

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ISIS DE CASTRO ALMEIDA**

**SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA: UMA PROPOSTA  
PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO PEDRO, EM JUIZ DE  
FORA - MG**

**JUIZ DE FORA – MG**

**2020**

**ISIS DE CASTRO ALMEIDA**

**SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA: UMA PROPOSTA  
PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO PEDRO, EM JUIZ DE  
FORA - MG**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Drenagem Urbana

Orientador: Prof. M.Sc., Fabiano Cesar Tosetti Leal

**JUIZ DE FORA – MG**

**2020**

**ISIS DE CASTRO ALMEIDA**

**SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA: UMA PROPOSTA  
PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO PEDRO, EM JUIZ DE  
FORA – MG**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 25 de novembro de 2020.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. M.Sc. Fabiano Cesar Tosetti Leal – Orientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. D.Sc. Jonathas Batista Gonçalves Silva  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. D.Sc. Luiz Evaristo Dias de Paiva  
Universidade Federal de Juiz de Fora

## RESUMO

A alteração do ciclo hidrológico, impermeabilização do solo, ocupações inadequadas e a ausência de planos urbanísticos específicos se constituem em algumas das causas para a ocorrência das enchentes, que geram impactos nos âmbitos econômico, social e de saúde pública de um município. Os sistemas sustentáveis de drenagem urbana - SUDS (Sustainable Drainage Systems) - são alternativas que visam aumentar a taxa de infiltração de água pluvial no solo e controlar o escoamento superficial. Buscando minimizar a problemática de alagamentos nos bairros Democrata, Vale do Ipê e Mariano Procópio, o presente trabalho teve como objetivo apresentar uma proposta de implantação de sistemas sustentáveis de drenagem para a Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro, em Juiz de Fora - MG. Foi realizado um estudo a respeito dessas tecnologias, visando conhecer suas características construtivas. Além disso, fez-se uma contextualização do processo de urbanização da Bacia do Córrego São Pedro a fim de identificar as principais mudanças no curso d'água e suas relações com as ocorrências na chamada Cidade Baixa. Obteve-se como resultado possíveis soluções que envolvem medidas estruturais e não estruturais em 4 localidades da bacia. Discutiu-se, também, a necessidade de uma revisão da legislação nas esferas federal e municipal, uma vez que essas apresentam brechas que possam dificultar a implantação desses sistemas no país.

**Palavras-chave:** Urbanização. Escoamento superficial. Gestão das águas urbanas.

## **ABSTRACT**

The alteration of the hydrological cycle, waterproofing of the soil, inadequate settling and the absence of specific urban planning are some of the causes of floods, which impact the economic, social and public health sectors of a municipality. Urban Sustainable Drainage Systems (SUDS) are alternatives that aim to increase the rate of rainwater infiltration into the soil and control runoff. Seeking to minimize the problem of flooding in three neighborhoods in the city of Juiz de Fora, Minas Gerais (Democrata, Vale do Ipê and Mariano Procópio), this study aims to present a proposal for the implementation of sustainable drainage systems for the Hydrographic Basin of the São Pedro Creek, in the same town. A study was carried out regarding the technologies needed, aiming to know the characteristics which involve their construction. In addition, a contextualization of the urbanization process of the São Pedro Creek Basin was made in order to identify the main changes in the watercourse and its relationship with the occurrences in the so-called Lower Town (Cidade Baixa). As a result, possible solutions involving structural and non-structural measures in four locations in the basin have been found. This paper also discusses the need for a change in the legislation at both the federal and municipal levels, since they present loopholes which can hinder the implementation of these systems in the country.

**Keywords:** Urbanization. Surface runoff. Urban water management.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo geral.....	11
2.2. Objetivos específicos.....	11
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	12
3.1. O ciclo hidrológico em bacias hidrográficas.....	12
3.2. A drenagem urbana convencional.....	12
3.3. Gestão da drenagem urbana.....	14
3.4. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana (SUDS).....	15
3.4.1. Sistemas de captação de água pluvial.....	18
3.4.2. Telhados verdes.....	20
3.4.3. Sistemas de infiltração.....	23
3.4.3.1. Poços de infiltração.....	23
3.4.3.2. Trincheiras de infiltração.....	25
3.4.3.3. Bacias de infiltração.....	26
3.4.4. Sistemas de tratamento.....	27
3.4.5. Faixas filtrantes.....	29
3.4.6. Valas revestidas com cobertura vegetal (Swales).....	30
3.4.7. Sistemas de biorretenção.....	31
3.4.8. Árvores.....	33
3.4.9. Pavimentos permeáveis.....	34
3.4.10. Tanques de armazenamento e atenuação.....	36
3.4.11. Bacias de detenção.....	36
3.4.12. Lagoas e zonas úmidas (Wetlands).....	38
4. ÁREA DE ESTUDO.....	41
4.1. Bacia Hidrográfica Do Córrego São Pedro.....	41
4.2. O processo de urbanização na BHCSP e suas consequências.....	43

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
5.1. Solução A .....	52
5.2. Solução B.....	53
5.3. Solução C.....	55
6. CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS .....	59

## **APRESENTAÇÃO**

O Presente trabalho foi elaborado e avaliado no formato de monografia, de acordo com as normas definidas na Resolução nº 14/2019 do Colegiado do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFJF, como pré-requisito para aprovação na disciplina Trabalho Final de Curso II (ESA098).



## 1. INTRODUÇÃO

A partir do século XX, os centros urbanos vivenciaram uma marcante explosão demográfica. De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2016), de 2005 a 2015, a porcentagem da população brasileira vivendo no ambiente urbano aumentou de 82,5% para 84,7%. Tucci (2010) aponta que, não só no Brasil, mas em diversos países em desenvolvimento, o processo de urbanização vem ocorrendo de forma desordenada, mesmo com a existência dos Planos Diretores. Como consequência, tem-se uma alteração do ciclo hidrológico, visto que a transição do ambiente rural para o urbano ocorre de maneira a não se respeitar os sistemas naturais das águas (GONÇALVES; NUCCI, 2017). As modificações na cobertura do solo e o aumento das estruturas impermeáveis resultam em um elevado escoamento superficial devido à redução de infiltração das águas pluviais.

Nesse contexto, os sistemas de drenagem urbana visam controlar os possíveis impactos causados pela impermeabilização do solo, tais como o aumento da vazão e a ocorrência das enchentes urbanas. Portanto, tem-se que a drenagem urbana diz respeito às medidas de infraestrutura responsáveis por captar e conduzir as águas das chuvas nas cidades.

Entretanto, no Brasil e no mundo tem-se observado um aumento nos eventos de alagamentos e inundações em tempos de cheia. Fato esse que fica evidente ao se observar os números registrados pelo IBGE. Em 2018, 93% dos municípios brasileiros com mais de 500 mil habitantes foram atingidos por alagamentos, e 62% deles por deslizamentos. Além disso, o levantamento ainda aponta que mais da metade das cidades do país não possuía instrumentos legais de planejamento e gerenciamento de riscos no ano de 2017, o que agrava a situação (LOSCHI, 2018).

Diante desse cenário, percebe-se que os sistemas de drenagem atualmente implantados não têm suportado o aumento da demanda. No Brasil, por exemplo, tem-se uma cultura higienista de drenagem urbana, que segue o princípio que escoar rapidamente a pluviosidade. Tais acontecimentos impulsionam então o surgimento de tecnologias compensatórias para a drenagem urbana.

O presente trabalho fará uma abordagem a respeito de um desses mecanismos, os chamados sistemas sustentáveis de drenagem urbana (SUDS), que vêm como uma alternativa a fim de aumentar a infiltração das águas pluviais no solo e reduzir o escoamento superficial.

Além disso, o estudo a seguir é estimulado pela problemática de recorrentes casos de inundações na região dos bairros Democrata, Vale do Ipê e Mariano Procópio, na cidade de Juiz de Fora - MG.

A pesquisa será conduzida por um estudo na bacia de contribuição dos bairros em questão, denominada Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro, a fim de contextualizar o processo de urbanização no local e analisar as possíveis causas para o aumento das ocorrências das enchentes. Assim, serão propostas implantações de técnicas SUDS em pontos estratégicos com o objetivo de amenizar a situação descrita.

Acredita-se que a temática trabalhada seja de grande importância, tanto para o Poder Público, quanto no âmbito social. No primeiro caso, trata-se de uma possibilidade de revisão dos instrumentos legais (municipais e federais) para a gestão das águas urbanas. Além disso, o estudo traz uma visão de sistemas ainda pouco apurados no Brasil. No que diz respeito à sociedade, torna-se interessante pela contextualização e entendimento dos problemas de alagamentos que impactam diretamente no bem-estar da mesma.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Apresentar uma proposta conceitual de sistema de drenagem urbana sustentável para a região da Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro, em Juiz de Fora – MG.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Apresentar as tecnologias de drenagem urbana sustentável;
- Contextualizar o processo de urbanização da região da Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro;
- Propor um sistema de drenagem urbana sustentável de acordo com o cenário encontrado.

### **3. REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1. O ciclo hidrológico em bacias hidrográficas**

Rocha e Santos (2018, p.2) definem a bacia hidrográfica como “um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado na saída da Bacia Hidrográfica.”. Nesse contexto, observa-se uma dinâmica natural que conta, ainda, com as perdas pelo processo de evapotranspiração da água. Os autores apontam que, nos casos de bacias de grande extensão, os efeitos climáticos também interferem fortemente no padrão de runoff no exutório, isto é, no volume escoado na saída do corpo hídrico.

Além dos fatores climáticos, a variação do fluxo nas bacias hidrográficas também se dá por características naturais, tais como solo, relevo e cobertura vegetal. Entretanto, são as ações antrópicas que representam os maiores intervenientes ao se pensar no sistema como um todo.

Nesse contexto, de acordo com Rocha e Santos (2018, p.2), as intervenções pelo homem no ciclo hidrológico podem ocorrer em diferentes fases. Ademais, descrevem a transferência de impacto ao longo do corpo hídrico através da seguinte analogia:

O ciclo hidrológico funciona como uma série de armazenagens de água (caixas d'água), ligadas por transferências. Alguns destes depósitos ou caixas apresentam-se como tal devido à velocidade de transferências, que podem ser mais demoradas (por exemplo, da água subterrânea) ou mais rápidas (por exemplo, os rios), que também podem exercer limitada função de armazenagem. Em cada ponto de intervenção nestes locais, podem ocorrer diferentes intensidades de impactos.

Visto que os mais relevantes impactos se relacionam com os aspectos de infiltração e escoamento, entende-se que, quando se eleva a vazão em determinado local da bacia, seja pela maior impermeabilização do solo ou o rápido escoamento da precipitação, o efeito é transferido para pontos à jusante, aumentando assim o risco de prejuízos nestes, tais como as inundações.

#### **3.2. A drenagem urbana convencional**

Naturalmente, toda bacia hidrográfica possui recursos de drenagem pluvial próprios, tais como rios, riachos, córregos e várzeas, que se formaram devido às características físicas locais e atuam em equilíbrio com as ocorrências de precipitações. Entretanto, com o processo de urbanização e ocupação do solo, aumentam-se as áreas impermeáveis em determinado espaço, alterando essa dinâmica pela redução de infiltração da água no solo. Assim, faz-se

necessária a introdução de sistemas artificiais que contribuam para o reestabelecimento do controle das águas pluviais (MARTINS, 2012).

Nesse contexto, surgem os sistemas de drenagem urbana. A micro drenagem diz respeito às unidades construtivas que recebem a precipitação com o objetivo de escoá-la, a fim de retirar a água pluvial das vias e evitar alagamentos. Assim, pavimentos das ruas, sarjetas, bocas de lobo e galerias de drenagem fazem parte desse sistema, bem como outros dispositivos ligados ao funcionamento do sistema viário (MARTINS, 2012). Já a macrodrenagem, Travassos (2004, p. 52) define como:

[...] sistemas naturais ou construídos, que recebem as águas de uma bacia de drenagem e as leva para uma outra estrutura de macrodrenagem a jusante – rios, córregos, lagoas, represas – ou para o oceano. Desta forma, a micro drenagem realiza uma captação primária das águas de chuva e as conduz para os sistemas de macrodrenagem.

De acordo com Souza (2013), os sistemas de drenagem urbana no Brasil seguem a linha higienista, isto é, são implantados com a função de drenar rapidamente as águas pluviais e conduzi-las à um destino final. Como consequência de tal característica, o autor destaca a desconexão entre o planejamento urbano e os aspectos sustentáveis de drenagem, uma vez que em muitos casos os cursos d'água acabam por serem modificados em ocupações desenfreadas.

Agra (2001) reforça essa ideia ao afirmar que as medidas de controle são tomadas, geralmente, através da canalização dos pontos críticos no que diz respeito a ocorrência de enchentes. Assim, o que vem à jusante acaba por sofrer com os aumentos da vazão máxima devido à urbanização.

Diante desse cenário, surgem as medidas de controle, que são divididas em estruturais e não estruturais. As medidas estruturais dizem respeito a construções e dispositivos instalados com o objetivo de evitar a ocorrência de enchentes, tais como diques, barragens e canalizações. Já as medidas não estruturais visam prevenir ou preparar para a convivência com as inundações, ou seja, tratam-se dos instrumentos legais, diligência por meio de alertas e capacitação da população e profissionais. Assim, na drenagem urbana tem-se, para as áreas já urbanizadas, a adoção de medidas estruturais, enquanto as regiões ainda não construídas utilizam-se das medidas não estruturais (TUCCI, 2012).

### 3.3. Gestão da drenagem urbana

Segundo Tucci e Genz (1995, apud AGRA, 2001), o controle das enchentes é uma ação permanente e que cabe à sociedade como um todo. Além disso, os autores apontam a importância de não se pensar em uma solução pontual, mas sim de forma contínua e com a participação da população.

