores e ano de publicação	Metodologia	Indicadores
YANG; ZHANG, 2021	MDCM e Análise Hierárquica de Processos (AHP)	• **Desempenho hidráulico** • Capacidade de controle de poluição • Custos do ciclo de vida • Avaliação de danos ambientais • Recreação • Benefícios socioeconômicos (recreação e estética urbana) • Benefícios ecológicos • Consistência política
WANG *et al.*, 2017	MDCM, Método Entropia e Técnica para Preferência de Ordem por Similaridade à Solução Ideal (TOPSIS)	• **Resiliência** • **Desempenho hidráulico** • Controle de poluentes • Uso de água da chuva • Análise energética • Controle de emissão de gases de efeito estufa • Custos
WANG *et al.*, 2019	Programação inteira 0-1, Amostragem Aleatória, Esquema de Filtros e Análise Custo-Benefício	• **Custos** • **Desempenho hidráulico**
BENZERRA *et al.*, 2012	MDCM e Abordagens Top-Down e Bottom-Up a depender dos indicadores	• **Desempenho hidráulico**
SEYEDASHRAF; BOTTACIN-BUSOLIN; HAROU, 2021	Otimização Multiobjetivo (MOO) e Eficiência de Pareto	• **Desempenho hidráulico** • Capacidade de controle de poluição • **Custos**
BIRGANI; YAZDANDOOST, 2018	MDCM, Método Entropia e TOPSIS	• **Resiliência** • **Desempenho hidráulico** • Vantagens Técnicas (facilidade de instalação/manutenção, duração etc) • **Custos** • Recreação • Benefícios socioeconômicos (recreação e estética urbana) • Benefícios ecológicos
BAKHSHIPOUR *et al.*, 2021	MOO, MDCM, Eficiência de Pareto, Método Entropia e TOPSIS	• **Resiliência** • **Desempenho hidráulico**

		• Custos do ciclo de vida
LOC *et al.*, 2017	MDCM	• **Resiliência** • Capacidade de controle de poluição • Benefícios socioeconômicos (estética urbana)

Fonte: Autoria própria, com base nos dados da plataforma Science Direct (2022)

Os modelos citados no quadro 5 não exaurem todos os aspectos da escolha, aplicação e gestão dos SUDS e carecem de validação em ambiente real. Todavia, nos respectivos estudos de casos, mostraram-se eficientes para a seleção dos SUDS mais adequados às áreas examinadas, tratando-se de úteis ferramentas para auxílio de gestores e profissionais encarregados da gestão da drenagem urbana. Destaca-se também que os *frameworks* indicados foram testados em simulações computacionais que levaram em conta áreas que variavam de 2 km^2 (WANG *et al.*, 2019) a 62 km^2 (BENZERRA *et al.*, 2012), medida essa que corresponde a cerca de três vezes a área urbana do Município de Frutal/MG. Um ponto em comum entre os diversos modelos é a fase preparatória de levantamento de informações sobre o local, com enfoque nas condições climáticas e em eventos extremos, topografia, hidrologia, geologia, biota e morfologia e ocupação urbanas, bem como na legislação aplicável. Outro é a busca pela correção das alterações causadas no ciclo hidrológico do local, visando seu retorno ao estado anterior às alterações antrópicas. Por fim, três indicadores destacaram-se no processo de tomada de decisões, nomeadamente o desempenho hidráulico, a resiliência e os custos.

Um dos principais aspectos qualitativos atribuídos aos sistemas SUDS é a promoção da biodiversidade, pois as instalações podem atuar como criadoras de habitats naturais. Estudos de caso conduzidos por O'Brien (2015), Perales-Momparler *et al.* (2017) e Momberg *et al.* (2018) confirmaram essa característica, demonstrando sua capacidade para ampliação da heterogeneidade dos habitats, inclusive aumento da fauna aquática.

Para neutralização de poluentes, a eficácia dos SUDS presentes nas águas pluviais foi corroborada por variados trabalhos dentro do recorte de publicações examinadas (BOTTACIN-BUSOLIN; HAROU, 2021; CHARLESWORTH *et al.*, 2012, 2016; MORUZZI *et al.*, 2020; SEYEDASHRAF; TEDOLDI *et al.*, 2016), destacando-se a capacidade de valas e jardins de chuva na remoção de sólidos suspensos, cobre, chumbo e zinco (CHARLESWORTH *et al.*, 2016). Porém, nem todas as técnicas SUDS possuem tal característica e ainda existem incertezas inerentes à sua eficiência. Nesse âmbito, aponta-se estudo que, com base nos resultados apresentados pelo projeto-piloto Acquaval EU, em Valência, Espanha, revelou ser incerta a capacidade de telhados verdes na melhoria da qualidade da água (PERALES-

MOMPARLER *et al.*, 2017). Pavimentos permeáveis, a seu turno, apresentaram boa capacidade de remoção de poluentes e estudos concluíram que, após sua desinstalação, poderiam ser reutilizados em outras obras de engenharia civil, na medida em que concentrações de metais tóxicos (Pb, Zn, Cr, Ni, Cd e Cu) e substâncias carcinogênicas (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) presentes nos blocos, agregados e nas fibras geotêxteis instaladas no subsolo mantiveram-se abaixo dos limites toleráveis estabelecidos pelo órgão regulador ambiental americano (MBANASO *et al.*, 2019, 2020).

Tradicionalmente, o design de sistemas de drenagem urbana dá pouca ou nenhuma relevância aos aspectos estéticos, herança direta do largo emprego do conceito de canalização. O modelo SUDS, por outro lado, enfatiza a necessidade de criação de amenidades, dentre elas o embelezamento urbano, mediante uso de vegetação e de técnicas de paisagismo (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015). Sobre o ponto, Mak *et al.* (2017) demonstraram que o processo de escolha dos SUDS pelo público leigo foi em grande parte apoiado por conta das características paisagísticas dos equipamentos e pela criação de espaços de lazer, identificando também que os profissionais de engenharia envolvidos tendiam a ignorar esses mesmos critérios, tidos como difíceis de mensurar e menos relevantes que as condições hidrográficas e de resiliência do sistema. Essa é importante barreira que precisa ser superada pelos principais atores envolvidos na formulação de políticas públicas, já que a percepção comunitária sobre os SUDS nos locais em que tais modelos foram implementados está fortemente associada aos benefícios paisagísticos e de lazer fornecidos (SAÑUDO-FONTANEDA; ROBINA-RAMÍREZ, 2019).

Ainda dentro dessa perspectiva, O'Donnell *et al.* (2020) investigaram que a percepção pública sobre os SUDS é fundamental para enfrentar os entraves à sua implementação e, nesse âmbito, avaliaram que a utilização de SUDS com plantas mais altas, normalmente empregadas em bacias de detenção ou retenção, pode ser desvantajosa, já que estas são avaliadas negativamente pelos moradores, que as associam a ambientes descuidados e inseguros. Estudo de Williams *et al.* (2019) colocou em evidência constantes reclamações dos moradores próximos a SUDS acerca do acúmulo de lixo e da proliferação de roedores e mosquitos, especialmente em bacias de detenção e retenção, o que salienta a importância da integração entre os sistemas de drenagem e os serviços de limpeza e conservação urbanas.

A superação dos entraves político-institucionais, por outro lado, é ligeiramente mais complexa. Mesmo no Reino Unido, onde os SUDS estão sendo implementados há quase duas décadas, há registros de impedimentos políticos, administrativos e legais para sua disseminação, verificando-se que os projetos SUDS geralmente têm pequena escala, a nível de bairros, sendo insignificantes os casos de aplicação municipal, regional ou nacional

(GIMENEZ-MARANGES *et al.*, 2020, 2021). Dentre as causas investigadas estão (i) a ineficácia de políticas não compulsórias (ELLIS; LUNDY, 2016; GIMENEZ-MARANGES *et al.*, 2020, 2021; VILCAN; POTTER, 2020); (ii) a falta de empenho do poder público para estabelecimento de leis claras e políticas consistentes (ELLIS; LUNDY, 2016); (iii) a ausência de políticas públicas que ofereçam incentivos econômicos aos empreendedores e usuários (MUKHTAROV *et al.*, 2019; PAPPALARDO; LA ROSA, 2020); (iv) a ausência de políticas híbridas de saneamento urbano, que vão além dos aspectos técnicos para englobar outras vantagens socioeconômicas (PAPPALARDO; LA ROSA, 2020) e (v) o desconhecimento dos SUDS por parte da população (MUKHTAROV *et al.*, 2019).

As soluções apontadas compreendem a necessidade de instrumentos regulatórios inovadores, incentivos de mercado e políticas de informação e educação acerca dos SUDS (PAPPALARDO; LA ROSA, 2020). Vilcan e Potter (2020) são enfáticos ao pontuar que o poder público deve ter protagonismo no processo de evolução para um paradigma de drenagem sustentável, devendo estabelecer políticas públicas claras e mandatórias para estimular a adoção dos SUDS em novos empreendimentos. Mukhtarov *et al.* (2019) mostraram-se alinhados à essa conclusão, defendendo que apenas políticas públicas centralizadas, coordenadas "de cima-para-baixo", seriam eficientes para estimular a adoção dos SUDS, demonstrando ainda que a mera colaboração dos *stakeholders* privados é insuficiente. Gimenez-Maranges *et al.* (2020), em estudo envolvendo a aplicação dos SUDS em todos os países da União Européia, identificaram que a Escócia trazia medidas mais rigorosas para incentivar o uso dos SUDS, ao contrário da Inglaterra e do País de Gales, identificando essa como uma das razões pelas quais a aceitação do SUDS foi mais limitada nesses dois países, ao passo que na Escócia tornou-se um método habitual de drenagem.

Uma das políticas públicas de natureza compulsória citadas foi a revogação do direito automático de se conectar aos sistemas de drenagem tradicionais já existentes, criando exigências para que novos empreendimentos imobiliários formulem designs sustentáveis ou justifiquem, com base em critérios técnicos claros, a necessidade de utilização de infraestrutura cinza (MUKHTAROV *et al.*, 2019). Examinando-se a legislação escocesa, principalmente a regulação de 2011 denominada "*The Water Environment (Controlled Activities)*", verifica-se que o Estado impõe a adoção dos SUDS (inclusive utilizando sua sigla) ou de sistemas equivalentes para obras iniciadas ou construções concluídas após 1º de abril de 2007, vedando a descarga ou escoamento de águas provenientes desses edifícios sem a adoção dos citados sistemas de drenagem (ESCÓCIA, 2010).

Foram também indicados incentivos econômicos para tais empreendimentos (MUKHTAROV *et al.*, 2019; PAPPALARDO; LA ROSA, 2020), porém sem especificações sobre a natureza (subsídios, benefícios tributários, etc) ou extensão dessas políticas.

Por fim, fez-se menção ao patrocínio estatal a campanhas publicitárias para conscientização da população acerca dos benefícios dos SUDS (MUKHTAROV *et al.*, 2019). Dado o desconhecimento dos SUDS por parte da população brasileira, cogita-se que tais campanhas poderiam ser realizadas mediante realização de projetos-piloto e fixação de cartazes informativos, bem como construção de equipamentos próximos de escolas e de outros serviços públicos com grande fluxo de pessoas.

O desequilíbrio entre os custos e ganhos sociais com a adoção dos SUDS também foi entrave presente na bibliografia pesquisada. Sistemas de drenagem urbana tradicionais, por sua própria natureza, são propícios ao estabelecimento de injustiças ambientais pois, como já dito, apenas transferem o problema de escoamento e drenagem hidráulica para áreas a jusante (LA ROSA; PAPPALARDO, 2020). Todavia, mesmo com a adoção de SUDS, é possível que injustiças ambientais sejam criadas ou intensificadas, pois seus custos podem ser socializados sem que haja contrapartida dos benefícios de performance e de amenidades entre todos os pagantes. Tal debate ainda se encontra em aberto e mais estudos devem ser realizados para estabelecimento de métricas com o propósito de se impedir que determinados grupos se beneficiem das vantagens da infraestrutura verde em detrimento de outros (BIRGANI; YAZDANDOOST, 2018).

5.3 Prospecção tecnológica por meio da busca de patentes

Dentre os métodos utilizados na prospecção tecnológica destaca-se a busca de patentes que, a par de permitir o aprofundamento das informações coletadas com outras técnicas, proporciona uma leitura assertiva do horizonte tecnológico (MEISSNER; GOKHBERG, SOKOLOV, 2013; SCHILLING, 2017; SCHREIBER; BERGE, 2019), fornecendo conhecimentos sobre o desenvolvimento de produtos, processos, empresas, *stakeholders* e contexto de mercado relativamente à tecnologia estudada (PARANHOS; RIBEIRO, 2018). Com base nas características expostas, denota-se que a prospecção tecnológica pode auxiliar na formulação de políticas públicas (PORTALEONI *et al.*, 2013), fornecer informações relevantes para o posicionamento estratégico de corporações (ANTUNES *et al.*, 2018; COSTANZO; MACKAY, 2009) ou auxiliar no processo de gestão da inovação (QUINTELLA; TORRES,

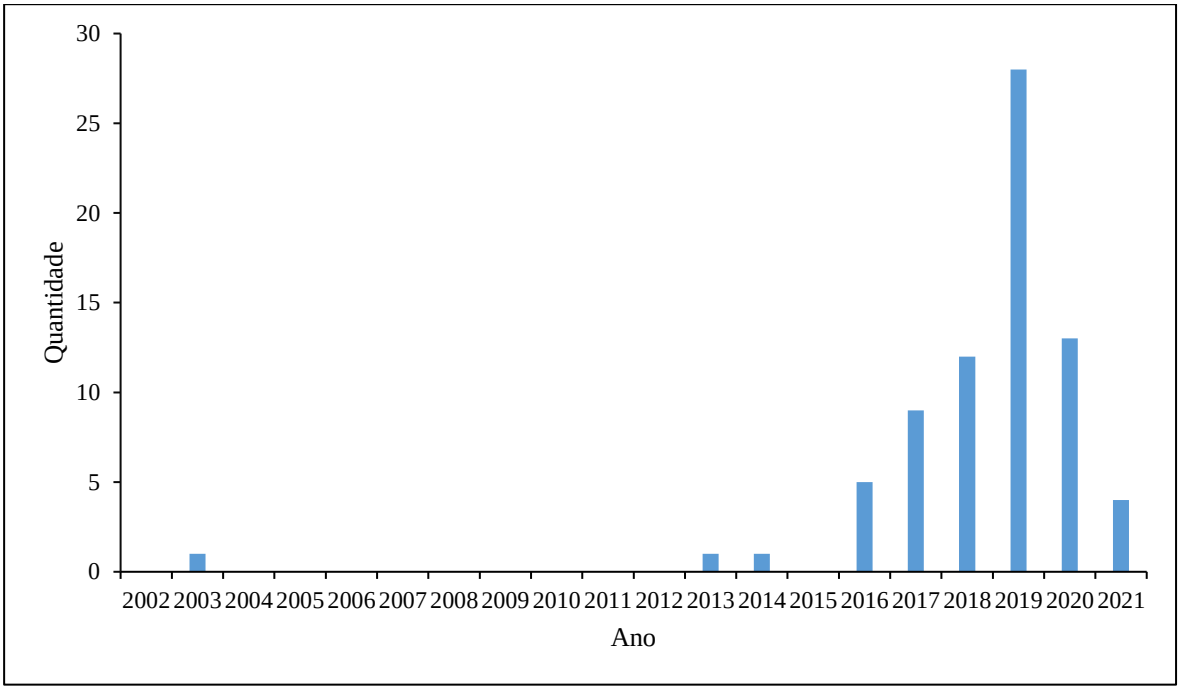
2012; SCHILLING, 2017; TROTT, 2017), premissas que justificam a prospecção tecnológica por meio da análise de patentes envolvendo os SUDS.

De acordo com os critérios metodológicos expostos, as buscas na plataforma Orbit Intelligence apresentaram 161 documentos de famílias de patentes, 139 deles ainda ativos (pendentes de análise ou concedidos) e 22 inativos (revogados, expirados ou caducados). Os últimos foram excluídos da análise e os documentos restantes foram examinados individualmente, com o propósito de se identificar características da drenagem urbana sustentável. Como resultado, foram descartados 5 documentos cujas invenções não tinham ligação com o escopo da pesquisa. A grande proporção de famílias de patentes ativas no recorte de invenções reputadas relevantes pode indicar que as tecnologias SUDS são relativamente recentes e economicamente viáveis, pois, caso contrário, se concentrariam no recorte de patentes expiradas ou caducadas.

Uma análise prévia dos relatórios descritivos dos 134 documentos restantes foi realizada, ao que após se excluiu outros 60 documentos, que não faziam qualquer tipo de referência ao estado da técnica, requisito essencial de patenteabilidade, com potencial risco de indeferimento ou posterior questionamentos nas esferas administrativa ou judicial, nos casos de patentes já concedidas. Logo, dos 139 documentos ativos, apenas 74 foram examinados para procura de tecnologias promissoras de drenagem urbana sustentável.

Sob o aspecto temporal, verificou-se que o primeiro pedido de patente foi depositado em 2003, com um hiato de dez anos até um período de sucessivos depósitos anuais. Verificou-se tendência de aumento entre os anos de 2016 a 2019, porém os últimos dois anos apresentaram quedas abruptas, o que se pressupõe ser consequência da pandemia de COVID-19 (Gráfico 4). Especula-se que a inexistência de depósitos antes de 2003 deva-se ao fato de que os SUDS passaram a ser sistematizados na literatura a partir de 2000 (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015), de modo que o critério de busca adotado, apesar de relevante para os fins teóricos do trabalho, pode não refletir a evolução de parte das tecnologias de drenagem urbana com viés sustentável.

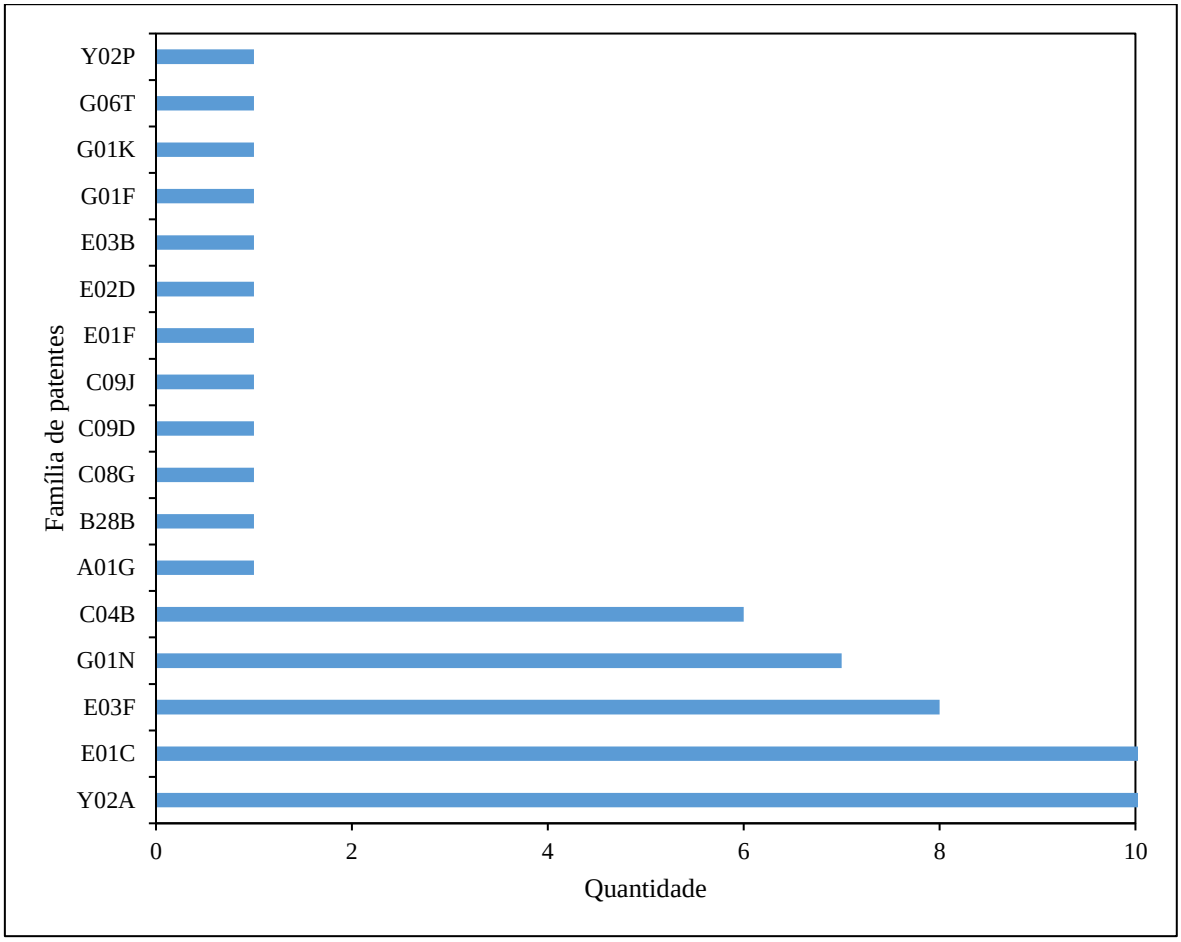
Gráfico 4 – Quantidade de famílias de patentes por ano de depósito entre 2001 e 2021



Fonte: Orbit Intelligence (2022)

A partir da análise do escopo dos documentos selecionados e de seus respectivos códigos de Classificação Cooperativa de Patentes (CPC), verificou-se que parte expressiva dos documentos (14 das 74 famílias de patentes) citam o código CPC Y02A (tecnologias para adaptação às mudanças climáticas) e um menciona o CPC Y02P (tecnologias de mitigação das mudanças climáticas na produção ou processamento de produtos), inferindo-se a dedicação das invenções em mitigar os efeitos das mudanças climáticas, o que vai ao encontro do principal vetor principiológico dos SUDS, que é a sustentabilidade. Adicionalmente, verificou-se que as tecnologias SUDS percorreram três rotas distintas, relativas aos sistemas de pavimentação (E01C; C04B) e fossas e sistemas de esgotamento (CPC E03F), mencionadas segundo grau de relevância, tal como exposto no gráfico 5.

Gráfico 5 – Famílias de patentes por código CPC



Fonte: Orbit Intelligence (2022)

A análise dos códigos CPC também revela, a princípio, baixo grau de difusão das tecnologias SUDS. Para efeitos de comparação, foram realizadas pesquisas adicionais na plataforma Orbit Intelligence, no mesmo período, com a expressão "*drainage system*", ou seja, sem a palavra "*sustainable*", porém restritas aos códigos CPC mais encontrados nas buscas anteriores (E01C, C04B e E03F). Como resultado, obteve-se, respectivamente, 73632, 248722, 40442 famílias de patentes, o que mostra pouca expressividade das tecnologias SUDS dentro de cada um dos setores tecnológicos categorizados na CPC.

Quanto à distribuição geográfica, excluindo-se pedidos de patentes publicados pela Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO) e pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI/WIPO), observou-se concentração de publicação de famílias de patentes na China (70), com resultados pouco expressivos no Reino Unido (2), Japão (1) e Coréia do Sul (1) (Figura 21).

Figura 21 – Famílias de patentes por país de publicação (excluídos EP e WO)

Fonte: Orbit Intelligence (2022)

À exceção da China, nenhum dos países citados está entre os 50 primeiros listados no ranking de pessoas expostas às inundações causadas por rios do World Resources Institute (WRI) (WINSEMIUS; WARD, 2015), devendo-se observar que outros fatores também devem ser sopesados nessa análise, como a população, o nível de riqueza e as características climáticas e geográficas de cada país.

O elevado número de depósitos de patentes na China reflete o financiamento estatal para adoção em larga escala do modelo denominado cidade-esponja (*sponge-city*), em que as localidades devem gerenciar 70% das águas pluviais por meio de SUDS, decorrência direta da premente necessidade de controle das frequentes inundações (LASHFORD *et al.*, 2019). Além disso, a China colhe os frutos das reformas governamentais destinadas a promover a inovação, resultando em expressivo aumento no número de depósitos de patentes (CHRISTODOULOU *et al.*, 2018).

Quanto aos principais atores nesse ramo tecnológico, verificou-se número relevante de depósitos realizados por universidades chinesas (14 depósitos), corroborando o papel das políticas de intervenção estatal no apoio à inovação. Nesse particular, destacaram-se as universidades públicas Chang'an, Hohai, Hunan, Soochow, Jiaotong de Xiam, Pequim, Changan, Chongqing, Sichuan e Fujian. As universidades de Chongqing, de Pequim e Jiaotong

de Xiam são três das nove instituições integrantes da Chinese Excellence League (C9) (ZONG; WANG, 2017). Os três primeiros *players* do setor são as universidades Chang'an, Hohai e Hunan, a reforçar o papel da academia no desenvolvimento de tecnologias que trazem grande impacto social.

