



**SEA**

***XIX Semana da Engenharia Ambiental***

***25 a 29 de setembro de 2023***

***São Carlos - SP***

# **XIX Semana da Engenharia Ambiental**

**25 a 29 de setembro de 2023**

## **Resumos expandidos da 19ª Semana da Engenharia Ambiental**

**Coordenador:**

Victor Eduardo Lima Ranieri

**Organizadores:**

Olavo Barato Baraldi

Pedro de Mello Martins Rocco

Rafaela Bottura Morillo

Paula Nozaki Mazaroski

Geovanna Damacena da Silva Galdino

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Diretor: Professor Fernando Martini Catalano  
Vice-Diretor: Professor Antônio Néelson Rodrigues da Silva

**Curso de Graduação em Engenharia Ambiental**  
Coordenador: Prof. Davi Gasparini Fernandes Cunha  
Vice-Coodenador: Prof. Victor Eduardo Lima Ranieri

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Apoio à Pesquisa e Comunicação  
Acadêmica do Serviço de Biblioteca "Prof. Dr. Sergio Rodrigues Fontes" da  
EESC-USP

S471r.19  
2023  
Semana da Engenharia Ambiental (19. : 2023 : São Carlos)  
Resumos expandidos da 19. semana da engenharia  
ambiental [recurso eletrônico] / Coordenador: Victor Eduardo  
Lima Ranieri; organizadores: Olavo Barato Baraldi, Pedro de  
Mello Martins Rocco, Rafaela Bottura Morillo... [et al].  
-- São Carlos : EESC/USP, 2024.  
52 p. -- Dados eletrônicos  
ISBN 978-65-86954-39-5

1. Engenharia ambiental - eventos. I. Ranieri, Victor  
Eduardo Lima. II. Baraldi, Olavo Barato. III. Rocco, Pedro  
de Mello Martins. IV. Morillo, Rafaela Bottura. V. Título.

*Flávia Helena Cassin – CRB-8/5812*

ISBN: 978-65-86954-39-5

Número de páginas: 52

Versão eletrônica em PDF disponível online no Portal de Eventos Científicos da  
EESC-USP – [www.eventos.eesc.usp.br](http://www.eventos.eesc.usp.br)

Tamanho e dimensões da obra: 21 cm x 29,7 cm (padrão Folha A4)

Obra sem cobrança ou valor monetário

## **Ficha Técnica**

Publicação do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP).

### **Coordenador**

Prof. Dr. Victor Eduardo Lima Ranieri (SHS-EESC-USP)

### **Coordenação geral**

Rebecca Sankarankutty  
Rodrigo Makoto Uenojo  
Guilherme Henrique Rodrigues Silva

### **Comissão organizadora**

#### **Comitê Científico**

Olavo Barato Baraldi  
Pedro de Mello Martins Rocco  
Rafaela Bottura Morillo  
Paula Nozaki Mazaroski  
Geovanna Damacena da Silva Galdino

#### **Empresarial**

Cecília Loretti de Paiva  
Julia Fiuza Funicello de Souza Ferreira  
Geovanna Damacena da Silva Galdino

#### **Financeiro**

Matheus Dias Rezende  
Beatriz Teixeira Cayres  
Paula Nozaki Mazaroski  
Manoela Teixeira Beolchi

#### **Infraestrutura**

Yara Jaimes Kisen  
Marina Miyuki Oka Cardoso  
Valentina Vasconcellos dos Santos  
Juliana de Sousa Francisco

#### **Marketing**

Fernanda Oliva Pintucci  
Maria Fernanda Nogueira  
Hillary Nogueira de Carvalho  
Natália Ruggero Vassalo

#### **Relações externas**

Sara Alves  
Pedro de Mello Martins Rocco  
Anyelle Meneghesso

#### **Sustentabilidade**

Laura Fernandes de Jesus  
Vicente Costa Leal Torrico  
Ian Baena Palomo  
Innayah Gabryella Barbosa Frazao Silva

### **Temas**

Eduardo Costa Carvalho  
Rafaella Bottura Morillo  
Maria Júlia de Andrade Cardeal  
Ariel Monteiro Soares