Nesse contexto, Agra (2001) destaca alguns dos princípios de controle para uma drenagem urbana consistente, sendo eles:

- Bacia vista como um sistema, onde se deve pensar nos impactos referentes à toda ela, e não somente num ponto crítico isolado;
- Avaliação dos cenários futuros;
- Plano Diretor de Drenagem Urbana;
- Não ampliação da cheia natural;
- Controle permanente;
- Educação ambiental.

De acordo com Tucci (2012), no Brasil não é implantada a ideia de um programa sistemático de controle das inundações, sendo observadas apenas ações isoladas por parte de alguns municípios. O autor ainda aponta que a atenção é voltada às enchentes somente após as suas ocorrências. Tal fato ocorre justamente pela ausência de alguns dos princípios citados por Agra (2001).

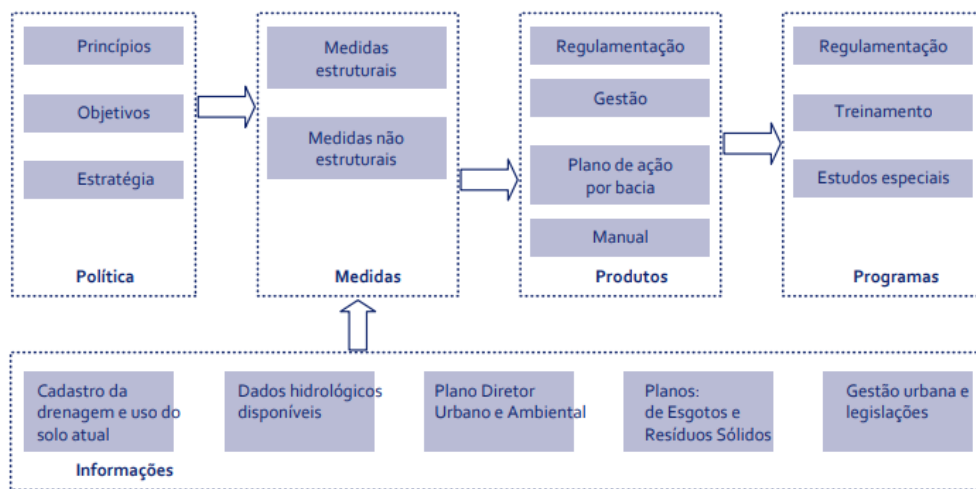
Para a gestão da drenagem urbana, tem-se dois aspectos. O primeiro se dá no âmbito da bacia hidrográfica, o qual diz respeito aos impactos externos à cidade, portanto, controlados pelo estado ou pela Federação. Já o segundo se trata dos efeitos internos do município, sendo domínio e responsabilidade do mesmo. No Brasil, não existe uma política de esfera federal que trate do assunto, novamente sendo observadas apenas ações isoladas em determinadas regiões (TUCCI, 2012).

Nas cidades, o instrumento legal de gestão das águas pluviais é o Plano Diretor de Drenagem Urbana, que é elaborado de acordo com outros planos da cidade, como o Plano Municipal de Saneamento e o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano. De acordo com Tucci (2012, p. 26), sua estrutura é dividida em:

- Política de águas pluviais: determina o conjunto de objetivos, princípios, metas e estratégias que são estabelecidas para o plano da cidade;
- Medidas: estruturais e não estruturais;
- Produtos: são os resultados obtidos pelas medidas tomadas, isto é, compreende a legislação, os planos de bacia, a definição dos programas e o manual de drenagem urbana que orienta os planejadores urbanos;
- Programas: são ações a longo prazo que visam complementar as medidas;
- Informações: são a base de conhecimentos que possibilitam a criação dos tópicos anteriores. Dizem respeito aos dados hidrológicos, dados físicos e legislação relacionada com os sistemas de infraestrutura.

A Figura 1 ilustra como essa estrutura é desenvolvida.

Figura 1 — Estrutura do Plano Diretor de Drenagem Urbana.



Fonte: Tucci (2012)

### 3.4. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana (SUDS)

Os sistemas sustentáveis de drenagem urbana (SUDS - Sustainable Urban Drainage Systems) surgiram como alternativa à drenagem urbana convencional. O conjunto de técnicas sustentáveis de controle e gestão das águas pluviais vem como possibilidade de aumento da taxa de infiltração das águas de chuva no solo e consequente minimização dos impactos

negativos gerados pelo escoamento superficial. Dessa forma, a utilização de tais mecanismos opera diretamente no gerenciamento de riscos de alagamentos nos locais implantados e na preservação da bacia hidrográfica.

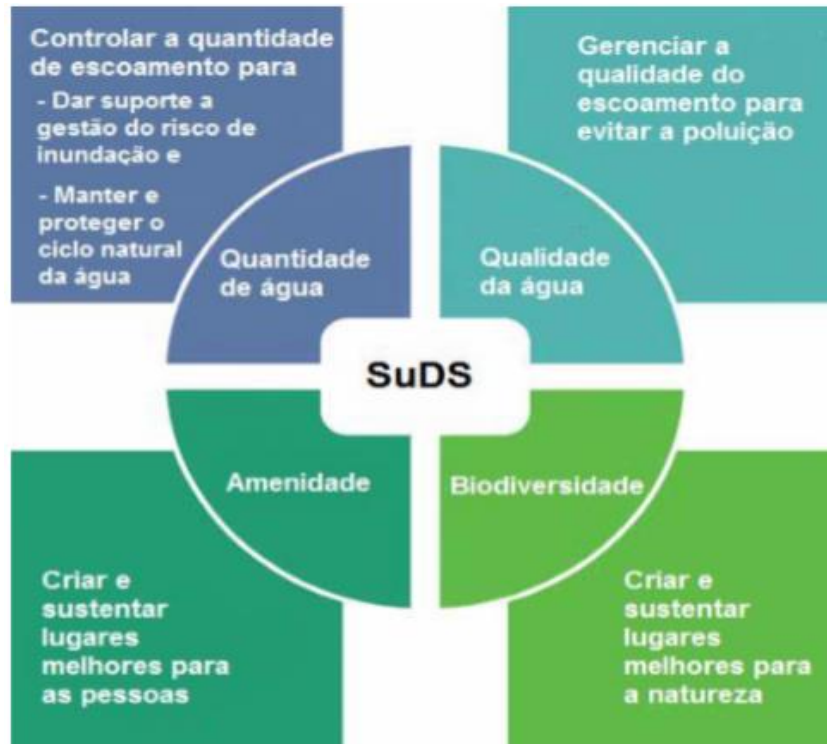
De encontro ao sistema convencional, no qual a drenagem das águas pluviais ocorre através de coletores enterrados, os SUDS têm como característica o controle do escoamento superficial na fonte, isto é, o mais próximo possível do local atingido pela precipitação. Assim, reduz-se o escoamento através de tecnologias que auxiliam na evaporação e evapotranspiração, na infiltração no solo e no armazenamento temporário das águas (NETO, 2019).

Segundo Rezende (2010), os projetos de drenagem sustentável fazem uso de estruturas de controle das águas pluviais em pequenas unidades, reduzindo a necessidade de grandes dispositivos de manejo na calha dos rios. Além disso, o conceito de sustentabilidade é aplicado, também, no que diz respeito a melhoria do ambiente construído e da qualidade de vida urbana.

Os objetivos dos SUDS baseiam-se no princípio de que o gerenciamento do fluxo das águas deve ser realizado a fim de se ter o máximo benefício. Nesse sentido, busca-se reduzir os impactos negativos da urbanização em termos de qualidade e quantidade de escoamento superficial e, simultaneamente, contribuir na oferta de amenidade e biodiversidade ao ambiente (GONÇALVES; NUCCI, 2017). Tais parâmetros apresentam mesma importância entre si e a solução ideal visa englobar todos eles, conforme ilustrado na Figura 2. Destaca-se, entretanto, que as vantagens a respeito de cada categoria dependem principalmente do espaço no qual ocorre a implantação.



Figura 2 — Objetivo dos SUDS.



Fonte: Neto (2019)

O emprego de sistemas de drenagem sustentável é eficiente quanto aos seus objetivos e capaz de impactar positivamente a sociedade como um todo. Dentre os benefícios de sua utilização, pode-se ressaltar:

- Menor volume de escoamento superficial. Tal fato contribui para a redução das concentrações de poluentes descarregados nos cursos d'água, controla os processos erosivos pela quebra e arraste de partículas e auxilia na minimização de problemas de inundações;
- Aumento da taxa de infiltração no solo. Além de coadjuvar para a redução de escoamento superficial, sua importância se dá na melhoria na recarga de aquíferos;
- Retenção das águas pluviais para reuso em atividades menos nobres;
- Criação, nos centros urbanos, de áreas de lazer que proporcionam o aumento da biodiversidade e valorização ambiental. Assim, promove-se uma melhor qualidade de vida e bem-estar para a comunidade, além de enriquecer a propriedade e economia local.

Contudo, é importante destacar que a instalação de tais dispositivos pode gerar dificuldades. Agostinho e Poletto (2012) apontam como principais desvantagens dos sistemas sustentáveis de drenagem urbana:

- Necessidade de manutenção frequente, uma vez que, integrados às áreas urbanas, tornam-se susceptíveis ao aporte de resíduos sólidos e de sedimentos provenientes da construção civil;
- Alto custo de implantação em determinados casos;
- Em sua maioria, não são resistentes à altas cargas de sedimento, tornando-se prejudicial ao sistema devido a possibilidade de colmatção. Nesses casos, faz-se necessária a introdução de dispositivos capazes de contribuir para a retenção de sólidos.

De acordo com Gonçalves e Nucci (2017), a execução de SUDS pode se dar em diferentes níveis de tamanho e complexidade. Assim, a aplicação de um sistema de drenagem sustentável pode ocorrer desde um único estabelecimento, tal como um estacionamento, indo até mesmo em uma escala municipal, com a criação de uma rede urbana de infraestrutura verde.

Além disso, existem diversos intervenientes a serem considerados na aplicação dos sistemas de drenagem sustentável, que levam em conta aspectos construtivos e os objetivos a serem alcançados, entre outros. Nesse sentido, deve-se ter um estudo a respeito do local de interesse a fim de obter a melhor solução de acordo com o cenário atual encontrado.

Woods-ballard et al. (2015) afirmam que as principais medidas sustentáveis empregadas são os sistemas de captação de água pluvial, telhados verdes, sistemas de infiltração, sistemas de tratamento, faixas filtrantes, valas revestidas com cobertura vegetal, sistemas de biorretenção, árvores, pavimentos permeáveis, tanques de armazenamento e atenuação, bacias de detenção e lagoas e zonas úmidas.

### **3.4.1. Sistemas de captação de água pluvial**

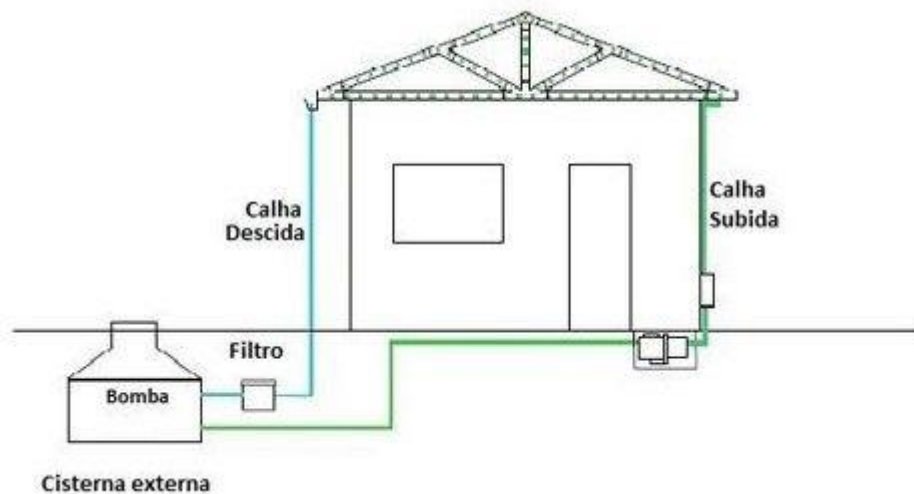
Os sistemas de captação de água da chuva são utilizados como fonte para o reuso futuro em atividades menos nobres. A água é captada através de telhados verdes ou áreas impermeáveis, armazenada, tratada - quando necessário - e utilizada para fins domésticos ou industriais (lavagens de pisos, regas de jardins e descargas sanitárias, entre outros) (WOODS-

BALLARD et al., 2015). Assim, tal medida é recomendada para edifícios habitacionais ou sistemas de rega urbanos.

Essa alternativa é capaz de auxiliar no atendimento de parte da demanda de água em edifícios, além de contribuir para a redução do volume de escoamento superficial e na redução do volume de água num sistema de atenuação de um determinado local (WOODS-BALLARD et al., 2015).

A água da chuva é coletada através de calhas, transportada por condutores verticais e horizontais e, posteriormente, armazenada em reservatório. No sistema, ocorre a separação dos resíduos sólidos presentes nas calhas através de filtros seletores, fazendo com que a água chegue filtrada na cisterna. Subsequentemente, com a utilização de um conjunto motobomba, a água é conduzida para o reservatório superior (caixa d'água) e então distribuída para os respectivos usos. A Figura 3 apresenta um sistema de captação e armazenamento de água pluvial.

Figura 3 — Sistema de captação e armazenamento de água pluvial.