Partindo para a análise individualizada do escopo dos documentos, a primeira constatação foi a de que o desenvolvimento de pavimentos permeáveis representou a maioria dos esforços inventivos no setor, correspondendo a 59 dos 74 documentos, o que se suspeita ser consequência direta das possibilidades mais concretas de inovação inerentes ao desenvolvimento de materiais, além da apropriação mais eficiente desses inventos e subsequente fiscalização. *Wetlands* foram o segundo tipo de equipamento com maior número de invenções (11), seguido de jardins de chuva (3), barris de chuva (2) e lagoas de retenção (1).

Apesar de as bacias de retenção e detenção serem os equipamentos SUDS mais citados na literatura especializada, foram objeto de apenas um documento patentário no recorte metodológico proposto. Especula-se que isso seja consequência da saturação da tecnologia, há anos consolidada na engenharia civil. Porém, determinados avanços no desenvolvimento de *wetlands*, a princípio, poderiam ser aproveitados em lagos, bacias de detenção e de retenção, pois todos têm estrutura e funções semelhantes. Foram encontradas 19 invenções expressivas em termos de eficiência hidráulica, resiliência e redução de custos, conforme quadro 6. Importante frisar que se trata de análise subjetiva, porém baseada nas informações presentes nos documentos patentários e analisada em cotejo com as informações teóricas obtidas por meio da revisão de literatura.

Quadro 6 - Documentos de patentes examinados que apresentaram vantagens em termos de performance hidráulica, resiliência e redução de custos

Autores e ano de publicação	**Tipo de Tecnologia**	**Descrição**	**Vantagens**
QIAN *et al.*, 2017 (CN107794822)	Pavimentos permeáveis	Modelo de utilidade que compreende um arranjo prático de drenagem pluvial baseado em pavimentos permeáveis. Dentre as características que o destacam de outros modelos estão o uso de diferentes índices de vazio dos agregados e diferentes espessuras das camadas.	Modelo suporta maior volume de drenagem e possibilita o armazenamento de água.
TANG *et al.*, 2016 (CN106242383)	Pavimentos permeáveis	Tijolos permeáveis com camada superficial de fundação de areia e uma camada estrutural de	Os tijolos suportam maiores temperaturas no processo de fabricação e, consequentemente, são mais

		concreto. A composição da camada superficial contém diferentes partes de areia revista com resina de polietersulfona, fibra de vidro, resina epóxi e lignina alcalina. A camada estrutural de concreto compreende diferentes partes de cimento, cinzas volantes, areia quartzo, pó de pedra, dextrina, fibra de polipropileno, agente redutor de água e partes de água.	resistentes, porém sem perder as características de infiltração de água. Os materiais empregados na confecção das camadas são acessíveis e seus custos são baixos.
WANG; YAO, 2019 (CN110396233)	Pavimentos permeáveis	Tijolos permeáveis e respectivo método de preparação. Os tijolos são parcialmente feitos de pneus inservíveis, ou seja, matéria prima reciclável. Além disso, são compostos de camadas de poliureia e poliuretano, ácido carboxílico e um plastificante.	Os tijolos utilizam pneus descartados como matéria prima, o que implica redução de custos. Além disso, devido à sua composição, são resistentes e possuem alta taxa de permeabilidade.
LI, 2019 (CN209602919)	Pavimentos permeáveis	Modelo de utilidade que compreende um arranjo prático de drenagem pluvial baseado em pavimentos permeáveis. Dentre as características que o destacam de outros modelos estão a utilização de placas com cavidades e o emprego de duas camadas de filtragem, feitas com areia grossa natural, agregado reciclado ou geotêxtil.	O arranjo das placas de filtragem e a presença de diversas cavidades aumenta o volume de água drenada. A dupla camada de filtragem também promove maior retenção de poluentes. Os materiais empregados nas camadas de filtragem são de baixo custo. Além disso, a estrutura arquitetônica do sistema evita o deslocamento das placas de concreto do pavimento (escalonamento), reduzindo os custos com a manutenção da via.
WANG; TIAN; WANG, 2018 (CN108484120)	Pavimentos permeáveis	Tijolos permeáveis e respectivo método de preparação. Os tijolos são constituídos por partes de rejeitos de arenito, pó de feldspato, argila e serragem.	Os tijolos são resistentes e apresentam alto índice de permeabilidade. Os materiais empregados na confecção das camadas são acessíveis ou provém de materiais recicláveis, com potencial redução de custos de fabricação.
SHU *et al.*, 2020 (CN111441216)	Pavimentos permeáveis	A invenção consiste em um sistema de pavimentação permeável composto por unidades de armazenamento e drenagem de água, com geogrelhas entre tais unidades. Camadas	Os tijolos empregados no pavimento possuem alta durabilidade e permeabilidade. Além disso, o sistema possibilita o aproveitamento de parte da água infiltrada, que fica retida na unidade de armazenamento.

		impermeáveis são dispostas entre a unidade de armazenamento de água e o leito da estrada. A unidade de armazenamento de água possui uma coluna de drenagem em formato hexagonal. Os pavimentos são constituídos por camadas de concreto e de resina epóxi. A unidade de drenagem é composta por um tanque de armazenamento de água e um sistema de bombeamento.	Os custos com o sistema de bombeamento da água podem ser compensados com os custos para obtenção de água potável, que dependem das características de cada local.
LIU *et al.*, 2020 (CN111648189)	Pavimentos permeáveis	A invenção consiste em sistema de pavimentos permeáveis constituído por uma camada de tijolos permeáveis, uma camada no subsolo de concreto permeável e uma estrutura temporária de armazenamento de água em formato de caixa.	As estruturas de armazenamento podem ser facilmente construídas e substituídas. Não é necessária escavação profunda do terreno, o que reduz os custos da obra.
ZHANG *et al.*, 2020 (CN111118998)	Pavimentos permeáveis	Tijolos permeáveis e respectivo método de preparação. Os tijolos são parcialmente constituídos por rejeitos (ganga) de carvão, argila, água e perlita expandida.	Os tijolos utilizam rejeitos da mineração de carvão (ganga) como principal matéria prima, o que implica redução de custos. Tais rejeitos são de difícil tratamento ou aproveitamento para outros fins, de modo que sua utilização na confecção de pavimentos dá destinação adequada ao material. Os rejeitos de carvão conferem resistência aos pavimentos e permitem a adsorção de efluentes, com melhorias na qualidade da água drenada.
DING, 2019 (CN210315113)	Pavimentos permeáveis	Modelo de utilidade que compreende um arranjo prático de drenagem pluvial baseado em pavimentos permeáveis. A principal característica distintiva do modelo é a instalação de uma entrada de água da chuva na superfície da via diretamente conectada com o subleito do pavimento.	O modelo permite escoamento mais rápido da via, evitando a saturação dos pavimentos. Além disso, o modelo utiliza uma camada de pavimentos não permeáveis, feita de tijolos comuns, o que o torna mais acessível do que outros modelos similares, porém sem perda da eficiência de drenagem.
JIA *et al.*, 2019 (CN110981286)	Pavimentos permeáveis	Pavimento feito com mistura asfáltica porosa, constituída por asfalto, agregados de diferentes	O pavimento evita problemas de descoloração e possui vida útil mais longa do que as técnicas tradicionais de

		tamanhos, partículas de fibra de lignina e óxido de ferro (hematita).	produção de asfalto permeável. Os agregados em sua composição aumentam a resistência aos danos da água, propiciam melhor absorção da água e também possuem melhor efeito estético devido à aderência dos aditivos para coloração do asfalto.
YUAN *et al.*, 2019 (CN210002201)	Pavimentos permeáveis	Modelo de utilidade que compreende um arranjo prático de drenagem pluvial baseado em pavimentos permeáveis e valas de drenagem. A principal característica distintiva do modelo é a integração entre os pavimentos permeáveis e as valas laterais de drenagem, que possuem furos para drenagem da água.	O modelo utiliza peças pré-fabricadas de concreto resinoso, mais fáceis de instalar, o que reduz custos. A combinação do pavimento permeável e das valas laterais permite que a água se infiltre mais rapidamente no solo e impede seu acúmulo no leito da via, propiciando, assim, melhor performance de drenagem e resiliência. As valas laterais de drenagem possuem uma camada de base de macadame de cimento, que apresenta alta resistência.
ZHOU; QIU; DU, 2019 (CN209759936)	Pavimentos permeáveis	Modelo de utilidade que compreende um arranjo prático de drenagem pluvial baseado em pavimentos permeáveis. Distingue-se pelo uso de resíduos de construção civil triturados nas estruturas de base inferior e superior, além do emprego de grade de fibra de vidro e da combinação de cascalho e geotêxtil para filtragem.	O emprego de resíduos de construção civil reduz o custo dos agregados e, portanto, do sistema de drenagem como um todo. A utilização de orifícios na camada de base superior compensa a menor porosidade dos agregados reciclados. O sistema de vala lateral e o filtro trazem alta eficiência de drenagem e de remoção de poluentes
OUYAN, 2020 (CN213446717)	Wetlands	Sistema de purificação da água de wetlands constituído por quatro tanques de tratamento, dispostos de forma escalonada, a diferentes alturas. Os tanques contam com ranhuras e plantas aquáticas flutuantes e submersas que auxiliam na filtragem dos poluentes.	O sistema apresenta custos de manutenção mais baixos do que outras formas de filtragem de wetlands, garantindo também boa purificação da água.
WANG; CHE; XIE, 2020 (CN112158958)	Wetlands	Modelo de construção de wetlands que compreende a utilização de muros de contenção (gabiões) de diferentes profundidades, canalização para entrada e saída de água, zona de disposição de lodo e uso de plantas submersas e	O modelo não utiliza biorreatores com membranas (MBR), o que reduz custos. A presença de uma área de disposição de lodo permite a precipitação da maior parte dos materiais suspensos, o que evita entupimentos dos canos entre os tanques e, assim,

		flutuantes para filtragem dos poluentes.	reduz os custos de manutenção. Com a redução dos entupimentos dos sistemas de canalização, os tanques podem operar em capacidade máxima, com maior volume de armazenamento de água e ganho de performance de drenagem. Determinados gabiões são feitos com tijolos porosos e zeólita mineral, o que permite melhor remoção de poluentes da água.
WANG *et al.*, 2018 (CN208933184)	Wetlands	Modelo de construção de wetlands que consiste em sistema de pré-tratamento e sistema de purificação de água. O sistema de purificação é escalonado e conectado ao sistema de pré-tratamento através de um sistema de distribuição de água. É composto por três zonas úmidas de subsuperfície com plantas. Cada zona úmida de subsuperfície é composta por camadas de solo, cinza de carvão, zeólita verde e argila.	O modelo permite melhor filtragem de poluentes e subsequente aproveitamento dos recursos hídricos, trazendo benefícios econômicos. O sistema de coleta de água reduz o fluxo hídrico e beneficia a ação de drenagem pluvial.
ZONG *et al.*, 2021 (CN112681480)	Wetlands	Método de construção de wetlands que consiste em um canal de coleta de água, um poço central, com estruturas cilíndricas internas de armazenamento de água, conectadas entre si por diversos orifícios de entrada de água.	A estrutura do wetland é mais compacta, o que reduz custos. O poço central e as demais estruturas podem ser fabricadas com materiais pré-moldados, com potencial redução de custos e instalação mais rápida. O formato circular do poço e das estruturas de armazenamento permite distribuição escalonada da carga e torna todo o sistema resiliente a intempéries.
BRIAN; NEIL, 2014 (GB2529588)	Barris de Chuva / Jardins de Chuva	Invenção de dispositivo de controle e atenuação do fluxo da água pluvial e subsequente tratamento, que pode ser utilizado tanto em barris de chuva quanto em jardins de chuva. Tratam-se de estruturas em forma de caixa, feitas preferencialmente de plástico, com diversas câmaras internas, dentro das quais se adiciona	A invenção exerce dupla função de atenuação e controle de fluxo da água da chuva, trazendo maior performance de drenagem. O dispositivo trabalha com o conceito de "SUDS em uma caixa", que concentra todos os elementos necessários para a drenagem sustentável em um único equipamento de fácil instalação. O uso de orifícios nas partições elimina a

		materiais vegetais (flores, ervas, relva ou arbustos), para filtragem e biodegradação de poluentes, e camada de geotêxtil.	necessidade de mecanismos alternativos de controle de fluxo, promovendo redução de custos.
PARK *et al.*, 2016 (KR10-1674126)	Jardins de Chuva	A invenção consiste em solo específico para jardins de chuva, composto por diferentes partes de fibra de coco, musgo de turfa, solo de granito decomposto (Masa soil), vermiculita, carvão ativado, pó de turmalina, hólmio, silicato de sódio, etil trimetilbenzoil fenilfosfinato e rejeitos de mineração.	A composição do solo possui maior porosidade e permite infiltração mais eficiente da água da chuva. Evita também sua compactação.
GU *et al.*, 2017 (CN106930397)	Lagoas de retenção	A invenção consiste em um método de construção de lagoa de retenção que recebe água do sistema público de drenagem por canalização. A lagoa possui dimensões maiores do que os modelos tradicionais e é construída com diferentes reservatórios, um deles para recepção e controle das águas, o segundo, que conta com sistema de bombeamento, para armazenamento e tratamento. Difere-se de outros tipos de lagoas de retenção porque os diferentes reservatórios permitem o isolamento das águas tratadas ou não tratadas.	A invenção permite armazenamento de maior quantidade de água em relação aos modelos tradicionais de lagoas de retenção, o que amplia a performance de drenagem. Diferentemente de outros sistemas, possibilita o isolamento entre águas não tratadas e tratadas, reduzindo retrabalho e custos associados com a sucessiva contaminação da água. Os custos com o sistema de bombeamento da água podem ser compensados com os custos para obtenção de água potável, que dependem das características de cada local.

Fonte: Autoria própria, com embasamento nos autores referenciados no próprio quadro (2022).

Deve-se ressaltar que os documentos patentários não apresentaram estimativas precisas acerca dos custos de construção, operação e manutenção das invenções, sendo necessário estudos mais aprofundados para confirmação das vantagens referidas. Todavia, com base nas informações aludidas, conclui-se que expressivos avanços estão sendo obtidos no campo dos pavimentos permeáveis, o que se revela interessante para áreas de risco onde há elevada ocupação do solo e carência de espaço para instalação de equipamentos superficiais de drenagem, como é o caso de Frutal/MG.

As tecnologias objeto dos documentos de patentes CN107794822, CN106242383, CN110396233, CN209602919, CN108484120, CN111441216, CN111648189, CN111118998, CN210315113, CN110981286, CN210002201 e CN209759936 mostraram-se, a princípio, interessantes para a solução dos problemas de inundação enfrentados na área em estudo notadamente nos pontos críticos dos Bairros XV de Novembro, Princesa Isabel, Centro, Ipê Amarelo, Waldemar Marchi, Jardim das Laranjeiras, Progresso, Novo Horizonte e Caju, pois poderiam ser instaladas no subsolo de calçadas e vias, sem necessidade de desapropriação de áreas privadas, o que reduziria os custos das obras e minimizaria os impactos sociais e econômicos das medidas, ressalvada a necessidade de estudos técnicos específicos para corroborar tais apontamentos. Cabe a ressalva de que um dos principais impedimentos para instalação de tais pavimentos em vias trafegáveis é a baixa resistência dos tijolos (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015), problema este em tese minimizado nas invenções de documentos CN106242383, CN110396233, CN108484120, CN111441216 e CN111118998.

6 CONCLUSÕES

Sistemas de drenagem urbana sustentáveis (SUDS) propõe abordagem que não se limita ao aspecto quantitativo da drenagem pluvial, já que compreendem a melhoria da qualidade das águas e a criação de ecossistemas e de elementos estéticos e paisagísticos. São soluções de drenagem multifuncionais baseadas na natureza que pretendem resgatar as características hidrológicas do local antes das intervenções provocadas pelo homem.

Após o exame de documentos públicos da área em estudo, foi realizado levantamento dos pontos críticos de inundações, alagamentos, enchentes e processos erosivos, concluindo-se que áreas dos Bairros Centro, XV de Novembro, Princesa Isabel, Jardim das Laranjeiras, Progresso, Novo Horizonte e Caju, em Frutal/MG, são suscetíveis a inundações, ao passo que áreas situadas entre os Bairros Ipê Amarelo e Waldemar Marchi são suscetíveis a processos erosivos do tipo voçoroca. Com base na revisão sistemática de literatura e na prospecção de patentes sobre SUDS, foram levantadas as seguintes orientações, que poderão subsidiar futuros trabalhos técnicos no âmbito local para redução dos citados problemas relacionados à drenagem urbana:

- Prevalece a conclusão de que apenas políticas públicas centralizadas, mandatórias e consistentes são suficientes para a mudança de paradigma para a drenagem sustentável. Dentre as políticas sugeridas, os incentivos econômicos

foram as que mais se destacaram, porém, sem aprofundamento suficiente na literatura investigada;

- As invenções descritas nos documentos CN107794822, CN106242383, CN110396233, CN209602919, CN108484120, CN111441216, CN111648189, CN111118998, CN210315113, CN110981286, CN210002201 e CN209759936 podem, em tese, contribuir para a solução ou minimização de inundações e processos erosivos em áreas críticas dos Bairros XV de Novembro, Princesa Isabel, Centro, Jardim das Laranjeiras, Progresso, Novo Horizonte, Caju, Ipê Amarelo e Waldemar Marchi, destacando-se a possibilidade de utilização dos inventos CN106242383, CN110396233, CN108484120, CN111441216 e CN111118998 na pavimentação das vias de tráfego, ressalvada a necessidade de estudos técnicos mais aprofundados;
- Sob a ótica da apropriação de tecnologia, pavimentos permeáveis são os equipamentos de drenagem sustentável que apresentaram maior quantidade de patentes e as invenções mais relevantes do ponto de vista da eficiência de drenagem, resiliência e redução de custos;
- Telhados e paredes verdes não possuem boa relação custo-benefício, pois sua capacidade de drenagem é mais limitada e sua eficiência na remoção de poluentes ainda é incerta. Além disso, seus custos tendem a ser mais elevados;
- Há evidências de que as soluções projetadas para, no mínimo, a escala de bairro compreendendo mais de 210 habitações, são economicamente mais viáveis;
- Existem evidências de que sistemas de detenção, retenção e infiltração, especialmente, no último caso, valas de infiltração e jardins de chuva, são economicamente mais viáveis;
- Criação de amenidades e aspectos paisagísticos são aspectos muito relevantes na opinião dos moradores e tendem a influenciar o processo de substituição dos sistemas tradicionais por SUDS;
- Equipamentos com vegetação rasteira são os preferidos para reforçar as características de limpeza e segurança;
- Deve ser conferida especial atenção do poder público à limpeza e manutenção dos equipamentos para evitar proliferação de animais e insetos indesejáveis;
- Desempenho hidráulico, resiliência e custos foram os indicadores que mais se destacaram nos *frameworks* de escolha dos SUDS.

Essas conclusões foram sistematizadas, no que couberam, em minuta de emenda ao Projeto de Reformulação do Plano Diretor de Frutal/MG, conforme Apêndice B.

Pesquisas futuras poderão explorar a viabilidade das estratégias político-institucionais sugeridas, especialmente para aprofundar os tipos de benefícios econômicos que poderiam ser ofertados pelo Estado para estimular a adoção dos SUDS.

Como perspectivas futuras, pretende-se formar ou estimular a formação de grupo de trabalho para apresentação de nova versão do Projeto de Atualização do Plano Diretor de Frutal/MG, com grupos temáticos responsáveis pela discussão de outros temas cuja análise também se reputou vaga tanto no vigente Plano Diretor como no Projeto de Reformulação em andamento, tais como zoneamento, habitação, regularização fundiária, mobilidade urbana, segurança pública e políticas de desenvolvimento econômico e social.

REFERÊNCIAS

AHRENS, C. Donald; HENSON, Robert. **Essentials of meteorology:** An invitation to the atmosphere. 8 ed. Boston, EUA: Cengage Learning, 2016.

ANTUNES, Adelaide Maria de Souza *et al.* Métodos de prospecção tecnológica, inteligência competitiva e *foresight*: principais conceitos e técnicas. *In:* RIBEIRO, Núbia Moura (org.). **Prospecção tecnológica**. Salvador: IFBA, 2018. Disponível em: www.profnit.org.br. Acesso em: 1 mar. 2022.

ARCHER, Nicole AL *et al.* Infiltration efficiency and subsurface water processes of a sustainable drainage system and consequences to flood management. **Journal of Flood Risk Management**, v. 13, n. 3, p. e12629, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1111/jfr3.12629. Acesso em: 1 mar. 2022.

BAKHSHIPOUR, Amin E. *et al.* Toward sustainable urban drainage infrastructure planning: a combined multiobjective optimization and multicriteria decision-making platform. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 147, n. 8, p. 04021049, 2021. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29WR.1943-5452.0001389. Acesso em: 1 mar. 2022.

BAILEY, Trevor C. *et al*. **Interactive spatial data analysis**. Essex, Reino Unido: Longman, 1995.

BENGTSSON, Lennart. The global atmospheric water cycle. **Environmental Research Letters**, v. 5, n. 2, p. 025202, 2010. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/5/2/025202/meta. Acesso em: 1 mar. 2022.

BENZERRA, Abbas *et al.* Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria. **Journal of environmental management**, v. 101, p. 46-53, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.027. Acesso em: 1 mar. 2022.

BIRGANI, Yaser T.; YAZDANDOOST, Farhad. An integrated framework to evaluate resilient-sustainable urban drainage management plans using a combined-adaptive MCDM technique. **Water Resources Management**, v. 32, n. 8, p. 2817-2835, 2018. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-018-1960-2. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRANGER, F. *et al.* Assessment of the influence of land use data on the water balance components of a peri-urban catchment using a distributed modelling approach. **Journal of Hydrology**, v. 505, p. 312-325, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.055. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. **Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020**. Promulga o novo Marco Legal do Saneamento Básico. Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. **Lei n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1979. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. **Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Brasília, DF: IBGE, 2020. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/frutal.html. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. **Decreto n. 2.519, de 16 de março de 1998**. Promulga a Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada no Rio de Janeiro, em 05 de junho de 1992. Brasília, DF: Presidência da República, 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2519.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. **Decreto n. 5.705, de 16 de fevereiro de 2006**. Promulga o Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança da Convenção sobre Diversidade Biológica. Brasília, DF: Presidência da República, 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/decreto/d5705.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. **Decreto n. 2.652, de 1 de julho de 1998**. Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992.

Brasília, DF: Presidência da República, 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2652.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. **Decreto n. 9.073, de 5 de junho de 2017**. Promulga o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, celebrado em Paris, em 12 de dezembro de 2015, e firmado em Nova Iorque, em 22 de abril de 2016. Brasília, DF: Presidência da República, 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9073.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. **Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRIAN, D.; NEIL, C. **Sustainable drainage device**. Depositante: C & D Associates. GB2529588. Depósito: 23 set. 2014.

BRITO, Sofia Luiza; PEREIRA, Thiago Torres Costa; MARTINS, Inez Cristina. Sediments of watersheds from Frutal and Bebedouro Streams (Frutal, MG, Brazil) as an indicator of human activities. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 17-32, 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1978. Acesso em: 1 mar. 2022.

BURIAN, Steven J.; EDWARDS, Findlay G. *Historical perspectives of urban drainage. In:* **Global solutions for urban drainage**, p. 1-16, 2002. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/10.1061/40644%282002%29284. Acesso em: 1 mar. 2022.

BUTLER, David. From Rainwater Harvesting to Rainwater Management Systems. *In:* **International Conference on Urban Drainage Modelling**. Cham, Suíça: Springer, 2018.

BUTLER, David *et al.* **Urban Drainage**. 4 ed. Boca Raton, EUA: CRC Press, 2018.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

CASAL-CAMPOS, Arturo *et al.* Reliable, resilient and sustainable urban drainage systems: an analysis of robustness under deep uncertainty. **Environmental science & technology**, v. 52, n. 16, p. 9008-9021, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01193. Acesso em: 1 mar. 2022.

CHARLESWORTH, S. M.; FARAJ-LLYOD, A. S.; COUPE, S. J. Renewable energy combined with sustainable drainage: Ground source heat and pervious paving. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, p. 912-919, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.019. Acesso em: 1 mar. 2022.

CHARLESWORTH, Sue M. *et al.* Laboratory based experiments to assess the use of green and food based compost to improve water quality in a Sustainable Drainage (SUDS) device such as a swale. **Science of the total environment**, v. 424, p. 337-343, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.075. Acesso em: 1 mar. 2022.

CHARLESWORTH, Sue M.; BENNETT, James; WAITE, A. An evaluation of the use of individual grass species in retaining polluted soil and dust particulates in vegetated sustainable drainage devices. **Environmental geochemistry and health**, v. 38, n. 4, p. 973-985, 2016. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-016-9791-7. Acesso em: 1 mar. 2022.

CHEN, Season S. *et al.* Designing sustainable drainage systems in subtropical cities: Challenges and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, p. 124-418, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124418. Acesso em: 1 mar. 2022.

