



Campos dos Goytacazes/RJ

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO E PLANEJAMENTO DE INSTALAÇÃO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA EM MICROBACIAS URBANAS – ESTUDO DE CASO SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

*Lais Ferrer Amorim*¹; *Camila Brandão Nogueira Borges*¹; *Stephanie Caroline Machado Gonzaga*¹; *Fernando Garcia Silva*¹; *Lívia Correa Silva*³; *Denise Itajahy Sasaki Gomes Venturi*³; *José Rodolfo Scarati Martins*²

RESUMO – O manejo sustentável das águas pluviais atua no controle quantitativo e qualitativo das águas e é cada vez mais necessário no contexto de cidades cada vez maiores, mais impermeabilizadas e de conurbação urbana. Esse controle pode ser realizado por medidas práticas estruturais e não estruturais, dentre as estruturais estão as tecnologias de drenagem sustentável, as quais apresentam gargalo de informações que auxiliem sua implantação. Sendo assim, objetivou-se elaborar uma metodologia de planejamento e monitoramento de tecnologias de drenagem sustentável que permita as integrar ao sistema convencional de drenagem urbana e avaliar os impactos de sua instalação nas microbacias hidrográficas. Essa metodologia trabalha com quatro grandes etapas, sendo caracterização do ambiente, modelagem matemática, avaliação multicritério e estudos de concepção. Sua aplicação proporciona um diagnóstico local, desenvolvimento de uma ferramenta que representa o ambiente real e avalia suas respostas frente à diferentes forçantes, um sistema estruturado de comparação entre as tecnologias e um produto que permite visualizar a integração das estruturas existentes com as projetadas. Um estudo de caso está sendo desenvolvido em São José dos Campos para demonstrar a aplicabilidade da metodologia.

ABSTRACT– The sustainable management of rainwater acts in the quantitative and qualitative control of water and is increasingly necessary for the context of bigger, more impermeable cities and urban conurbation. This control can be carried out by structural and non-structural practical measures, among the structural ones are sustainable drainage technologies, which present a bottleneck of information to help their implementation. Therefore, the objective was to develop a planning and

¹) Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. Av. Diógenes Ribeiro de Lima, 481. Bairro Alto de Pinheiros. cep 05458-000 – São Paulo – SP. (11) 4637-4689. lais.amorim@fcth.br

² Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Av. Prof. Luciano Gualberto, 380 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-010. (11) 3091 5396. scarati@usp.br

³ Secretaria de Urbanismo e Sustentabilidade - Prefeitura de São José dos Campos. R. José de Alencar, 123 - Centro, São José dos Campos - SP, 12209-904. livia.silva@sjc.sp.gov.br; denise.venturi@sjc.sp.gov.br



Campos dos Goytacazes/RJ

monitoring methodology for sustainable drainage technologies that allow them to be integrated into the conventional urban drainage system and to assess the impacts of their installation on hydrographic micro basins. This methodology works with four main stages: environment characterization, mathematical modeling, multicriteria evaluation, and conception studies. Its application provides a local diagnosis, development of a tool that represents the natural environment and evaluates its responses to different forcings, a structured system of comparison between technologies, and a product that allows visualizing the integration of existing structures with those designed. A case study is being developed in São José dos Campos to demonstrate the applicability of the methodology.

Palavras-Chave – Drenagem sustentável, modelagem matemática, monitoramento ambiental

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de águas pluviais das cidades inicialmente utilizavam a lógica da rápida drenagem, a fim de liberar as áreas ocupadas pelas águas excedentes e da poluição. Assim, a água que em um contexto natural, trafegava de forma lenta, interagindo com os elementos do terreno, passa a ser conduzida por estruturas artificiais, como galerias e canais, resultando em vazões de pico maiores, na degradação dos córregos, além do afastamento da população desses itens da paisagem (Porto, 1995).

Esta velha lógica com ação limitada reconhecida, dentro de um contexto de cidades cada vez maiores, mais impermeabilizadas e de conurbação urbana, dá lugar a técnicas que objetivam um manejo sustentável das águas. Esta nova abordagem recebe diferentes denominações, mas partilham as mesmas premissas, como o *Low Impact Development* (LID), nos EUA e Canadá; *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), no Reino Unido; *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), na Austrália; e *Low Impact Urban Design and Development* (LIUDD), na Nova Zelândia (Poletto, 2011).