Fonte: Incubada... (2014)

Segundo May (2004, apud SANTOS et al., 2008, p. 3):

A viabilidade do sistema depende basicamente de três fatores: precipitação, área de coleta e demanda. O reservatório de água da chuva, por ser o componente mais dispendioso do sistema, deve ser projetado de acordo com as necessidades do usuário e com a disponibilidade pluviométrica local para dimensioná-lo corretamente, sem inviabilizar economicamente o sistema.

### 3.4.2. Telhados verdes

Os telhados verdes consistem em áreas de vegetação instaladas nos topos de edifícios como revestimento final. Cria-se, a partir de tal, um espaço multifuncional, trazendo benefícios estéticos, valor ecológico, melhorias térmicas em termos de redução da temperatura e minimização do escoamento superficial da água pluvial.

Segundo Tassi et al. (2014), a estrutura do telhado verde é distribuída em (vide Figura 4):

- Camada de vegetação: responsável pela interceptação da água pluvial, evitando que parte desta chegue ao solo. Através da evapotranspiração, a água é transferida para a atmosfera e, conseqüentemente, há maior potencial de retenção pelo substrato. Além disso, ao atingir a saturação do solo, a vegetação contribui também para o retardo do escoamento superficial;
- Substrato: dá o suporte para a fixação das plantas, fornecendo água e nutrientes. Também atua no armazenamento temporário da água durante o período de chuva;
- Geotêxtil: consiste em uma camada filtrante, responsável por evitar a passagem de partículas do substrato para as próximas etapas do sistema;
- Camada de drenagem: evita o alagamento indesejável da área, além de reter parte da água pluvial, necessária para a vegetação em períodos de estiagem;
- Camada protetora: fornece proteção física para a membrana de impermeabilização, retendo umidade e nutrientes;
- Impermeabilização: responsável por evitar o contato da água com a estrutura do telhado e
- Estrutura do telhado, que deve suportar toda a carga acima.

Figura 4 — Estrutura do telhado verde.



Fonte: Leite (2019)

De acordo com o uso previsto para a água e o tipo de vegetação a ser comportada, os telhados verdes podem ser divididos em sistemas extensivos e sistemas intensivos.

Os sistemas extensivos são coberturas leves, isto é, com baixas profundidades de substrato e, portanto, baixa carga atuando sobre a estrutura do edifício. Possuem plantações simples, porém resistentes às variações climáticas. Assim, esses sistemas contribuem para a redução dos efeitos das ilhas de calor urbanas e para o aumento da umidade no meio. Além disso, demandam baixa manutenção e, geralmente, não são acessíveis. A Figura 5 apresenta esse sistema implantando em um ponto de ônibus, em Caxias do Sul – RS.

Figura 5 — Sistema extensivo.



Fonte: Menegon (2019)

Já os sistemas intensivos possuem substratos mais profundos e, conseqüentemente, com maiores cargas sobre o edifício. São caracterizados por grandes variedades de vegetação, permitindo o uso de plantas de maior porte. Desse modo, exigem uma manutenção mais intensa do que o sistema extensivo. Além disso, são áreas acessíveis e podem ser destinadas a uso recreativo e de lazer, sendo muitas vezes semelhantes aos jardins naturais. A Figura 6 apresenta um exemplo dessa aplicação no terraço de um edifício no Rio de Janeiro.

Figura 6 — Sistema Intensivo.



Fonte: Gouvêa (2016)

### **3.4.3. Sistemas de infiltração**

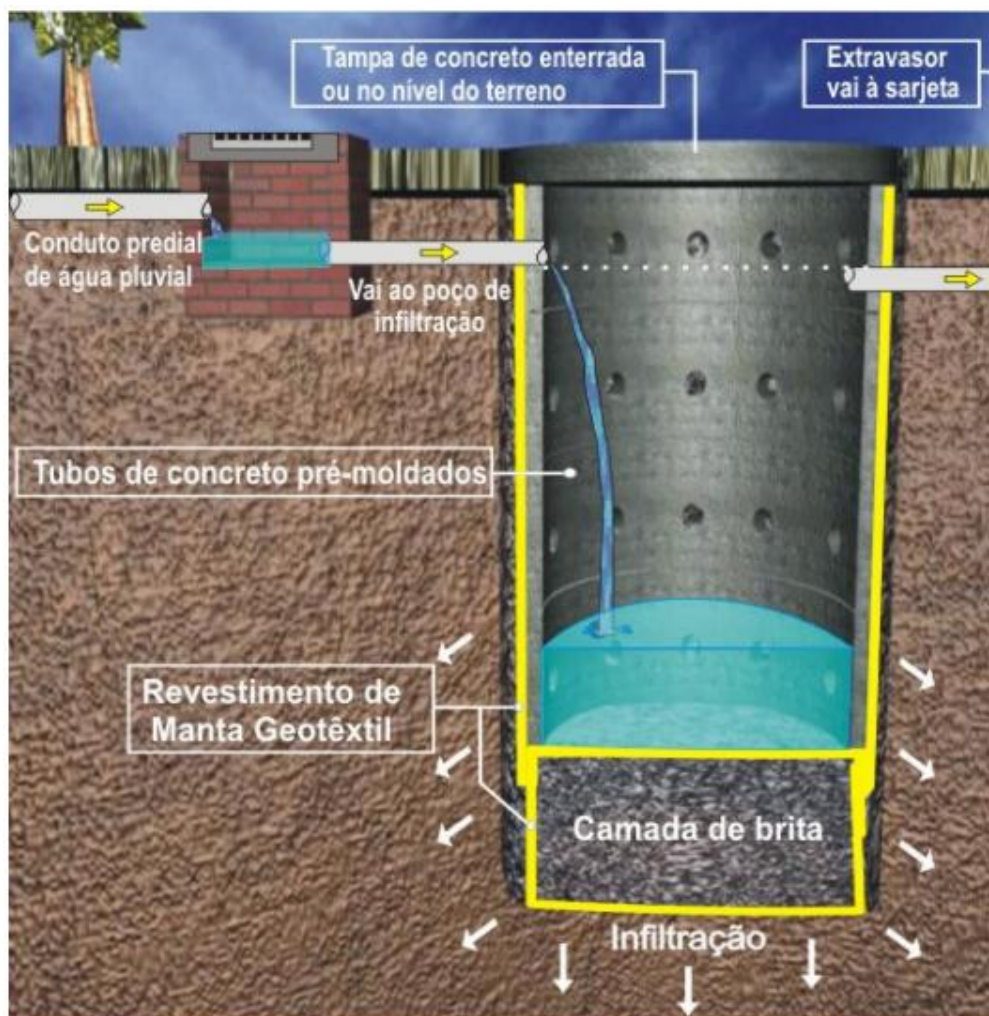
Um sistema de infiltração pode ser composto por diversos componentes de drenagem, auxiliando tanto na redução das taxas de escoamento superficial, quanto no aumento da recarga das águas subterrâneas. Ademais, pode-se ter uma combinação de diferentes sistemas, como poços, trincheiras e bacias de infiltração, que consistem em canais e zonas nas quais ocorre o escoamento ou o armazenamento de água pluvial. Vale ressaltar, ainda, que a taxa de infiltração por tais sistemas depende da permeabilidade do solo no local.

#### **3.4.3.1. Poços de infiltração**

Os poços de infiltração consistem em pequenos fossos, instalados localmente, com o objetivo de armazenar e realizar uma lenta infiltração direta de parte das águas pluviais no solo. São estruturas verticais e pontuais, que possibilitam a infiltração radial. Segundo Pinto (2011, p. 23), tais dispositivos devem ser aplicados “em locais onde o solo seja permeável, ou onde a camada superficial não apresente permeabilidade significativa, mas as camadas mais profundas, sim”.

Os poços escavados no solo podem ser preenchidos com material drenante e poroso, tais como cascalho e brita. São revestidos por geotêxtil ou envoltos por uma camada de solo granular, responsáveis por impedir a passagem de finas partículas capazes de provocar a colmatação dos poros nos poços. Além disso, conforme ilustra a Figura 7, também há a possibilidade de se instalar câmaras de armazenamento pré-fabricadas ou, ainda, uma seção de um tubo (Pennsylvania..., 2006).

Figura 7 — Poço de infiltração.



Fonte: Reis, Oliveira e Sales (2008)

De acordo com Agra (2001), os poços de infiltração são adequados ao contexto urbano uma vez que ocupam pouco espaço e, apesar de apresentarem pouca capacidade de armazenamento, uma de suas vantagens é a possibilidade de associar-se facilmente a outros



dispositivos, tais como as trincheiras, os pavimentos permeáveis e a valas. Além disso, essa medida auxilia na recarga do lençol freático, possui baixo custo de implantação e é de fácil execução.

#### **3.4.3.2. Trincheiras de infiltração**

Os sistemas de trincheiras são escavações menos profundas e de desenvolvimento longitudinal, cuja finalidade é o armazenamento temporário das águas de chuva visando uma posterior infiltração dessas no solo. Devido à sua característica linear, o potencial de infiltração de uma trincheira está relacionado ao seu comprimento, levando a bons resultados quando há maior área de contato.

Assim como nos poços de infiltração, as valas escavadas em trincheiras podem ser preenchidas total ou parcialmente com material granular e revestidas com geotêxtil para evitar a passagem de finos e a colmatação. Segundo Pinto (2011), os grânulos utilizados têm papel fundamental no armazenamento temporário, uma vez que as águas pluviais acabam por ficarem retidas em seus poros até atingir o ponto de infiltração. Além disso, conta-se também com revestimento vegetal no topo da trincheira para proteção contra contaminação do solo.

Além de contribuírem como reservatórios de amortecimento das vazões de pico, as trincheiras de infiltração atuam na redução de poluentes no escoamento, filtrando sedimentos finos, metais e hidrocarbonetos. Outro benefício é o incentivo aos processos de adsorção e biodegradação (WOODS-BALLARD et al., 2015).

Esses sistemas são adequados em locais de solos permeáveis e onde o nível do lençol freático encontra-se em maior profundidade, abaixo do fundo da trincheira. Nesse sentido, áreas urbanas densas, cujos solos apresentam baixa infiltração, devem ser evitadas. Assim, a instalação das trincheiras de infiltração é indicada para lugares tais como parques de estacionamento, estradas e áreas residenciais abertas, não havendo prejuízos à paisagem local (LOURENÇO, 2014), vide Figura 8. Além disso, de acordo com Pennsylvania... (2006), a trincheira de infiltração pode ser implantada como parte de um grande sistema de águas pluviais, como a gestão das águas de uma cidade, por exemplo, ou integrante de um sistema reduzido, de uma área local.

Figura 8 — Trincheira de infiltração.



Fonte: Lourenço (2014)

### 3.4.3.3. Bacias de infiltração

Vasco (2016) define as bacias de infiltração como áreas planas ajardinadas que recebem e armazenam um volume de água proveniente da zona de drenagem urbana. Assim, esta água é infiltrada no solo e, por se tratar de uma zona verde, passa por um processo de filtração natural, com a retenção de detritos e poluentes transportados pelo escoamento. Além disso, contribuem para a redução do volume de enxurradas e recarga da água subterrânea.

As bacias podem ser escavadas em terreno cercado por taludes ou, ainda, construídas com o auxílio de pequenas encostas já existentes no local. Destaca-se que, para sua adoção, deve-se ter um solo permeável e com nível de lençol freático suficientemente profundo (BEUX; OTTONI, 2015). Ademais, sua estrutura conta com uma cobertura vegetal, o solo e uma cobertura de cascalho, fundamental para a remoção de poluentes que ocorre através da combinação de processos naturais físicos, químicos e biológicos.

A aplicação deste dispositivo pode se dar em maior ou menor escala, como é visto nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 — Grande bacia de infiltração.



Fonte: Woods-ballard et al. (2015)

Figura 10 — Pequena bacia de infiltração.



Fonte: Woods-ballard et al. (2015)

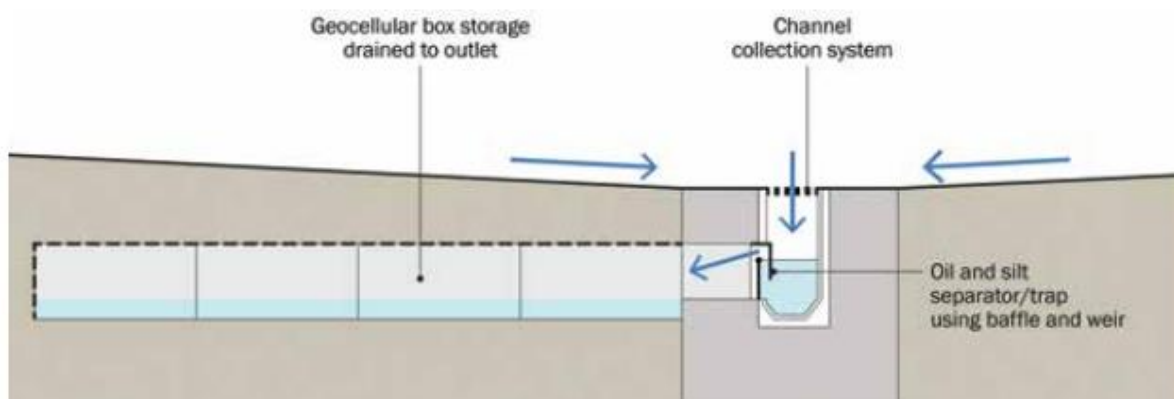
#### **3.4.4. Sistemas de tratamento**

Os sistemas de tratamento aplicados nas redes de drenagem urbana são dispositivos fabricados capazes de remover poluentes específicos presentes no escoamento superficial, tais

como óleos e partículas, conforme ilustra a Figura 11. Sua aplicação é essencial quando existem restrições locais que impedem o uso de outros métodos. Além disso, contribuem em diversos aspectos da drenagem sustentável, tais como:

- Redução da manutenção nas redes de drenagem públicas a jusante;
- Remoção e tratamento de efluentes potencialmente perigosos;
- Retenção de sólidos provenientes do escoamento;
- Evitar o risco de perturbação devido às operações convencionais de remoção de sedimentos nas áreas implantadas.