CHOW, J., *et al.* Using a systematic, multi-criteria decision support framework to evaluate sustainable drainage designs. **Procedia Engineering**, v. 70, p. 343-352, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.039. Acesso em: 1 mar. 2022.

CHRISTODOULOU, Demetris; LEV, Baruch; MA, Le. The productivity of Chinese patents: The role of business area and ownership type. **International Journal of Production Economics**, v. 199, p. 107-124, 2018. Disponível em: http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.12.024. Acesso em: 1 mar. 2022.

COMPANIES HOUSE. **G Limited.** Disponível em: http://find-and-update.company-information.service.gov.uk/. Acesso em: 1 mar. 2022.

COOK, John *et al.* Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 4, p. 048002, 2016. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/4/048002. Acesso em: 1 mar. 2022.

COORDENADORIA ESTADUAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL DE MINAS GERAIS – CEDEC. **Plano de Gestão de Risco – Frutal-MG.** Belo Horizonte/MG: CEDEC, 2021.

COSTANZO, Laura Anna; MACKAY, Robert Bradley. **Handbook of Research on Strategy and Foresight**. Northampton, EUA: Edward Elgar, 2009.

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD & RURAL AFFAIRS. **Final Surface Water Drainage Report**. Londres: DEFRA, 2013. Disponível em: http://observatoriaigua.uib.es/repositori/suds_ciria_3.pdf. Acesso em: 1 mar. 2022.

DING, F. **Permeable pavement**. Depositante: Suzhou Construction Engineering Design Inst Co Ltd. Procurador: Lu, Mingyao. CN210315113. Depósito 24 abr. 2019. Concessão: 28 jun. 2020.

DIREÇÃO GERAL DE MEIO AMBIENTE DA UNIÃO EUROPÉIA. **Natural Water Retention Measures**. Paris: NWRM, 2022. Disponível em: http://nwrm.eu/. Acesso em: 1 mar. 2022.

ELLIS, J. Bryan; LUNDY, Lian. Implementing sustainable drainage systems for urban surface water management within the regulatory framework in England and Wales. **Journal of Environmental Management**, v. 183, p. 630-636, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.022. Acesso em: 1 mar. 2022.

ESCÓCIA. **Land Use Planning System. Planning advice on Sustainable Drainage Systems (SUDS)**. Edimburgo, Escócia: Scottish Environment Protection Agency, 2010. Disponível em: https://www.sepa.org.uk/media/143195/lups-gu2-planning-guidance-on-sustainable-drainage-systems-suds.pdf. Acesso em: 1 abr. 2022.

FAWZY, Samer *et al.* Strategies for mitigation of climate change: a review. **Environmental Chemistry Letters**, p. 1-26, 2020. Disponível em: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10311-020-01059-w.pdf. Acesso em: 1 mar. 2022.

FERREIRA, CARLA S. S. *et al.* Urban areas. **Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection**, v. 4, p. 207-249, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2019.07.004. Acesso em: 1 mar. 2022.

FILHO; Walter L.; BARBIR, Jelena; PREZIOSI, Richard. **Handbook of Climate Change and Biodiversity**. Cham, Suíça: Springer, 2019.

FLETCHER, Tim D. *et al.* SUDS, LID, BMPs, WSUD and more: The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p. 525-542, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Lei Complementar Municipal n. 54, de 5 de outubro de 2006**. Institui o Plano Diretor do Município de Frutal/MG. Frutal/MG: Câmara Municipal, 2006. Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Normas/Exibir/5285#:~:text=Art.,planejamento%20do%20Munic%C3%ADpio%20de%20Frutal. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Projeto de Lei Complementar n. 108, de 10 de agosto de 2018**. Dispõe sobre a revisão do plano diretor sustentável de Frutal/MG. Frutal/MG: Câmara Municipal, 2018. Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Documentos/Documento/55827. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Folha de Distribuição n. 47/2005 ao Projeto de Lei Complementar n. 52/2005**. Institui o Plano Diretor do Município de Frutal. Frutal/MG: Câmara Municipal, 2005. Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Documentos/Documento/33455. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Lei Complementar n. 6, de 24 de setembro de 1991**. Contém o Código de Posturas do Município de Frutal e dá outras providências. Frutal/MG: Câmara Municipal, 1991. Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Normas/Exibir/5239. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Lei Complementar n. 28, de 20 de maio de 2002**. Promove alterações na Lei Complementar n. 6, de 24 de setembro de 1991, que institui o Código de Posturas do Município de Frutal. Frutal/MG: Câmara Municipal, 2002. Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Normas/Exibir/5261. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Lei Ordinária n. 6.349, de 22 de março de 2018**. Institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil no Município de Frutal e dá outras

providências. Frutal/MG: Câmara Municipal, 2018. Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Documentos/Documento/56959. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Lei Ordinária n. 5.977, de 30 de maio de 2012**. Cria o parcelamento do solo para fins urbano e rural no Município de Frutal e dá outras providências. Frutal/MG: Câmara Municipal, 2012. Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Normas/Exibir/4975. Acesso em: 1 mar. 2022.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Clima Gerais –** Plataforma mineira para adaptação às mudanças climáticas. Belo Horizonte/MG: FEAM, 2020. Disponível em: http://clima-gerais.meioambiente.mg.gov.br/vulnerabilidade-territorial. Acesso em: 1 mar. 2022.

GHOSHAL, A. K. *et al.* Capturing CO2 by Physical and Chemical Means. *In:* GOEL, Malti; SUDHAKAR, M.; SHAHI, Ram Vinay (Ed.). **Carbon capture, storage and utilization: A possible climate change solution for energy industry**. Boca Raton, Flórida: CRC Press, 2019.

GIMENEZ-MARANGES, Marc; BREUSTE, Jürgen; HOF, Angela. Sustainable Drainage Systems for transitioning to sustainable urban flood management in the European Union: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 255, p. 120191, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120191. Acesso em: 1 mar. 2022.

GIMENEZ-MARANGES, Marc; BREUSTE, Jürgen; HOF, Angela. A new analytical tool for a more deliberate implementation of Sustainable Drainage Systems. **Sustainable Cities and Society**, v. 71, p. 102955, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102955. Acesso em: 1 mar. 2022.

GU, L. *et al.* **Bio-retention pond capable of continuously processing initial rainwater in drought period**. Depositante: Hohai University. Procurador: Li, Xiojing. CN106930397. Depósito: 7 mar. 2017. Concessão: 20 abr. 2018.

HULME, Mike; MAHONY, Martin. Climate change: What do we know about the IPCC?. **Progress in Physical Geography**, v. 34, n. 5, p. 705-718, 2010. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0309133310373719. Acesso em: 1 mar. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **IBGE Cidades:** Frutal. Brasília, DF: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/frutal.html. Acesso em: 1 mar. 2022.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS – IGAM. **Portal dos Comitês**. Belo Horizonte/MG: IGAM, 2020. Disponível em: http://comites.igam.mg.gov.br/conheca-a-bacia-gd8. Acesso em: 1 mar. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **TOPODATA**. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Brasília, DF: 2022. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php. Acesso em: 1 mar. 2022.

JIA, J. *et al.* **Asphalt mixture for color porous pavement upper layer and preparation method**. Depositante: China National Chemical Communications Construction Group. Procurador: Lu, Limin. CN110981286. Depósito: 25 dez. 2019. Concessão: 14 jan. 2022.

JOHNSON, Daniel; GEISENDORF, Sylvie. Are neighborhood-level SUDS worth it? An assessment of the economic value of sustainable urban drainage system scenarios using cost-benefit analyses. **Ecological economics**, v. 158, p. 194-205, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.024. Acesso em: 1 mar. 2022.

KUNDZEWICZ, Zbigniew W. *et al.* Flood risk and climate change: global and regional perspectives. **Hydrological Sciences Journal**, v. 59, n. 1, p. 1-28, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1080/02626667.2013.857411. Acesso em: 1 mar. 2022.

LA ROSA, Daniele; PAPPALARDO, Viviana. Planning for spatial equity-A performance based approach for sustainable urban drainage systems. **Sustainable Cities and Society**, v. 53, p. 101885, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101885. Acesso em: 1 mar. 2022.

LANDMEYER, James E. **Introduction to hytoremediation of contaminated groundwater**. Heidelberg, Alemanha: Springer, 2012.

LASHFORD, Craig *et al.* SuDS & sponge cities: a comparative analysis of the implementation of pluvial flood management in the UK and China. **Sustainability**, v. 11, n. 1, p. 213, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su11010213. Acesso em: 1 mar. 2022.

LEE, J. *et al.* Flood Reduction Analysis on Watershed of LID Design Demonstration District Using SWMM5. **Desalination and Water Treatment, Hopkinton**, v. 38, n.1-3, p. 255-261, 2012. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1080/194439 94.2012.664377. Acesso em: 1 mar. 2022.

LEE, Keun. **The art of economic catch-up: Barriers, detours and leapfrogging in innovation systems**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 2019.

LI, P. **Double-layer water-filtering permeable pavement under sponge city**. Depositante: Chongqing University. Procurador: Chen, Qian. CN209602919. Depósito: 28 fev. 2018. Concessão: 8 nov. 2019.

LIMA, Herlander Mata; SILVA, Evaristo Santos; RAMINHOS, Cristina. Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 59, n. 1, p. 97-109, 2006. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672006000100013. Acesso em: 1 mar. 2022.

LIU, Jiajia *et al.* A new approach to separating the impacts of climate change and multiple human activities on water cycle processes based on a distributed hydrological model. **Journal of Hydrology**, v. 578, p. 124096, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124096. Acesso em: 1 mar. 2022.

LIU, M. *et al.* **Permeable paving system, device and method for urban water system ecological governance**. Depositante: Zhengzhou Lyuyin Water Conservancy & Soil

Conservation Technology Service. Procurador: Fu, Hongli. CN111648189. Depósito: 28 jun. 2020. Concessão: 30 mar. 2021.

LOC, Ho Huu *et al.* Applicability of sustainable urban drainage systems: an evaluation by multi-criteria analysis. **Environment Systems and Decisions**, v. 37, n. 3, p. 332-343, 2017. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10669-017-9639-4. Acesso em: 1 mar. 2022.

MACHADO, Paulo A. L. **Direito ambiental brasileiro**. 21 ed. São Paulo: Malheiros, 2013.

MADAKUMBURA, Gavin D. *et al.* Event-to-event intensification of the hydrologic cycle from 1.5 C to a 2 C warmer world. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-7, 2019. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41598-019-39936-2. Acesso em: 1 mar. 2022.

MAK, Chunglim; SCHOLZ, Miklas; JAMES, Philip. Sustainable drainage system site assessment method using urban ecosystem services. **Urban ecosystems**, v. 20, n. 2, p. 293-307, 2017. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11252-016-0593-6. Acesso em: 1 mar. 2022.

MASCARÓ, Juan Luis; MASCARÓ, Lúcia; FREITAS, Ruskin Marinho de. **Infra-estrutura da paisagem**. Porto Alegre: Masquatro, 2008.

MASTEN, Susan J.; DAVIS, Mackenzie Leo. **Principles of Environmental Engineering and Science**. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2020.

MARTINS; Leandra Rajczuk. **Parques lineares: novo modelo integra lazer e meio ambiente na cidade de São Paulo**. Universidade de São Paulo, Agência Universitária de Notícias – AUN, 2017. Disponível em: http://aun.webhostusp.sti.usp.br/index.php/2017/05/11/parques-lineares-novo-modelo-integra-lazer-e-meio-ambiente-na-cidade-de-sao-paulo/. Acesso em: 1 mar. 2022.

MATEUS, Marcos Vinicius *et al.* Atributos de solos, dinâmica e evolução de processo erosivo na microbacia do Córrego Marianinho, em Frutal/MG. *In:* ZUFFO, Alan Mario; AGUILERA, Jorge González. **Solos nos biomas brasileiros.** Ponta Grossa/PR: Atena Editora, 2018, p. 49-65. Disponível em: https://www.finersistemas.com/atenaeditora/index.php/admin/api/artigoPDF/9786. Acesso em: 1 mar. 2022.

MBANASO, F. U. *et al.* Reuse of materials from a Sustainable Drainage System device: Health, Safety and Environment assessment for an end-of-life Pervious Pavement Structure. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 1759-1770, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.224. Acesso em: 1 mar. 2022.

MBANASO, Fredrick U. *et al.* State of a sustainable drainage system at end-of-life: assessment of potential water pollution by leached metals from recycled pervious pavement materials when used as secondary aggregate. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 5, p. 4630-4639, 2020. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-06480-5. Acesso em: 1 mar. 2022.

MCADAM, Jane. **Climate change, forced migration, and international law**. Oxford, Reino Unido: Oxford University Press, 2012.

MCCLYMONT, Kent *et al.* Towards urban resilience through Sustainable Drainage Systems: A multi-objective optimisation problem. **Journal of Environmental Management**, v. 275, p. 111-173, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111173. Acesso em: 1 mar. 2022.

MEISSNER, Dirk; GOKHBERG, Leonid; SOKOLOV, Alexander. **Science, Technology and Innovation Policy for the Future. Potentials and Limits of Foresight Studies**. Heidelberg, Alemanha: Springer, 2013.

MEIRELLES, Hely Lopes. **Direito Municipal Brasileiro**. 15. ed. São Paulo: Malheiros, 2006.

MIGUEZ, M.; VERÓL, A.; CARNEIRO, P. Sustainable drainage systems: an integrated approach, combining hydraulic engineering design, urban land control and river revitalisation aspects. **Drainage systems**, Rio de Janeiro, p. 21-54, 2012. Disponível em: http://cdn. intechopen. com/pdfs-wm/30387.pdf. Acesso em: 1 mar. 2022.

MINAS GERAIS. **Constituição do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte/MG: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 1989. Disponível em: https://www.almg.gov.br/export/sites/default/consulte/legislacao/Downloads/pdfs/ConstituicaoEstadual.pdf. Acesso em: 1 mar. 2022.

MINAS GERAIS. **Lei 11.720, de 28 de dezembro de 1994**. Dispõe sobre a política estadual de saneamento básico. Belo Horizonte/MG: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 1994. Disponível em: https://leisestaduais.com.br/mg/lei-ordinaria-n-11720-1994-minas-gerais-dispoe-sobre-a-politica-estadual-de-saneamento-basico-e-da-outras-providencias. Acesso em: 1 mar. 2022.

MINAS GERAIS. **Lei 13.317, de 24 de setembro de 1999**. Dispõe sobre o Código de Saúde de Minas Gerais. Belo Horizonte/MG: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2019. Disponível em: https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=DEC&num=47787&comp=&ano=2019. Acesso em: 1 mar. 2022.

MINAS GERAIS. **Decreto n. 47.787, de 13 de dezembro de 2019**. Dispõe sobre a organização da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Belo Horizonte/MG: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 1994. Disponível em: https://leisestaduais.com.br/mg/lei-ordinaria-n-11720-1994-minas-gerais-dispoe-sobre-a-politica-estadual-de-saneamento-basico-e-da-outras-providencias. Acesso em: 1 mar. 2022.

MINAS GERAIS. **Emenda Constitucional n. 105, de 4 de dezembro de 2020, à Constituição do Estado de Minas Gerais**. Dá nova redação ao inciso IX do caput do art. 10 e acrescenta o § 5º ao art. 231 da Constituição do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte/MG: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2020. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=405452#:~:text=I%20%2D%20a%20integra%C3%A7%C3%A3o%20eficiente%20entre,%22. Acesso em: 1 mar. 2022.

MONBERG, Rikke Juul *et al.* Exploring structural habitat heterogeneity in sustainable urban drainage systems (SUDS) for urban biodiversity support. **Urban Ecosystems**, v. 21, n. 6, p. 1159-1170, 2018. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11252-018-0790-6. Acesso em: 1 mar. 2022.

MORUZZI, Rodrigo B. *et al.* Liquid phase nonpoint source pollution dispersion through conveyance structures to sustainable urban drainage system within different land covers. **Ecological Engineering**, v. 158, p. 106012, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106012. Acesso em: 1 mar. 2022.

MUKHTAROV, Farhad *et al.* Collaborative learning for policy innovations: sustainable urban drainage systems in Leicester, England. **Journal of Environmental Policy & Planning**, v. 21, n. 3, p. 288-301, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1080/1523908X.2019.1627864. Acesso em: 1 mar. 2022.

NATIONAL SUDS WORKING GROUP. **Interim Code of Practice for Sustainable Drainage Systems**. Londres: Defra, 2004. Disponível em: https://www.susdrain.org/files/resources/other-guidance/nswg_icop_for_suds_0704.pdf. Acesso em: 1 mar. 2022.

O'BRIEN, C. David. Sustainable drainage system (SuDS) ponds in Inverness, UK and the favourable conservation status of amphibians. **Urban ecosystems**, v. 18, n. 1, p. 321-331, 2015. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11252-014-0397-5. Acesso em: 1 mar. 2022.

O'DONNELL, Emily *et al.* Developing the implicit association test to uncover hidden preferences for sustainable drainage systems. Philosophical Transactions of the Royal Society A, v. 378, n. 2168, p. 20190207, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0207. Acesso em: 1 mar. 2022.

OLIVAL, Camila do Amaral *et al.* **Sistemas de drenagem sustentáveis**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, 2017. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4148202/mod_resource/content/1/GRUPO%20F_RELATORIO_FINAL.pdf. Acesso em: 1 mar. 2022.

OUYAN, Y. **Sponge city wetland sewage purification system**. Depositante: Chongqing Xiheng Engineering Consulting. CN213446717. Depósito: 24 set. 2020. Concessão: 15 jun. 2021.

ORESKES, Naomi. The scientific consensus on climate change. **Science**, v. 306, n. 5702, p. 1686-1686, 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1126/science.1103618. Acesso em: 1 mar. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Transforming our world:** the 2030 Agenda for Sustainable Development. Nova Iorque: Assembleia Geral da ONU, 2015. Disponível em: https://undocs.org/en/A/70/L.1. Acesso em: 1 mar. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Relatório Brundtland**. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1987. Disponível em:

https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf. Acesso em: 1 mar. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Sumário para formuladores de políticas.** Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, 1998. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf. Acesso em: 1 mar. 2022.

PAPPALARDO, Viviana; LA ROSA, Daniele. Policies for sustainable drainage systems in urban contexts within performance-based planning approaches. **Sustainable Cities and Society**, v. 52, p. 101830, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101830. Acesso em: 1 mar. 2022.

PARANHOS, Rita de Cássia Santos; RIBEIRO, Núbia Moura. Importância da prospecção tecnológica em base em patentes E seus objetivos da busca. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, n. 5, p. 1274, 2018.

PARK, M. *et al.* **Vegetation soil for rain garden**. Depositante: Group Han. Procurador: You, Sang Moo. KR10-1674126. Depósito: 12 maio 2016.

PERALES-MOMPARLER, Sara *et al.* The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain. **Journal of Cleaner Production**, v. 163, p. S113-S124, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.153. Acesso em: 4 jan. 2022.

PINHEIRO, Leandro de Souza; CAETANO, Jéssica Silva; PEREIRA, Thiago Torres Costa. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do Ribeirão Frutal (Frutal - MG). *In:* Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO, 12, 2018, Crato/CE. **Anais**. Disponível em: http://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/9/9-299-1129.html#:~:text=O%20relevo%20de%20Frutal%20%C3%A9,Adamantina%2C%20que%20resistiram%20%C3%A0%20disseca%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 1 mar. 2022.

PINTO, Liliane Lopes Costa Alves. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-31082011-160233/en.php. Acesso em: 1 mar. 2022.

PORTALEONI, Claudio Gomez *et al.* **Corporate Foresight and Strategic Decisions. Hampshire**, Reino Unido: Palgrave MacMillan, 2013.

PORTARI, Rodrigo. **Blog do Portari**. 8 coisas que Frutal tem de bom. Disponível em: https://www.rodrigoportari.com.br/?p=11505. Acesso em: 1 mar. 2022.

PORTO ALEGRE. **Decreto n. 15.371, de 17 de novembro de 2006**. Regulamenta o controle da drenagem urbana. Porto Alegre/RS: Prefeitura Municipal, 2006. Disponível em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000028692.DOCN.&l=20&u=%2Fnetahtml%2Fsirel%2Fsimples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT. Acesso em: 1 mar. 2022.

PORTO ALEGRE. **Decreto n. 18.611, de 9 de abril de 2014**. Regulamenta o controle da drenagem urbana e revoga os itens 4.8.6, 4.8.7 e 4.8.9 do Decreto n. 14.786, de 30 de dezembro de 2004 – Caderno de Encargos do DEP – e o Decreto n. 15.371, de 17 de novembro de 2006. Porto Alegre/RS: Prefeitura Municipal, 2014. Disponível em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000033997.DOCN.&l=20&u=%2Fnetahtml%2Fsirel%2Fsimples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT. Acesso em: 1 mar. 2022.

PORTO ALEGRE. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Manual de Drenagem Urbana. Porto Alegre/RS: Departamento de Esgotos Pluviais, 2005. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf. Acesso em: 1 mar. 2022.

POWELL, James. Scientists reach 100% consensus on anthropogenic global warming. **Bulletin of Science, Technology & Society**, v. 37, n. 4, p. 183-184, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1177/0270467619886266. Acesso em: 1 mar. 2022.

QUESTEL. **Database**. [*S.l*]: Questel Expansion SAS 2020. Disponível em: https://static.orbit.com/imagination/orbit_welcome/prd/coverage/coverage.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

QIAN, Z. *et al.* **Permeable pavement based on sponge city concept**. Depositante: Southeast University. Procurador: Xu, Yunhua. CN107794822. Depósito: 28 set. 2017. Concessão: 31 mar. 2020.

QUINTELLA, Cristina Maria; TORRES, Ednildo Andrade. Gestão e Comercialização de Tecnologia. *In:* RUSSO, Suzana Leitão (org.). **Capacitação em Inovação Tecnológica para Empresários**. São Cristóvão: Editora UFS, 2012.

REUTERS. **Companies:** Flower King Eco-Engineering Inc. Disponível em: www.reuters.com/companies/603007.SS/events. Acesso em: 1 mar. 2022.

RIECHEL, Mathias *et al.* Sustainable urban drainage systems in established city developments: Modelling the potential for CSO reduction and river impact mitigation. **Journal of Environmental Management**, v. 274, p. 111207, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111207. Acesso em: 1 mar. 2022.

SAÑUDO-FONTANEDA, L. A.; ROBINA-RAMÍREZ, Rafael. Bringing community perceptions into sustainable urban drainage systems: The experience of Extremadura, Spain. **Land Use Policy**, v. 89, p. 104251, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104251. Acesso em: 1 mar. 2022.

SÃO JOSÉ DO RIO PRETO. **Lei n. 12.882, de 5 de janeiro de 2018**. Institui o Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de São José do Rio Preto. São José do Rio Preto/SP: Prefeitura Municipal, 2018. Disponível em: https://www.riopreto.sp.gov.br/wp-content/uploads/Plano-Municipal-de-Saneamento-B%C3%A1sico.pdf. Acesso em: 1 mar. 2022.

SÃO PAULO. Município de São Paulo. **Lei n. 16.050, de 31 de julho de 2014**. Aprova a Política de Desenvolvimento Urbano e o Plano Diretor Estratégico do Município de São

Paulo e revoga a Lei n. 13.430/2002. São Paulo/SP: Secretaria de Desenvolvimento Urbano, 2014. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/urbanismo/legislacao/plano_diretor/index.php?p=201105. Acesso em: 1 mar. 2022.

SÃO PAULO. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais**. São Paulo/SP: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, 2012. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivos/manual-drenagem_v1.pdf. Acesso em: 1 mar. 2022.

SCHILLING, Melissa A. **Strategic management of technological innovation.** 5 ed. Nova Iorque, EUA: McGraw-Hill Education, 2017.

SCHREIBER, Deborah A.; BERGE, Zane L. **Futures thinking and organizational policy case studies for managing rapid change in technology, globalization and workforce diversity**. Cham, Suíça: Palgrave MacMillan, 2019.

SEYEDASHRAF, Omid; BOTTACIN-BUSOLIN, Andrea; HAROU, Julien J. Many-Objective Optimization of Sustainable Drainage Systems in Urban Areas with Different Surface Slopes. **Water Resources Management**, v. 35, n. 8, p. 2449-2464, 2021. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-021-02840-4. Acesso em: 1 mar. 2022.

SHU, X. *et al.* **Permeable pavement paving system based on sponge city**. Depositante: Shanxi Traffic Technology Research & Development. Procurador: Yi, Wei. CN111441216. Depósito: 4 abr. 2020. Concessão: 24 jul. 2020.

SILVA, José Afonso da. **Aplicabilidade das normas constitucionais**. 8 ed. São Paulo: Malheiros, 2012.

SILVA, José Afonso da. **Direito urbanístico brasileiro**. 6 ed. São Paulo, Malheiros, 2010.

