

APLICAÇÃO DE ANÁLISE ECONÔMICA NA SELEÇÃO DE ANTEPROJETOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL: ESTUDO DE CASO NA MICROBACIA DO CÓRREGO SANTA HERMÍNIA, SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Camila Brandão Nogueira Borges¹, José Rodolfo Scarati Martins², Juliana Alencar¹, Lais Amorim¹, Stephanie Caroline Machado Gonzaga¹.

RESUMO – O processo de tomada de decisão no desenvolvimento de projetos exige não apenas a análise objetiva da realidade, mas também a consideração das percepções e interesses dos stakeholders envolvidos. A utilização de ferramentas adequadas pode tornar esse processo mais eficiente, proporcionando maior segurança e embasamento técnico às decisões tomadas. Este estudo teve como objetivo propor uma metodologia de apoio à escolha da técnica de drenagem sustentável mais adequada a ser implementada em uma bacia hidrográfica. Como estudo de caso, foi analisada a bacia do Córrego Santa Hermínia, localizada no município de São José dos Campos (SP). Para a hierarquização dos cenários avaliados, utilizou-se a Função Utilidade, ferramenta que permitiu identificar os subprojetos prioritários a serem desenvolvidos pela equipe técnica.

ABSTRACT– The decision-making process in project development requires not only an analysis of reality, but also consideration of stakeholder perceptions. The adoption of appropriate tools can optimize this process, providing greater security and technical support for the choices made. This study aimed to propose a methodology to assist in deciding on the most appropriate sustainable drainage technique to be implemented in a watershed. As a case study, the Santa Hermínia Stream basin, located in the municipality of São José dos Campos-SP, was analyzed. To rank the evaluated scenarios, the Utility Function was used, a tool that allowed the identification of priority subprojects for development by the technical team.

Palavras-Chave – Drenagem Sustentável, Função Utilidade, Tomada de Decisão

1. INTRODUÇÃO

O ano de 2024 entrou para a história climática como um marco preocupante, registrando os três dias mais quentes já documentados desde o início das medições sistemáticas. Enquanto ondas de calor sem precedentes castigaram vastas extensões da Ásia e do Oriente Médio - com temperaturas que superaram os 50°C em diversas cidades, incêndios florestais de proporções catastróficas consumiram ecossistemas na América do Norte e no sul da Europa (ONU, 2024).

Diante dos cenários de mudanças climáticas, que indicam aumento na frequência e intensidade de chuvas extremas, o manejo sustentável das águas pluviais emerge como uma estratégia fundamental para fortalecer a resiliência urbana. Por meio da adoção de soluções integradas, é possível reduzir a vulnerabilidade das cidades e mitigar os impactos desses eventos, garantindo maior segurança para a população e para a infraestrutura.

Originalmente, os sistemas de águas pluviais urbanos seguiram a lógica da rápida drenagem, visando liberar rapidamente as áreas ocupadas pelas águas excedentes e minimizar a poluição — um

conceito conhecido como higienista. Com o crescimento dos grandes centros urbanos, esse conceito evoluiu para incluir sistemas de retenção do escoamento, como piscinões, e, posteriormente, passou-se a adotar alternativas de drenagem sustentável (TUCCI; *et al*, 1995).

As técnicas convencionais de drenagem urbana mostram-se cada vez mais limitadas frente aos desafios das cidades contemporâneas, marcadas por:

- a) intensa impermeabilização do solo;
- b) expansão desordenada das manchas urbanas; e
- c) processos de conurbação acelerada.

Nesse contexto, as Soluções Baseadas na Natureza (Sbn) surgem como uma alternativa estratégica para o manejo sustentável das águas pluviais. Essas medidas atuam no controle qualitativo das águas por meio da adoção de dispositivos dispersos espacialmente ao longo da bacia hidrográfica, evitando que o escoamento superficial seja direcionado diretamente à macrodrenagem (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2012).