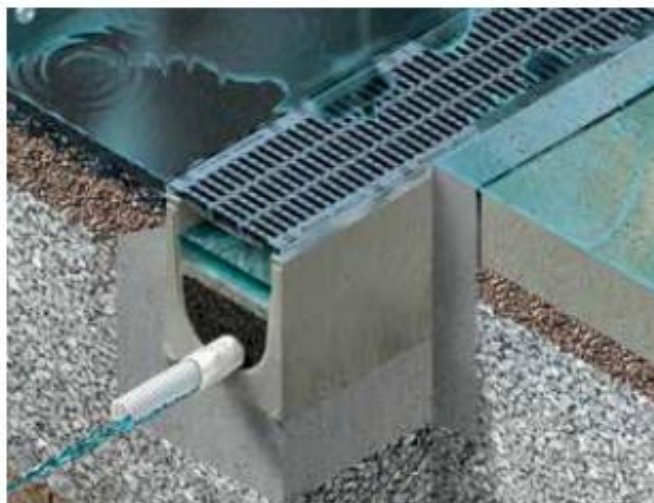
Figura 11 — Separação de óleos e partículas através dos sistemas de tratamento.



Fonte: Woods-ballard et al. (2015)

A princípio, os sistemas de tratamento eram implantados apenas como dispositivos complementares de pré-tratamento. Porém, devido à grande capacidade de remoção de poluentes, atualmente, em determinadas situações, não há a necessidade de um dispositivo de tratamento à jusante (WOODS-BALLARD et al., 2015). Ademais, como é visto na Figura 12, a instalação dos sistemas de tratamento também contribui de forma a atenuar o escoamento superficial, uma vez que a vazão ocorre tanto por infiltração no solo, quanto pela presença de um dreno de filtro abaixo do canal.

Figura 12 — Processos de infiltração através dos sistemas de tratamento.



Fonte: Woods-ballard et al. (2015)

### 3.4.5. Faixas filtrantes

As faixas filtrantes são faixas inclinadas constituídas com vegetação densa, implantadas com o objetivo de receber e tratar as águas pluviais. Geralmente, são utilizadas como pré-tratamento do escoamento proveniente de áreas impermeáveis adjacentes, promovendo sedimentação, filtração e infiltração. Desse modo, quando instaladas anteriormente a outros componentes, como os sistemas de biorretenção e as valas, permitem o prolongamento da vida útil desses, através da retenção de partículas. Por outro lado, podem atuar também como forma de tratamento das águas de chuva, quando o comprimento da faixa é suficientemente eficaz para tal.

Para que os processos de tratamento sejam efetivos, as faixas filtrantes devem ser projetadas de forma a se ter um escoamento à baixas velocidades. Segundo Woods-ballard et al. (2015), nas faixas de velocidades baixas a moderadas, é possível reduzir os níveis de poluentes, matéria orgânica e metais pesados. Isso porque a redução de velocidade permitirá a deposição de sedimentos que contenham partículas de argila. Além disso, quando os poluentes se infiltram no solo, são posteriormente adsorvidos pelas raízes da vegetação. Vale ressaltar, ainda, que a eficiência de tratamento está relacionada à densidade da vegetação e o tempo de contato desta com a água.

De acordo com Lourenço (2014), esses dispositivos adequam-se ao tratamento de águas pluviais em áreas de estradas e estacionamentos. São facilmente incrementadas às paisagens urbanas, como apresentado na Figura 13.

Figura 13 — Exemplo de faixa filtrante em zona urbana.



Fonte: Lourenço (2014)

#### **3.4.6. Valas revestidas com cobertura vegetal (Swales)**

As valas revestidas com cobertura vegetal são canais abertos de desenvolvimento longitudinal, geralmente pouco profundos e de secção variável, podendo ter forma triangular, trapezoidal ou curva (LOURENÇO, 2014). Tem-se que as valas padrões são largas, rasas e cobertas por vegetação, geralmente capim, com o objetivo de armazenar e retardar o escoamento da água pluvial e, conseqüentemente, facilitar a sedimentação, a filtração através da zona radicular, a evapotranspiração e a infiltração no solo.

Incorporam soluções bem integradas ao meio urbano, podendo melhorar a paisagem natural e proporcionar benefícios estéticos e de biodiversidade, vide Figura 14. Assim, as valas são frequentemente utilizadas nas imediações de arruamentos, estradas ou estacionamentos. Além disso, podem constituir-se de diferentes técnicas de plantio, que vão depender diretamente das características do local, tais como solo, clima e objetivos do sistema.

Figura 14 — Vala revestida por cobertura vegetal integrada à zona urbana.



Fonte: Woods-ballard et al. (2015)

Woods-ballard et al. (2015) afirmam que esses canais podem substituir as tubulações convencionais como meio de transporte do escoamento e, com a implantação de filtros adjacentes, podem, também, eliminar a necessidade de sarjetas. Destaca-se, portanto, que a alternativa aos sistemas tradicionais se dá em locais que possuem taxa de escoamento relativamente baixa.

As valas demandam baixo custo de instalação e manutenção, sendo adequadas à sistemas combinados com outros dispositivos SUDS. Além disso, são capazes de remover poluentes de forma similar às faixas filtrantes. Entretanto, por não apresentarem bom desempenho para gerir caudais elevados, esta solução não é indicada para tratamento de fim de linha (LOURENÇO, 2014).

### **3.4.7. Sistemas de biorretenção**

Os sistemas de biorretenção consistem em depressões pouco profundas na superfície do terreno, objetivando armazenar e infiltrar os volumes de escoamento, além de tratar os poluentes através de sua composição de solo e vegetação. Esses dispositivos contribuem, ainda,

como atrativo paisagístico, são auto irrigantes e férteis, favorecem o habitat e a biodiversidade local e proporcionam o resfriamento do microclima devido à evapotranspiração.

São componentes flexíveis de gestão das águas superficiais, uma vez que podem ser integrados em diversas paisagens, desde áreas reduzidas como um quintal, até grandes espaços tais como estradas e estacionamentos. Além disso, conta com a possibilidade de se ter uma ampla variedade de formas, materiais, plantações e dimensões. Assim, os sistemas de biorretenção podem se apresentar tanto como pequenos jardins, em suas formas mais simples ou, quando complexos, constituídos por camadas de areia e gravilha, que aumentam o poder da infiltração (LOURENÇO, 2014).

De acordo com Pennsylvania... (2006), as técnicas de biorretenção acabam por propiciar um ambiente similar aos ecossistemas naturais, criando uma densidade de espécies nativas e distribuição da vegetação. Isso porque a filtração decorrente da presença de vegetação e diferenças granulométricas no solo garante uma qualidade da água. Já o processo de transpiração das plantas assegura a quantidade de água, uma vez que parte do volume de escoamento será removido através dela. Vale ressaltar, ainda, a possibilidade de zonas de tratamento anaeróbio objetivando a remoção de nutrientes.

Os sistemas de biorretenção têm como principais componentes o meio filtrante, camada de transição (geotêxtil), camada drenante, descarga de emergência e dreno (VASCO, 2016), como ilustra a Figura 15. Entretanto, ressalva-se que há diferentes tipos de sistemas, o que pode gerar uma variação em suas formas de implantação e objetivos a serem alcançados, sendo eles: jardins de chuva, poços-árvores, trincheiras e biorretenção anaeróbica.



Figura 15 — Componentes de um sistema de biorretenção.



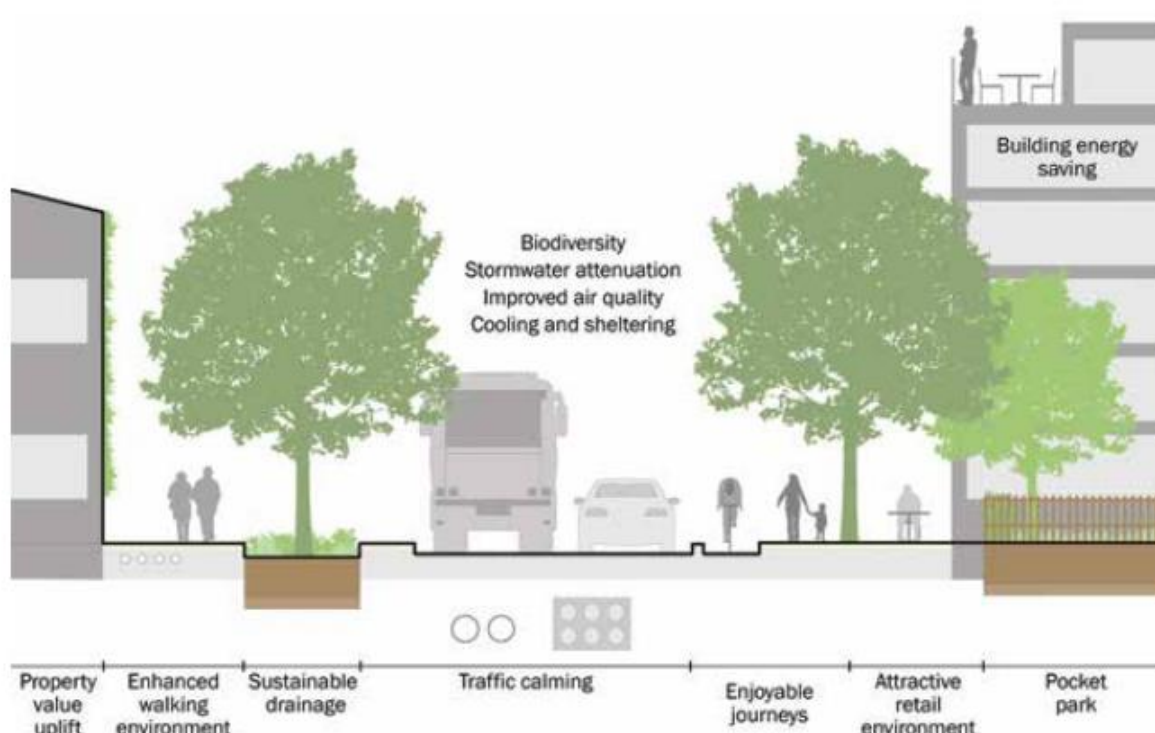
Fonte: Vasco (2016)

### 3.4.8. Árvores

A implantação de árvores no meio urbano é uma estratégia de grande valia para a gestão das águas pluviais, visto que suas estruturas e funções vitais contribuem diretamente na redução do escoamento superficial. A transpiração, por exemplo, faz com que a água seja retirada do solo através das raízes e evaporada pela ação dos estômatos das folhas. Além disso, a interceptação das folhas, galhos e ramos permite a absorção e evaporação da precipitação. Destaca-se, também, o aumento da taxa de infiltração devido ao crescimento de raízes e a realização da fitorremediação, que contribui para a assimilação de substâncias nocivas (metais, solventes, compostos orgânicos e combustíveis) utilizadas como nutrientes para a plantação.

Além disso, a utilização dessa técnica pode trazer benefícios para a sociedade como um todo, tais como: melhoria na saúde e bem-estar devido ao maior valor paisagístico; redução do consumo anual de energia nos edifícios em consequência do melhor controle de temperatura local; redução de ruídos indesejados; criação de habitats vitais para os pequenos animais, como insetos e pássaros; fornecimento de uma fonte de alimentação e absorção e armazenamento do dióxido de carbono, como ilustrado na Figura 16 (WOODS-BALLARD et al., 2015).

Figura 16 — Benefícios da implantação de árvores nas áreas urbanas.



Fonte: Woods-ballard et al. (2015)

De acordo com Woods-Ballard et al. (2015), as árvores podem ser plantadas como componentes em uma série SUDS de infiltração, como sistemas de biorretenção, bacias de detenção ou swales, a fim de melhorar os resultados, ou podem ser utilizadas como elementos autônomos para a redução do escoamento superficial.

### 3.4.9. Pavimentos permeáveis

A aplicação de pavimentos permeáveis tem como objetivo reduzir as áreas impermeáveis no meio urbano. Assim, diferenciam-se dos pavimentos tradicionais pela capacidade de drenar o escoamento através da superfície, permitindo o armazenamento e posterior infiltração das águas no solo (LOURENÇO, 2014). Segundo Vasco (2016), contam com a possibilidade de remoção de poluentes através das camadas constituintes do pavimento, realizando o tratamento do efluente em consequência dos processos filtração, adsorção,

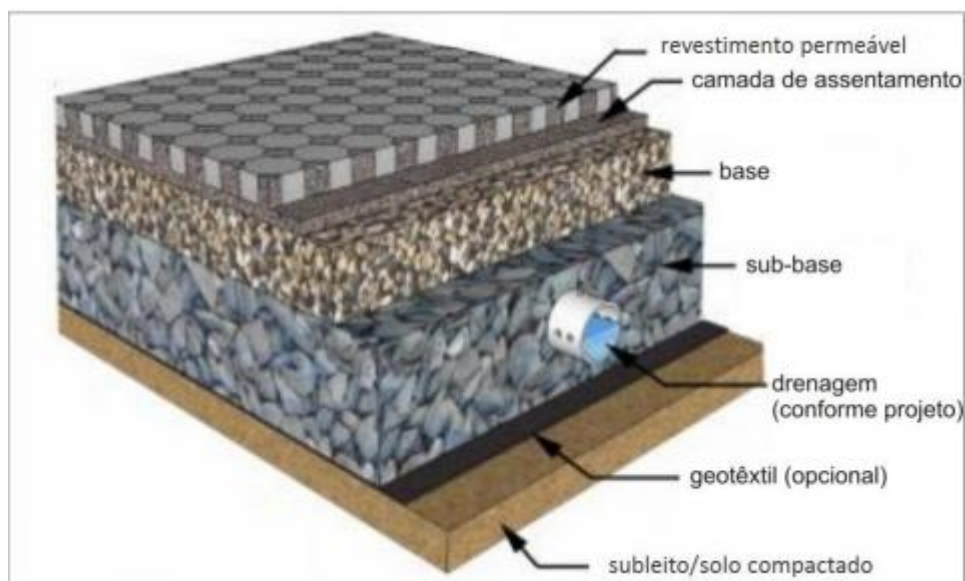
biodegradação e sedimentação. Além disso, contribuem também para um maior conforto da comunidade, com a redução de ruídos e menor formação de aquaplanagem.