O manejo sustentável das águas pluviais atua no controle quali-quantitativo, que se dá pela adoção de dispositivos espacialmente dispersos na bacia hidrográfica, evitando que as águas do escoamento superficial sejam direcionadas diretamente à macrodrenagem. Esses aumentam o tempo de concentração da bacia, favorecem processos de infiltração, reduzem o volume total do hidrograma de cheia, e tentam recuperar a capacidade de reciclagem dos córregos. A adoção de tais medidas promove uma menor dependência de grandes estruturas hidráulicas, como reservatórios e canalizações de ampliação da capacidade hidráulica de cursos d'água (Rahman, et al., 2023) (Porto, 1995).



Campos dos Goytacazes/RJ

Segundo Novotny e Olem (1994) o controle da carga gerada nos ambientes urbanos pode ser realizado por medidas não estruturais e estruturais, adotando as *Best Management Practices - BMP's*. As medidas não estruturais são medidas de baixo custo, como ações de gestão disseminadas na bacia. As medidas estruturais contam com dispositivos que interceptam do escoamento superficial, tratando as cargas geradas, como trincheiras e pavimentos drenantes, biovaletas, jardins de chuva etc.

Com os cenários das mudanças climáticas indicando aumento na frequência e na intensidade das chuvas extremas, o manejo sustentável das águas pluviais pode auxiliar na resiliência das cidades visando a diminuição de sua vulnerabilidade aos impactos destes eventos (Marengo, et al., 2017).

A utilização destas tecnologias no campo prático da drenagem urbana ainda enfrenta desafios, não só culturais de aceitação no meio técnico, mas também de compilação de uma metodologia de aplicação que viabilize planejar com eficácia a integração entre os diferentes elementos de drenagem convencionais ou não, avaliar os impactos e o desempenho das tecnologias de drenagem sustentável no controle quantitativo e qualitativo nas bacias hidrográficas de instalação (Rahman, et al., 2023).

Este trabalho age neste gargalo do conhecimento, visando elaborar uma metodologia de planejamento e monitoramento de tecnologias de drenagem sustentável que demonstre as suas possibilidades de integração ao sistema convencional de drenagem urbana e avalie os impactos de sua instalação nas microbacias hidrográficas.

2. PROPOSTA METODOLÓGICA

Neste artigo é apresentada uma metodologia desenvolvida para auxiliar a integração de tecnologias de drenagem convencionais ou não e desenvolver um sistema de monitoramento que permita avaliar os impactos da implantação das tecnologias de drenagem sustentável.

Essa metodologia trabalha com quatro grandes etapas, sendo caracterização do ambiente, modelagem matemática, avaliação multicritério e estudos de concepção. Sua aplicação vislumbra elaboração de diagnóstico local, da aplicação de uma ferramenta que possibilite representar o ambiente real para avaliar suas respostas frente à diferentes forçantes, sistema estruturado de comparação entre as tecnologias e de um produto que permita visualizar a integração das estruturas existentes com as projetadas.

Para a aplicação desta metodologia pode-se selecionar uma ou mais microbacias hidrográficas como área de estudo, no entanto, os projetistas precisam manter em mente que para o sucesso do projeto será necessário ter ou produzir dados ambientais representativos para cada local.



Campos dos Goytacazes/RJ

2.1. Áreas de Estudo

A partir de um projeto da Prefeitura Municipal de São José dos Campos com a Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica - FCTH, três microbacias foram selecionadas para aplicação da metodologia desenvolvida (Figura 1). Os critérios de escolha das áreas consideraram dados disponíveis do local, capacidade técnica e de recursos para instrumentação, uso e ocupação do solo, acesso e segurança dos locais, intervenções previstas e existência de projetos municipais na área.

Foram selecionadas as microbacias do córrego Santa Hermínia, Santa Júlia e Senhorinha. A primeira localizada a Leste do município, seu uso e ocupação do solo tem tipologia residencial, com baixo adensamento populacional, presença de áreas verdes nas margens do córrego e esparsas ao longo da bacia. Apresenta a particularidade da presença de núcleos urbanos informais e de áreas de ocupação que foram recentemente regularizadas.

A microbacia do córrego Santa Júlia está localizada na porção Suldeste do município, sua tipologia de ocupação predominante é a residencial, com um nível médio de adensamento entre casas. Esta é a região de estudo com maior quantidade de áreas verdes disponíveis.