As intervenções antrópicas no meio natural, decorrentes do processo de urbanização, promovem alterações significativas no sistema hídrico uma vez que o crescimento da densidade populacional, o aumento da impermeabilização do solo, a ocupação de áreas de inundação e de mananciais, canalização e cobertura de corpos hídricos e a redução da cobertura vegetal modifica drasticamente o ambiente natural e consequentemente o balanço hídrico, como pode-se verificar na Figura 1 (AMORIM *et al.*, 2023).

Diante dos desafios contemporâneos de drenagem urbana, a Prefeitura de São José dos Campos implementou uma estratégia progressiva de gestão de águas pluviais, iniciada em 2014 com a elaboração do Plano Diretor de Macrodrenagem Urbana. Este processo evoluiu para a consolidação de uma política integrada por meio do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), instituído pela Lei Municipal nº 612/2018, que estabeleceu diretrizes fundamentais para o desenvolvimento urbano sustentável na década atual, incorporando elementos-chave dos planos setoriais anteriores.



Figura 1 Diferenças entre período pré e pós-urbanização

(FCTH, 2023)

A Etapa 2 do Manejo Sustentável de Águas Pluviais - PDDMAP teve como objetivo principal:

- Desenvolver conhecimento local aplicado;
- Implementar técnicas compensatórias inovadoras;
- Priorizar o controle distribuído do escoamento superficial;
- Adotar sistemas de drenagem sustentável com dupla função:
 - Controle quantitativo (infiltração e retenção);
 - Controle qualitativo (redução da poluição difusa).

É fundamental promover uma integração eficaz entre a drenagem e outras disciplinas para viabilizar o desenvolvimento de cidades sustentáveis. Para isso, o planejamento da drenagem deve contar com a participação de uma equipe multidisciplinar composta por engenheiros, biólogos, arquitetos, paisagistas, economistas, sociólogos, geólogos, geógrafos, entre outros.

Por essa razão, o estudo de caso foi desenvolvido no município de São José dos Campos, onde os estudos de drenagem encontram-se bastante avançados.

O presente trabalho tem como objetivo propor uma metodologia para auxiliar o processo de tomada de decisão na escolha da técnica de drenagem sustentável a ser implementada em uma bacia hidrográfica cuja urbanização e regularização fundiária ocorreram nos últimos 20 anos, caracterizando-se como um processo recente. Por essa razão, o estudo de caso escolhido foi a bacia do córrego Santa Hermínia, localizada no município de São José dos Campos.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

A escolha da área do córrego Santa Hermínia para o desenvolvimento desse trabalho teve como base a criticidade da região com relação à microdrenagem.

Localizada na sub-bacia do Rio Pararangaba a microbacia Santa Hermínia (SH), possui uma área de 1,42 km², está completamente inserida no distrito de Eugênio de Melo, na zona leste da Zona Urbana do Município de São José dos Campos.

Caracteriza-se por ser uma região cujo processo de regularização fundiária é recente.

Em relação ao enquadramento, o córrego Santa Hermínia está classificado como Classe 2. Ele deságua no córrego do Bairrinho, que também é enquadrado como Classe 2, e este, por sua vez, deságua no rio Pararangaba (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO et al., 2021).

A região não possui pluviômetros em um raio de pelo menos 3 km (CEMADEN, 2023). Diante dessa limitação, foram utilizados os dados dos pluviômetros localizados nas estações Parque Tecnológico SJC, por estar mais próximos dessa região.

Diante dessa limitação, foram utilizados os dados dos pluviômetros das estações do Parque

Tecnológico de São José dos Campos, por estarem mais próximas da região em estudo.

A Figura 1 apresenta-se a série histórica de precipitações do Parque Tecnológico SJC, evidenciando claramente os períodos de estação chuvosa (outubro a março) e estação seca (abril a setembro).