Ressalta-se também a contribuição desses dispositivos para a recarga do lençol freático. Nesse contexto, Pinto (2011) destaca que um ponto a ser considerado é a possível contaminação da água subterrânea, mesmo que em baixa escala. Assim, tem-se que tal ocorrência se relaciona com as condições de uso do solo e a profundidade do lençol freático.

Esses dispositivos podem ser caracterizados de duas formas: pavimentos porosos ou pavimentos permeáveis. O primeiro diz respeito a um calçamento cujo material permite a infiltração da água por toda a superfície na qual é instalada. Já os pavimentos permeáveis são formados por um material impermeável, com a existência de vazios em toda sua extensão, permitindo que a água seja infiltrada (VASCO, 2016).

Tipicamente, são constituídos por camadas, vide Figura 17. A primeira, camada da superfície, é o pavimento propriamente dito. Na segunda camada tem-se o filtro, formado por agregados finos ou médios e, por fim, o reservatório de pedras, composto por agregados graúdos. Assim, uma vez armazenada, a água é transportada por tubulações subterrâneas (BEUX; OTTONI, 2015).

Figura 17 — Camadas típicas de um pavimento permeável.



Fonte: Oliveira (2018)

Os pavimentos permeáveis são adequados para estacionamentos, ruas de tráfego leve (condomínios residenciais), praças e arenas esportivas. Entretanto, estudos realizados na França desde a década de 80 obtiveram bons resultados em aplicações em vias de maior tráfego, na cidade de Bordeaux (CERTU, 1998 apud PINTO, 2011).

#### **3.4.10. Tanques de armazenamento e atenuação**

Os tanques de armazenamento e atenuação são estruturas utilizadas para criar um espaço de retenção das águas pluviais abaixo da superfície do solo. Se diferenciam por não serem dispositivos preenchidos por agregados, como visto em casos anteriores, o que permite um maior volume para armazenamento. Possuem versatilidade no que diz respeito ao tamanho e forma, possibilitando sua adaptação de acordo com características específicas desejadas. Além disso, podem ser instalados abaixo da superfície de estradas e parques de estacionamentos, desde que resistam às condições do tráfego, e de espaços públicos abertos.

Entretanto, Woods-Ballard et al. (2015) apontam alguns pontos a serem considerados. Alguns dos dispositivos utilizados nessa técnica possuem pouca acessibilidade e, conseqüentemente, uma difícil capacidade de manutenção do sistema, uma vez que se encontram abaixo do solo. Além disso, quando utilizados isoladamente, os tanques não apresentam bom desempenho à qualidade da água. Nesses casos, se faz necessário um sistema de tratamento a montante a fim de garantir a remoção de sedimentos.

Por mais que esses sistemas sejam de grande eficiência em termos de espaço devido ao potencial de utilização do terreno acima dos tanques, devem ser integrados à estratégia global de gestão das águas pluviais, uma vez que requerem um tratamento posterior. Nesse contexto, como são sistemas estruturais, tendem a ter maior custo comparado aos sistemas de armazenamento em superfície (WOODS-BALLARD et al., 2015).

#### **3.4.11. Bacias de detenção**

As bacias de detenção surgem como dispositivos que visam o armazenamento de água pluvial por determinado período de tempo, com o poder de controlar os volumes que chegam à rede de drenagem. De acordo com Neto (2019, p. 29), “esta funcionalidade permite, para

situações onde a vazão máxima admitida pela rede é ultrapassada, escoar vazões mais baixas durante um maior período de tempo, reduzindo assim o risco de inundações.”.

Além do efeito de amortecimento dos caudais de ponta, destaca-se também um aspecto diferencial no que diz respeito a minimização de problemas de secas. Isso porque, ao reter a pluviosidade, as bacias podem ser controladas de modo a se ter uma abundância de água suficiente nos períodos críticos.

As bacias podem ser depressões vegetativas, o que proporciona melhoria na qualidade da água. Nesse caso, a superfície do solo é capaz de absorver parte do escoamento, atuando como interceptação para pequenas precipitações, desde que a infiltração não apresente risco para as águas subterrâneas. Além disso, a qualidade da água se dá pelo processo de sedimentação e remoção das partículas. Destaca-se que os benefícios para a qualidade da água relacionam-se diretamente com o tempo de retenção de um evento (WOODS-BALLARD et al., 2015).

Além disso, as bacias de retenção podem ser utilizadas como componentes auxiliares, de modo recreativo nas paisagens urbanas, sendo, neste caso, ineficientes para o tratamento da água. Para Poletto e Tassi (2012), uma das grandes vantagens desses dispositivos é sua possível instalação em áreas públicas, tais como praças, quadras, parques, que tenham uma posterior destinação após a precipitação. A figura 18 apresenta um exemplo dessa aplicação.

Figura 18 — Bacia de retenção integrada à área urbana.



Fonte: Woods-ballard et al. (2015)

As bacias de detenção podem, ainda, ser enterradas abaixo da superfície do solo, vide Figura 19. Tal utilização é adequada em situações onde não há disponibilidade de área a céu aberto, ou seja, em locais altamente ocupados. Quando construídas dessa forma, o esvaziamento das bacias após os períodos de chuva pode se dar através da utilização de bombas ou por gravidade, para cotas mais baixas (LOURENÇO, 2014). Segundo Barbosa (1996 apud AGRA, 2011, p. 29), um inconveniente dessa alternativa é o risco de afogamento, uma vez que sua resposta é muito rápida e pode haver a ocupação daquela determinada área.

Figura 19 — Bacia de detenção enterrada.



Fonte: Lourenço (2014)

#### **3.4.12. Lagoas e zonas úmidas (Wetlands)**

Woods-Ballard et al. (2015) definem as wetlands como lagoas de água permanente que proporcionam a atenuação e o tratamento do escoamento das águas pluviais. Tanto ao longo de sua costa, quanto em zonas pouco profundas e pantanosas (zonas úmidas), podem constituir-se de vegetação aquática emergente e submersa, o que auxilia nos processos de tratamento da água, além de contribuir em termos de amenidade e biodiversidade do sistema. A vegetação densa atua na retenção de contaminantes, assim como na decomposição aeróbica destes e, também, ajuda a estabilizar os sedimentos, prevenindo a ressuspensão.

O seu funcionamento consiste no controle das taxas de descarga de acordo com os níveis de água, provocando o enchimento de seu volume nos períodos de tempestades. Assim, o

escoamento superficial retido de cada episódio de chuva é tratado na lagoa, sendo sua eficiência determinada pela permanência dentro do sistema, isto é, maiores volumes proporcionam maiores períodos de tempos e, conseqüentemente, maiores oportunidades para a biodegradação e mecanismos de absorção biológica (WOODS-BALLARD et al., 2015).

A implantação de wetlands demanda a utilização de sistemas de pré-tratamento ao seu montante, a fim de evitar maus odores provenientes das águas ao ambiente aberto. Além disso, diminui-se o risco de acumulação rápida de sedimentos que possam ser de difícil extração e eliminação. Os lagos e zonas úmidas desempenham uma função valiosa no estabelecimento de sedimentos finos residuais e no "polimento" final do escoamento superficial das águas antes da descarga (WOODS-BALLARD et al., 2015).

Como dito anteriormente, esses dispositivos contribuem fortemente para a amenidade e biodiversidade local. Além disso, destaca-se seus benefícios em termos estéticos, podendo ser concebidos como elementos naturais da paisagem. Os autores do SUDS Manual afirmam que as lagoas e zonas úmidas bem geridas podem acrescentar um valor econômico significativo a um empreendimento, capaz de atrair negócios e turismo, sendo a aceitação pública dependente dos três pilares: qualidade estética, integração efetiva à paisagem, e desempenho como recurso comunitário. As Figuras 20 e 21 apresentam exemplos de wetlands construídas em áreas abertas e em meio à urbanização, respectivamente.

Figura 20 — Wetland construída em área aberta.



Fonte: Woods-ballard et al. (2015)

Figura 21 — Wetland construída em área urbana.



Fonte: Woods-ballard et al. (2015)



## 4. ÁREA DE ESTUDO

### 4.1. Bacia Hidrográfica Do Córrego São Pedro

A Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro (BHCSP) encontra-se na zona oeste da cidade de Juiz de Fora – MG, sendo parte fundamental da drenagem urbana municipal, como apresentado na Figura 22. Localiza-se topograficamente em uma região de destaque do relevo local, na qual sua amplitude altimétrica varia de 1.077m de altitude no Pico da Grota até os 680m de sua foz, no Rio Paraibuna (MACHADO, 2010).

Figura 22 — Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro.



Fonte: Latuf (2004)

Sua extensão é de aproximadamente 29,84km<sup>2</sup>, cortando diversas áreas urbanas da cidade, tais como: Borboleta, Morro do Imperador, Nossa Senhora de Fátima, São Pedro, Cruzeiro de Santo Antônio, Nova Califórnia, Novo Horizonte, Aeroporto, Fábrica, Santa Catarina, Vale do Ipê, Mariano Procópio e Jardim Glória (MACHADO, 2010).

De acordo com Machado (2010), a BHCSP apresenta uma heterogeneidade interna, permitindo sua divisão em três sub-bacias. Essas apresentam características diferentes entre si, no que diz respeito a aspectos ambientais, urbanísticos e socioeconômicos, levando a estudos distintos em cada uma de suas divisões.

A sub-bacia “A” (alto curso) corresponde às áreas de nascentes, englobando desde a nascente do córrego São Pedro até o barramento da Represa de São Pedro. Sua contribuição é

de grande importância para a cidade, uma vez que a represa que nela se encontra (também denominada de Represa dos Ingleses ou Represa do Cruzeiro de Santo Antônio) é responsável por parte do abastecimento público da população juizforana. Essa região é caracterizada por uma valorização imobiliária devido às obras de duplicação da Rodovia BR 040, que corta a bacia em questão, e a implantação da Via São Pedro, contribuinte para o aumento da especulação imobiliária na região da represa (MACHADO, 2010).

A sub-bacia “B”, que corresponde às áreas de médio curso do córrego, compreende uma região de destaque e diferenciação na expansão urbana. Isso se dá pelo contraste socioeconômico e ocupacional observado na chamada Cidade Alta. De um lado, zonas antigas e consolidadas, marcadas por pequenos loteamentos altamente ocupados e pela ausência de espaços recreativos. Em contrapartida, o seu outro lado é caracterizado por uma atual distribuição territorial, onde encontram-se condomínios fechados destinados às rendas mais elevadas (MACHADO, 2010).

Por fim, a sub-bacia “C” (baixo curso) diz respeito ao trecho que compreende os bairros Vale do Ipê, Democrata, Mariano Procópio e Borboleta. A chamada Cidade Baixa é a área de maior consolidação urbana da BHCSF. Entretanto, a região é marcada pelo aumento de ocorrências de alagamentos e enchentes nos últimos tempos. As causas desses eventos, portanto, podem relacionar-se como uma consequência dos diversos processos sofridos a seu montante, tema que será melhor abordado adiante neste trabalho.

Quanto à sua morfometria, Gerheim (2016, p.34) apresenta características relevantes no que diz respeito ao potencial da bacia quanto à drenagem urbana, sendo elas:

- Densidade de Drenagem mediana, com o valor de 1,9km/km<sup>2</sup>. Tal fato implica na facilitação da infiltração da água no solo e, conseqüentemente, atenuação das possibilidades de enchentes;
- Índice de Circularidade de 0,3, indicando que a bacia possui formato mais alongado do que circular. “Este fator pode refletir, teoricamente, uma baixa probabilidade de ocorrência de enchentes súbitas e possíveis inundações no canal principal.”;
- Gradiente Altimétrico baixo. Isso pode aumentar a probabilidade de ocorrência de inundações, uma vez que a velocidade de escoamento tende a ser menor. Destaca-se, entretanto, ao se comparar as sub-bacias, que o valor deste parâmetro é ainda menor no

baixo curso, o que pode influenciar à maior possibilidade de alagamentos na região em questão.

A respeito das propriedades do solo, Fontainha e Faria (2010) afirmam que, apesar de não se ter dados precisos com uma distribuição geográfica dos diversos tipos de solos da região, é possível identificar àqueles que são predominantes no município de Juiz de Fora. As autoras destacam os Latossolos Vermelho-Amarelo (álico e distrófico), além da presença dos Cambissolos e Neossolos litólicos e distróficos. Também apontam que, nas áreas de várzeas, que são as mais propícias às inundações, são identificados os solos Aluviais e Glei pouco húmico.