SPERLING, Marcos von; SEZERINO, Pablo H. Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. Documento de consenso entre pesquisadores e praticantes. *In:* **Boletim Wetlands Brasil**, dez. 2018. Disponível em: https://gesad.ufsc.br/boletins/. Acesso em: 1 mar. 2022.

STEPHENS, C. M. *et al.* Landscape changes and their hydrologic effects: Interactions and feedbacks across scales. **Earth-Science Reviews**, p. 103466, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103466. Acesso em: 1 mar. 2022.

SUDHAKAR, M.; SHAHI, Ram Vinay (Ed.). **Carbon capture, storage and utilization: A possible climate change solution for energy industry**. Boca Raton, Flórida: CRC Press, 2019.

SURIPIN, R.; WIDJONARKO, R. The Initial Step for Developing Sustainable Urban Drainage System in Semarang City-Indonesia. **Procedia engineering**, v. 171, p. 1486-1494, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.478. Acesso em: 1 mar. 2022.

SUSDRAIN. **Susdrain briefings**. Londres: SusDrain, 2022. Disponível em: https://www.susdrain.org/resources/briefings.html. Acesso em: 22 de julho de 2021.

SUDS WALES. **SuDS Techniques**. Cardiff, País de Gales: Suds Wales, 2022. Disponível em: https://www.sudswales.com/types/. Acesso em: 22 de julho de 2021.

TALBOT, Hope. Euronews. **How this Swiss city is using green roofs to combat climate change**. Eco-Innovation, 9 jul. 2021. Disponível em: https://www.euronews.com/green/2021/07/09/how-this-swiss-city-is-using-green-roofs-to-combat-climate-change. Acesso em: 1 mar. 2022.

TAMBOLIM, Helen. **Parques Multifuncionais como Instrumentos de Melhoria do Manejo das Águas Pluviais em Cidades em Desenvolvimento: Estudo de Caso da Bacia do Alcântara – São Gonçalo/RJ**. Rio de Janeiro, 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

TAMBURRINO, Aldo. Water technology in ancient Mesopotamia. *In:* **Ancient Water Technologies**. Springer, Dordrecht, 2010.

TANG, W. *et al.* **Sponge city ecological water-permeable pavior brick, and preparation method thereof**. Depositante: Shaoxing Vocational & Technical College. Procurador: Lian, Ping. CN106242383. Depósito: 12 jul. 2017. Concessão: 15 maio 2018.

TEDOLDI, Damien *et al.* Impact of runoff infiltration on contaminant accumulation and transport in the soil/filter media of Sustainable Urban Drainage Systems: A literature review. **Science of the Total Environment**, v. 569, p. 904-926, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.215. Acesso em: 1 mar. 2022.

TIEPPO, Silas José. **Inserção sustentável de cursos d'água em perímetro urbano. Estudo de caso: Córrego Jaó de Frutal (MG)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, 2016. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/9252. Acesso em: 1 mar. 2022.

TORRES, María Nariné *et al.* A participatory approach based on stochastic optimization for the spatial allocation of Sustainable Urban Drainage Systems for rainwater harvesting. **Environmental Modelling & Software**, v. 123, p. 104532, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104532. Acesso em: 1 mar. 2022.

TRENNEPOHL, Terence. **Manual de direito ambiental.** 7 ed. São Paulo: Saraiva, 2019.

TROTT, Paul. **Innovation management and new product development**. 6 ed. Harlow, Reino Unido: Pearson Education, 2017.

TUCCI, Carlos E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 1-16, 2008.

URSINO, Nadia. Risk analysis of sustainable urban drainage and irrigation. **Advances in water resources**, v. 83, p. 277-284, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.06.011. Acesso em: 1 mar. 2022.

VILCAN, Tudorel; POTTER, Karen. Delivering sustainable drainage systems through the English planning system: A proposed case of institutional void. **Journal of Flood Risk**

Management, v. 13, n. 1, p. e12591, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1111/jfr3.12591. Acesso em: 1 mar. 2022.

WANG, Mingming *et al.* A framework to support decision making in the selection of sustainable drainage system design alternatives. **Journal of Environmental Management**, v. 201, p. 145-152, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.034. Acesso em: 1 mar. 2022.

WANG, Mingming *et al.* Combination and placement of sustainable drainage system devices based on zero-one integer programming and schemes sampling. **Journal of environmental management**, v. 238, p. 59-63, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.129. Acesso em: 1 mar. 2022.

WANG, Sheng; WANG, Heng. Extending the Rational Method for assessing and developing sustainable urban drainage systems. **Water research**, v. 144, p. 112-125, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.022. Acesso em: 1 mar. 2022.

WANG, K.; YAO, A. **Ecological water permeable pavement brick for sponge city and preparation method of pavement brick**. Depositante: Chang'an University. Procurador: Hui, Wenxuan. CN110396233. Depósito: 29 jul. 2019. Concessão: 8 out. 2021.

WANG, L.; TIAN, X.; WANG, X. **Ceramic water permeable brick for sponge city permeable pavement system and manufacturing technology thereof**. Depositante: Xi An Xuchang Building Material. CN108484120. Depósito: 30 maio 2018. Concessão: 8 set. 2018.

WANG, J.; CHE, S.; XIE, Z. **Artificial rainwater wetland system for sponge city construction and capable of strengthening pollutant removal**. Depositante: Shanghai Jiao Tong University. Procurador: Jiang, Liangzhu. CN112158958. Depósito: 28 set. 2020.

WANG, X. *et al.* **Stepped riverway waterfront wetland infiltration system based on sponge city**. Depositante: Tianjing University. Procurador: Wu, Xueying. CN208933184. Depósito: 15 ago. 2018. Concessão: 4 jun. 2019.

WARD, Owen P.; SINGH, Ajay. Soil bioremediation and phytoremediation: An overview. *In:* **Applied bioremediation and phytoremediation**. Heidelberg, Alemanha: Springer, 2004.

WELZER, Harald. **Climate Wars: what people will be killed for in the 21st century**. Maldem, MA: John Wiley & Sons, 2015.

WENNERSTEN, John R.; ROBBINS, Denise. **Rising tides: Climate refugees in the twenty-first century**. Indiana, EUA: Indiana University Press, 2017.

WINSEMIUS, Hessel; WARD, Phillip. **Aqueduct Global Flood Risk Country Rankings**. World Resources Institute: Washington, DC, EUA, 2015. Disponível em: www.wri.org/data/aqueduct-global-flood-risk-country-rankings. Acesso em: 15 jul. 2021.

WILLIAMS, J. B. *et al.* Residents' perceptions of sustainable drainage systems as highly functional blue green infrastructure. **Landscape and Urban Planning**, v. 190, p. 103610, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103610. Acesso em: 1 mar. 2022.

WOODS-BALLARD, Bridget *et al.* **The SUDS manual**. Londres: Ciria, 2015. Disponível em: www.middevon.gov.uk/media/351278/102-c753-the-suds-manual-prelims.pdf. Acesso em: 1 mar. 2022.

YANG, Wenyu; ZHANG, Jin. Assessing the performance of gray and green strategies for sustainable urban drainage system development: A multi-criteria decision-making analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 293, p. 126191, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126191. Acesso em: 1 mar. 2022.

YOUNG, Andrea Ferraz; PAPINI, Jaqueline Aparecida Jorge. How can scenarios on flood disaster risk support urban response? A case study in Campinas Metropolitan Area (São Paulo, Brazil). **Sustainable Cities and Society**, v. 61, p. 102-253, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102253. Acesso em: 1 mar. 2022.

YUAN, L. *et al.* **Permeable pavement green belt drainage kerb rain-sewage separation regulation and storage system**. Depositante: Fujian Longxiang Construction. Procurador: Wang, Guiming. CN210002201. Depósito: 24 maio 2019. Concessão: 31 jan. 2020.

ZHANG, X. *et al.* **Permeable pavement facility and preparation method and application thereof**. Depositante: Beijing University of Civil Engineering & Architecture. Procurador: Chen, Changmei. CN111118998. Depósito: 19 jan. 2020.

ZHOU, F.; QIU, Y., DU, Y. **Permeable pavement structure based on construction waste crushed materials**. Depositante: Hunan University. CN209759936. Depósito: 28 jan. 2019.

ZONG, Fan; WANG, Lifang. Evaluation of university scientific research ability based on the output of sci-tech papers: A D-AHP approach. **PLoS One**, v. 12, n. 2, p. e0171437, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171437. Acesso em: 1 mar. 2022.

ZONG, Y. *et al.* **Annular sponge wetland garden and construction method thereof**. Depositante: Jiangsu Long Leaping Engineering Design. Procurador: Han, Lian. CN112681480. Depósito: 7 jan. 2021.

ZUBELZU, Sergio *et al.* Design of water reuse storage facilities in Sustainable Urban Drainage Systems from a volumetric water balance perspective. **Science of The Total Environment**, v. 663, p. 133-143, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.342. Acesso em: 1 mar. 2022.

APÊNDICE A

Artigo científico submetido à Revista Brasileira de Gestão Urbana - URBE - Qualis B1 e comprovante de submissão. Destaca-se que presente artigo encontra-se formatado com as normas da *American Psychological Association* (APA), exigência do periódico em questão.

Confirmação da submissão

imprimir

Obrigado pela sua submissão

Submetido para	urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana
ID do manuscrito	URBE-2022-0048
Título	Prospecção de tecnologias sustentáveis de drenagem de águas pluviais (SUDS) como insumo para propositura de mudanças no Plano Diretor do Município de Frutal, Minas Gerais
Autores	Fogatti, Osvaldo Millan, Rodrigo Martins, Eduardo
Data da submissão	20-fev-2022

Prospecção de tecnologias sustentáveis de drenagem de águas pluviais (SUDS) como insumo para propositura de mudanças no Plano Diretor do Município de Frutal, Minas Gerais

Technology prospecting for sustainable drainage systems (SUDS) as a means to propose changes in the Master Plan of the Municipality of Frutal, Minas Gerais

Resumo

Associada às mudanças climáticas, a desordenada ocupação urbana propicia o surgimento de processos erosivos e inundações, cheias ou alagamentos, em prejuízo ao equilíbrio ambiental e à vida, saúde e patrimônio das pessoas atingidas. Contribuindo para minimizar esses impactos, os sistemas de drenagem urbana sustentáveis (SUDS) são tecnologias que dispensam as tradicionais galerias pluviais e têm como premissa a sustentabilidade. Constatou-se que o Plano Diretor de Frutal/MG e sua proposta de atualização não possuem referência a sistemas de drenagem sustentáveis. Diante disso, o trabalho estuda a aplicação dos SUDS para solução dos problemas urbanísticos e ambientais decorrentes da ausência ou insuficiência dos equipamentos de drenagem urbana desse Município, apresentando proposta de incorporação de tais tecnologias ao seu Plano Diretor. Para tanto, adota como procedimento metodológico o estudo de caso, a revisão de literatura e o mapeamento de patentes. Como resultados, o trabalho identifica os pontos críticos de inundações e processos erosivos no Município de Frutal/MG, expõe uma série de diretrizes sobre os SUDS que poderão nortear eventuais mudanças no Plano Diretor e futuros projetos legislativos e técnicos e fornece exemplos de tecnologias patenteadas que poderão ser referência para posteriores ações de drenagem urbana na área em estudo.

Palavras-chave: Águas pluviais. Saneamento. Sustentabilidade. SUDS. Recursos hídricos.

Abstract

Associated with climate change, the disorderly urban occupation leads to the emergence of erosive processes and floods, floods or flooding, in detriment to the environmental balance and to the lives, health and property of the affected people. Contributing to less of these impacts, sustainable urban drainage systems (SUDS) are technologies that dispense the traditional storm sewers and are premised on sustainability. It was found that the Frutal (MG, Brazil) Master Plan and its updating project do not have references to the SUDS. Therefore, the work studies the application of SUDS to solve urban and environmental problems that occur because of lack or insufficiency of urban drainage equipment in this municipality, to incorporate such technologies into the Master Plan. For that, this study adopts as methodological procedure case study, literature review and the patent mapping. As the obtained results, the work identifies the critical points of floods and erosion processes in the Municipality of Frutal, exposes a series of guidelines on the SUDS that may guide eventual changes in the Master Plan and future legislative and technical projects and provides examples of patented technologies that may be a reference for future urban drainage actions in study area.

Keywords: *Sanitation. Sustainability. SUDS. Rainwater. Water resources.*

Introdução

A intensa urbanização comumente interfere no ciclo hidrológico e provoca problemas ligados ao escoamento e armazenamento de águas pluviais, como alagamentos, inundações, enchentes e processos erosivos diversos (Ferreira et al., 2019; Young & Papini, 2020; Chen et al., 2021). Políticas públicas preventivas ou corretivas desses agravos são estimuladas pela legislação federal brasileira, que elenca o saneamento básico como direito social (Art. 2º, I, do Estatuto da Cidade), preceitua que o manejo e drenagem das águas da chuva integram as atividades essenciais de saneamento (art. 3º, I, "d", do Marco Legal do Saneamento Básico) e determina a obrigatoriedade de instalação de equipamentos mínimos de drenagem urbana em loteamentos, desmembramentos e zonas habitacionais de interesse social (art. 2º, §§ 5º e 6º, da Lei n. 6.766/79) (Brasil, 2011, 2020, 1979).

Os sistemas de drenagem sustentáveis (SUDS) têm sido empregados para solucionar ou reduzir os problemas citados (Poleto, 2011). Consistem em técnicas, medidas e tecnologias de engenharia desenvolvidas de acordo com os princípios da sustentabilidade ambiental (Woods-Ballard et al., 2007), que imitam os processos naturais de absorção da água da chuva ou retardamento da velocidade de escoamento (Woods-Ballard et al., 2007; Wang et al., 2017) e surgem como alternativa às tradicionais obras de galerias e canalizações (Fletcher et al., 2015).

O presente artigo discute a aplicação de tecnologias SUDS no Município de Frutal/MG como forma de solução para os agravos urbanos e ambientais inerentes à ausência ou subdimensionamento dos equipamentos de drenagem urbana existentes, visando apresentar proposta de incorporação de tais tecnologias ao seu Plano Diretor. Apesar de se tratar de trabalho voltado à realidade local, suas discussões e seus resultados podem ser aproveitados para Municípios com características semelhantes.

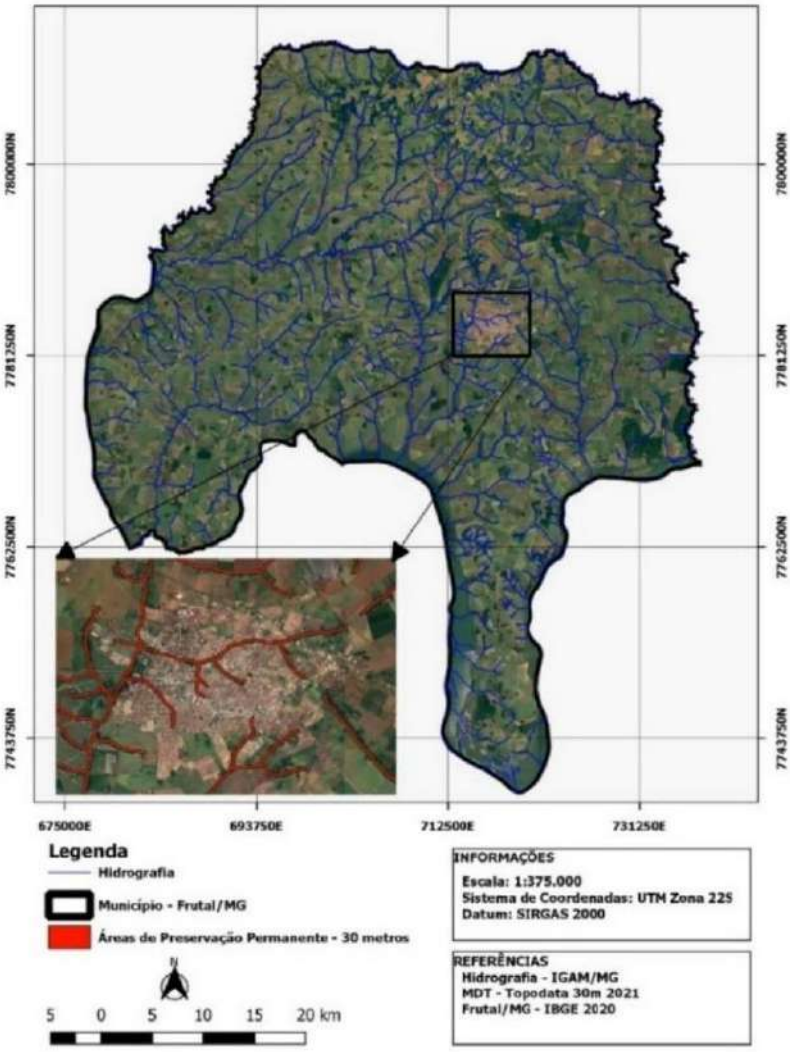
Metodologia

A pesquisa trata de estudo de caso, com enfoque no planejamento urbano do Município de Frutal/MG, com viés exploratório em relação à bibliografia e acervo documental. Desenvolveu-se em três etapas: 1- análise da área urbana e pesquisa documental junto ao Ministério Público (MP) e Corpo de Bombeiros Militar (CBM), buscando-se pontos de inundações, enchentes, alagamentos e processos erosivos. Tais dados foram associados a informações disponibilizadas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais para criação de mapas de localização hidrográfica, de suscetibilidade a inundações e de fenômenos de vulnerabilidade ambiental, com o objetivo de identificar os pontos críticos de drenagem pluvial; 2- revisão sistemática de artigos científicos nas bases Science Direct e Scopus, utilizando-se as palavras-chave "*sustainable drainage*" e "*sustainable urban drainage*" ("drenagem sustentável" e "drenagem urbana sustentável", em português) no título, delimitados aos últimos dez anos (2011-2021). Os 20 primeiros artigos de cada um dos bancos de dados, classificados segundo a métrica CiteScore, foram objeto de análise para exploração das barreiras existentes à substituição do modelo tradicional de drenagem por SUDS; 3 - realizou-se prospecção de patentes de invenções relacionados ao modelo de drenagem em estudo, por meio da plataforma Orbit Intelligence, mediante utilização do seguinte *script*: "*((green roofs OR permeable pavement OR filter trench OR bioretention area OR soakaway OR infiltration trench OR infiltration basin OR rain garden OR detention basin OR retention pond OR wetland OR (sustainable and drainage))/ti and (SUDS OR wsud OR lid OR sponge city OR sponge cities OR sqid OR compensatory techniques OR CT OR source control OR LOD or LAR or sustainable drainage system)/TI/AB)*". Os resultados foram delimitados aos documentos ativos, visando identificar tecnologias promissoras no âmbito da drenagem urbana sustentável, com base em análise que levou em conta critérios de performance hidráulica, resiliência e redução de custos.

Características da área estudada

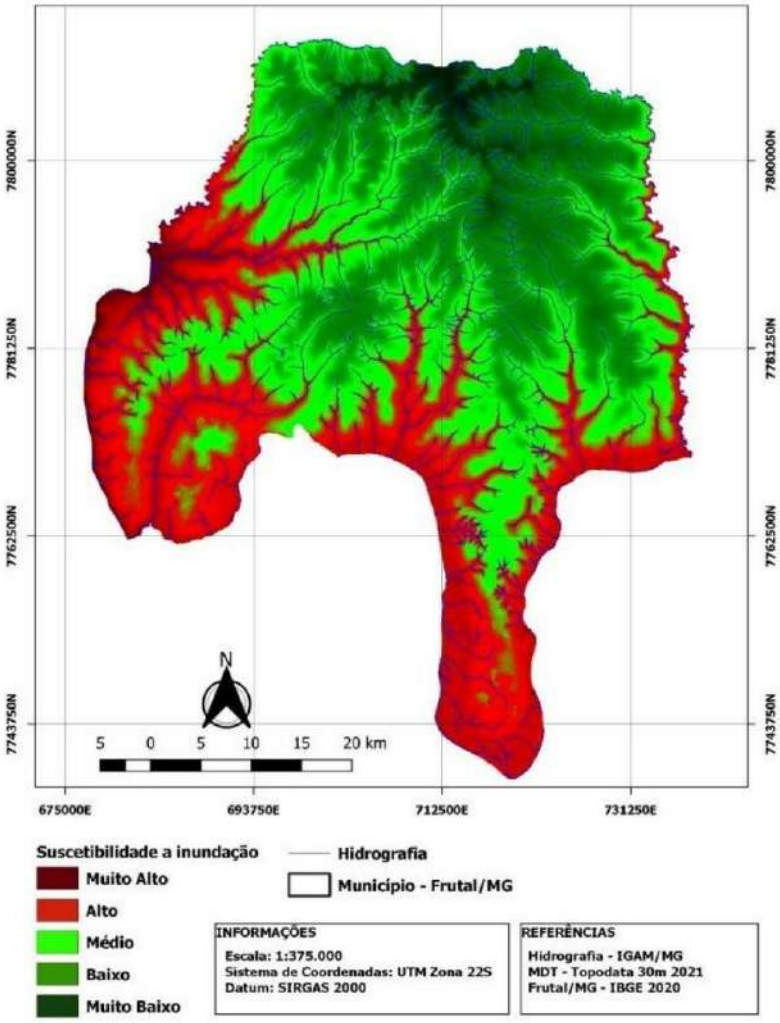
Frutal/MG se situa na mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, sob influência dos biomas Cerrado e Mata Atlântica. Possui área de 2.426,965 km², localiza-se perto da confluência dos rios Grande e Paranaíba (Figura 1), tendo várias áreas topograficamente suscetíveis a inundações nas adjacências do Rio Grande (IGAM, 2020) (Figura 2), com maior porção da área urbana na sub-bacia do Ribeirão Frutal (Figura 3).

Figura 1 – Mapa de localização hidrográfica do Município de Frutal/MG.



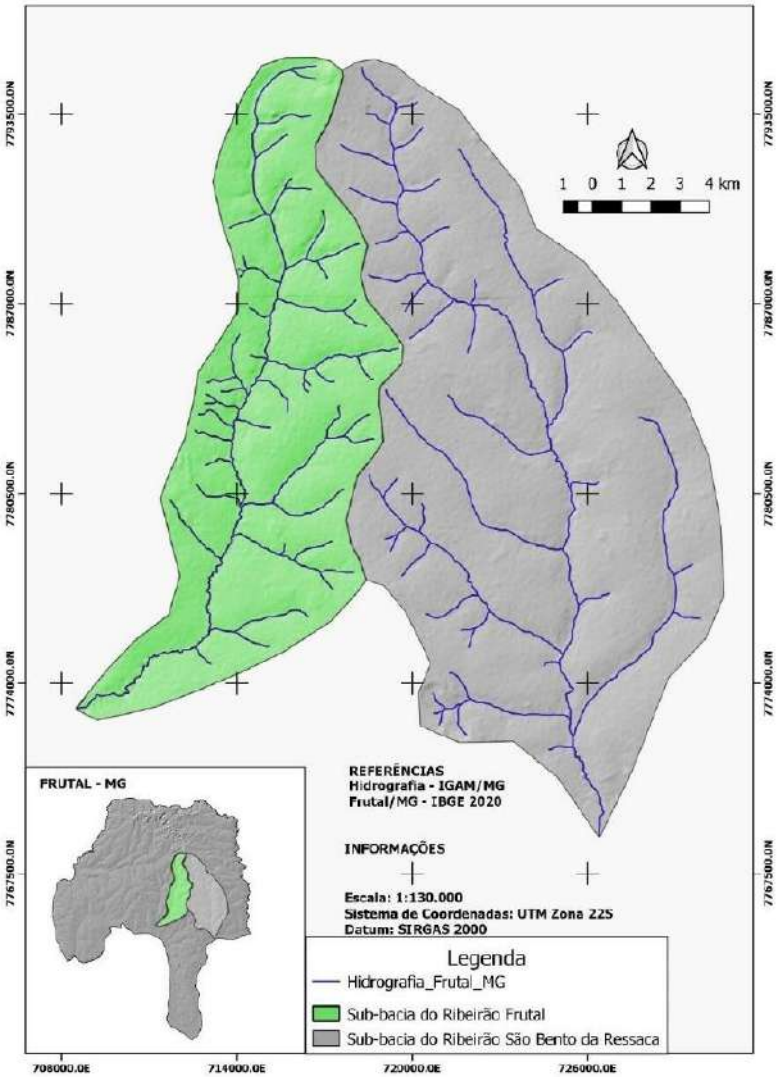
Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG (2020), INPE (2022) e IBGE (2022).

Figura 2 – Mapa de suscetibilidade a inundações no Município de Frutal/MG.



Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG (2020), INPE (2022) e IBGE (2022).

Figura 3 – Mapa das sub-bacias do Ribeirão Frutal e do Ribeirão São Bento da Ressaca.