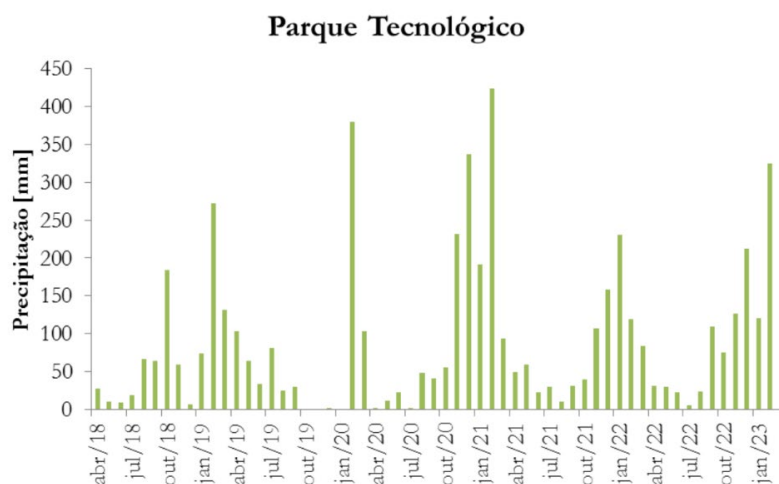


Figura 1 Dados do Pluviômetro do Parque Tecnológico

Fonte (FCTH, 2024)

A região tem aproximadamente 76.710 m² de área suscetível a inundações, correspondendo à 5,4% do total da área da bacia (FCTH et al., 2024).

Na microbacia Santa Hermínia, a área suscetível à inundações está em estreita proximidade com as zonas residenciais, sem a presença de áreas verdes de amortecimento. Em alguns pontos, há presença de terrenos baldios dentro da área de inundação, a Figura 2 demonstra as áreas suscetíveis a inundações na bacia (FCTH et al., 2024).

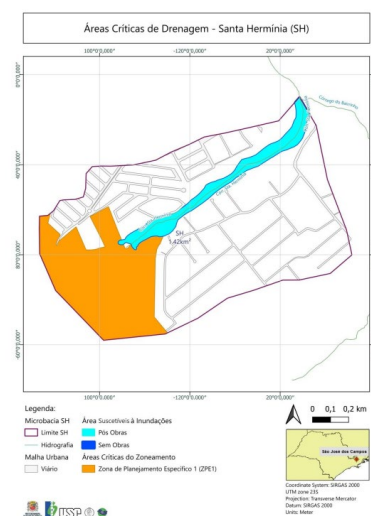


Figura 2 Área Crítica de Drenagem do Corrego Santa Hermínia

Fonte(FCTH et al., 2024)

2.2 Levantamento de informações

A realização de projetos de implantação de Medidas de Controle na Fonte Poluentes com Soluções Baseadas na Natureza (SbN) necessita considerar três aspectos que são:

- a) Técnica de construção e operação da infraestrutura;
- b) Econômico e
- c) Social.

2.3 Ferramenta de auxílio à decisão

Os parâmetros adotados para a definição dos anteprojetos de manejo sustentável das águas pluviais na área de estudo foram selecionados com base em critérios técnicos, ambientais e operacionais, com o objetivo de garantir a eficácia no controle quali-quantitativo do escoamento e assegurar a viabilidade técnica e econômica de implantação das soluções propostas. Os principais critérios considerados foram (FCTH, 2024):

1) Disponibilidade de Espaços Livres. A identificação de áreas passíveis de intervenção foi prioritária, considerando:

- Áreas verdes públicas: parques, praças, alamedas e canteiros viários;
- Infraestrutura viária: vias, estacionamentos e pavimentos permeáveis;
- Áreas estratégicas: zonas lindeiras a cursos d'água e corredores de conexão entre fragmentos vegetados.

Esses locais foram priorizados por oferecerem maior flexibilidade para a implantação de técnicas compensatórias, além de potencializarem a multifuncionalidade do espaço urbano.