A terceira microbacia, do córrego Senhorinha, é local de grande interesse local com projetos de drenagem e do Parque Fluvial Senhorinha, selecionado como um dos 10 projetos do primeiro Acelerador de Soluções Baseadas na Natureza em Cidades WRI (World Resources Institute). Essa localiza-se na região mais urbanizada do município, com maior adensamento populacional, residências uni e multifamiliares, serviços e comércios, mas com espaços passíveis de intervenção.

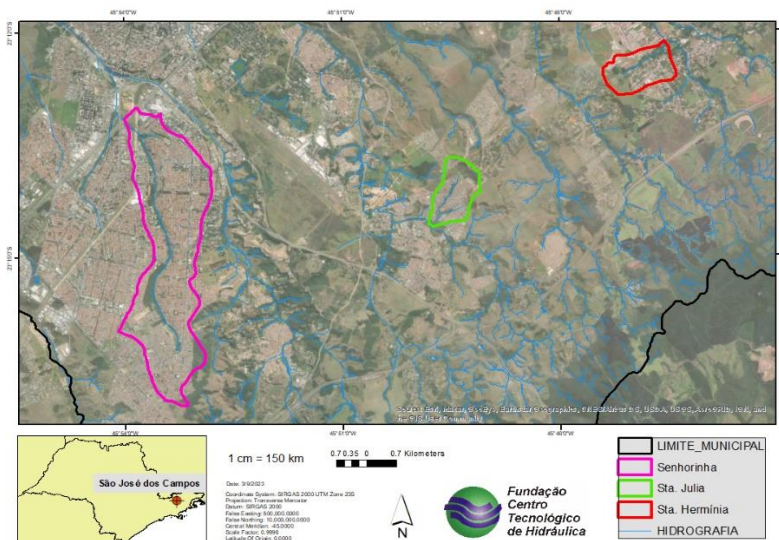


Figura 1 – Microbacias de estudo



Campos dos Goytacazes/RJ

2.2. Diagnóstico do Espaço Urbano

A primeira etapa da metodologia consiste no diagnóstico do local, com o levantamento de informações documentais, hidrológicas, climatológicas, topográficas, uso do solo, do sistema de saneamento e das condições de qualidade da água dos córregos em estudo.

A avaliação das condições da qualidade das águas urbanas considera a amostragem nos córregos e em sarjetas localizadas dentro das bacias de drenagem. O monitoramento em ambos os locais objetiva a diferenciação da poluição endêmica da poluição advinda da carga de lavagem.

Nos córregos é realizado o monitoramento contínuo, objetivando caracterizar a poluição endêmica e a carga de base produzida pela bacia diariamente que alcança os corpos d'água independentemente da ocorrência das precipitações. Esta modalidade de acompanhamento produz dados de variáveis hidráulicas e de qualidade da água.

As variáveis hidráulicas serão nível d'água e vazão. O nível d'água é registrado de forma automática, com frequência de aquisição de dados de 10min, por meio de sensor automático de pressão. Para geração dos dados de vazão nas microbacias bacias do córrego Santa Hermínia e Santa Júlia serão instalados vertedores triangulares, com os sensores de nível lendo a lâmina de vertimento.

Outros córregos de vazões mais altas, nos quais a instalação do vertedor não é viável, como o Córrego Senhorinha, utiliza-se métodos de medição de vazão direta com equipamentos eletrônicos, ou pelo método do flutuador. É necessário levantar a geometria da seção transversal de medição.

As variáveis monitoradas de qualidade da água nos canais para o período seco são a Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO_{5,20}, o Fósforo Total – PT, o Nitrogênio Total – NT e os Sólidos em Suspensão Total – SST. AS amostras são coletadas com o auxílio de um balde na região central da seção transversal do córrego, armazenadas para os frascos adequados e em isopor até o laboratório.

As amostragens para a caracterização da carga de lavagem são realizadas por eventos de chuva, buscando cobrir eventos dentro do período úmido e eventos de chuva durante o período seco, de forma a verificar a diferença de acúmulo de massa de poluentes.

As coletas são realizadas por meio de garrafas Nava instaladas nas margens (Figura 2). O amostrador com garrafas Nava foi desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e neste caso foi feito com tubos de PVC de capacidade de 2 litros. O amostrador é composto por dois tipos de garrafas, a de subida e a de descida (Figura 3) (ÁGUAS CLARAS, FCTH, 2017).