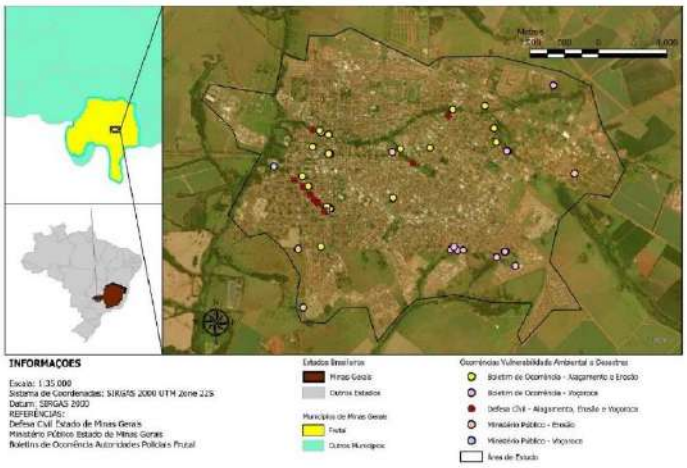
Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG (2020), INPE (2022) e IBGE (2022).

A população de Frutal/MG é estimada em 53.468 pessoas (IBGE, 2022). Possui clima tropical, com períodos de chuvas bem definidos e precipitações concentradas entre os meses de outubro e março (Brito et al., 2017). Seu relevo é plano ou suavemente ondulado, com altitudes entre 500 e 600 metros. Predominam latossolos vermelho-amarelo e vermelho, de textura arenosa ou areno-argilosa (Pinheiro et al., 2018)

Pontos críticos de inundação e erosão na área estudada

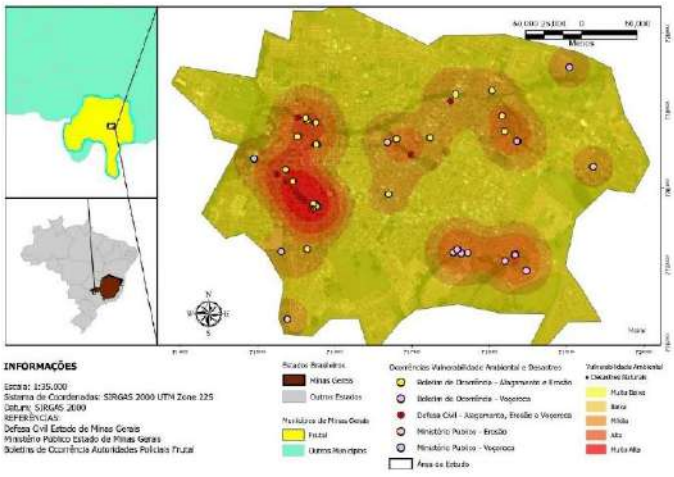
Justifica-se a necessidade de se averiguar quais são os principais focos de problemas relacionados à inefetividade ou inexistência dos sistemas de drenagem tradicionais na área em estudo como primeiro passo para escolha de tecnologias sustentáveis de drenagem urbana. Assim, coletou-se 192 documentos no MP e CBM, identificando-se pontos de inundação e erosão (Figuras 4 e 5).

Figura 4 – Mapa de localização de fenômenos de vulnerabilidade ambiental: Inundações/alagamentos/enchentes e processos erosivos.



Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG (2020), INPE (2022), IBGE (2022), MP e CBM (2022).

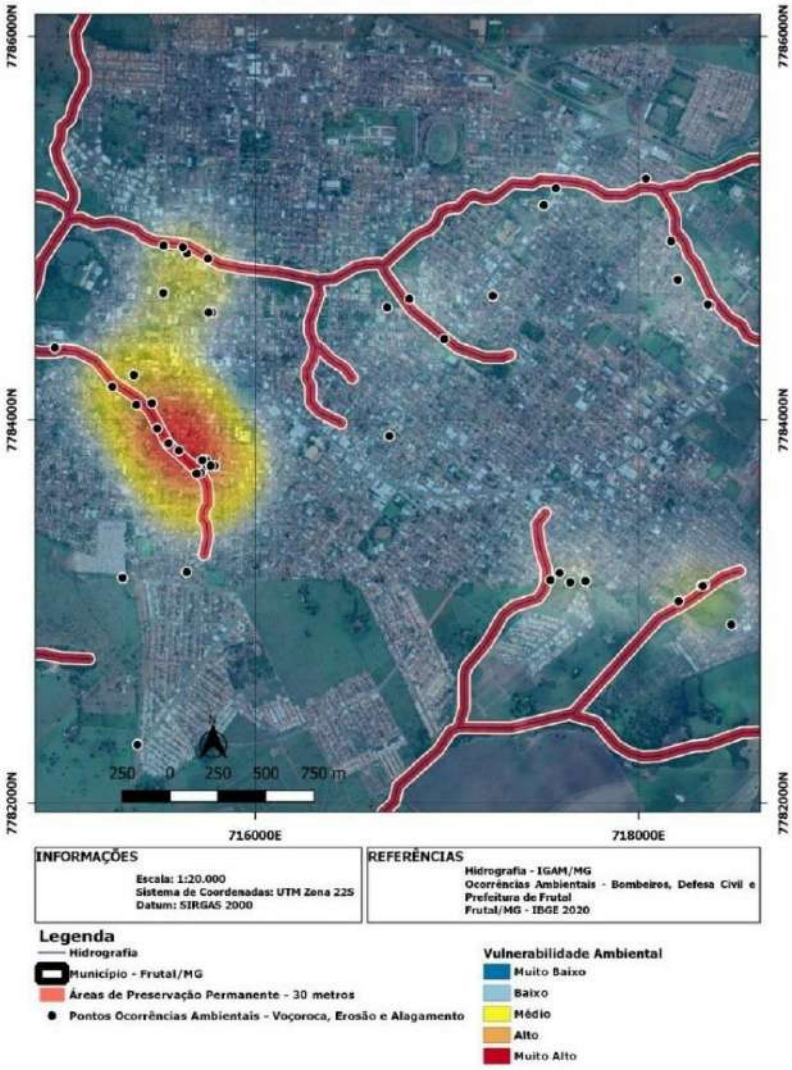
Figura 5 – Mapa de densidade de Kernel de fenômenos de vulnerabilidade ambiental: Inundações/alagamentos/enchentes e processos erosivos.



Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG (2020), INPE (2022), IBGE (2022), MP e CBM (2022).

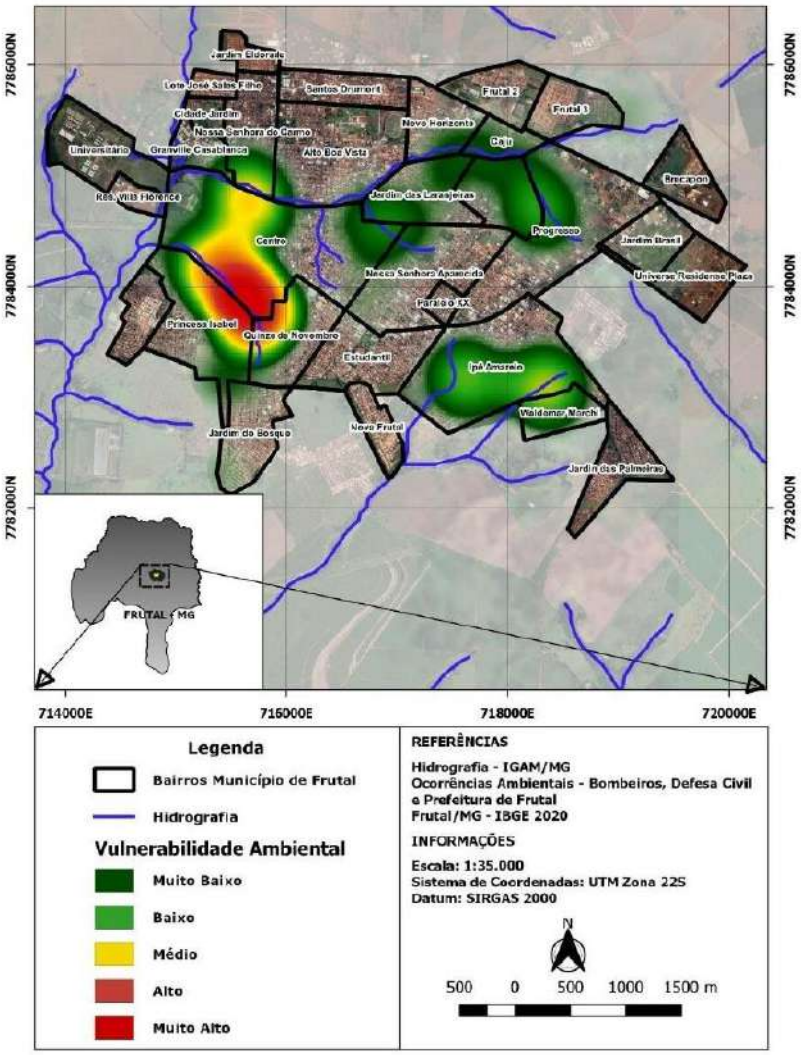
Verificaram-se vários focos de erosão/voçoroca nas margens do Córrego Vertente Grande (região sudeste), onde situam-se os conjuntos habitacionais Ipê Amarelo e Waldemar Marchi. As áreas suscetíveis a alagamentos/inundações/enchentes localizam-se na região oeste, sede de construções mais antigas em área de fundo de vale. No centro do mapa, verificou-se concentração expressiva de inundações/alagamentos/enchentes nos Bairros Jardim das Laranjeiras, Progresso, Novo Horizonte e Caju (Figuras 6 e 7).

Figura 6 – Mapa de Kernel com pontos de vulnerabilidade ambiental e com destaque dos cursos hídricos da área urbana.



Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG (2020), INPE (2022), IBGE (2022), MP e CBM (2022).

Figura 7 – Mapa de Kernel com pontos de vulnerabilidade ambiental, destaque dos cursos hídricos da área urbana e dos bairros



Fonte: Autoria própria, com dados do IGAM/MG (2020), INPE (2022), IBGE (2022), MP e CBM (2022).

Sistemas de Drenagem Sustentáveis (SUDS): estado da arte

Os SUDS constituem medidas conservacionistas de drenagem, cuja função é manter as águas pluviais nos locais de origem, por meio do escoamento natural e infiltração da água no solo (Canholi, 2015). Priorizam soluções baseadas na natureza (*Nature Based Solutions* - NBS), que mimetizam

processos naturais de drenagem (Griffiths, 2017). Seus materiais, métodos, técnicas, processos e design enfatizam a adoção do conceito de infraestrutura verde (*Green Infrastructure* - GI), para manutenção ou restauração do ciclo natural das águas (Griffiths, 2017). Todavia, diferenciam-se de outros modelos teóricos semelhantes por conta de benefícios que vão além do manejo das águas, como o controle de poluentes e a criação de amenidades e de biodiversidade, apresentando uma abordagem integral da drenagem (Woods-Ballard et al., 2015).

Diversas barreiras à adoção dos SUDS são referidas na literatura, porém em estudos esparsos. A maior parte das barreiras referem-se às incertezas sobre aspectos técnicos (inclusive custos) e às dificuldades políticas para substituição da drenagem cinza (convencional) por verde. Um dos principais questionamentos é a necessidade de quantificação da resiliência de diferentes SUDS a inundações (Birgani & Yazdandoost, 2018), preocupação que figurou como a mais decisiva em diversos modelos de escolha (Wang et al. 2017). A literatura aponta habilidade dos SUDS de reduzir o risco de inundações, ou seja, de prover resiliência aos sistemas de drenagem (Casal-Campos et al., 2018; Loc et al., 2017; Perales-Momparler et al., 2017; Wang & Wang, 2018; Zubelzu et al., 2019; Richel et al., 2020; Bakhshipour et al., 2021). Estudos também destacam o potencial dos SUDS em impedir o aporte de águas pluviais nos sistemas convencionais de captação, obtendo boa performance no controle de transbordamento de esgoto doméstico, com consequente proteção dos ecossistemas aquáticos (Perales-Momparler et al., 2017; Richel et al., 2020).

Tais resultados não implicam que SUDS sejam mais eficientes do que sistemas tradicionais de drenagem no aspecto quantitativo, mas sim que tiveram resultados positivos em ambiente prático ou laboratorial. Yang & Zhang (2021), por meio de modelos computacionais de testagem de cenários, demonstraram que a infraestrutura cinza tende a ser mais eficiente para mitigação de enchentes, ao passo que a infraestrutura verde possui melhor performance nos indicadores de qualidade ambiental. A combinação de ambas apresenta os melhores resultados em termos de performance hidráulica e proteção ambiental (Seyedashraf et al., 2021).

Os sistemas tradicionais de canalização provocam maiores desequilíbrios econômicos, sociais e ambientais, embora apresentem bons resultados de performance de drenagem pluvial (Casal-Campos et al., 2018). Logo, a substituição da infraestrutura cinza pela verde, embora recomendável do ponto de vista da sustentabilidade, pode ser postergada se embasada somente em aspectos volumétricos de macro e microdrenagem.

Os preços de instalação ou manutenção dos equipamentos podem ser maiores, porque muitos sistemas utilizam novas tecnologias ou materiais ou são desenhados para proporcionar melhoria da qualidade hídrica e outros benefícios socioambientais abordados. Porém, a depender das características do projeto, SUDS podem ser economicamente viáveis. Faixas gramadas, jardins de chuva, bacias de detenção ou de retenção possuem bom custo-benefício, ao contrário de paredes verdes, que não se justificam por uma análise estrita de custo-benefício (Mukhtarov et al., 2019; Johnson & Geisendorf, 2020). Em regra, SUDS tendem a ser mais acessíveis para locais planos, onde as restrições de *layout* são menores (Mukhtarov et al., 2019). Também possuem bom custo-benefício quando destinados a áreas mais extensas, com pelo menos 210 habitações (Department for Environment Food & Rural Affairs, 2013).

Sistemas convencionais de drenagem transferem custos socioeconômicos para as áreas a jusante, ficando mais suscetíveis aos problemas inerentes ao seu mau funcionamento ou a chuvas muito intensas. Esse fator precisa ser sopesado no processo de estudo do custo-benefício da infraestrutura verde, já que custos iniciais mais elevados podem justificar a proteção de áreas com maior densidade populacional, concentração de serviços públicos ou áreas comerciais. A infraestrutura verde tende a ser mais flexível (Bakhshipour et al., 2021), adaptando-se a diferentes cenários climáticos.

As incertezas quanto aos custos podem ser contornadas ou mitigadas por meio da utilização de metodologias de decisão multicritério (MCDM) (Tabela 1).

Tabela 1 – Modelos de apoio à decisão de escolha dos SUDS citados na literatura examinada

Referência	Metodologia	Indicadores
Yang & Zhang (2021)	MDCM e Análise Hierárquica de Processos (AHP)	• Desempenho hidráulico • Capacidade de controle de poluição • Custos do ciclo de vida

		• Avaliação de danos ambientais • Recreação • Benefícios socioeconômicos (recreação e estética urbana) • Benefícios ecológicos • Consistência política
Wang et al. (2017)	MDCM, Método Entropia e Técnica para Preferência de Ordem por Similaridade à Solução Ideal (TOPSIS)	• Resilência • Desempenho hidráulico • Controle de poluentes • Uso de água da chuva • Análise energética • Controle de emissão de gases de efeito estufa • Custos
Wang et al. (2019)	Programação Inteira 0-1, Amostragem Aleatória, Esquema de Filtros e Análise Custo-Benefício	• Custos • Desempenho hidráulico
Benzerra et al. (2012)	MDCM e Abordagens Top-Down e Bottom-Up a depender dos indicadores	• Desempenho hidráulico
Seyedashraf et al. (2021)	Otimização Multiobjetivo (MOO) e Eficiência de Pareto	• Desempenho hidráulico • Capacidade de controle de poluição • Custos
Birgani & Yazdandoost (2018)	MDCM, Método Entropia e TOPSIS	• Resilência • Desempenho hidráulico • Vantagens Técnicas (facilidade de instalação/manutenção, duração etc) • Custos • Recreação • Benefícios socioeconômicos (recreação e estética urbana) • Benefícios ecológicos
Bakhshipour et al. (2021)	MOO, MDCM, Eficiência de Pareto, Método Entropia e TOPSIS	• Resilência • Desempenho hidráulico • Custos do ciclo de vida
Loc et al. (2017)	MDCM	• Resilência • Capacidade de controle de poluição • Benefícios socioeconômicos (estética urbana)

Fonte: Autoria própria, com embasamento nos autores referenciados na Tabela (2022).

Os modelos citados na Tabela 1 não exaurem os aspectos da escolha, aplicação e gestão dos SUDS, e carecem de validação em ambiente real. Todavia, nos respectivos estudos de casos, mostraram-se eficientes para seleção dos SUDS mais adequados às áreas examinadas. Destaca-se também que os *frameworks* indicados foram testados em simulações computacionais que levaram em conta áreas que variavam de 2 km² (Wang et al., 2019) a 62 km² (Benzerra et al., 2012), medida essa que corresponde a cerca de três vezes a área urbana do Município de Frutal/MG. Um ponto em comum entre os modelos é a fase preparatória de levantamento de informações sobre o local, com enfoque nas condições climáticas e em eventos extremos, topografia, hidrologia, geologia, biota e morfologia e ocupação urbanas, além da legislação aplicável. Outro é a correção das alterações causadas no ciclo hidrológico do local, em busca de seu retorno ao estado anterior às alterações antrópicas.

Um dos principais aspectos qualitativos atribuídos aos sistemas SUDS é a promoção da biodiversidade, pois as instalações podem atuar como criadoras de habitats naturais (O'Brien, 2015; Perales-Momparler et al., 2017; Momberg et al., 2018).

A eficácia dos SUDS para neutralização de poluentes presentes nas águas pluviais foi corroborada por variados trabalhos (Charlesworth et al., 2012, 2016; Tedoldi et al., 2016; Seyedashraf et al., 2021; Moruzzi et al., 2020), destacando-se a capacidade de valas e jardins de chuva na remoção de sólidos suspensos, cobre, chumbo e zinco. Porém, nem todas as técnicas possuem tal característica e ainda existem incertezas inerentes à eficiência. Nesse âmbito, aponta-se estudo que, com base nos resultados apresentados pelo projeto-piloto Acquaval EU, em Valência, Espanha, revelou ser incerta a capacidade de telhados verdes na melhoria da qualidade da água (Perales-Momparler et al., 2017). Pavimentos permeáveis, a seu turno, apresentaram boa capacidade de remoção de poluentes e verificou-se que

após sua desinstalação poderiam ser reutilizados em outras obras, na medida em que concentrações de metais tóxicos e substâncias carcinogênicas presentes nos blocos, agregados e nas fibras geotêxteis mantiveram-se abaixo dos limites toleráveis estabelecidos pelo órgão regulador ambiental (Mbanaso et al., 2019, 2020).

Tradicionalmente, o design de sistemas de drenagem urbana dá pouca ou nenhuma relevância aos aspectos estéticos. Os SUDS, por outro lado, enfatizam a necessidade de criação de amenidades mediante uso de vegetação e de técnicas de paisagismo (Woods-Ballard et al., 2015). Mak et al. (2017) demonstraram que o processo de escolha dos SUDS pelo público leigo foi apoiado por conta das características paisagísticas dos equipamentos e pela criação de espaços de lazer. Essa é importante barreira que precisa ser superada pelos principais atores envolvidos na formulação de políticas públicas, pois a percepção comunitária sobre SUDS nos locais em que foram implementados está fortemente associada a tais benefícios (Sañudo-Fontaneda & Robina-Ramírez, 2019). O'Donnell et al. (2020) investigaram que a percepção pública sobre os SUDS é fundamental para enfrentar os entraves à sua implementação e avaliaram que a utilização de SUDS com plantas mais altas, normalmente empregadas em bacias de detenção ou retenção, pode ser desvantajosa, pois são avaliadas negativamente pelos moradores, que as associam a ambientes descuidados e inseguros. Williams et al. (2019) colocaram em evidência constantes reclamações dos moradores próximos a SUDS acerca do acúmulo de lixo e da proliferação de roedores e mosquitos, especialmente em bacias de detenção e retenção.

A superação dos entraves político-institucionais é mais complexa. Mesmo no Reino Unido, onde os SUDS estão sendo implementados há quase duas décadas, há registros de impedimentos políticos, administrativos e legais para sua disseminação, verificando-se que projetos SUDS geralmente têm pequena escala, comumente a nível de bairros (Gimenez-Maranges et al., 2020, 2021). Dentre as causas investigadas estão: (i) ineficácia de políticas não compulsórias (Ellis & Lundy, 2016; Vilcan & Potter, 2020; Gimenez-Maranges et al., 2020, 2021); (ii) falta de empenho do poder público para estabelecimento de leis claras e políticas consistentes (Ellis & Lundy, 2016); (iii) ausência de políticas públicas que ofereçam incentivos econômicos aos empreendedores e usuários (Mukhtarov et al., 2019; Pappalardo & La Rosa, 2020); (iv) ausência de políticas híbridas de saneamento urbano, que vão além dos aspectos técnicos para englobarem outras vantagens socioeconômicas (Pappalardo & La Rosa, 2020); (v) desconhecimento dos SUDS pela população (Mukhtarov et al., 2019). As soluções apontadas compreendem a necessidade de instrumentos regulatórios inovadores, incentivos de mercado e políticas de informação e educação acerca dos SUDS (Pappalardo & La Rosa, 2020). Uma das políticas públicas de natureza compulsória citadas foi a revogação do direito automático de se conectar aos sistemas de drenagem tradicionais já existentes, criando exigências para que novos empreendimentos imobiliários formulem designs sustentáveis ou justifiquem de forma técnica a necessidade de utilização de infraestrutura cinza (Mukhtarov et al., 2019). Foram também indicados incentivos econômicos para tais empreendimentos (Mukhtarov et al., 2019; Pappalardo & La Rosa, 2020), porém sem especificações sobre a natureza (subsídios, benefícios tributários, etc) ou extensão dessas políticas. Por fim, fez-se menção ao patrocínio estatal a campanhas publicitárias para conscientização da população acerca dos benefícios dos SUDS (Mukhtarov et al., 2019).

O desequilíbrio entre os custos e ganhos sociais com a adoção dos SUDS também apresentou-se como entrave. Sistemas de drenagem tradicionais são propícios ao estabelecimento de injustiças ambientais pois apenas transferem o problema de escoamento e drenagem hidráulica para áreas a jusante (La Rosa & Pappalardo, 2020). Todavia, mesmo com a adoção de SUDS, é possível que injustiças ambientais sejam criadas ou intensificadas, pois seus custos podem ser socializados sem que haja contrapartida dos benefícios de performance e de amenidades entre todos os pagantes.

Prospecção tecnológica por meio da busca de patentes

A busca patentária apresentou 161 famílias de patentes, 139 delas ativas (pendentes de análise ou concedidas) Após minuciosa análise individual, foram descartadas 65 por falta de ligação com a

pesquisa ou por não fazerem referência ao estado da técnica. As 74 restantes foram examinadas para procura de tecnologias promissoras de drenagem urbana sustentável.

A primeira constatação foi a de que o desenvolvimento de pavimentos permeáveis representou a maioria dos esforços inventivos no setor, correspondendo a 59 dos 74 documentos, o que se suspeita ser consequência direta das possibilidades mais concretas de inovação inerentes ao desenvolvimento de materiais, além da apropriação mais eficiente desses inventos e subsequente fiscalização. *Wetlands* foram o segundo tipo de equipamento com maior número de invenções (11), seguido de jardins de chuva (3), barris de chuva (2) e lagoas de retenção (1).

Apesar de as bacias de retenção e detenção serem os equipamentos SUDS mais citados na literatura especializada, foram objeto de apenas um documento patentário. Especula-se que isso seja consequência da saturação da tecnologia, há anos consolidada na engenharia civil. Porém, determinados avanços no desenvolvimento de *wetlands*, a princípio, poderiam ser aproveitados em lagos, bacias de detenção e de retenção, pois todos têm estruturas e funções semelhantes.