#### **4.2. O processo de urbanização na BHCSP e suas consequências**

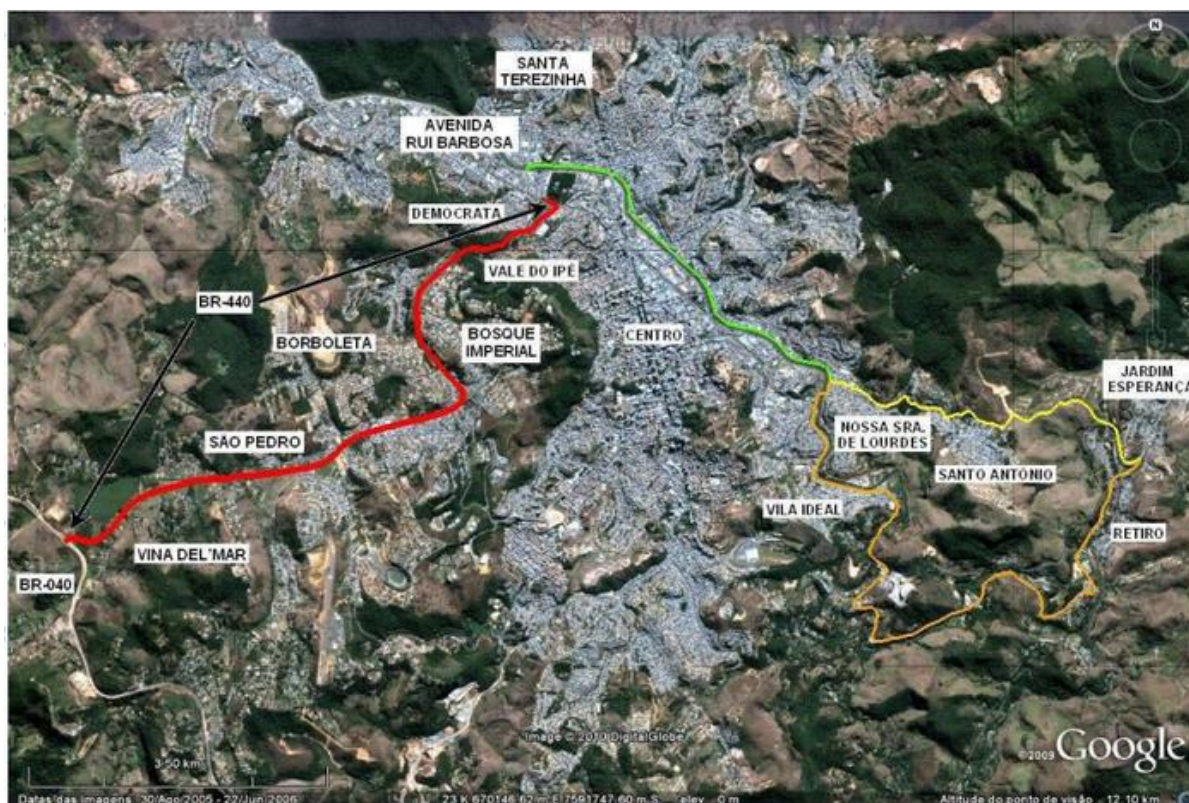
No ano de 1858, inicialmente a região da BHCSP fora ocupada por colonos alemães, em um momento no qual ainda era possível a recreação de contato primário com as águas da cachoeira do Vale do Ipê. A ocupação teve seu aumento a partir de 1960, ano em que foi fundada a Universidade Federal de Juiz de Fora, localizada no médio curso da bacia (PERONI, 2013).

Ressalta-se, entretanto, que a maior expansão foi então decorrida pela implantação da Rodovia BR 040, no alto curso, sendo uma das maiores intervenções ocorridas na região. Inaugurada em junho de 1980 e posteriormente ampliada, a estrada corta a bacia em 4.230 metros de extensão, segundo Machado (1998 apud MACHADO, 2010). Construção essa caracterizada por impactar diretamente a Represa de São Pedro devido à movimentação de terra, cortes e aterros que causaram problemas de assoreamento e conseqüente redução da capacidade de armazenamento da mesma.

Além disso, a partir dos anos 2000, iniciou-se um antigo projeto de ligação da BR 040 com a BR 267. Assim, a implantação da nomeada Rodovia BR 440 levou ao processo de retificação e canalização do córrego São Pedro. Uma grande discussão acerca de tal obra se desdobra até os dias atuais. Isso porque, de acordo com Machado, Pinto e Costa (2016), originalmente o intuito desta seria fazer a ligação da BR 040 com a Avenida Ruy Barbosa, a fim de reduzir o trânsito na área central da cidade em direção a outras cidades da Zona da Mata. Entretanto, quando iniciada as obras de sua construção, um ambiente diferente do projeto já

teria se consolidado, destacando a presença do bairro Democrata (próximo ao local onde se pretendia implantar um anel viário de ligação com o bairro Santa Terezinha), a intensificação do fluxo viário na avenida em questão e o grande risco de impactos para a Represa de São Pedro. A Figura 23 ilustra todo o trecho previsto da BR 440.

Figura 23 — Rodovia BR 440.



Fonte: Rocha (2010)

Rocha e Paiva (2010) apontam importantes agravantes decorrentes da implantação da BR 440. Os autores destacam o nível da água do Córrego São Pedro, que, ao elevar-se em épocas de cheia, propicia o funcionamento contrário do sistema de drenagem, alagando a região. Efeito este que ainda é exacerbado ao somar-se com os baixos níveis das ruas laterais. Além disso, mostram uma projeção equivocada do canal, uma vez que o mesmo foi projetado com menor largura e maior altura do que deveria, o que também contribui fortemente para o aumento das ocorrências de enchentes. A Figura 24 apresenta esse canal, destaca-se aqui sua altura e o desnível em relação à rua (Avenida Pedro Henrique Krambeck).

Figura 24 — Altura do canal construído para a canalização do Córrego São Pedro.



Fonte: Campos e Souza (2010)

As obras ficaram paradas por aproximadamente seis anos e retornaram em 2018 com a ligação da Cidade Alta com a BR 040, apresentando restrições devido à ausência de licenças ambientais (MGTV, 2018). Porém, atualmente o projeto encontra-se novamente parado.

Concomitante a isso, o processo de ocupação na bacia foi altamente estimulado. Assim, surgem no seu alto curso sítios e granjas de maiores áreas. De acordo com Machado, Pinto e Costa (2016), são comuns nestes locais pequenas lagoas construídas para uso ornamental. Responsáveis pelo represamento e conseqüente alteração da dinâmica do córrego, tal implantação também representa intervenção em Áreas de Preservação Permanente (APP).

Os autores destacam também, no médio curso da bacia, o trecho entre o German (Centro de Lazer e Cultura) e a Represa São Pedro, a chamada Via São Pedro, onde o córrego está totalmente retificado e canalizado, conforme apresenta a Figura 25. Nesse local, naturalmente seu curso era sinuoso, o que já provocava transbordamentos frequentes.

Figura 25 — Canalização do córrego no trecho entre o German e a Represa São Pedro.



Fonte: Acesso... (2010)

Já em seu baixo curso, a Cachoeira do Vale do Ipê representa o maior divisor da BHCSP, diferenciando a Cidade Alta e a Cidade Baixa, sendo também o único ponto do córrego o qual não sofreu alterações. Caracterizada por uma significativa queda, em 1887 foi instalada em seu sopé uma pequena hidrelétrica que fornecia energia à chamada Fábrica dos Ingleses. Tal fato é reconhecido como um marco na industrialização do município (MACHADO, 2010).

Além disso, é neste local da bacia em que os bairros se encontram mais consolidados. Segundo Machado, Pinto e Costa (2016, p. 1278):

Enquanto no Bairro Vale do Ipê o canal do Córrego São Pedro se apresenta mais encaixado e mais rebaixado em relação ao fundo dos terrenos, no Bairro Democrata, seu canal corta a planície de inundação, que frequentemente convive com seus transbordamentos. Nessas duas áreas, seu traçado foi totalmente transformado, especialmente pelos trabalhos de retificação, que acabaram com os inúmeros meandros que o caracterizavam nessa região de baixo curso, como pode ser comprovado pelo conteúdo das plantas desses loteamentos.

É importante ressaltar, porém, que as alterações no baixo curso tiveram seu início entre 1858 e 1861, quando o lago do Museu Mariano Procópio foi construído na chamada “Vila”, mansão que abrigava a família imperial de Dom Pedro II. Destaca-se também, em 1875, a

implantação da ferrovia que passa sobre o córrego (canalizado nesse trecho) na altura do bairro Mariano Procópio (MACHADO, PINTO E COSTA, 2016).

Diante desse cenário, Gerheim (2016) identifica, entre os anos 1983 e 2016, uma grande supressão de remanescentes florestais em diversos pontos da bacia, principalmente em seu alto e médio curso. Devido ao crescimento urbano, o autor aponta a relação direta da redução de vegetação arbustiva e pastagem com as alterações de escoamento superficial na área. Além disso, seu trabalho ainda mostra que no ano de 2016 um total de 26,7% da área de APP encontrava-se ocupada. De acordo com Gerheim (2016, p. 54):

Amplificam-se, neste contexto, os impactos do escoamento superficial em áreas de alta declividade, através da promoção de movimentos de massa e erosão (laminar e/ou linear). Por conseguinte, processos de assoreamento dos canais seriam acentuados, sendo este um dos fatores que pode provocar alagamentos e enxurradas com a obstrução de sistemas de drenagem pluvial, como bocas de lobo; e inundações, com a diminuição da vazão de um canal.

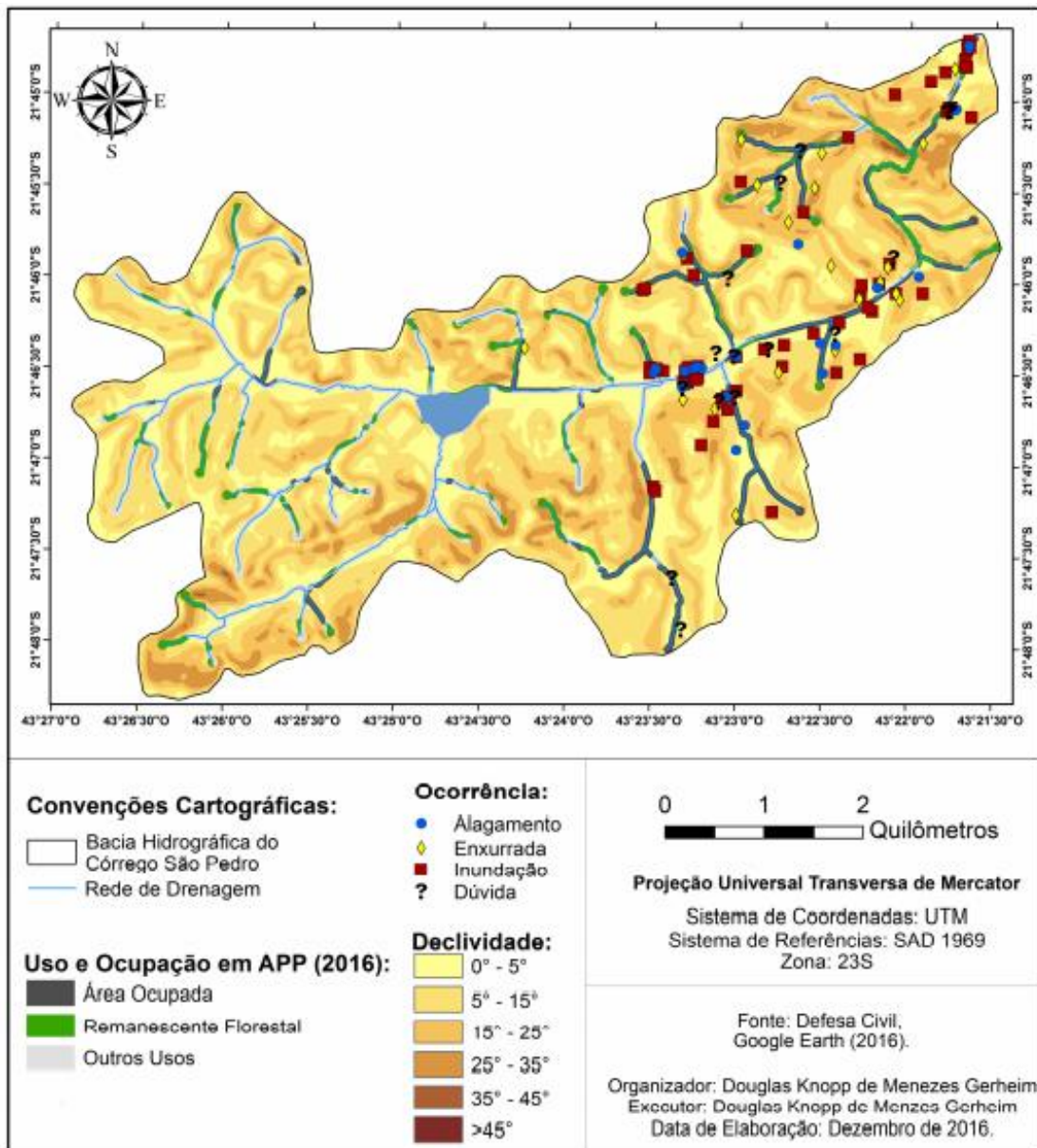
O Artigo 6º do Código Florestal (Lei 12.651/12) define como uma das finalidades das Áreas de Preservação Permanente “conter a erosão do solo e mitigar riscos de enchentes e deslizamentos de terra e de rocha” (BRASIL, 2012). Nesse contexto, Guimarães e Braga (2017) mostram que, quando a aplicação das APPs não ocorre conforme prevê a lei, esse objetivo, de fato, não é alcançado em situações de enchentes, devido às composições do meio urbano.