2) Declividade do Terreno

A análise da topografia permitiu classificar as áreas conforme sua aptidão para diferentes técnicas:

- Declives $\leq 5\%$: permitem a aplicação de um leque mais amplo de soluções, como jardins de chuva, trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis, devido ao menor risco de erosão e maior eficiência na retenção.
- Declives $> 5\%$: exigem técnicas específicas, como escadarias hidrológicas ou bacias de contenção em degraus, para mitigar o aumento da velocidade de escoamento e evitar processos erosivos.

3) Distribuição Espacial e Condições do Solo

A localização das intervenções foi definida com base em:

- Dispersão ao longo da microbacia: para maximizar a retenção próxima à origem do escoamento;

- Áreas críticas de carga poluente: prioritárias para técnicas de tratamento (ex.: filtros vegetados em zonas de alta impermeabilização);
- Características geotécnicas: investigadas por meio de sondagens para avaliar a capacidade de infiltração e a profundidade do lençol freático.

4) Integração com a Rede de Microdrenagem Existente

Foram considerados os elementos convencionais do sistema de drenagem, tais como:

- Estruturas de captação: bocas de lobo, sarjetas e canaletas;
- Sistemas de condução: galerias subterrâneas e poços de visita;
- Pontos de lançamento: conexões com corpos receptores.

A compatibilização entre as novas técnicas e a infraestrutura existente teve como objetivo otimizar a eficiência hidrológica do sistema e reduzir os custos de adaptação. A Figura 3 apresenta as áreas com maior potencial para a implantação de projetos de drenagem sustentável.

A área selecionada permite a adoção de diferentes técnicas, como jardins de chuva e biovaletas. Nesses casos, a escolha da solução mais adequada depende da tomada de decisão por parte do gestor. Para isso, a aplicação da Função Utilidade pode ser uma ferramenta eficaz no apoio à escolha mais assertiva, considerando múltiplos critérios técnicos, ambientais e econômicos.

A Função Utilidade é um instrumento fundamental da análise econômica, pois representa a forma como indivíduos ou agentes econômicos avaliam e escolhem entre diferentes alternativas — ou cestas de bens e serviços — com base em suas preferências e prioridades.



Figura 3 Áreas Potencias de implantação de drenagem Sustentável no Corrego Santa Herminia

(FCTH, 2024)

No contexto da tomada de decisão, os agentes buscam maximizar sua utilidade, ou seja, atingir o maior nível possível de satisfação dentro de suas restrições, como limitações orçamentárias ou escassez de recursos. Assim, a Função Utilidade não apenas descreve preferências, mas também fornece uma estrutura teórica para o comportamento racional, permitindo a análise de escolhas eficientes e a otimização das decisões econômicas.

Ao aplicar esse conceito ao planejamento urbano, especialmente no contexto da drenagem sustentável, a função utilidade pode ser utilizada para ordenar as alternativas viáveis (as chamadas "cestas de possibilidades") criadas pelo gestor. Essa ordenação deve considerar as necessidades da sociedade, respeitando os axiomas das preferências e os critérios técnicos e ambientais específicos da região.

Cabe destacar que a Função Utilidade não realiza a escolha final, mas sim classifica as alternativas com base em sua aderência aos objetivos e restrições do sistema. A decisão final permanece sob responsabilidade do gestor público, que deve ponderar os resultados da análise e outros fatores contextuais relevantes (VARIAN, H.R.; 2015).

A área disponível para a implantação das técnicas de drenagem sustentável possui um comprimento total de 6 km e está localizada no baixo curso da bacia hidrográfica em estudo. Com base nessa extensão, foram definidas quatro alternativas (ou "cestas") que poderão ser avaliadas pelos tomadores de decisão. As opções são:

- Cesta 1: 6 km de extensão com implantação exclusiva de biovaletas;
- Cesta 2: combinação de 3 km de jardim de chuva e 3 km de biovaleta, o que resulta em uma maior área de retenção;
- Cesta 3: 4 km de biovaleta e 2 km de jardim de chuva;
- Cesta 4: 5 km de biovaleta e 1 km de jardim de chuva.