Foram encontradas 19 invenções expressivas em termos de eficiência hidráulica, resiliência e redução de custos, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Documentos de patentes examinados que apresentaram vantagens em termos de performance hidráulica, resiliência e redução de custos

Referência	Tipo de Tecnologia	Descrição	Vantagens
Qian et al. (2017) (CN107794822)	Pavimentos permeáveis	Modelo de utilidade que compreende arranjo prático de drenagem pluvial baseado em pavimentos permeáveis. Dentre as características que o destacam de outros modelos estão o uso de diferentes índices de vazio dos agregados e diferentes espessuras das camadas.	Suporta maior volume de drenagem e possibilita armazenamento de água.
Tang et al. (2016) (CN106242383)	Pavimentos permeáveis	Tijolos permeáveis com camada superficial de fundação de areia e uma camada estrutural de concreto. A composição da camada superficial contém diferentes partes de areia revista com resina de polietersulfona, fibra de vidro, resina epóxi e lignina alcalina. A camada estrutural de concreto compreende diferentes partes de cimento, cinzas volantes, areia quartzo, pó de pedra, dextrina, fibra de polipropileno, agente redutor de água e partes de água.	Os tijolos suportam maiores temperaturas no processo de fabricação e são mais resistentes, porém sem perder as características de infiltração de água. Os materiais empregados na confecção das camadas são acessíveis e seus custos são baixos.
Wang & Yao (2019) (CN110396233)	Pavimentos permeáveis	Tijolos permeáveis e respectivo método de preparação. Os tijolos são parcialmente feitos de pneus inservíveis, ou seja, matéria prima reciclável. Além disso, são compostos de camadas de poliureia e poliuretano, ácido carboxílico e um plastificante.	Os tijolos utilizam pneus descartados como matéria prima, o que implica redução de custos. Devido à sua composição, são resistentes e possuem alta taxa de permeabilidade.
Li (2019) (CN209602919)	Pavimentos permeáveis	Modelo de utilidade que compreende arranjo prático de drenagem pluvial baseado em pavimentos permeáveis. Vantagens: utilização de placas com cavidades e o emprego de duas camadas de filtragem, feitas com areia grossa natural, agregado reciclado ou geotêxtil.	O arranjo das placas de filtragem e a presença de diversas cavidades aumenta o volume de água drenada. A dupla camada de filtragem também promove maior retenção de poluentes. Os materiais empregados nas camadas de filtragem são de baixo custo. A estrutura

				arquitetônica do sistema evita o deslocamento das placas de concreto do pavimento, reduzindo custos de manutenção.
Wang et al. (CN108484120)	(2018a)	Pavimentos permeáveis	Tijolos permeáveis e respectivo método de preparação. Tijolos são constituídos por partes de rejeitos de arenito, pó de feldspato, argila e serragem.	Tijolos são resistentes e apresentam alto índice de permeabilidade. Os materiais empregados na confecção das camadas são acessíveis ou provém de materiais recicláveis, com potencial redução de custos de fabricação.
Shu et al. (CN111441216)	(2020)	Pavimentos permeáveis	Sistema de pavimentação permeável composto por unidades de armazenamento e drenagem de água, com geogrelhas entre tais unidades. Camadas impermeáveis são dispostas entre a unidade de armazenamento de água e o leito da estrada. A unidade de armazenamento de água possui coluna de drenagem em formato hexagonal. Pavimentos são constituídos por camadas de concreto e resina epóxi. A unidade de drenagem é composta por um tanque de armazenamento de água e um sistema de bombeamento.	Tijolos empregados no pavimento possuem alta durabilidade e permeabilidade. O sistema possibilita o aproveitamento de parte da água infiltrada, que fica retida na unidade de armazenamento. Os custos com o sistema de bombeamento da água podem ser compensados com os custos para obtenção de água potável, que dependem das características de cada local.
Liu et al. (CN111648189)	(2020)	Pavimentos permeáveis	Sistema de pavimentos permeáveis constituído por uma camada de tijolos permeáveis, uma camada no subsolo de concreto permeável e uma estrutura temporária de armazenamento de água em formato de caixa.	As estruturas de armazenamento podem ser facilmente construídas e substituídas. Não é necessária escavação profunda do terreno, o que reduz os custos da obra.
Zhang et al. (CN111118998)	(2020)	Pavimentos permeáveis	Tijolos permeáveis e respectivo método de preparação. Os tijolos são parcialmente constituídos por rejeitos (ganga) de carvão, argila, água e perlita expandida.	Os tijolos utilizam rejeitos da mineração de carvão (ganga) como principal matéria prima, o que implica redução de custos. Tais rejeitos são de difícil tratamento ou aproveitamento para outros fins, de modo que sua utilização na confecção de pavimentos dá destinação adequada ao material. Os rejeitos de carvão conferem resistência aos pavimentos e permitem a adsorção de efluentes, com melhorias na qualidade da água drenada.
Ding (CN210315113)	(2019)	Pavimentos permeáveis	Modelo de utilidade que compreende arranjo prático de drenagem pluvial baseado em pavimentos permeáveis. A principal característica distintiva do modelo é a instalação de uma entrada de água da chuva na superfície da via diretamente conectada com o subleito do pavimento.	O modelo permite escoamento mais rápido da via, evitando a saturação dos pavimentos. Além disso, o modelo utiliza uma camada de pavimentos não permeáveis, feita de tijolos comuns, o que o torna mais acessível do que outros modelos similares, porém sem perda da eficiência de drenagem.
Jia et al. CN110981286	(2019)	Pavimentos permeáveis	Pavimento feito com mistura asfáltica porosa, constituída por	O pavimento evita problemas de descoloração e possui vida

			asfalto, agregados de diferentes tamanhos, partículas de fibra de lignina e óxido de ferro (hematita).	útil mais longa do que as técnicas tradicionais de produção de asfalto permeável. Os agregados em sua composição aumentam a resistência aos danos da água, propiciam melhor absorção da água e também possuem melhor efeito estético devido à aderência dos aditivos para coloração do asfalto.
Yuan et al. (CN210002201)	(2019)	Pavimentos permeáveis	Modelo de utilidade que compreende arranjo prático de drenagem pluvial baseado em pavimentos permeáveis e valas de drenagem. A principal característica distintiva do modelo é a integração entre os pavimentos permeáveis e as valas laterais de drenagem, que possuem furos para drenagem da água.	O modelo utiliza peças pré-fabricadas de concreto resinoso, mais fáceis de instalar, o que reduz custos. A combinação do pavimento permeável e das valas laterais permite que a água se infiltre mais rapidamente no solo e impede seu acúmulo no leito da via, propiciando, assim, melhor performance de drenagem e resiliência. As valas laterais de drenagem possuem uma camada de base de macadame de cimento, que apresenta alta resistência.
Zhou et al. (CN209759936)	(2019)	Pavimentos permeáveis	Modelo de utilidade que compreende arranjo prático de drenagem pluvial baseado em pavimentos permeáveis. Distingue-se pelo uso de resíduos de construção civil triturados nas estruturas de base inferior e superior, além do emprego de grade de fibra de vidro e da combinação de cascalho e geotêxtil para filtragem.	O emprego de resíduos de construção civil reduz o custo dos agregados e, portanto, do sistema de drenagem como um todo. A utilização de orifícios na camada de base superior compensa a menor porosidade dos agregados reciclados. O sistema de vala lateral e o filtro trazem alta eficiência de drenagem e de remoção de poluentes
Ouyang (CN213446717)	(2020)	*Wetlands*	Sistema de purificação da água de *wetlands* constituído por quatro tanques de tratamento, dispostos de forma escalonada, a diferentes alturas. Os tanques contam com ranhuras e plantas aquáticas flutuantes e submersas que auxiliam na filtragem dos poluentes.	O sistema apresenta custos de manutenção mais baixos do que outras formas de filtragem de *wetlands*, garantindo também boa purificação da água.
Wang et al. (CN112158958)	(2020)	*Wetlands*	Modelo de construção de *wetlands* que compreende a utilização de muros de contenção (gabiões) de diferentes profundidades, canalização para entrada e saída de água, zona de disposição de lodo e uso de plantas submersas e flutuantes para filtragem dos poluentes.	O modelo não utiliza biorreatores com membranas (MBR), o que reduz custos. A presença de uma área de disposição de lodo permite a precipitação da maior parte dos materiais suspensos, o que evita entupimentos dos canos entre os tanques e, assim, reduz os custos de manutenção. Com a redução dos entupimentos dos sistemas de canalização, os tanques podem operar em capacidade máxima, com maior volume de armazenamento de água e

			ganho de performance de drenagem. Determinados gabiões são feitos com tijolos porosos e zeólita mineral, o que permite melhor remoção de poluentes da água.
Wang et al. (2018b) CN208933184	*Wetlands*	Modelo de construção de *wetlands* que consiste em sistema de pré-tratamento e sistema de purificação de água. O sistema de purificação é escalonado e conectado ao sistema de pré-tratamento através de um sistema de distribuição de água. É composto por três zonas úmidas de subsuperfície com plantas. Cada zona úmida de subsuperfície é composta por camadas de solo, cinza de carvão, zeólita verde e argila.	O modelo permite melhor filtragem de poluentes e subsequente aproveitamento dos recursos hídricos, trazendo benefícios econômicos. O sistema de coleta de água reduz o fluxo hídrico e beneficia a ação de drenagem pluvial.
Zong et al. (2021) (CN112681480)	*Wetlands*	Método de construção de *wetlands* que consiste em um canal de coleta de água, um poço central, com estruturas cilíndricas internas de armazenamento de água, conectadas entre si por diversos orifícios de entrada de água.	A estrutura do *wetland* é mais compacta, o que reduz custos. O poço central e as demais estruturas podem ser fabricadas com materiais pré-moldados, com potencial redução de custos e instalação mais rápida. O formato circular do poço e das estruturas de armazenamento permite distribuição escalonada da carga e torna todo o sistema resiliente a intempéries.
Brian & Neil (2015) (GB2529588)	Barris de Chuva / Jardins de Chuva	Invenção de dispositivo de controle e atenuação do fluxo da água pluvial e subsequente tratamento, que pode ser utilizado tanto em barris de chuva quanto em jardins de chuva. Tratam-se de estruturas em forma de caixa, feitas preferencialmente de plástico, com diversas câmaras internas, dentro das quais se adiciona materiais vegetais (flores, ervas, relva ou arbustos), para filtragem e biodegradação de poluentes, e camada de geotêxtil.	A invenção exerce dupla função de atenuação e controle de fluxo da água da chuva, trazendo maior performance de drenagem. O dispositivo trabalha com o conceito de "SUDS em uma caixa", que concentra todos os elementos necessários para a drenagem sustentável em um único equipamento de fácil instalação. O uso de orifícios nas partições elimina a necessidade de mecanismos alternativos de controle de fluxo, promovendo redução de custos.
Park et al. (2016) (KR10-1674126)	Jardins de Chuva	A invenção consiste em solo específico para jardins de chuva, composto por diferentes partes de fibra de coco, musgo de turfa, solo de granito decomposto (*Masa soil*), vermiculita, carvão ativado, pó de turmalina, hólmio, silicato de sódio, etil trimetilbenzoil fenilfosfinato e rejeitos de mineração.	A composição do solo possui maior porosidade e permite infiltração mais eficiente da água da chuva. Evita também sua compactação.
Gu et al. (2017) (CN106930397)	Lagoas de retenção	A invenção consiste em um método de construção de lagoa de retenção que recebe água do sistema público de drenagem por canalização. A lagoa possui dimensões maiores do que os modelos tradicionais e é construída com diferentes	A invenção permite armazenamento de maior quantidade de água em relação aos modelos tradicionais de lagoas de retenção, o que amplia a performance de drenagem.

	reservatórios, um deles para recepção e controle das águas, o segundo, que conta com sistema de bombeamento, para armazenamento e tratamento. Difere-se de outros tipos de lagoas de retenção porque os diferentes reservatórios permitem o isolamento das águas tratadas ou não tratadas.	Diferentemente de outros sistemas, possibilita o isolamento entre águas não tratadas e tratadas, reduzindo retrabalho e custos associados com a sucessiva contaminação da água. Os custos com o sistema de bombeamento da água podem ser compensados com os custos para obtenção de água potável, que dependem das características de cada local.

Fonte: Autoria própria, com embasamento nos autores referenciados na Tabela (2022).

Deve-se ressaltar que os documentos patentários não apresentaram estimativas precisas acerca dos custos de construção, operação e manutenção das invenções, sendo necessário estudos mais aprofundados para confirmação das vantagens. Conclui-se que expressivos avanços estão sendo obtidos no campo dos pavimentos permeáveis, o que se revela interessante para áreas de risco onde há elevada ocupação do solo e carência de espaço para instalação de equipamentos superficiais de drenagem, como é o caso de Frutal/MG.

As tecnologias objeto dos documentos de patentes CN107794822, CN106242383, CN110396233, CN209602919, CN108484120, CN111441216, CN111648189, CN111118998, CN210315113, CN110981286, CN210002201 e CN209759936 mostraram-se, a princípio, interessantes para a solução dos problemas de inundação enfrentados na área em estudo, como os bairros XV de Novembro, Princesa Isabel, Centro, Ipê Amarelo, Waldemar Marchi, Jardim das Laranjeiras, Progresso, Novo Horizonte e Caju, pois poderiam ser instalados no subsolo de calçadas e vias, sem necessidade de desapropriação de áreas privadas, o que reduziria os custos das obras e minimizaria os impactos socioeconômicos das medidas, ressalvada a necessidade de estudos técnicos para corroborar tais apontamentos. Um dos principais impedimentos para instalação de tais pavimentos em vias trafegáveis é a baixa resistência dos tijolos (Woods-Ballard et al., 2015), problema este em tese minimizado nas invenções de documentos CN106242383, CN110396233, CN108484120, CN111441216 e CN111118998.

Conclusões

Após o exame de documentos públicos da área em estudo, foi realizado levantamento dos pontos críticos de inundações, alagamentos, enchentes e processos erosivos, concluindo-se que áreas dos Bairros Centro, XV de Novembro, Princesa Isabel, Jardim das Laranjeiras, Progresso, Novo Horizonte e Caju, em Frutal/MG, são suscetíveis a inundações, ao passo que áreas situadas entre os Bairros Ipê Amarelo e Waldemar Marchi são suscetíveis a processos erosivos do tipo voçoroca. Com base na revisão sistemática de literatura e na prospecção de patentes sobre SUDS, foram levantadas as seguintes orientações, que poderão subsidiar futuros trabalhos técnicos no âmbito local para redução dos citados problemas relacionados à drenagem urbana:

- Prevalece a conclusão de que apenas políticas públicas centralizadas, mandatórias e consistentes são suficientes para a mudança de paradigma para a drenagem sustentável;
- Dentre as políticas sugeridas, os incentivos econômicos foram as que mais se destacaram, porém, sem aprofundamento suficiente na literatura investigada;
- As invenções descritas nos documentos CN107794822, CN106242383, CN110396233, CN209602919, CN108484120, CN111441216, CN111648189, CN111118998, CN210315113, CN110981286, CN210002201 e CN209759936 podem, em tese, contribuir para a solução ou minimização de inundações e processos erosivos em áreas críticas dos Bairros XV de

Novembro, Princesa Isabel, Centro, Jardim das Laranjeiras, Progresso, Novo Horizonte, Caju, Ipê Amarelo e Waldemar Marchi, destacando-se a possibilidade de utilização dos inventos CN106242383, CN110396233, CN108484120, CN111441216 e CN111118998 na pavimentação das vias de tráfego, ressalvada a necessidade de estudos técnicos mais aprofundados.

Pesquisas futuras poderão explorar a viabilidade das estratégias político-institucionais sugeridas, especialmente para aprofundar os tipos de benefícios econômicos que poderiam ser ofertados pelo Estado para estimular a adoção dos SUDS.

Referências

Bakhshipour, A. E., Dittmer, U., Haghighi, A., & Nowak, W. (2021). Toward sustainable urban drainage infrastructure planning: a combined multiobjective optimization and multicriteria decision-making platform. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(8), 04021049. https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29WR.1943-5452.0001389

Benzerra, A., Cherrared, M., Chocat, B., Cherqui, F., & Zekiouk, T. (2012). Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria. *Journal of environmental management*, 101, 46-53. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.027

Birgani, Y. T., & Yazdandoost, F. (2018). An integrated framework to evaluate resilient-sustainable urban drainage management plans using a combined-adaptive MCDM technique. *Water Resources Management*, 32(8), 2817-2835. https://doi.org/10.1007/s11269-018-1960-2

Brasil (2001, 10 de julho). *Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001*. Estatuto da Cidade. Brasília: Diário Oficial da União.

Brasil (2020, 15 de julho). *Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020*. Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União.

Brasil (1979, 19 de dezembro). *Lei n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979*. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Brasília: Diário Oficial da União.

Brian, D., & Neil, C. (2015). *Sustainable drainage device* (GB2529588). Intellectual Property Office (IPO) (UK). https://www.ipo.gov.uk/p-ipsum/Case/PublicationNumber/GB2529588

Brito, S. L., Pereira, T. T. C., & Martins, I. C. (2017). Sediments of watersheds from Frutal and Bebedouro Streams (Frutal, MG, Brazil) as an indicator of human activities. *Revista Ambiente & Água*, 12, 17-32. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1978

Canholi, A. (2015). *Drenagem urbana e controle de enchentes* (3a ed). São Paulo: Oficina de textos.

Casal-Campos, A., Sadr, S. M., Fu, G., & Butler, D. (2018). Reliable, resilient and sustainable urban drainage systems: an analysis of robustness under deep uncertainty. *Environmental science & technology*, 52(16), 9008-9021. https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.8b01193

Charlesworth, S. M., Nnadi, E., Oyelola, O., Bennett, J., Warwick, F., Jackson, R., & Lawson, D. (2012). Laboratory based experiments to assess the use of green and food based compost to improve water quality in a Sustainable Drainage (SUDS) device such as a swale. *Science of the total environment*, 424, 337-343. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.075

Charlesworth, S. M., Bennett, J., & Waite, A. (2016). An evaluation of the use of individual grass species in retaining polluted soil and dust particulates in vegetated sustainable drainage devices. *Environmental geochemistry and health*, 38(4), 973-985. https://doi.org/10.1007/s10653-016-97917

Chen, S. S., Tsang, D. C., He, M., Sun, Y., Lau, L. S., Leung, R. W., Lau, E. S., Liu, A., & Mohanty, S. (2021). Designing sustainable drainage systems in subtropical cities: Challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124418. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124418

Department for Environment Food & Rural Affairs. (2013). Final Surface Water Drainage Report. Londres: DEFRA. Recuperado em 9 de fevereiro de 2022, de http://observatoriaigua.uib.es/repositori/suds_ciria_3.pdf

Ding, F. (2019). *Permeable pavement* (CN210315113). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN210315113A

Ellis, J. B., & Lundy, L. (2016). Implementing sustainable drainage systems for urban surface water management within the regulatory framework in England and Wales. *Journal of environmental management*, 183, 630-636. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.022

Ferreira, C. S., Kalantari, Z., Salvati, L., Canfora, L., Zambon, I., & Walsh, R. P. (2019). Urban Areas. In P. Pereira (Eds.), *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection. Soil Degradation, Restoration and Management in a Global Change Context* (Vol. 4, pp. 207-249). Massachusetts: Academic Press.

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J., Mikkelsen, P. M., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more–The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban water journal*, 12(7), 525-542. https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314

Gimenez-Maranges, M., Breuste, J., & Hof, A. (2020). Sustainable Drainage Systems for transitioning to sustainable urban flood management in the European Union: A review. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120191.

Gimenez-Maranges, M., Breuste, J., & Hof, A. (2021). A new analytical tool for a more deliberate implementation of Sustainable Drainage Systems. *Sustainable Cities and Society*, 71, 102955. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102955

Griffiths, J., 2017. Sustainable urban drainage. In: Abraham, M. (Ed.), Encyclopedia of Sustainable Technologies. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10203-9

Gu, L., Wu, J., Hua, Z., Zhao, X., Liu, X., & Dai, B. (2017). *Bio-retention pond capable of continuously processing initial rainwater in drought period* (CN106930397). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN106930397A

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2022). *Cidades*. Brasília: IBGE. Recuperado em 9 de fevereiro de 2022, de https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/frutal.html

Instituto Mineiro de Gestão de Águas – IGAM (2020). *Portal dos Comitês*. Belo Horizonte: IGAM. Recuperado em 9 de fevereiro de 2022, de http://comites.igam.mg.gov.br/conheca-a-bacia-gd8

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2022). TOPODATA. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Recuperado em 9 de fevereiro de 2022, de http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php

Jia, J., Wang, X., Xin, X., Zhang, P., & Zhou, X. (2019). *Asphalt mixture for color porous pavement upper layer and preparation method* (CN110981286). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN110981286A

Johnson, D., & Geisendorf, S. (2019). Are neighborhood-level SUDS worth it? An assessment of the economic value of sustainable urban drainage system scenarios using cost-benefit analyses. *Ecological economics*, 158, 194-205. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.024

La Rosa, D., & Pappalardo, V. (2020). Planning for spatial equity-A performance based approach for sustainable urban drainage systems. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101885. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101885

Li, P. (2019). *Double-layer water-filtering permeable pavement under sponge city* (CN209602919). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN209602919A

Liu, M., Liu, J., Hu, S., Zhang, G., & Zhu, X. (2020). *Permeable paving system, device and method for urban water system ecological governance* (CN111648189). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN111648189A

Loc, H. H., Duyen, P. M., Ballatore, T. J., Lan, N. H. M., & Das Gupta, A. (2017). Applicability of sustainable urban drainage systems: an evaluation by multi-criteria analysis. *Environment Systems and Decisions*, 37(3), 332-343. https://doi.org/article/10.1007/s10669-017-9639-4

Mak, C., Scholz, M., & James, P. (2017). Sustainable drainage system site assessment method using urban ecosystem services. *Urban ecosystems*, 20(2), 293-307. https://link.springer.com/article/10.1007/s11252-016-0593-6

Mbanaso, F. U., Charlesworth, S. M., Coupe, S. J., Newman, A. P., & Nnadi, E. O. (2019). Reuse of materials from a Sustainable Drainage System device: Health, Safety and Environment assessment for an end-of-life Pervious Pavement Structure. *Science of the total environment*, 650, 1759-1770. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.224

Mbanaso, F. U., Charlesworth, S. M., Coupe, S. J., Newman, A. P., & Nnadi, E. O. (2020). State of a sustainable drainage system at end-of-life: assessment of potential water pollution by leached metals from recycled pervious pavement materials when used as secondary aggregate. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(5), 4630-4639. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06480-5

Moruzzi, R. B., de Lima, J. L., Abrantes, J. R., & Silveira, A. (2020). Liquid phase nonpoint source pollution dispersion through conveyance structures to sustainable urban drainage system within different land covers. *Ecological Engineering*, 158, 106012. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106012

Mukhtarov, F., Dieperink, C., Driessen, P., & Riley, J. (2019). Collaborative learning for policy innovations: sustainable urban drainage systems in Leicester, England. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 21(3), 288-301. https://doi.org/10.1080/1523908X.2019.1627864

O'Brien, C. D. (2015). Sustainable drainage system (SuDS) ponds in Inverness, UK and the favourable conservation status of amphibians. *Urban ecosystems*, 18(1), 321-331. https://link.springer.com/article/10.1007/s11252-014-0397-5

O'Donnell, E., Maskrey, S., Everett, G., & Lamond, J. (2020). Developing the implicit association test to uncover hidden preferences for sustainable drainage systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society* A, 378(2168), 20190207. https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0207

Ouyang, P. (2020). *Sponge city wetland sewage purification system* (CN213446717). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN213446717

Pappalardo, V., & La Rosa, D. (2020). Policies for sustainable drainage systems in urban contexts within performance-based planning approaches. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101830. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101830

Park, M., Lee, S. W., Kang, H., & Noh, H. Y. (2016). *Vegetation soil for rain garden* (KR10-1674126). Korean Intellectual Property Office - KIPO. https://doi.org/10.8080/1020160058328?urlappend=en

Perales-Momparler, S., Andrés-Doménech, I., Hernández-Crespo, C., Vallés-Morán, F., Martín, M., Escuder-Bueno, I., & Andreu, J. (2017). The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain. *Journal of Cleaner Production*, 163, S113-S124. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.153

Pinheiro, L. S., Caetano, J. S., Pereira, T. T. C. (2018). Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do Ribeirão Frutal (Frutal - MG). In *Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO*. Crato, Ceará: SINAGEO.