A garrafa de subida enche através dos orifícios de passagem do pino de fixação quando o nível d'água sobe, expulsando o ar interno pelo orifício da tampa superior. A garrafa de descida possui um gancho que a mantém invertida, aprisionando o ar no seu interior durante a subida do nível d'água. Quando totalmente submersa, o empuxo da água solta o gancho e conforme o nível d'água desce, ela gira em torno do pino, permitindo a saída do ar e a entrada de água (ÁGUAS CLARAS, FCTH, 2017).



Figura 2 – Garrafas Nava posicionadas nas margens do córrego

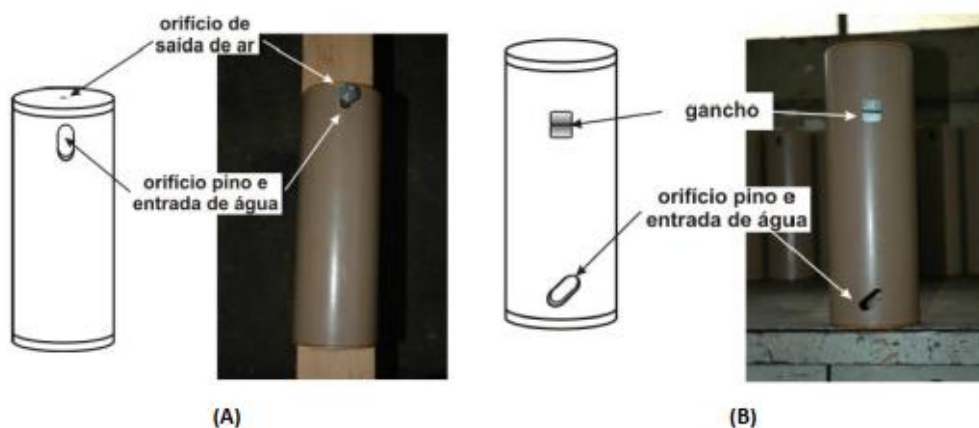


Figura 3 – Garrafas Nava de subida (A) e de descida (B). Fonte: ÁGUAS CLARAS, FCTH, 2017.

O equipamento de coleta de amostras nas sarjetas consiste em uma caixa com um orifício para entrada de água, divisórias internas de forma a individualizar as amostras, e torneiras para o esvaziamento do compartimento direto para os frascos de amostragens (Figura 4). Esses equipamentos são posicionados dentro das sarjetas escolhidas para coleta de amostras.

Nas sarjetas as variáveis analisadas buscam avaliar uma maior gama de constituintes gerados dentro da área das bacias de drenagem, que caracterizem matéria orgânica, nutrientes, sólidos, metais, surfactantes e derivados de petróleo.

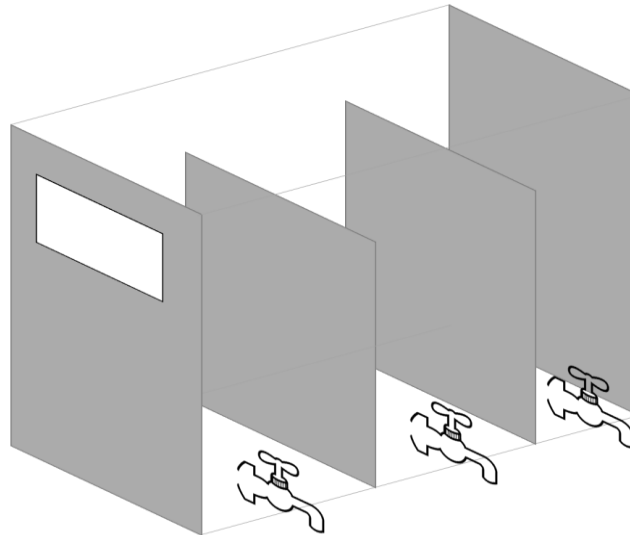


Figura 4 – Esquema de caixas de coleta de amostras para as sarjetas

2.3. Modelagem Matemática

A utilização do modelo matemático objetiva de auxiliar o planejamento urbano e controle de poluição, uma vez pode-se simular diferentes configurações de alocação de infraestruturas e observar os impactos gerados em cada cenário, enriquecendo a base técnica do processo decisório.