Para efeito de modelagem da decisão, consideram-se as variáveis:

X_1 = km de biovaleta Jardim de Chuva

X_2 = km de jardim de chuva Jardim de Chuva

U = utilidade

f_u = Função Utilidade

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.2 Medidas de controle na fonte consideradas

Considerando o critério econômico, especialmente o de menor custo, a técnica mais adequada a ser adotada é a intervenção verde pontual. Trata-se de pequenas ações em áreas subutilizadas ou residuais do sistema viário, com potencial para se tornarem espaços de permanência e lazer. Entre as

técnicas selecionadas para aplicação, destacam-se (FCTH, 2017):

- a) Jardim de chuva: O jardim de chuva é uma depressão pouco profunda no solo, preenchida com vegetação, projetada para armazenar e infiltrar o escoamento superficial da água da chuva.
 - Características:
 - Assemelha-se às biovaletas, mas diferencia-se por ser uma estrutura pontual (não linear).
 - Pode ser conectada ao sistema de drenagem ou funcionar como uma solução independente.
 - Contribui para:
 - Redução de poluentes (filtragem de sedimentos e contaminantes).
 - Recarga de aquíferos (infiltração da água no solo).
 - Restauração de habitats (promovendo biodiversidade).
 - Recomendações técnicas: dimensão mínima: 2m de largura × 2m de comprimento.
- b) Biovaleta: A biovaleta é uma estrutura linear vegetada que auxilia no manejo sustentável das águas pluviais.
 - Características:
 - Assemelha-se ao jardim de chuva, porém é linear.
 - Contribui para:
 - Redução de poluentes (retenção de sedimentos e metais pesados).
 - Recarga de aquíferos (infiltração da água no solo).
 - Restauração de habitats (integração paisagística e ecológica).
 - Recomendações técnicas: Dimensões mínimas: 1,1m de largura × 1m de comprimento.

Como ambas as técnicas possuem características semelhantes, sendo que a biovaleta requer mais terreno linear e o jardim de chuva mais terreno quadrado a escolha de quais possibilidades de projeto podem ser adotadas cai em um axioma onde a escolha da técnica está diretamente vinculada a decisão dos atores responsáveis.

Considerando a região do Córrego Santa Hermínia, que dispõe de aproximadamente 6 km de área ao longo do sistema viário para a implantação de infraestrutura verde, como biovaletas e jardins de chuva, este estudo busca identificar, por meio da aplicação da Função Utilidade, a composição mais adequada de soluções a ser proposta no desenvolvimento do anteprojeto.

Adota-se, como referência, a biovaleta com largura de 1,1 metro e o jardim de chuva com

largura de 2,2 metros — o dobro da largura da biovaleta, refletindo sua maior capacidade de retenção e infiltração das águas pluviais. Para fins de análise comparativa, considera-se também que o custo de implantação do jardim de chuva é o dobro do custo da biovaleta, em função da área ocupada.

Com base nessas premissas, a Função Utilidade permite avaliar diferentes cenários de combinação entre as duas técnicas, de forma a subsidiar a tomada de decisão do gestor público quanto à alternativa mais eficiente em termos de custo-benefício, desempenho hidrológico e uso do espaço disponível. A Função Utilidade é representada pela Equação 1 a seguir:

$$f(u) = \sum_{i=1}^n P_i * f D_i$$

Equação 1 Função Utilidade

Onde:

- D_i : Técnicas de Drenagem
- P_i peso dos critério (custo e infiltração)
- $f D_i$: análise de desempenho da tecnica

Partindo do pressuposto de que o custo de implantação da biovaleta corresponde a 50% do custo do jardim de chuva — uma vez que a área ocupada por este é o dobro —, e considerando que a capacidade de infiltração do jardim de chuva é 75% superior à da biovaleta, foram avaliadas diferentes combinações de aplicação dessas técnicas. A Tabela 1 apresenta os resultados da Função Utilidade para os quatro cenários propostos, considerando o equilíbrio entre custo e desempenho hidrológico de cada solução.