Poleto, C. (2011). SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): Uma Contextualização Histórica. *Revista Thema*, 8(1). https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/38

Qian, Z., Yin, S., Xue, Y., & Xia, D. (2017). *Permeable pavement based on sponge city concept* (CN107794822). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN107794822A

Sañudo-Fontaneda, L. A., & Robina-Ramírez, R. (2019). Bringing community perceptions into sustainable urban drainage systems: The experience of Extremadura, Spain. *Land Use Policy*, 89, 104251. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104251

Seyedashraf, O., Bottacin-Busolin, A., & Harou, J. J. (2021). Many-Objective Optimization of Sustainable Drainage Systems in Urban Areas with Different Surface Slopes. *Water Resources Management*, 35(8), 2449-2464. https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-021-02840-4

Shu, X., Shen, L., Liu, R., Cai, L., Zhang, Y., Lin, H., Cui, D., Li, D., & Liu, Z. (2020). *Permeable pavement paving system based on sponge city* (CN111441216). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN111441216A

Tang, W., Shen, L., Jiang, X., Sun, Q., & Kong, A. (2016). *Sponge city ecological water-permeable pavior brick, and preparation method thereof* (CN106242383). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN106242383

Tedoldi, D., Chebbo, G., Pierlot, D., Kovacs, Y., & Gromaire, M. C. (2016). Impact of runoff infiltration on contaminant accumulation and transport in the soil/filter media of Sustainable Urban Drainage Systems: A literature review. *Science of the total environment*, 569, 904-926. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.215

Vilcan, T., & Potter, K. (2020). Delivering sustainable drainage systems through the English planning system: A proposed case of institutional void. *Journal of Flood Risk Management*, 13(1), e12591. https://doi.org/10.1111/jfr3.12591

Wang, M., Sweetapple, C., Fu, G., Farmani, R., & Butler, D. (2017). A framework to support decision making in the selection of sustainable drainage system design alternatives. *Journal of environmental management*, 201, 145-152. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.034

Wang, S., & Wang, H. (2018). Extending the Rational Method for assessing and developing sustainable urban drainage systems. *Water research*, 144, 112-125. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.022

Wang, L., Tian, X., & Wang, X. (2018). *Ceramic water permeable brick for sponge city permeable pavement system and manufacturing technology thereof* (CN108484120). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN108484120

Wang, X., Zhang, B., Li, S., Zhang, F., & Lin, W. (2018). *Stepped riverway waterfront wetland infiltration system based on sponge city* (CN208933184). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN208933184A

Wang, M., Wang, Y., Gao, X., & Sweetapple, C. (2019). Combination and placement of sustainable drainage system devices based on zero-one integer programming and schemes sampling. *Journal of environmental management*, 238, 59-63. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.129

Wang, K., & Yao, A. (2019). *Ecological water permeable pavement brick for sponge city and preparation method of pavement brick* (CN110396233). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN110396233A

Wang, J., Che, S., & Xie, C. (2020). *Artificial rainwater wetland system for sponge city construction and capable of strengthening pollutant removal* (CN112158958). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN112158958A

Williams, J. B., Jose, R., Moobela, C., Hutchinson, D. J., Wise, R., & Gaterell, M. (2019). Residents' perceptions of sustainable drainage systems as highly functional blue green infrastructure. *Landscape and Urban Planning*, 190, 103610. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103610

Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2007). *The SUDS manual* (Vol. 697). Londres, Reino Unido: Ciria.

Woods-Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SUDS manual*. Londres, Reino Unido: Ciria.

Yang, W., & Zhang, J. (2021). Assessing the performance of gray and green strategies for sustainable urban drainage system development: A multi-criteria decision-making analysis. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126191. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126191

Young, A. F., & Papini, J. A. J. (2020). How can scenarios on flood disaster risk support urban response? A case study in Campinas Metropolitan Area (São Paulo, Brazil). *Sustainable Cities and Society*, 61, 102253. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102253

Yuan, L., Chen, M., Zhou, C., Lin, M., Yu, J., & Wang, X. (2019). *Asphalt mixture for color porous pavement upper layer and preparation method* (CN210002201). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN210002201A

Zhang, X., Tian, Y., Liu, J., Guo, S., Li, H., Zhang, Z., & Tan, C. (2020). *Permeable pavement facility and preparation method and application thereof* (CN111118998). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN111118998

Zhou, F., Qiu, Y., & Du, Y. (2019). *Permeable pavement structure based on construction waste crushed materials* (CN209759936). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN209759936A

Zong, Y., Zhang, R., Liu, Q., Li, C., He, W., Xi, D., Zhou, N., Bi, J., & Zhang, P. (2021). *Annular sponge wetland garden and construction method thereof* (CN112681480). China National Intellectual Property Administration – CNIPA. http://epub.cnipa.gov.cn/patent/CN112681480A

Zubelzu, S., Rodríguez-Sinobas, L., Andrés-Domenech, I., Castillo-Rodríguez, J. T., & Perales-Momparler, S. (2019). Design of water reuse storage facilities in Sustainable Urban Drainage Systems from a volumetric water balance perspective. *Science of the total environment*, 663, 133-143. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.342

APÊNDICE B

Minuta de Projeto de Lei – Emenda ao Projeto de Lei Complementar n. 108/2018 de Frutal/MG, que atualiza o Plano Diretor de Frutal/MG.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM PROPRIEDADE INTELECTUAL E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA PARA A INOVAÇÃO

MINUTA DE PROJETO DE LEI

INCORPORAÇÃO DE NORMAS SOBRE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL NO PROJETO DE LEI COMPLEMENTAR N. 108/2018, DO MUNICÍPIO DE FRUTAL/MG, QUE ATUALIZA O PLANO DIRETOR

OSVALDO DE FREITAS FOGATTI

Frutal – MG
2022

OSVALDO DE FREITAS FOGATTI

INCORPORAÇÃO DE NORMAS SOBRE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL NO PROJETO DE LEI COMPLEMENTAR N. 108/2018, DO MUNICÍPIO DE FRUTAL/MG, QUE ATUALIZA O PLANO DIRETOR

Minuta de Projeto de Lei apresentada à Universidade Estadual de Minas Gerais – UEMG, na Disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação - PROFNIT, área de concentração em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Ney Millan

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo da Silva Martins

Frutal – MG
2022

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
2 JUSTIFICATIVAS PARA MODIFICAÇÃO DO PLANO DIRETOR E DE SEU PROJETO DE ATUALIZAÇÃO 12
3 MINUTA DE EMENDA AO PROJETO DE LEI COMPLEMENTAR N. 108, DE 10 DE AGOSTO DE 2018 20
REFERÊNCIAS 29

1 INTRODUÇÃO

A presente minuta de Emenda ao Projeto de Lei Complementar Municipal n. 108/18 (FRUTAL, 2018a) segue as principais diretrizes normativas sobre produção legislativa e saneamento básico. Para sua elaboração, fez-se atenta análise da Lei Complementar Federal n. 95/98 (BRASIL, 1998), que, em resumo, dispõe sobre a estruturação, articulação, redação, alteração e consolidação legislativa, tratando-se de verdadeira sobrenorma, isto é, uma lei sobre leis, tal como a Lei de Introdução às Normas do Direito Brasileiro (LINDB) (BRASIL, 1942). Procurou-se, com isso, respeitar a organicidade e coerência lógica esperada de atos normativos, evitando-se inconsistências na forma e antinomias no conteúdo.

Além disso, foram observadas as disposições estabelecidas nas diversas normas sobre saneamento básico aplicáveis, a saber: Lei Federal n. 10.257/01 (Estatuto da Cidade), Lei n. 14.026/20 (Novo Marco Legal do Saneamento Básico), Lei n. 6.766/79, Lei Complementar do Município de Frutal/MG n. 54/06 (Plano Diretor), Lei Complementar de Frutal/MG n. 6/91 (Código de Posturas), Lei Ordinária de Frutal/MG n. 6.349/18 (Plano de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil), Lei Ordinária de Frutal/MG n. 5.977/12 (Lei de Parcelamento do Solo) (BRASIL, 1979, 2001, 2020; FRUTAL, 1991, 2006, 2012, 2018b).

As justificativas e proposições apresentadas emergiram das discussões e resultados reunidos nos demais produtos por nós apresentados (dissertação e artigo científico) na disciplina Disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, no Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação - PROFNIT, área de concentração em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação.

2 JUSTIFICATIVAS PARA MODIFICAÇÃO DO PLANO DIRETOR E DE SEU PROJETO DE ATUALIZAÇÃO

O Plano Diretor do Município de Frutal/MG foi instituído pela Lei Complementar n. 54, de 5 de outubro de 2006, por meio da aprovação do Projeto de Lei Complementar n. 52/2005, apresentado como substitutivo do projeto original pela Comissão de Constituição e Justiça da Câmara Municipal (FRUTAL, 2005; FRUTAL, 2006). De acordo com o Estatuto das Cidades, os planos diretores devem ser atualizados a cada 10 (dez) anos, tendo em vista que as cidades, tais como as sociedades que as habitam, são dinâmicas (ASCHER, 2010). Porém, o Município de Frutal/MG descumpriu essa obrigação legal, visto que, passados mais de 5 (cinco)

anos desde o decênio da vigência da Lei Complementar n. 54/06, não houve edição do novo Plano Diretor.

No intuito de atualizar o Plano Diretor, em 2018 a Prefeitura apresentou à Câmara Municipal, em regime de urgência, o Projeto de Lei Complementar n. 108 (Protocolo n. 925/2018), que foi subsidiado por estudo realizado pela empresa Óliver Arquitetura e Engenharia, sediada em Ribeirão Preto/SP (FRUTAL, 2018a). Ainda em 2018, a Presidência da Câmara Municipal determinou o envio do Projeto à Comissão de Legislação, Justiça e Redação, à Comissão de Finanças, Orçamento e Tomada de Contas e à Comissão de Obras e Serviços Públicos, não havendo registros de movimentações desde então (FRUTAL, 2022). Destaca-se ter sido instaurado procedimento extrajurisdicional no Ministério Público de Minas Gerais para apurar o atraso na atualização do Plano Diretor de Frutal/MG (ICP n. MPMG-0271.15.000377-7).

Quanto à gestão do ciclo das águas (arts. 15 e 16, Capítulo V, Título II), o vigente Plano Diretor de Frutal/MG ocupa-se da matéria em apenas dois artigos:

> CAPÍTULO V - DA GESTÃO DO CICLO URBANO DAS ÁGUAS
> Art. 15. Para efeito dessa lei são considerados componentes do ciclo urbano das águas os sistemas de drenagem de águas pluviais, o sistema de coleta de águas servidas e o sistema de abastecimento de água potável.
> Art. 16. Para sua integração com a presente lei, a Política das Águas deve atender as seguintes diretrizes e objetivos: I - adotar uma política permanente de conservação e melhoria da água para abastecimento; II - promover o uso racional da água e combate às perdas e desperdícios; III - adotar políticas de intervenção e de investimentos, específicas por bacias, promovendo um desenvolvimento que considere as questões ambientais; IV - proteger o sistema de captação superficial de água potável; V - estabelecer medidas preventivas e corretivas para equilíbrio do sistema de drenagem urbana; VI - estimular a manutenção de áreas permeáveis, por lote, nas bacias de drenagem urbana; VII - reduzir os impactos promovidos pela condução superficial da água de drenagem por meio da implantação de parques urbanos em locais estratégicos à macrodrenagem urbana, onde sejam previstos grandes áreas permeáveis e reservatórios de retenção de água; VIII - normalizar sobre a execução de obras de terraplanagem, visando evitar problemas de assoreamento e de erosão nos canais de drenagem; IX - articular, interagir e integrar com outros planos setoriais, especialmente o de circulação e transporte, e o urbanístico; X - distribuição espacial e socialmente equitativa de infra-estrutura da água; XI - ampliar sempre que necessário e conservar a qualidade do sistema de tratamento de resíduos líquidos; XII - atribuir nos parcelamentos, clubes, hotéis, pousadas e grandes empreendimentos localizados nas áreas de especial interesse turístico, a responsabilidade pelo abastecimento de água,

> assim como pela coleta e tratamento de efluentes líquidos ao empreendedor ou ao condomínio. (FRUTAL, 2006).

No artigo 20, o Plano Diretor, ao definir as Áreas de Especial Interesse Ambiental (AEIA), dispõe:

> Art. 20. Ficam definidas como Áreas de Especial Interesse as apresentadas nos Mapas PD.01 e PD.02 definidas a seguir. I - áreas de Especial Interesse Ambiental (AEIA): a) AEIA.01 – constituem-se nas faixas de proteção de fundo de vale. Estas áreas devem possuir largura de acordo com a respectiva faixa de drenagem de cada curso d´água ou fundo de vale, independente se for seco. Para tanto é necessária a execução de estudos de drenagem urbana e municipal, bem como a Lei Federal n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965 e Medida Provisória n.º 2.080-58, de 27 de dezembro de 2.000. Nestas faixas são apenas permitidos usos preservacionistas; b) AEIA.02 – tratam-se de áreas degradadas na área urbanizada ou próxima a ela, sendo referentes a: (a) erosão do bairro Ipê Amarelo, (b) erosão do bairro Progresso e (c) erosão do Corredor Boiadeiro e antigo lixão. Estas áreas devem ser recuperadas e transformadas em parques urbanos sendo permitidos usos conservacionistas e deve procurar se manter a máxima taxa de permeabilidade do solo possível. Por estas áreas estarem junto a cursos d´água, se deve procurar o equilíbrio da macro drenagem urbana, por meio de execução de bacias retenção de água. Estas áreas ficam sujeitas aos instrumentos de "desapropriação", "direito de preempção" e "operações urbanas consorciadas" (FRUTAL, 2006).

As disposições acima transcritas são o mais próximo que o Plano Diretor chegou de disciplinar a drenagem no Município. No caso das áreas de fundo de vale (AEIA.01), há necessidade de execução de estudos para definição da largura em conformidade com as faixas de drenagem. E, no caso da AEIA.02, determinou-se a criação de parques urbanos e manutenção da máxima taxa de permeabilidade do solo, além da execução de bacias de retenção.

No Projeto de Lei Complementar 108/18, os dispositivos legais mencionados apenas migraram para os artigos 24, 25, 52 e 53, com pequenas alterações quanto ao seu conteúdo:

> CAPÍTULO VI - DA GESTÃO DO CICLO URBANO DAS ÁGUAS
> Art. 24. Para efeito dessa lei são considerados componentes do ciclo urbano das águas os sistemas de drenagem de águas pluviais, o sistema de coleta de águas servidas e o sistema de abastecimento de água potável.
> Art. 25. Para sua integração com a presente lei, a Política das Águas deve atender as seguintes diretrizes e objetivos: I - adotar uma política

> permanente de conservação e melhoria da água para abastecimento; II - promover o uso racional da água e combate às perdas e desperdícios; III - adotar políticas de intervenção e de investimentos, específicas por bacias, promovendo um desenvolvimento que considere as questões ambientais; IV - proteger o sistema de captação superficial de água potável; V - estabelecer medidas preventivas e corretivas para equilíbrio do sistema de drenagem urbana; VI - estimular a manutenção de áreas permeáveis, por lote, nas bacias de drenagem urbana; VII - reduzir os impactos promovidos pela condução superficial da água de drenagem por meio da implantação de parques urbanos em locais estratégicos à macrodrenagem urbana, onde sejam previstos grandes áreas permeáveis e reservatórios de retenção de água; VIII - normalizar sobre a execução de obras de terraplanagem, visando evitar problemas de assoreamento e de erosão nos canais de drenagem; IX - articular, interagir e integrar com outros planos setoriais, especialmente o de circulação e transporte, e o urbanístico; X - distribuição espacial e socialmente equitativa de infra-estrutura da água; XI - ampliar sempre que necessário e conservar a qualidade do sistema de tratamento de resíduos líquidos; XII - atribuir nos parcelamentos, clubes, hotéis, pousadas e grandes empreendimentos localizados nas áreas de especial interesse turístico, a responsabilidade pelo abastecimento de água, assim como pela coleta e tratamento de efluentes líquidos ao empreendedor ou ao condomínio.
> Art. 52 A Área Especial de Interesse Ambiental (AEIA) – Anexo 05 caracteriza-se por áreas de terras públicas ou privadas que devem ser preservadas ou recuperadas em virtude da sua composição e vegetação, bem como na estabilidade do solo urbano e importância na drenagem natural.
> Art. 53. As AEIA classificam-se nas seguintes categorias: I - AEIA.01 – constituem-se nas faixas de proteção de fundo de vale. Estas áreas devem possuir largura de acordo com a respectiva faixa de drenagem de cada curso d´água ou fundo de vale, independente se for seco. Para tanto é necessária a execução de estudos de drenagem urbana e municipal, bem como a Lei Federal n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965 e Medida Provisória n.º 2.080-58, de 27 de dezembro de 2.000. Nestas faixas são apenas permitidos usos preservacionistas; b) AEIA.02 – tratam-se de áreas degradadas na área urbanizada ou próxima a ela, sendo referentes a erosão do bairro Ipê Amarelo, erosão do bairro Progresso e erosão do Corredor Boiadeiro e antigo lixão. Estas áreas devem ser recuperadas e transformadas em parques urbanos sendo permitidos usos conservacionistas e deve procurar se manter a máxima taxa de permeabilidade do solo possível. Por estas áreas estarem junto a cursos d´água, se deve procurar o equilíbrio da macro drenagem urbana, por meio de execução de bacias retenção de água. (FRUTAL, 2018a).

As alterações referidas foram a remoção do trecho que previa a utilização dos instrumentos da desapropriação, do direito de preempção e das operações urbanas consorciadas para resolução dos problemas de erosão na AEIA.02, o que se mostra um contrassenso, pois

tais instrumentos legais são essenciais para a gestão urbana e para o planejamento de políticas públicas, especialmente a desapropriação (SILVA, 2010). Com isso, é certo que a atualização do Plano Diretor não traz avanços significativos em termos político-legais para gestão hídrica do Município, sobretrudo na drenagem pluvial, que constitui objeto da presente análise.

Como o Projeto de Lei para atualização do Plano Diretor praticamente repete as disposições quanto à drenagem urbana da legislação atual, realizou-se breve análise das normas vigentes, constatando-se que estas não trazem critérios técnicos, administrativos ou jurídicos concretos, mas normas genéricas e programáticas, sem fornecer critérios suficientes para uma gestão eficiente da drenagem hídrica. As normas foram comparadas com Planos Diretores de outros Municípios (São Paulo, Porto Alegre e São José do Rio Preto), nos quais foram identificados critérios técnicos concretos para implementação dos equipamentos de drenagem, inclusive vários tipos de sistemas de drenagem sustentáveis (SUDS). Sabe-se que tais Municípios são muitas vezes maiores do que Frutal/MG, possuem condições climáticas e morfologias urbanas diferentes, ou seja, trazem realidade distinta da área em análise, o que explicaria o estabelecimento de critérios mais concretos de drenagem em seus respectivos Planos Diretores.

Todavia, há ao menos seis argumentos que justificam um cuidado maior por parte da municipalidade frutalense quanto à drenagem pluvial sustentável: (i) O Município sofre com frequente ocorrência de inundações e processos erosivos do tipo voçoroca, com diversas áreas vulneráveis do ponto de vista de defesa civil; (ii) sediou centro de pesquisa aplicada, ensino e desenvolvimento de tecnologias relacionados aos recursos hídricos, no caso, a extinta Fundação de Direito Público HidroEx, que contava com o apoio da UNESCO (UNESCO, 2009); (iii) as principais atividades econômicas do Município estão intrinsecamente ligadas à disponibilidade e qualidade da água, a exemplo das variadas usinas do ramo sucroalcooleiro e indústria cervejeira de grande porte (EMPRESAQUI, 2022); (iv) possui posição estratégica em relação aos recursos hídricos, com três usinas hidroelétricas em Municípios vizinhos (Planura/MG e Fronteira/MG, ambos integrantes da Comarca de Frutal/MG, e Itapagipe/MG); dois reservatórios de hidrelétricas em seu próprio território (Marimbondo e Água Vermelha) (SILVA, 2012); poço profundo de captação de águas subterrâneas dos Aquíferos Guarani e Serra Geral (RODRIGUES, 2007), e, dentre os Municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, detém a segunda maior estimativa do volume de água armazenada no Aquífero Guarani (ALAMY FILHO; RODRIGUES, 2007); acesso territorial ao Rio Grande, um dos formadores do Rio Paraná; (v) a presença dos reservatórios de Marimbondo e Água Vermelha em seu território faz com que Frutal/MG seja o Município que, por sucessivos anos,

esteja entre os maiores recebedores de *royalties* da água[1] a nível estadual, contribuindo de forma significativa para a receita municipal (em 2018, os *royalties* representaram aproximadamente 2% do total de recursos arrecadados) (FURNAS, 2022); (vi) devido às características do balanço hídrico climatológico, o Município vivencia períodos de escassez de água entre agosto e outubro, na estação seca de inverno (FISCHER FILHO; FUZZO, 2020).

Em acréscimo a essas justificativas, foram constatadas omissões tanto no Plano Diretor vigente como em seu Projeto de Atualização no que toca às medidas de drenagem propostas. Ambos trouxeram soluções pouco concretas para os problemas enfrentados. No caso das vias situadas em áreas de fundo de vale onde há constantes alagamentos (AEIA.01), indicaram a preservação das faixas ribeirinhas, porém (i) sem considerar as inúmeras construções há anos consolidadas nas margens das áreas de proteção permanente e o fato de que são poucos os trechos em que a mata ciliar foi preservada; e (ii) ignorando que alguns trechos dos cursos d'água encontram-se parcialmente canalizados no subsolo da malha urbana, especialmente um contribuinte do Ribeirão Frutal que passou a ser denominado Córrego do Brejinho (nos bairros Princesa Isabel e XV de Novembro). Quanto às áreas que sofrem com processos erosivos (AEIA.02), (i) sugerem a criação de parques urbanos e a manutenção da máxima permeabilidade do solo, o que não se mostra factível para determinados trechos em que as construções já estão consolidadas e há pouco espaço para a instalação de tais parques (por exemplo, entre os Bairros Ipê Amarelo e Waldemar Marchi, ou no bairro Progresso), ou (ii) propõem a construção de parques em locais desabitados (Corredor Boiadeiro e nos aterros), com desperdício do potencial recreativo e de lazer.

Destaca-se que a par de todas as inconsistências já mencionadas, verificou-se que o Projeto de Atualização do Plano Diretor trabalhou com legislações que já estavam defasadas no momento de sua apresentação, como o artigo Código Florestal e a Medida Provisória que o regulamentava (Lei n. 4.771/65 e Medida Provisória n. 2.080-58/00) (BRASIL, 1965, 2000), além de ter desconsiderado a instalação de vários empreendimentos que já estavam em curso no Município quando o projeto foi elaborado. Nesse sentido, a figura 1 traz o mapa com as AEIA.01 constantes do Anexo 5 do Projeto de Atualização do Plano Diretor:

---

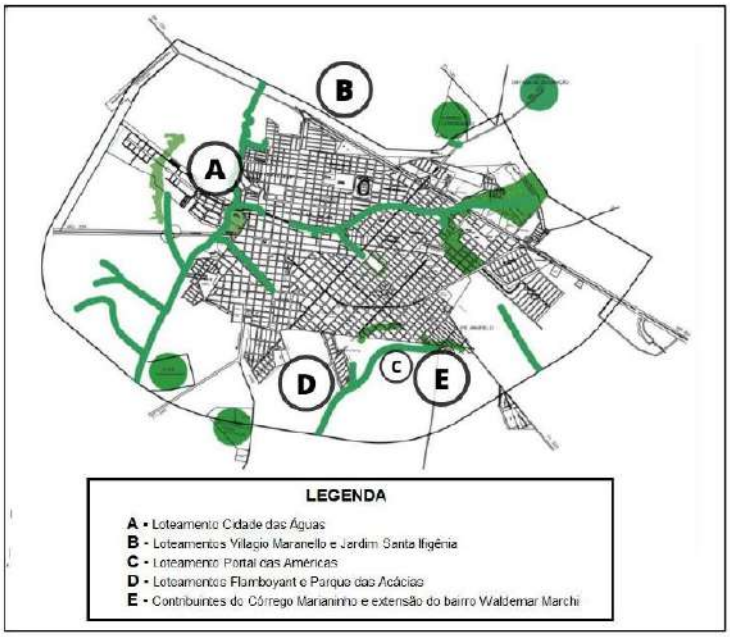
[1] *Royalties* sobre a água é o nome dado à Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos (CFURH), um encargo setorial pago pelas concessionárias de geração hidrelétrica e demais empresas autorizadas a produzir energia hidrelétrica à Agência Nacional de Águas (ANA), à União, aos Estados e aos Municípios, em decorrência do uso de recursos hídricos. O valor equivale à cerca de 7% do total de energia produzida mensalmente pelas usinas hidrelétricas. A compensação, repassada mensalmente, não pode ser usada para pagamento de folha de pessoal ou quitação de dívidas, com exceções pontuais (FURNAS, 2022).

Figura 1 – Mapa de Áreas de Especial Interesse Ambiental – AEIA.01

Fonte: Projeto de Lei Complementar n. 108/2018, que reformula o Plano Diretor de Frutal/MG (2018).

Porém, em 2016 (data da entrega do Projeto à Municipalidade por parte da empresa Óliver Engenharia), diversas mudanças na malha urbana estavam em andamento ou já haviam se consolidado, como (i) a abertura de vias do bairro Cidade das Águas, na margem direita do Ribeirão Frutal/MG (Figura 2, A); (ii) a abertura de vias dos loteamentos Villagio Maragnello e Jardim Santa Efigênia, na margem esquerda do Córrego Vertente Grande, próximo à BR-364 (Figura 2, B); (iii) a implementação completa de loteamentos com diversas obras concluídas, como Portal das Américas (Figura 2, C), Flamboyant e Parque das Acácias (Figura 2, D), todos nas nascentes ou no entorno do Córrego Marianinho. Aliás, o Projeto de Atualização sequer incluiu dois dos três contribuintes do Córrego do Marianinho, áreas nas quais, em 2016, já estava adiantado o processo de abertura de vias na extensão do bairro Waldemar Marchi (Figura 2, E). E não se tratam de questões menores, pois essas construções impactam na drenagem pluvial por meio da impermeabilização do solo, aumentando o volume de água da chuva nos corpos a jusante e, assim, agravando os problemas de inundação e erosão já existentes.