Neste estudo são utilizados dois modelos acoplados: o modelo hidrológico e o de geração de cargas. O modelo hidrológico processa as informações climáticas e fisiográficas da bacia hidrográfica, calculando o balanço hídrico e fornecendo dados de vazões de base e escoamento superficial.

O modelo de geração de cargas cruza informações do modelo hidrológico com dados de uso e ocupação do solo e coeficientes de geração de carga calculando as concentrações dos parâmetros simulados para cada microbacia simulada. As infraestruturas de controle de poluição podem ser inseridas no modelo e observados seus impactos na qualidade da água dos córregos modelados.

O software escolhido neste projeto foi o CAbc (Software para Simulação Hidrológica de Bacias Complexas), desenvolvido pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH). É um sistema de simulação hidrológica de bacias hidrográficas pelo método do Soil Conservation Service, capaz de acoplar a modelagem hidrológica e de qualidade da água (FCTH, 2002).



Campos dos Goytacazes/RJ

Como vantagens, O CAbc e seu módulo SMAP permitem a separação das vazões de base e do escoamento superficial que geram, respectivamente, as cargas endêmicas e de lavagem em cada microbacia de estudo, diferente dos outros softwares. Ele ainda é capaz de apresentar as vazões como séries contínuas de longo termo e não somente para um evento de precipitação (FCTH, 2002).

Tais vantagens são importantes na representação dos impactos das cargas produzidas nos cursos d'água e da instalação de estruturas de controle quali-quantitativos. Para estabelecer as contribuições difusas nos corpos receptores adota-se o método de carga unitária, valores ou funções que expressam a geração de poluentes em tempo seco por unidade de área e tempo para cada tipo de uso do solo, pela população e sua classe de atendimento do sistema de coleta de esgotos. Os dados da etapa de monitoramento são utilizados para realização da calibração e verificação da acurácia da ferramenta.

Com a ferramenta calibrada são estudados cenários de inserção das tecnologias de controle, seus impactos na qualidade da água dos córregos são avaliados por meio da construção da curva de frequência de atendimento da classe de enquadramento do rio para os parâmetros, Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO_{5,20}; Fósforo Total - PT; Nitrogênio Total – NT; Sólidos em Suspensão Total – SST.

2.4. Avaliação Multicritério

A análise multicritério são soluções orientam a direção da coleta e análise de dados por meio da combinação de abordagens qualitativas e quantitativas no processo de tomada de decisão (Ferreira, 2022). Neste estudo, a análise conta com cinco etapas: Definição do Objetivo da Análise, Definição de Indicadores, Atribuição de Pesos, Construção da Matriz de Decisão e Aplicação da Avaliação.

O objetivo desta análise multicritério foi de desenvolver uma ferramenta que auxilie os gestores na tomada de decisão entre diferentes soluções de drenagem sustentável. Para isso constitui-se uma equipe multidisciplinar que elenca indicadores qualitativos e quantitativos necessários à análise.

Aos indicadores elencados são atribuídos critérios de atendimento, com suas respectivas notas e pesos que caracterizam sua relevância na avaliação final. Assim, constrói-se uma matriz de decisão que calcula a avaliação individual para cada indicador e a soma destas resulta na classificação final da tecnologia. Neste projeto essa matriz é aplicada para avaliação das tecnologias investigadas na etapa de modelagem matemática.



Campos dos Goytacazes/RJ

Quadro 1 – Matriz decisória da análise multicritério

Indicador	Critério de Atendimento	Nota	Peso do Indicador	Avaliação Individual
1. Qual foi o volume amortizado nos picos de hidrograma?	Até 20 % De 21% até 50% > 50%	1 2 3	10	=Nota * Peso
2. Qual é massa retida de cargas de matéria orgânica, nutrientes e sólidos (DBO, PT, NT e SSS)	Até 20 % De 21% até 50% > 50%	1 2 3	9	=Nota * Peso
3. Custo de implantação (mão de obra e material)	Mais de R\$ 1.001,00 / m ² Entre R\$ 1000/ m ² de R\$ 501,00 / m ² Menor de R\$ 500,00 / m ²	1 2 3	9	=Nota * Peso
4. Custo de manutenção	Mais de R\$ 101,00 / m ² Entre R\$ 100,00/ m ² de R\$ 51,00 / m ² Menor de R\$ 50,00 / m ²	1 2 3	10	=Nota * Peso
5. Esta tecnologia presta serviço ecossistêmico de provisão?	Atende Não Atende	1 0	7	=Nota * Peso
6. Esta tecnologia presta serviço ecossistêmico de regulação?	Atende Não Atende	1 0	8	=Nota * Peso
7. Esta tecnologia presta serviço ecossistêmico de cultural?	Atende Não Atende	1 0	6	=Nota * Peso
8. Necessita de desapropriação de áreas?	Precisa Não Precisa	0 1	5	=Nota * Peso
9. Esse projeto é facilitador da mobilidade urbana?	Atende Não Atende	1 0	4	=Nota * Peso