### **Editoração**

Serviço de Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC-USP  
Seção de Apoio à Pesquisa e Comunicação Acadêmica  
Equipe do Portal de Eventos Científicos da EESC-USP

## **Eixos Temáticos da XIX Semana da Engenharia Ambiental**

- A. Recursos hídricos
- B. Sustentabilidade e urbanismo
- C. Gestão ambiental
- D. Energias renováveis
- E. Educação ambiental
- F. Resíduos sólidos

### **Curso de Graduação em Engenharia Ambiental**

SHS/EESC/USP

Avenida João Dagnone, nº 1100 – Santa Angelina

São Carlos-SP

CEP: 13563-120

## APRESENTAÇÃO

A Semana da Engenharia Ambiental (SEA) da Escola de Engenharia de São Carlos (USP) se trata de um evento com o objetivo de intercambiar conhecimentos do campo de engenharia ambiental, envolvendo desde profissionais com experiência na área até estudantes desta e outras universidades e também a própria sociedade, abordando conteúdos sociais e ambientais. O evento científico se trata de um momento da semana onde ocorrem apresentações de trabalhos e pesquisas em áreas relacionadas à engenharia ambiental, sejam de iniciações científicas ou mestrados e doutorados. Os autores interessados enviam seus resumos expandidos para serem avaliados por uma banca avaliadora da área e por membros da comissão da SEA e os apresentam durante o evento, por meio de uma transmissão online, onde a banca composta por professores e doutorandos é convidada a fazer perguntas e comentários para avaliação. Os três trabalhos mais bem avaliados recebem menções honrosas e premiação. A XIX edição da SEA, no ano de 2023, ocorreu de forma mista, sendo apenas o evento científico no formato totalmente online.

A Comissão Organizadora.

## PATROCINADORES



## APOIADORES



# SUMÁRIO

## EDUCAÇÃO AMBIENTAL

### Horta agroecológica e seu potencial educativo

*Renata Martins dos Santos Paro, Gabriel Devecchi de Souza, Diego Ferreira Gomes, Odete Rocha, Raquel Aparecida Moreira*

## RECURSOS HÍDRICOS

### Análise da relação entre as publicações científicas encontradas na literatura e o trabalho da CT-ID dos COMITÊS PCJ

*Dafne Fernanda Alves e Silva; Sabrina de Oliveira Anicio e Tadeu Fabrício Malheiros*

### Avaliação da digestão anaeróbia de esgoto sanitário visando a biodegradação de micropoluentes orgânicos em reator anaeróbio de leito fixo acidogênico-metanogênico

*Gisele Miranda Gomes e Rodrigo Braz Carneiro*

### Avaliação do efeito da progesterona sintética na macrófita *Salvinia auriculata*

*Laiane Neri Sant Ana, Marcela Bianchessi da Cunha Santino*

### Caracterização da poluição difusa e possíveis fatores intervenientes durante eventos de precipitação em um riacho urbano de São Carlos (SP)

*Cecília Loretti de Paiva; Davi Gasparini Fernandes Cunha*

### Remoção de macronutrientes de água residuária por clorófitas em consórcio microbiano sob diferentes luminosidades

*Gabriel Bolani; Sarah Regina Vargas*

### Valor de seguros dos serviços ecossistêmicos: um estudo de caso na bacia do Cancã – SP

*Danilo Tabarelli Melo Barbosa, Marcos Roberto Benso e Eduardo Mario Menciondo*





## Horta agroecológica e seu potencial educativo

Renata Martins dos Santos Paro<sup>1</sup>, Gabriel Devecchi de Souza<sup>2</sup>, Diego Ferreira Gomes<sup>3</sup>, Odete Rocha<sup>4</sup>, Raquel Aparecida Moreira<sup>5</sup>

<sup>1</sup>renata.santos@ifsp.edu.br, IFSP Campus São Carlos; <sup>2</sup>gabrieldevecchi@estudante.ufscar.br, UFSCar Campus São Carlos; <sup>3</sup>diego.frgomes@gmail.com, UFSCar Campus São Carlos; <sup>4</sup>doro@ufscar.br, UFSCar Campus São Carlos; <sup>5</sup>raquel.moreira88@hotmail.com, UFSCar Campus São Carlos