No que diz respeito ao processo de ocupação, Tucci (1995, p. 20) afirma que este tende a ocorrer no sentido de jusante à montante, devido às características de relevo. Tal fato pode se tornar um problema quando não há controle do crescimento urbano ou não ocorre a ampliação da capacidade de drenagem local. A falta desses cuidados contribui para o aumento da vazão máxima, e seus impactos sobre a bacia passam despercebidos. Assim, tem-se um aumento da ocorrência de enchentes “através da sobrecarga da drenagem secundária (condutos) sobre a macrodrenagem (riachos e canais) que atravessa as cidades. As áreas mais afetadas, devido à construção das novas habitações a montante, são as mais antigas, localizadas a jusante.”.

Como visto anteriormente, a tendência apontada por Tucci (1995) se aplica no contexto da Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro, visto que os bairros da Cidade Baixa se encontram majoritariamente consolidados, enquanto seu médio e alto curso vêm sofrendo alterações e novas ocupações até os dias atuais.

Ao comparar-se as ocorrências de alagamentos, enxurradas e inundações ao longo da BHCSP, Gerheim (2016) mostra que, de fato, os casos são maiores no médio e, principalmente, no baixo curso da bacia, vide Figura 26.

Figura 26 — Ocorrências de alagamentos, enxurradas e inundações na BHCSP.



Fonte: Gerheim (2016)



Portanto, tem-se que o aumento da impermeabilização do solo na bacia contribui diretamente para as ocorrências de enchentes à jusante. Destaca-se aqui o fato de o Gradiente Altimétrico ser maior no alto e médio curso, como citado anteriormente, fazendo com que nesses pontos a velocidade de escoamento seja mais elevada. Com as intervenções urbanas e consequente redução da infiltração de água no solo, essa característica pode ser potencializada e, somando-se à menor velocidade de escoamento no baixo curso, tem-se como resultado o maior poder de alagamento na Cidade Baixa. As Figuras 27 e 28 apresentam casos de inundações nos bairros Borboleta e Mariano Procópio, respectivamente.

Figura 27 — Nível de água na Rua José Lourenço no bairro Borboleta, no dia 11/03/18.



Fonte: Valente (2018)

Figura 28 — Nível de água no bairro Mariano Procópio.



Fonte: Exposição... (2019)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do estudo realizado, nota-se que algumas questões devem ser ajustadas no que diz respeito à implantação de SUDS no Brasil, uma vez que se trata de uma experiência ainda nova no país. Primeiramente, Tucci (2012) afirma que as legislações municipais precisam de medidas capazes de conter o escoamento para que esses sistemas possam ser adotados nas cidades. De acordo com o autor, os países desenvolvidos que já utilizam da drenagem urbana sustentável desde os anos 1970 o fazem desse modo, e a própria literatura estrangeira traz muito conhecimento acerca dessa prática.

Pensando nisso, e, levando em consideração que para os locais ainda pouco construídos são indispensáveis as medidas não estruturais, a primeira solução aqui proposta não diz respeito diretamente aos dispositivos de drenagem urbana sustentáveis, mas sim a aplicação eficiente do Plano de Drenagem de Juiz de Fora no alto curso da bacia, uma vez que esse controle de escoamento deve ocorrer à montante, evitando o aumento da vazão máxima.

O Plano de Drenagem de Juiz de Fora – Parte 1: Zona Norte tem como meta (PJF, 2011, p. 13):

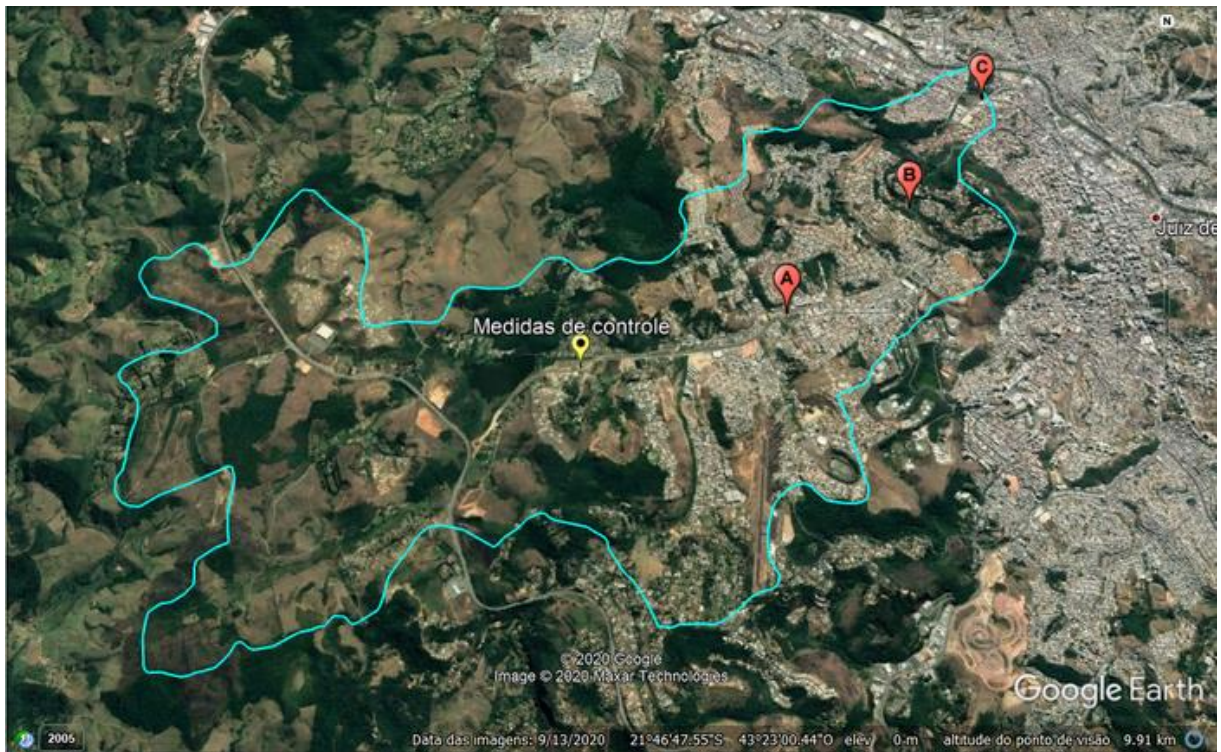
Promover a aprovação da Minuta de Projeto de Lei Municipal que dispõe sobre o controle da drenagem urbana no Município de Juiz de Fora, limitando a vazão de saída de novos empreendimentos urbanos, edificações ou loteamentos, à vazão anterior à sua construção.

Além disso, dentro a temática SUDS, também consta no plano como instrumento básico o “incentivo ao uso de pavimentos permeáveis e outras medidas de controle na fonte da drenagem urbana por parte dos empreendedores.” (PJF, 2011, p. 13).

Portanto, destaca-se aqui a importância de uma correta execução e monitoramento do documento legal, uma vez que este já inclui a promoção dos sistemas sustentáveis. Ademais, sugere-se também a intervenção na Represa dos Ingleses, tal como o desassoreamento da mesma a fim de potencializar a sua capacidade de armazenamento.

Diante da adoção das medidas de controle do escoamento, os sistemas sustentáveis de drenagem urbanas propostos no presente trabalho localizam-se na bacia conforme ilustra o Mapa 1.

Mapa 1 — Localização dos SUDS na BHCSP.

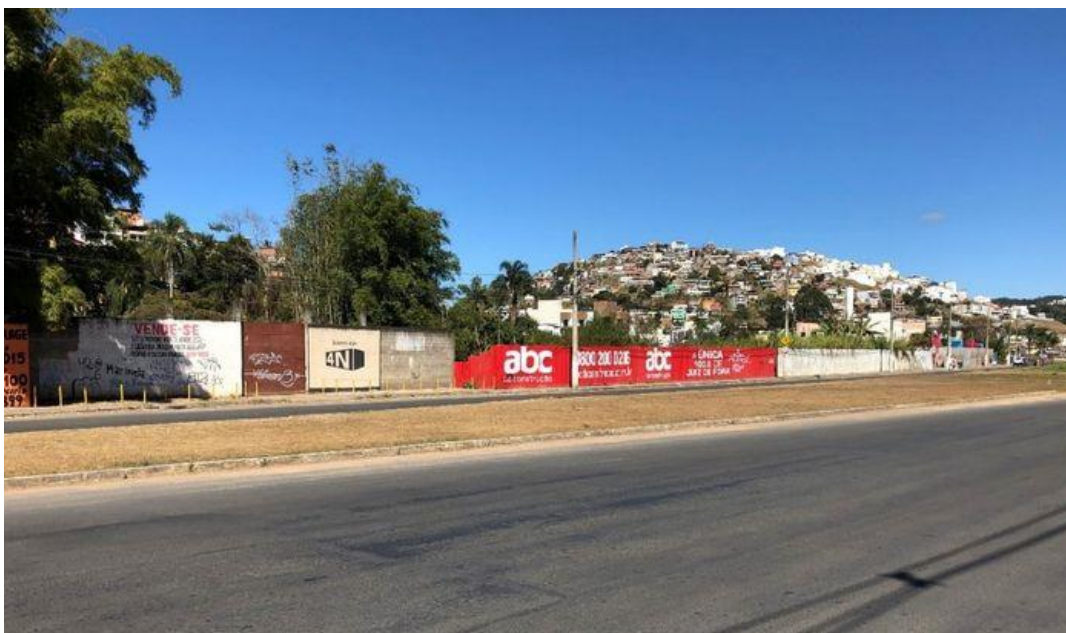


Fonte: Elaborado pelo próprio autor

### 5.1. Solução A

Localiza-se na Avenida Pedro Krambeck, em parte do trecho entre o German e a Represa São Pedro. Nesse local, como dito anteriormente, o córrego está retificado e parte dele canalizado. Além disso, corresponde a uma rodovia ampla com tráfego baixo a moderado, o que atrai a população juiz-forana à prática de caminhadas no local. Para tal, sugere-se a implantação de faixa filtrante acima do canal construído em conjunto com sistemas de biorretenção. A Figura 29 apresenta esse canteiro.

Figura 29 — Canteiro na Av. Pedro Krambeck sugerido para a implantação de uma faixa filtrante.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Foi visto que a faixa filtrante é uma solução que, além de integrar o ambiente, atua tratando as águas provenientes de áreas impermeáveis adjacentes. Woods-Ballard et al. (2015) afirmam que para a instalação dessa, é conveniente se ter uma superfície inclinada, favorecendo todo o processo, característica essa que é observada no local proposto. Além disso, ressalta-se a possibilidade de uma faixa filtrante atuando individualmente para o tratamento das águas pluviais ou, ainda, um conjunto faixa filtrante e sistema de biorretenção. Na primeira situação, o sistema seria responsável apenas pela remoção dos poluentes urbanos nas águas infiltradas, sem interferir no que diz respeito aos alagamentos observados na região. Entretanto, ao combinar-se com os sistemas de biorretenção, é possível diminuir a vazão à jusante, podendo minimizar esse problema.

## 5.2. Solução B

Optou-se pela Rua José Lourenço Kelmer, próximo à entrada do condomínio Granville. O local é adjacente a uma rodovia de tráfego intenso e conta com remanescente florestal. Observa-se, porém, em tempos de cheia, alagamentos na região. Portanto, a fim de potencializar

a capacidade de infiltração do solo, sugere-se a instalação de uma bacia de infiltração. A Figura 30 apresenta o local.

Figura 30 — Local sugerido para implantação de uma bacia de infiltração.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Como visto, para a instalação de uma bacia de infiltração, deve-se certificar de que o nível do lençol freático seja suficientemente profundo. Além disso, observa-se que no local em questão ainda seria necessária a retirada da vegetação nativa. Portanto, nesse caso, é imprescindível a obtenção da Autorização de Supressão de Vegetação (ASV), instrumento de licenciamento ambiental que disciplina esse procedimento.

É importante ressaltar que a bacia de infiltração instalada no local proposto resulta diretamente na redução das ocorrências de enchentes nos bairros da Cidade Baixa. Isso porque, dentre as soluções propostas, é a que tem maior capacidade de infiltração e de redução do escoamento, o que, de fato, minimiza a vazão que chega no baixo curso da bacia.

### 5.3. Solução C

Localiza-se na Rua Benjamin Guimarães, no bairro Mariano Procópio. O local é majoritariamente impermeável, sendo uma rua de alto tráfego que dá acesso às entradas dos bairros próximos. Além disso, possui comércio, edifícios domiciliares e um grande número de vagas de estacionamento, vide Figura 31. Sugere-se aqui a implantação de sistemas de biorretenção.

Figura 31 — Local sugerido para a implantação de sistemas de biorretenção.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Foi visto que os sistemas de biorretenção são flexíveis, podendo fazer parte de diferentes áreas e apresentar-se de diversos tamanhos. Por se tratar de uma área relativamente pequena e, sabendo-se que é comum a instalação desses a margens de vias, sugere-se a substituição de algumas das vagas de estacionamento na rua proposta por tais sistemas. Destaca-se que uma de suas principais funções é tratar as águas pluviais. Porém, como visto na Solução A, a implantação de biorretenção contribui, também, para o armazenamento e redução do escoamento.

Na Figura 32 é possível observar um exemplo de sistema de biorretenção em um bairro residencial em Londres, destacando-se aqui a possibilidade de fácil integração com o ambiente.

Figura 32 — Sistema de biorretenção em Londres.



Fonte: Woods-ballard et al. (2015)

Entretanto, ainda sobre as dificuldades de se implantar tais tecnologias no país, Souza (2013, p. 63) traz uma discussão a respeito da divergência encontrada nos instrumentos legais brasileiros que possam ser relevantes para a gestão da drenagem urbana. Como exemplo, aponta as definições de limites de uso em APPs, visto que, no antigo Código Florestal (Lei 4.771/1965), a responsabilidade era transferida para o município através dos Planos Municipais, porém, de acordo com o autor “sua observação efetiva nunca ocorreu devido ao reconhecimento de que o Código Florestal só teria validade em área rural, já que as áreas urbanas dispunham de instrumento próprio (Lei 6.766/79)”. Quanto ao Novo Código Florestal (Lei 12.651/2012), Souza (2013) salienta que há uma brecha, uma vez que, ainda que as Leis Municipais devam respeitar os limites definidos para as APPs, o espaço a ser analisado diz respeito às áreas rurais e urbanas “consolidadas”.



## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho possibilitou conhecer os aspectos dos sistemas de drenagem urbana sustentáveis e suas principais diferenças no que diz respeito às técnicas convencionais. Ademais, agregou-se o conhecimento a respeito da região da Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro, permitindo-se, então, pensar em soluções aplicáveis a fim de minimizar a problemática das ocorrências de alagamentos e enchentes nos bairros Democrata, Vale do Ipê e Mariano Procópio, em Juiz de Fora - MG.

Para que a proposta de implantação de SUDS no local determinado fizesse sentido, realizou-se um estudo de todos os sistemas de drenagem urbana sustentáveis, utilizando-se como base “The SuDS Manual” de Woods-Ballard et al. (2015), além de outros trabalhos acadêmicos anteriormente publicados. Buscou-se identificar as particularidades construtivas de cada um, assim como suas funcionalidades, vantagens e desvantagens.

Além disso, explorou-se o processo da urbanização na região da BHCSF, do seu início até as obras que permeiam ainda nos dias atuais. O objetivo dessa contextualização consistiu em relacionar as alterações ocorridas na bacia com a questão das inundações observadas na Cidade Baixa. Assim, pode-se observar que, apesar de algumas características naturais do curso d’água contribuir para as ocorrências nos bairros descritos, como o Gradiente Altimétrico, as ações antrópicas impulsionam fortemente tal situação. Como foi visto, o sentido de ocupação, a urbanização sem planejamento e a impermeabilização em Áreas de Preservação Permanente são alguns dos fatores que levaram ao cenário atual.

Portanto, ao analisar o contexto de ocupação e, com o auxílio da ferramenta Google Earth Pro e visitas nos locais previamente pensados, foi possível propor a aplicação de medidas não estruturais e a implantação de sistemas de drenagem urbana sustentáveis em zonas estratégicas da bacia. Vale ressaltar, entretanto, a necessidade de um estudo aprofundado a respeito dos pontos selecionados, uma vez que, no presente trabalho, não se detalhou alguns aspectos fundamentais para as respectivas execuções, como, por exemplo, o nível do lençol freático.

Também foi discutida a imprescindibilidade de revisão dos instrumentos legais vigentes no que tange à gestão da drenagem urbana, nos âmbitos federal e municipal. Isso porque, como destacado na Revisão de Literatura, a ideia de programas de controle das inundações não tem

grande significância no Brasil. Paralelo a isso, foi visto que as legislações acabam por divergirem entre si em determinados conceitos, o que dificulta a introdução das técnicas sustentáveis de drenagem urbana no país.

Diante disso, compreende-se que, para amenizar as ocorrências de alagamentos observadas em Juiz de Fora, as medidas a serem tomadas vão além da implantação dos SUDS na cidade. A participação do órgão público é de suma importância para a reformulação e monitoramento da gestão das águas urbanas e do processo de ocupação do solo, visto que essa é uma das raízes do problema.

No que diz respeito à introdução dos sistemas de drenagem urbana sustentáveis na BHCSF, recomenda-se para pesquisas futuras, além do diagnóstico profundo dos pontos sugeridos, uma simulação acerca das técnicas aqui propostas. Assim, será possível obter uma maior concepção quanto a eficácia de cada uma e o impacto que causará na região. Ademais, é imprescindível a avaliação da aplicabilidade técnica e a viabilidade econômica a respeito de tais aplicações, possibilitando a análise de custo-benefício das proposições.

## REFERÊNCIAS

ACESSO Juiz de Fora - São Pedro. **Montreal Eng.** Juiz de Fora, 2010. Disponível em: <http://www.montreal.eng.br/aceso-juiz-de-fora-%E2%80%93-via-sao-pedro/>. Acesso em: 9 jul. 2020.

AGOSTINHO, M. S. P.; POLETO, C. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos. **HOLOS Environment**, v. 12, n. 2, p. 121-131, 2012.

AGRA, S. G. **Estudo experimental de microrreservatórios para controle de escoamento superficial**. Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BEUX, F. C.; OTTONI, A. B. Métodos alternativos de drenagem a partir da retenção e infiltração das águas de chuva no solo, visando a redução das enchentes urbanas. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, n. 17, p. 01-13, 2015.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n.ºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n.º 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 25 de maio de 2012.

CAMPOS, C.; SOUZA, L. BR 440 – Uma solução ou um problema?. **Juiz de Fora Online**, ano 2010, 18 mai. 2010. Disponível em: <https://juizdeforaonline.wordpress.com/2010/05/18/br-440-%E2%80%93-uma-solucao-ou-um-problema/>. Acesso em: 9 jul. 2020.

EXPOSIÇÃO conscientiza sobre enchentes nos bairros Mariano Procópio e Democrata. **Acessa.com**. 2019. Disponível em: <https://www.acesa.com/cidade/arquivo/noticias/2019/08/30-exposicao-conscientiza-sobre-enchentes-nos-bairros-mariano-procopio-democrata>. Acesso em: 10 jul. 2020.

FONTAINHA, P. M.; FARIA, R. L. Geologia e Pedologia. In: MACHADO, P. J. O (Org.). **Diagnóstico físico-ambiental da bacia hidrográfica do córrego São Pedro: um exercício**

**acadêmico de gestão dos recursos hídricos:** Um exercício acadêmico de Gestão de Recursos Hídricos. Ubá: Geographica, 2010, p. 20-25.

**GERHEIM, D. K. M. Alagamentos, Enxurradas e Inundações na Área Urbana de Juiz de Fora: Um Olhar Sobre as Bacias Hidrográficas dos Córregos São Pedro e Ipiranga.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

GONÇALVES, F. T.; NUCCI, J. C. Sistemas de drenagem sustentável (SUDS): propostas para a bacia do Rio Juvevê, Curitiba-PR. **Ra'e Ga**, Curitiba, v. 42, p. 192-209, dezembro 2017.

GOOGLE, Google Earth Pro. Versão 7.3.3. 2020.

GOUVÊA, L. **Telhado Verde: A união perfeita entre Design Arquitetônico, Otimização do Espaço Urbano e Sustentabilidade. Fastcon Construção Sustentável.** 2016. Disponível em: <http://fastcon.com.br/blog/telhado-verde/>. Acesso em: 27 abr. 2020.

GUIMARÃES, B. B; BRAGA, R. Áreas de Preservação Permanente urbanas e as inundações em São João da Boa Vista/SP: observações sobre a aplicação do Código Florestal Brasileiro no Córrego São João. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, XVII. 2017. **Anais [...]** Campinas: Instituto de Geociências - UNICAMP, 2017. 11 p.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Síntese de indicadores sociais:** uma análise das condições de vida da população brasileira, 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 146 p.

INCUBADA na Univali cria sistema para captação de água da chuva. **FAPESC (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina).** 2014. Disponível em: <http://www.fapesc.sc.gov.br/1302-incubada-na-univali-cria-sistema-para-captacao-de-agua-da-chuva/>. Acesso em: 13 mar. 2020.

LATUF, M. O. Diagnóstico das águas superficiais do Córrego São Pedro, Juiz de Fora - MG. **Geografia (Londrina)**, v. 13, n. 1, 2004.

LEITE, M. B. A. **Telhados Verdes. Ambientebrasil**. 2019. Disponível em: <https://noticias.ambientebrasil.com.br/redacao/2019/06/19/152571-telhados-verdes.html>. Acesso em: 13 abr. 2020.

LOSCHI, M. Desastres naturais: 59,4% dos municípios não têm plano de gestão de riscos. **Agência IBGE Notícias**, 5 jul. 2018. Perfil dos municípios brasileiros. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/21633-desastres-naturais-59-4-dos-municipios-nao-tem-plano-de-gestao-de-riscos>. Acesso em: 4 set. 2020.

LOURENÇO, R. R. A. **Sistemas urbanos de drenagem sustentáveis**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2014.

MACHADO, P. J. O. A Bacia Hidrográfica do Córrego São Pedro (BHCSF). In: MACHADO, P. J. O (Org.). **Diagnóstico físico-ambiental da bacia hidrográfica do córrego São Pedro: um exercício acadêmico de gestão dos recursos hídricos**: Um exercício acadêmico de Gestão de Recursos Hídricos. Ubá: Geographica, 2010, p. 11-18.

MACHADO, P. J. O.; PINTO, T. A. O.; COSTA, R. M. Intervenções em canais fluviais urbanos - Estudo de caso do Córrego São Pedro, Juiz de Fora/MG. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE GEOGRAFIA: GEOGRAFIA E CONTEMPORANEIDADES, II. 2016. **Anais [...]** Juiz de Fora, 2016. 15 p.

MARTINS, J. R. S. Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente?. **Artigo Científico**, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

MENEGON, C. **Ponto de ônibus “teto verde” de Caxias do Sul é um exemplo. Cris Menegon**. 2019. Disponível em: <https://crismenegon.com.br/2019/02/13/ponto-de-onibus-teto-verde-de-caxias-do-sul-e-um-exemplo>. Acesso em: 13 abr. 2020.

MGTV. Obras paralisadas na BR-440 desde 2012 são retomadas em Juiz de Fora. **G1**, ano 2018, 7 ago. 2018. Zona da Mata. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/zona-da-mata/noticia/2018/08/07/obras-paralisadas-na-br-440-desde-2012-sao-retomadas-em-juiz-de-fora.ghtml>. Acesso em: 16 jun. 2020.

NETO, A. T. **Simulação de sistemas de drenagem urbana sustentável aplicada em um loteamento urbano utilizando o EPA SWMM**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

OLIVEIRA, L. F. G. S. **Dimensionamento e análise de desempenho hidráulico de estacionamentos com drenagem convencional e pavimento permeável, apoiado por modelagem computacional**. 2018. Monografia (Graduação) - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

PERONI, L. J. **Discussão sobre a eficiência da gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do córrego São Pedro, Juiz de Fora, MG**. 2013. Monografia (Gerenciamento de Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

PINTO, L. L. C. A. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PJF. **Plano de Drenagem Urbana de Juiz de Fora: Parte 1 - Zona Norte**. Juiz de Fora: PJF, v. 2, 2011. Disponível em:  
[https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/seplag/planos\\_programas/arquivos/propostas.pdf](https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/seplag/planos_programas/arquivos/propostas.pdf).  
Acesso em: 20 out. 2020.

POLETO, C.; TASSI, R. Sustainable Urban Drainage Systems. In: JAVAID, M. S. **Drainage System**. InTech, 2012. cap. 3, p. 55-72.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. Sistemas de Drenagem na Fonte Por Poços de Infiltração de Águas Pluviais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 99-117, abr./jun. 2008.

REZENDE, O. M. **Avaliação de medidas de controle de inundações em um plano de manejo sustentável de águas pluviais aplicado à Baixada Fluminense**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

ROCHA, C. H. B. Dos impactos sociais e ambientais do traçado da BR440 entre a BR040 (Vila Del Mar) e a BR267 (Jardim Esperança) com reflexos na MG353 (Grama). **Núcleo de Análise Geo-Ambiental – NaGEA, Universidade Federal de Juiz de Fora**, Juiz de Fora, 2010.

ROCHA, C. H. B.; PAIVA, L. E. D. Das enchentes agravadas devido à canalização do Córrego São Pedro, do Nível da Água e da BR 440. **Núcleo de Análise Geo-Ambiental – NaGEA, Universidade Federal de Juiz de Fora**, Juiz de Fora, 2010.

ROCHA, P. C.; SANTOS, A. A. Análise hidrológica em bacias hidrográficas. **Mercator (Fortaleza)**, v. 12, p. 1-18, 2018.

SANTOS, C. A. G. et al. Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis. In: ENCONTRO DE EXTENSÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, X. 2008. **Anais [...]** João Pessoa: UFPB, 2008.

SOUZA, V. C. B. Gestão urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n. 1, p. 57-72, 2013. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7105>. Acesso em: 2 nov. 2020.

STRUCTURAL BMPs. In: DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION. **Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual**. 2006. cap. 6, p. 1-113.

TASSI, R. et al. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 139-154, 2014.

TRAVASSOS, L. R. F. C. **A dimensão socioambiental da ocupação dos fundos de vale urbanos no Município de São Paulo**. 2004. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

TUCCI, C. E. M. Gestão da drenagem urbana. **CEPAL**, Brasília, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48).

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. In: TUCCI, C. E. M; PORTO, R. L. L; BARROS, M. T (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 1995. cap. 1, p. 15-29.

TUCCI, C. E. M. Urbanização e Recursos Hídricos. In: BICUDO, C. E. M. (Org.); TUNDISI, J. G. (Org.); SCHEUENSTUHL, M. C. B. (Org.). **Águas do Brasil: Análises Estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. cap. 7, p. 113-128.

VALENTE, E. Em 5 horas, JF registra 70% da chuva prevista para todo o mês de março. **Tribuna de Minas**, ano 2018, 11 mar. 2018. Disponível em: <https://tribunademinas.com.br/noticias/cidade/11-03-2018/em-5-horas-jf-registra-70-da-chuva-prevista-para-todo-o-mes-de-marco.html>. Acesso em: 10 jul. 2020.

VASCO, J. R. J. **Sistemas urbanos de drenagem urbana**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2016.

WOODS-BALLARD, B. et al. **The SuDS Manual**. 5. ed. London: CIRIA, 2015.