2.5. Projetos de concepção

Após a etapa de classificação das tecnologias de maneira a elencar as mais benéficas e aptas à instalação inicia-se o processo de concepção dessas estruturas. A primeira etapa são os anteprojetos para toda a extensão do córrego principal de cada área de estudo, de modo que a integrar os projetos no sistema de macrodrenagem às tecnologias de drenagem sustentável estudadas na etapa de diagnóstico. A segunda atividade engloba o desenvolvimento de projetos básicos das infraestruturas de drenagem sustentável, englobando a participação da comunidade, visando aumentar a aderência e consciência de preservação aos projetos

3. CONCLUSÃO

A metodologia apresentada auxilia o estudo das suas possibilidades de integração de tecnologias de drenagem sustentável ao sistema convencional e avalia os impactos de instalação em microbacias hidrográficas. As etapas de desenvolvimento abrangem a caracterização do ambiente, modelagem matemática, avaliação multicritério e estudos de concepção.



Campos dos Goytacazes/RJ

A primeira realiza o levantamento de informações hidrológicas, climatológicas, topográficas, uso do solo, sistema de saneamento e das condições de qualidade da água dos córregos. A modelagem matemática utiliza dois modelos acoplados o hidrológico e o de geração de cargas para simular diferentes configurações de alocação de infraestruturas e observar os impactos gerados. Enquanto a avaliação multicritério avalia de forma ferramenta quali-quantitativa a aptidão de cada tecnologia. Os projetos de concepção encerram o processo, possibilitando a visualização e compatibilização das infraestruturas existentes e planejadas. Desta forma a metodologia desenvolvida é capaz de enriquecer a base técnica do processo decisório e a aplicabilidade dos projetos.

4. BIBLIOGRAFIA

- ÁGUAS CLARAS, FCTH. (2017). *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.
- Castro, L. M., Baptista, M. B., & Netto, O. d. (Dezembro de 2004). Análise Multicritério para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana Proposição de Indicadores e de Sistemática de Estudo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 9, pp. 05-19.
- FCTH. (2002). *Manual do Programa CAbc*. . São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica.
- LIBOS, M., ROTUNNO FILHO, O., & ZEILHOFER, P. (2003). Modelagem da poluição não pontual na bacia do rio Cuiabá baseada em Geoprocessamento. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8, pp. 113-135.
- Marengo, J., Muller-Karger, F., Pelling, M., Reynolds, C. J., Merrill, S. B., Nunes, L. H., . . . Tabuchi, E. K. (2017). An Integrated Framework to Analyze Local Decision Making and Adaptation to Sea Level Rise in Coastal Regions in Selsey (UK), Broward County (USA), and Santos (Brazil). *American Journal of Climate Change*, pp. 403-424. doi:10.4236/ajcc.2017.6202
- NOVOTNY, V., & Olem, H. (1994). *Water quality: Prevention, identification and management of diffuse pollution*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Poleto, C. (2011). SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): Uma Contextualização Histórica. *Revista Thema*, 8.
- Porto, M. (1995). Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas. Em C. Tucci, R. Porto, & M. Barros, *Drenagem Urbana* (pp. 387-414). Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS/ABRH.
- Rahman, M. A., Pawijit, Y., Xu, C., Moser-Reischl, A., Pretzsch, H., Rötzer, T., & Pauleit, S. (2023). A comparative analysis of urban A comparative analysis of urban management. *Sci Rep*, p. 1451. doi:10.1038/s41598-023-28629-6

AGRADECIMENTOS – À Prefeitura Municipal de São José dos Campos, a Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica e a Universidade de São Paulo pelo apoio e espaço no desenvolvimento dos trabalhos e ao Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FEHIDRO pelo financiamento.