Figura 2 – Mapa de Áreas de Especial Interesse Ambiental – AEIA.01 com destaques das áreas que não foram incluídas no Projeto de Atualização



Fonte: Projeto de Lei Complementar n. 108/2018, que reformula o Plano Diretor de Frutal/MG (2018), com alterações promovidas pelo Autor, conforme legenda do mapa (2022).

Dentre outras normas que integram a política urbanística do Município, o Código de Obras e Posturas (Lei Complementares n. 6/1991 e 28/2002) e a Lei n. 6.349/2018, que institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, não possuem disposições relevantes para a drenagem de águas da chuva (FRUTAL, 1991, 2002, 2018b). A Lei Ordinária n. 5.977/2012, que regulamenta o parcelamento do solo urbano em âmbito municipal, apenas menciona que a presença de equipamentos de drenagem urbana são relevantes para a caracterização do imóvel como situado em área urbana consolidada (art. 2º, parágrafo único, III, "a") (FRUTAL, 2012). A exceção do citado artigo 20 do Plano Diretor, que tenta, de maneira contida, estabelecer a obrigação de instalação de parques e de bacias de retenção em determinadas áreas municipais, a legislação do município é falha em relação ao estabelecimento de critérios técnicos de drenagem urbana.

Portanto, a análise legislativa empreendida resultou na conclusão de que tanto a legislação urbanística vigente quanto o atual Projeto de Lei que busca atualizar o Plano Diretor

de Frutal/MG são omissos quanto à drenagem sustentável de águas, em descompasso com os modelos técnicos contemporâneos de gerenciamento hídrico, como os SUDS.

A minuta de emenda ora apresentada limita-se a abordar temas que tenham relação direta com a drenagem pluvial ou que possam interferir em conceitos que, de forma reflexa, prejudiquem a unidade e sistematização dos conceitos de drenagem, como as políticas de limpeza urbana e de despejo de resíduos. Somente foram propostas correções ortográficas em trechos que também possuíam falhas de sistematização ou demandavam modificação do teor normativo.

3 MINUTA DE EMENDA AO PROJETO DE LEI COMPLEMENTAR N. 108, DE 10 DE AGOSTO DE 2018

EMENDA AO PROJETO DE LEI COMPLEMENTAR N.º 108, DE 10 DE AGOSTO DE 2018.

1. Dê-se ao artigo 12 do Projeto em epígrafe a seguinte redação:

> "Art. 12. Para efeitos dessa lei, são considerados componentes do patrimônio ambiental todos os recursos naturais, históricos e culturais do Município."

Justificativa: O dispositivo original é redundante e não expressa a real intenção normativa de incluir no conceito de meio ambiente os aspectos histórico-culturais.

2. Exclua-se a subdivisão "Seção I" do Capítulo IV, Título II, do Projeto em epígrafe.

Justificativa: Falha de sistematização. Não existem outras seções no Capítulo IV, Título II, o que dispensa a criação da Seção I.

3. Dê-se ao inciso V, do artigo 25, do Projeto em epígrafe a seguinte redação:

> "V - Estabelecer medidas preventivas e corretivas para equilíbrio do sistema de drenagem urbana, dando preferência a sistemas de drenagem sustentáveis, ressalvados

critérios técnicos e de custo-benefício que justifiquem sistemas de canalização e galerias;"

Justificativa: Com os acréscimos feitos no dispositivo, a Municipalidade deverá adotar sistemas de drenagem sustentáveis sempre que isso se mostrar conveniente do ponto de vista técnico, mediante sopesamento de seus custos e benefícios, o que se mostra coerente com os princípios administrativos da proporcionalidade e da eficiência na gestão pública.

4. Dê-se ao inciso VI, do artigo 25, do Projeto em epígrafe a seguinte redação:

"VI - Estimular a manutenção de áreas permeáveis, por lote, nas bacias de drenagem urbana, facultada a concessão das medidas de fomento previstas no artigo 29 desta Lei;"

Justificativa: Com os acréscimos feitos no dispositivo, dá-se maior concretude para os limites da atuação do Poder Público quanto às políticas de estímulo à manutenção das áreas permeáveis, possibilitando descontos ou isenção de tributos e taxas diversas.

5. Dê-se ao inciso VIII, do artigo 25, do Projeto em epígrafe a seguinte redação:

"VIII – Definir normas sobre a execução de obras de terraplanagem, visando evitar problemas de assoreamento e de erosão nos canais de drenagem;"

Justificativa: O texto empregava a palavra "normalizar" de forma equivocada, o que tornava todo o dispositivo incongruente com o propósito da norma, no caso, instar a Municipalidade a definir critérios técnicos sobre execução de obras de drenagem.

6. Incluam-se os seguintes dispositivos no Capítulo VI, Título II, do Projeto em epígrafe, promovendo-se a renumeração dos artigos subsequentes:

"Art. 26. A Prefeitura Municipal deverá elaborar amplos estudos de planejamento dos sistemas de drenagem, indicando de forma expressa a viabilidade ou não de utilização de tecnologias de drenagem sustentável, facultada a criação de comissões, grupos de estudo ou outros órgãos administrativos para tal finalidade."

"Art. 27. Deverá constar dos estudos a que se refere o art. 26 análise técnica acerca da viabilidade e custo-benefício da utilização em logradouros ou prédios públicos de sistemas de drenagem sustentável de detenção, retenção e infiltração, especialmente pavimentos permeáveis, valas de infiltração e jardins de chuva."

"Art. 28. Os estudos referidos no art. 26 deverão ser discutidos em audiências públicas das quais se dará ampla publicidade, bem como em reuniões, debates, conferências e outros eventos, que serão comunicados com antecedência aos representantes da Defesa Civil, do Ministério Público, do Poder Judiciário, da Universidade do Estado de Minas Gerais (Unidade de Frutal/MG) e de outros representantes da sociedade civil, e comporão a base para apresentação de projeto de lei destinado à instituição do Plano Municipal de Drenagem Pluvial de Frutal/MG."

"Art. 29. Para fomento à utilização de equipamentos de drenagem urbana sustentável, o Poder Público poderá conceder isenção ou descontos no IPTU, no ITBI, na Contribuição de Melhoria e nas taxas de licença para execução de obras de construção, reconstrução, consertos, reparos, demolições e obras diversas de qualquer natureza destinadas à instalação de tais equipamentos."

"Art. 30. O Poder Público deverá incluir nas medidas de educação ambiental a promoção da participação coletiva nos processos de limpeza, conservação e manutenção dos equipamentos de drenagem pluvial existentes, incentivando a população a não despejar resíduos domésticos ou originários de atividades comerciais ou industriais nos logradouros públicos, bueiros, bocas de lobo e correlatos."

"Art. 31. A Prefeitura Municipal, no prazo de 90 (noventa) dias, estabelecerá procedimentos administrativos rigorosos de fiscalização e execução da limpeza e desobstrução de bueiros, bocas de lobo e correlatos, comunicando-os às Secretarias, Diretorias e demais departamentos que direta ou indiretamente tenham relação com a drenagem pluvial."

Justificativa: Devido aos problemas de inundações e processos erosivos constatados, a Municipalidade tem o dever de estabelecer políticas públicas claras para sua solução, o que se vislumbra ser possível por meio da criação de lei específica para a drenagem pluvial, o Plano

Municipal de Drenagem Pluvial de Frutal/MG, a exemplo de outros municípios. Importante que haja consenso social para tanto, o que somente é possível com a participação popular. Essa interação da sociedade respeita o princípio democrático e é essencial para o estabelecimento de normas mais estáveis e duradouras, além de garantir a execução do projeto. Por isso, previu-se ampla participação da sociedade no processo de elaboração do Plano Municipal de Drenagem Pluvial, inclusive de variados órgãos públicos e instituições da sociedade civil. Como a implementação de sistemas de drenagem sustentáveis tem mais chances de êxito com o estabelecimento de políticas mandatórias, previu-se seu debate como uma das etapas dos trabalhos legislativos para a elaboração do Plano, criando-se obrigação para que o Poder Público considere tais medidas e, se for caso, as rejeite com base em critérios técnicos. Não apenas, tratou-se da possibilidade de o Poder Público valer-se de políticos de fomento para estimular a adoção de sistemas de drenagem sustentáveis, mediante isenção ou concessão de descontos em tributos diversos e, por fim, foi considerada a necessidade de conscientização da população acerca da conservação da limpeza dos equipamentos de drenagem existentes, determinando-se também ao Poder Público a criação de medidas administrativas claras para garantia da manutenção desses equipamentos.

7. Dê-se ao artigo 26 (artigo 32, com a renumeração proposta) e seus incisos do Projeto em epígrafe a seguinte redação:

> "Art. 32. Para sua integração com a presente Lei, a Política de Resíduos Sólidos do Município deve atender aos seguintes objetivos e diretrizes:
>
> I - Diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas;
>
> II - identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observando o presente Plano Diretor;
>
> III - identificação das possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros Municípios, considerando, nos critérios de economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais;
>
> IV - identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos a plano de gerenciamento específico ou a sistema de logística reversa;

V - procedimentos operacionais e especificações mínimas a serem adotados nos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, incluída a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e observada a Lei Federal n. 11.445, de 2007;

VI - indicadores de desempenho operacional e ambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;

VII - regras para o transporte e outras etapas do gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o art. 20 da Lei Federal n. 12.305, de 2010, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS e demais disposições pertinentes da legislação federal e estadual;

VIII - definição das responsabilidades quanto à sua implementação e operacionalização, incluídas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos a que se refere o art. 20 da Lei Federal n. 12.305, de 2010, a cargo do poder público;

IX - programas e ações de capacitação técnica voltados para sua implementação e operacionalização;

X - programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos;

XI - programas e ações para a participação dos grupos interessados, em especial das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, se houver;

XII - mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos;

XIII - sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, bem como a forma de cobrança desses serviços, observada a Lei n. 11.445, de 2007;

XIV - metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;

XV - descrição das formas e dos limites da participação do poder público local na coleta seletiva e na logística reversa, respeitado o disposto no art. 33 da Lei Federal n. 12.305, de 2010, e de outras ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XVI - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito local, da implementação e operacionalização dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o arts. 20 e 33 da Lei Federal n. 12.305, de 2010;

XVII - ações preventivas e corretivas a serem praticadas, incluindo programa de monitoramento;

XVIII - identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, incluindo áreas contaminadas, e respectivas medidas saneadoras;

XIX - periodicidade de sua revisão, observado prioritariamente o período de vigência do plano plurianual municipal.

XIX - periodicidade de sua revisão, observado o período máximo de 10 (dez) anos."

Justificativa: O Projeto de Atualização deixou de incorporar ao Plano Diretor uma série de disposições previstas na Política Nacional de Resíduos Sólidos a serem seguidas pelos municípios, dentre elas normas que impactam na drenagem urbana. Destaca-se, nesse particular, que a redação original do Projeto de Atualização apenas repetia as normas previstas no Plano Diretor então vigente, promulgado em 2006, época em que a Lei Federal n. 12.305/10 ainda não havia sido editada.

8. Dê-se ao *caput* do artigo 28 (artigo 34, com a renumeração proposta) do Projeto em epígrafe a seguinte redação:

"Art. 34. Para efeito desta Lei, com a finalidade de disciplinar o crescimento e adensamento urbano municipal e garantir que o bem-estar coletivo prevaleça sobre o individual, fica o território municipal dividido nas seguintes Macrozonas, conforme Mapa do Anexo 01;"

Justificativa: Em virtude da separação das orações, a redação original do dispositivo impede a compreensão de que a divisão do Município em macrozonas pretende disciplinar o adensamento urbano e o crescimento municipal, além de garantir que o bem-estar coletivo prevaleça sobre o individual.

9. Dê-se ao artigo 29 (artigo 35, com a renumeração proposta), seus parágrafos e incisos do Projeto em epígrafe a seguinte redação:

"Art. 35. A Macrozona de Proteção Ambiental é necessária à preservação, manutenção ou recuperação de recursos naturais e paisagísticos, compreendendo a área da bacia hidrográfica do Ribeirão Frutal, que é o manancial de abastecimento de água superficial

para gerações presentes e futuras. Esta área envolve a bacia de contribuição do Ribeirão Frutal até o ponto de captação da água para abastecimento da cidade e é de grande importância para a continuidade da qualidade e quantidade no fornecimento da água potável.

§1º A captação a montante da foz do córrego de que trata o inciso I deverá ser transferida, evitando-se assim a contaminação das águas por acidentes rodoviários na BR-364, bem como eventuais contaminações das águas deste córrego pelo aterro, esgotos clandestinos, dentre outros.

§2º Na área da captação da bacia hidrográfica do Ribeirão Frutal deverá ser implantada Área de Proteção Ambiental (APA) e seu uso obedecerá ao disposto na Lei Federal n. 9.985/2000.

§3º Na bacia do manancial é vedada a instalação de projetos e empreendimentos que comprometam os padrões mínimos de qualidade das águas, sendo também vedada agropecuária intensiva ou hortifrutigranjeira que envolva a necessidade de aplicação de doses maciças de herbicidas, defensivos agrícolas, fertilizantes químicos e produtos veterinários organofosforados ou organoclorados, nos termos da Lei Ordinária n. 10.793, de 1992, do Estado de Minas Gerais.

§4º As atividades empreendidas na bacia do manancial ficam sujeitas a estudos de impacto ambiental.

§ 5º As faixas de proteção da Represa de Marimbondo e da Represa de Água Vermelha constituem áreas de preservação permanente, com cota mínima de 50 metros, seguindo as determinações legais e vedações estabelecidas na Lei Federal n. 12.651, de 2012, bem como as seguintes disposições:

I – As áreas de mata ali existentes deverão ser preservadas e as demais serão reflorestadas com espécies nativas;

II – Nas áreas adjacentes às cotas mínimas, o Poder Público dará preferência à instalação de equipamentos para fins de lazer e turismo, desde que conservada taxa de permeabilidade do solo de 70%.

§ 6º As atividades extrativo-minerais deverão ser cadastradas, regulamentadas e fiscalizadas pelo poder público municipal, estadual e federal. As lavras esgotadas deverão ser necessariamente recuperadas pelo explorador antes de se partir para nova exploração, conforme Plano de Recuperação de Área Degradada). As áreas degradadas existentes devem ser cadastradas e recuperadas por seu explorador, conforme previsto

no Plano de Recuperação de Área Degradada (PRA). Na ausência do PRA, o órgão ambiental responsável deverá estabelecer as providências a serem tomadas.

§ 7º A área da Região do Chapadão, que integrará a APA da bacia do Ribeirão Frutal, é considerada ambientalmente frágil devido à sua topografia e tipo de solo, sendo vedadas atividades agropecuárias intensivas.

§ 8º As cabeceiras do Ribeirão Bebedouro, situadas no quadrilátero formado entre a MG-255, a BR-153, a BR-364 e o anel de contorno rodoviário, constituem alternativa para captação superficial de águas e integrarão a APA da bacia do Ribeirão Frutal."

Justificativa: A redação original proposta é confusa e apresenta imprecisões acerca da extensão das Macrozonas de Proteção Ambiental, o que foi corrigido nos dispositivos propostos. Além disso, o texto original mescla os conceitos de área de preservação permanente (APP) e área de proteção ambiental (APA), a ponto de ser difícil identificar se o legislador pretendeu reforçar o dever da Municipalidade de preservar a mata ciliar nos trechos de captação de água do Ribeirão Frutal, ou se a intenção seria o estabelecimento de unidade de conservação da espécie área de proteção ambiental, conforme artigos 14 e 15 da Lei n. Federal n. 9.985, de 2000. Como se trata de trecho específico da sub-bacia e considerando que não haveria sentido a criação de algo que já existe por lei (no caso, a APP), a última opção apresentou-se mais plausível. Destaca-se que apenas a Lei n. Federal n. 9.985, de 2000, foi mencionada, sem referência ao decreto que a regulamenta, visto tratar-se de ato que pode ser facilmente revogado, o que traria suscetibilidade de anacronismo ao Plano Diretor. Além disso, a redação original trazia obrigação de instalação de indústrias "não poluidoras", conforme "Lei n. 10.793/1992", o que trazia insegurança jurídica, pois a legislação referida, no caso, a Lei Ordinária n. 10.793, de 1992, do Estado de Minas Gerais, não utiliza tal expressão, mas apenas traz rol de atividades a princípio vedadas, mas que podem ser excepcionadas caso mantidos os padrões mínimos de qualidade, a serem definidos pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Por fim, a redação original do Projeto previa a proibição de agrotóxicos na bacia hidrográfica do Ribeirão Frutal, contudo, é possível perceber que se trata apenas da área à montante do ponto de captação, visando à proteção do manancial, razão pela qual foram sugeridos ajustes em conformidade com a referida Lei Estadual n. 10.793, de 1992.

10. Exclua-se a subdivisão "Subseção I" da Seção I, Capítulo V, Título III, do Projeto em epígrafe.

Justificativa: Falha de sistematização. Não existem outras subseções na Seção I, Capítulo V, Título III, o que dispensa sua criação. Além disso, o título da Subseção ("Da Zona Residencial") conflita com seu conteúdo, que também versa sobre zonas exclusivamente industriais (ZI).

11. Dê-se ao *caput* do artigo 58 e aos incisos I e II do artigo 59 (artigos 65 e 66, com a renumeração proposta) do Projeto em epígrafe a seguinte redação:

> "Art. 58. A Área Especial de Interesse Ambiental (AEIA) – Anexo 05 caracteriza-se por áreas de terras públicas ou privadas que devem ser preservadas ou recuperadas em virtude da sua composição e vegetação, bem como da estabilidade do solo urbano e da importância na drenagem natural, todas sujeitas aos instrumentos da desapropriação, do direito de preempção e das operações urbanas consorciadas."
>
> "Art. 59 [...]
> I - AEIA.01 – Tais áreas constituem faixas de proteção de fundo de vale, onde são permitidos apenas usos preservacionistas. Devem possuir largura de acordo com a respectiva faixa de drenagem de cada curso d´água ou fundo de vale, sendo ou não seco. Para tanto é necessária a execução de estudos de drenagem urbana e municipal, respeitadas as disposições da Lei Federal n. Lei n. 12.651, de 2012. Nos locais em que a recomposição das faixas não for possível devido a ocupações e atividades consolidadas, nos termos da referida Lei Federal, e cumulativamente se identificar risco de inundações, deverão ser providenciados, no prazo definido no artigo 112, estudos técnicos para apresentação de soluções de drenagem pluvial;
> II - AEIA.02 – tratam-se de áreas degradadas na área urbanizada ou próxima a ela, sendo referentes à erosão do bairro Ipê Amarelo, à erosão do bairro Progresso e à erosão do Corredor Boiadeiro e do antigo aterro ("lixão"). Estas áreas devem ser recuperadas, cabendo ao Poder Público promover tais ações ou exigir que os responsáveis as façam. As áreas com erosão nos nos bairros Ipê Amarelo e Progressão serão transformadas em parques urbanos, respeitadas atividades e ocupações consolidadas, nos termos da Lei Federal n. Lei n. 12.651, de 2012. Em todas elas serão permitidos usos conservacionistas e deve-se procurar manter a máxima taxa de permeabilidade do solo possível. Por estas áreas estarem junto a cursos d´água, cabe ao Poder Público zelar pelo equilíbrio da macrodrenagem urbana, por meio de execução de bacias retenção de água, ou de outras medidas de drenagem cabíveis."

Justificativa: A redação original dos dispositivos desconsiderava inúmeras construções e atividades consolidadas nas margens das áreas de proteção permanente, prevendo recuperação das APPs ou instalação de parques urbanos sem maiores considerações sobre a exequibilidade de tais medidas. Além disso, determinava a construção de parques em locais desabitados (nos aterros ou no Corredor Boiadeiro) e não era suficientemente clara acerca da responsabilidade estatal em promover as obras cabíveis. Por fim, o texto original suprimia a aplicação dos institutos da desapropriação, preempção e operações urbanas consorciadas, que foram resgatados.

12. Incluam-se os seguintes dispositivos no Título VI do Projeto em epígrafe, promovendo-se a renumeração dos subsequentes:

> "Art. 111. O Poder Público deverá regulamentar a matéria tratada no artigo 25, inciso VIII, no prazo de 60 (sessenta) dias a contar da entrada em vigor desta Lei."

> "Art. 112. A Prefeitura Municipal deverá elaborar os estudos a que se refere o artigo 26 no prazo de 1 (um) ano a contar da entrada em vigor desta Lei, bem como apresentar o projeto de lei de instituição do Plano Municipal de Drenagem Pluvial a que se refere o artigo 28 no prazo de 2 (dois) anos a contar da entrada em vigor desta Lei."

Justificativa: A ausência de prazo para implementação de obrigações legais encoraja seu descumprimento, razão pela estabeleceu-se termos finais para que a Municipalidade elabore os estudos de drenagem cabíveis e, ato contínuo, edite o Plano Municipal de Drenagem Pluvial.

REFERÊNCIAS

ALAMY FILHO, José Eduardo; RODRIGUES, Anamaria Moya. Aspectos da distribuição espacial do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro: estimativas obtidas a partir de interpolação numérica. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo/SP. **Anais**. Disponível em: https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=19&PAG=7. Acesso em: 1 mar. 2022.

ASCHER, François. **Os novos princípios do urbanismo**. São Paulo: Romano Guerra, 2010.

BRASIL. **Lei Complementar n. 95, de 26 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre a elaboração de leis e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp95.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. **Decreto-Lei n. 4.657, de 4 de setembro de 1942**. Lei de Introdução às normas do Direito Brasileiro. Brasília, DF: Presidência da República, 1942. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del4657compilado.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. **Lei n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979.** Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1979. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. **Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

BRASIL. **Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020.** Promulga o novo Marco Legal do Saneamento Básico. Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 1 mar. 2022.

FISCHER FILHO, João Alberto; FUZZO, Daniela Fernanda da Silva. Estimativa do balanço hídrico climatológico para região de Frutal-MG. In: 17° Congresso Nacional do Meio Ambiente, 2020, Poços de Caldas/MG. **Anais do 17º Congresso Nacional do Meio Ambiente**. Disponível em: http://www.meioambientepocos.com.br/ANAIS%202020/358%20ESTIMATIVA%20DO%20BALAN%C3%87O%20H%C3%8DDRICO%20CLIMATOL%C3%93GICO%20PARA%20REGI%C3%83O%20DE%20FRUTAL-MG.pdf. Acesso em: 1 mar. 2022.

FURNAS. **Distribuição dos Royalties de Água.** 2022. Disponível em: https://www.furnas.com.br/subsecao/267/distribuicao-dos-royalties-da-agua. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Projeto de Lei Complementar n. 108, de 10 de agosto de 2018**. Dispõe sobre a revisão do plano diretor sustentável de Frutal/MG. Frutal/MG: Câmara Municipal, 2018. Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Documentos/Documento/55827. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Lei Ordinária n. 6.349, de 22 de março de 2018**. Institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil no Município de Frutal e dá outras providências. Frutal/MG: Câmara Municipal, 2018. Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Documentos/Documento/56959. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Folha de Distribuição n. 47/2005 ao Projeto de Lei Complementar n. 52/2005**. Institui o Plano Diretor do Município de Frutal. Frutal/MG: Câmara Municipal, 2005.

Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Documentos/Documento/33455. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Lei Complementar Municipal n. 54, de 5 de outubro de 2006**. Institui o Plano Diretor do Município de Frutal/MG. Frutal/MG: Câmara Municipal, 2006. Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Normas/Exibir/5285#:~:text=Art.,planejamento%20do%20Munic%C3%ADpio%20de%20Frutal. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Lei Complementar n. 6, de 24 de setembro de 1991.** Contém o Código de Posturas do Município de Frutal e dá outras providências. Frutal/MG: Câmara Municipal, 1991. Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Normas/Exibir/5239. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Lei Complementar n. 28, de 20 de maio de 2002.** Promove alterações na Lei Complementar n. 6, de 24 de setembro de 1991, que institui o Código de Posturas do Município de Frutal. Frutal/MG: Câmara Municipal, 2002. Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Normas/Exibir/5261. Acesso em: 1 mar. 2022.

FRUTAL. **Lei Ordinária n. 5.977, de 30 de maio de 2012.** Cria o parcelamento do solo para fins urbano e rural no Município de Frutal e dá outras providências. Frutal/MG: Câmara Municipal, 2012. Disponível em: https://consulta.siscam.com.br/camarafrutal/Normas/Exibir/4975. Acesso em: 1 mar. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA – UNESCO. **Creación de centros de categoría 2 auspiciados por la UNESCO**. Paris: 2009. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000183260_spa. Acesso em: 1 mar. 2022.

RODRIGUES, Anamaria Moya. **Explotação e uso do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro-estudo de caso: Cachoeira Dourada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SILVA, José Afonso da. **Direito urbanístico brasileiro**. 6 ed. São Paulo, Malheiros, 2010.

SILVA, Adriano Reis de Paula. **As transformações socioespaciais de Frutal - MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.