Tabela 1 Análise das Cestas de Possibilidade

Cesta	X_1 km	X_2 km	$f(u)$
1	6	0	6
2	3	3	4,625
3	4	2	5,75
4	5	1	5,875

4. CONCLUSÃO

Para iniciar a seleção dos anteprojetos para a região, o gestor pode recomendar o início pela cesta 1 de possibilidades, aplicando exclusivamente biovaletas ao longo da área disponível. Em um segundo cenário, pode-se considerar a cesta 4, na qual a extensão linear da biovaleta é de 5 km, enquanto o jardim de chuva ocupa 1 km. Posteriormente, a cesta 3 pode servir como base para a elaboração definitiva do anteprojeto.

A Função Utilidade é uma ferramenta econômica utilizada para auxiliar o processo de tomada de decisão quando há poucas variáveis envolvidas, facilitando uma análise inicial mais simplificada. Por essa razão, essa ferramenta deve ser usada como um guia para orientar o gestor, e não como o

único critério em decisões finais e definitivas.

Durante o desenvolvimento do projeto, é comum surgirem dúvidas sobre qual caminho adotar para obter melhores resultados; nesse contexto, a Função Utilidade pode fornecer suporte e embasamento na escolha mais assertiva.

Investir em drenagem sustentável é essencial nos dias atuais. Embora essa tecnologia não seja a única solução para os desafios da drenagem urbana nos municípios, quando combinada com sistemas convencionais, pode gerar benefícios econômicos, sociais e ambientais significativos.

.BIBLIOGRAFIA

AMORIM, L. F. ; MARTINS, J. R. S. ; BORGES, C. B. N. ; GONZAGA, S. C. M. ; SILVA, F. G. ; SILVA, L. C. ; VENTURI, D. I. S. G. . **Metodologia de Avaliação e Planejamento de Instalação de Soluções Baseadas na Natureza em Microbacias Urbanas: Estudo de Caso São Jose dos Campos** In: IV SRHPS - Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, 2023, Campos dos Goytacazes. IV SRHPS - Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, 2023.

FCTH- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. **Desenvolvimento de Metodologia e Projeto Piloto de Revitalização de Bacia Urbana, Replicável Para as Demais Bacias Da Região Metropolitana (Bacia Do Córrego Jaguaré)**. São Paulo (2017).

Ações para o Controle de Poluição Difusa e o Manejo de Águas Pluviais no Município de São José dos Campos. São Paulo, 2024.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO PARAÍBA DO SUL (CBH-PS), & REGEA – GEOLOGIA, E. E. E. A. (2021). **Revisão e Atualização do Plano de Bacia Hidrográfica - UGRHI 02 - PARAÍBA DO SUL (2020-2023)** https://comiteps.sp.gov.br/wp-content/uploads/2024/08/VOLUME_IV_UGRHI_02_PBH_Diagnostico_Parte_3_Balanco_hidrico.pdf

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. (2024). **Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis**. <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/11>> Acesso em: 10 jun. 2025

HAL R. VARIAN;; TRADUÇÃO REGINA CÉLIA SIMILLE DE MACEDO. **Microeconomia: uma abordagem moderna**. 9. ed. Rio de Janeiro: [s.n.]. v. 1

PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. **Urbanismo e Sustentabilidade, Planejamento Urbano/Zoneamento, Geoprocessamento**, 2023. Disponível em:<<https://www.sjc.sp.gov.br/servicos/urbanismo-e-sustentabilidade/planejamento-urbanozoneamento/geoprocessamento/>>. Acesso em: 9 jun. 2024

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. **PLANO DIRETOR DE DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS**, 2021. Disponível em: <https://www.sjc.sp.gov.br/media/174466/pddmap-etapa-1_08_11_2021.pdf>. Acesso em: 13 maio. 2024

TUCCI, C.E.M; BARROS;M.T.F; PORTO R.L.L. **Drenagem Urbana**. Univ Federal do RS ed. Porto Alegre: [s.n.].