### Resumo

A horta agroecológica no âmbito do espaço escolar pode ser fonte de discussões edificantes para os alunos, professores e servidores, pois permite que discussões como a importância da qualidade alimentar, dos recursos naturais, perspectivas socioambientais, dentre outros ocorram. Neste sentido, uma horta foi plantada no Instituto Federal de São Paulo (IFSP) de São Carlos, a partir do estudo prévio e da utilização de preceitos agroecológicos para observar a significância deste tipo de intervenção no aprendizado. Com a aplicação, foi possível observar uma mudança de paradigma dos envolvidos quanto a compreensões ambientais, de saúde e consumo. Dessa forma, projetos como este mostram-se uma boa alternativa para motivação de professores e alunos na construção coletiva de uma sociedade ambientalmente consciente.

### Abstract

The agroecological garden within the high school environment can be a source of enlightening discussions for students, teachers and staff, as it allows discussions such as the importance of food quality, natural resources, socio-environmental perspectives, among others occur. In this sense, a garden was planted at the IFSP in São Carlos, based on prior study and the use of agroecological principles to observe the significance of this type of intervention in learning. Through its implementation, it was possible to observe a paradigm shift of those involved regarding environmental conservation understanding, health, and consumption. Thus, projects like this prove to be a good alternative for motivating teachers and students in the collective construction of an environmentally conscious society.



## Introdução

O espaço escolar cumpre um papel excepcional quanto a promoção de comportamentos saudáveis e no desenvolvimento educacional. O hábito alimentar, um tema norteador e interdisciplinar, é um exemplo do que é possível trabalhar através dos espaços de interações sociais de convivência e aprendizado do ambiente escolar (FIGUEIREDO, MACHADO, ABREU, 2010). A importância de intervir sobre este tema se evidencia com a gradual modificação do consumo alimentar do povo brasileiro, com o déficit de alimentos considerados básicos, como verduras, grãos e frutas, e o excesso de alimentos industrializados com alto teor de açúcares e gorduras (LEVY-COSTA et al., 2005).

Neste contexto, pode-se abordar a importância das hortas nas escolas para discutir temas como a qualidade dos alimentos, as disparidades quanto a produção de alimentos orgânicos e convencionais, bem como demais temas interdisciplinares: a preservação de recursos naturais, qualidade do solo e da água, perspectivas socioambientais, conservação da biodiversidade, dentre outras realidades. As múltiplas vivências de uma horta podem alçar a geografia, biologia, sociologia, matemática etc., servindo como um facilitador multi e interdisciplinar para o desenvolvimento de conhecimentos práticos e teóricos com abordagens de temas contemporâneos e que permitem o usufruto desta vivência em diversas realidades (OLIVEIRA, PEREIRA, JÚNIOR, 2018).

A interdisciplinaridade, neste ponto, é uma ferramenta mediadora que estabelece uma conexão entre os vastos saberes científicos e não científicos. Este elemento tem um caráter ativo e coletivo que chega aos estudantes como auxiliar na formação cidadã de forma a construir valores e competências para uma sociedade mais justa e igualitária (CARVALHO, 2012). A visão sistêmica dos fenômenos naturais, o auxílio na busca de soluções e compreensão de problemas através da interdisciplinaridade transcende o comodismo de simplesmente absorver e decorar informações. Assim, as várias possibilidades proporcionadas por uma horta justifica sua aplicação para despertar tais atividades e aprendizados voltados para o desenvolvimento de comportamentos ambientalmente positivos e para hábitos mais saudáveis. Por isso, o objetivo do presente trabalho foi descrever a experiência obtida pela implementação de uma horta no IFSP de São Carlos.



## Metodologia proposta

O IFSP Campus São Carlos foi o local da área de aplicação do projeto. O perímetro para plantio está localizado dentro do campus. No planejamento para a implantação da horta foi realizado um estudo prévio para cumprir os seguintes passos: (1) a escolha do local para a construção da horta; (2) preparação dos canteiros; (3) adubação do solo antes do plantio; (4) escolha das mudas a serem plantadas e (5) como os cultivares se comportam no sistema quanto ao espaçamento, estrato, tempo de colheita etc.; e (6) manutenção, rega e manejo.

Para o local de construção da horta e escolha das espécies vegetais, foram considerados os critérios de tempo de incidência solar, acessibilidade de recursos hídricos e de pessoas, juntamente com a gestão do Campus para que a implantação fosse de fato permanente. Para adubação foi utilizado esterco bovino, cama aviária, pó de rocha e foi feita a cobertura do solo. Para o estabelecimento dos cultivares foram seguidos os preceitos agroflorestais e agroecológicos para composição vegetal nos canteiros, estratos, distâncias e manejo.

## Resultados

Com o advento da horta agroecológica criou-se a possibilidade de debater, a partir do ponto de vista da biologia, os diversos arranjos de produção agrícola, principalmente quanto a agroecologia *versus* agricultura convencional, sistemas agroflorestais, polinização e produção, cobertura de solo e compostagem. Ademais, o contexto da horta possibilitou atividades sobre o uso de agrotóxicos e a poluição no solo, ar e água, pelo professor de química. Estes temas, de química e biologia, foram trazidos durante a implantação da horta de forma espontânea pelos alunos, mostrando uma convergência dos assuntos tratados em sala de aula.

Houve também a quebra de paradigma em relação a composição florística da horta, não só pelos alunos, mas também pelos funcionários, que tiveram sua participação neste processo. Professores e alunos contribuíram com doações de plantas direto de suas casas para o instituto. Essa iniciativa partiu dos estudantes, o que mostra um protagonismo já existente e que encontra espaço para fluir naturalmente. Durante o plantio todos os



alunos participaram ativamente de todos os processos, desde o plantio até a rega e cobertura de solo. No decorrer do projeto verificamos uma taxa de mortalidade muito baixa das espécies, mostrando a comunidade a eficiência e replicabilidade do sistema proposto. A percepção dos alunos indica que houve mudanças significativas entre eles, pelo maior interesse ao consumo consciente, reflexões sobre questões ambientais e sociais, dentre outros aspectos. Outro ponto relevante foi a troca entre professores e professoras e o surgimento de ideias para otimizações futuras: horta inteligente utilizando energia solar e sensores de umidade, divulgação dos efeitos benéficos da horta em diversos idiomas, economia doméstica e potencial econômico da agricultura familiar no Brasil. Isso revela mais uma parcela do potencial interdisciplinar do projeto.

## Discussão

Com o desenvolvimento deste estudo, através da instauração de uma horta, foi possível construir um caminho para introduzir aos alunos conhecimentos sobre as questões ambientais e sua ampla ciência (BRANDÃO, 2012). A prática desta iniciativa permeia a educação alimentar, ambiental e os valores sociais, sendo estes pontos positivos no âmbito do espaço escolar (OLIVEIRA, PEREIRA, JÚNIOR, 2018); além da motivação e interesse, da habilidade de compartilhar experiências e de interagir com os diversos contextos (SANTANA et al., 2014); assimilação de conteúdo de ciências (CORBARI et al., 2014) etc. Esses elementos foram coaptados pelo projeto seguindo o paradigma produtivo do sistema agroecológico “como uma constelação de ciências, técnicas e práticas para uma produção ecologicamente sustentável, no campo” (LEFF, 2001, p. 36) e, neste caso, no espaço escolar.

É importante salientar o caráter interdisciplinar alcançado pela experiência da horta agroecológica, que abordou temas da biologia e química, concernindo com a sociologia, matemática, línguas, geografia, história, dentre outras. A implantação da horta mostra um exemplo do seria a articulação de muitos saberes como espaço mediador entre vários conhecimentos. Como aponta Carvalho (2012, p. 121), “a meta não é unificar as disciplinas, mas estabelecer conexões entre elas, na construção de novos referenciais conceituais e metodológicos consensuais”. Somado a isso, o projeto vai de encontro com o que se espera do ensino médio pela BNCC (2018), que é a realização ativa do coletivo



com práticas culturais, mirando a formação cidadã, de novos valores e competências.

## Conclusão

O resultado do projeto corrobora com dados de diversos trabalhos que demonstram a efetividade de atividades como esta, no qual, a divulgação e adoção de projetos utilizando hortas agroecológicas são meios para motivar docentes a ampliar e a utilizar esses espaços como processos de aprendizagem e locais de formação de pessoas conscientes ambientalmente e proativas em sua comunidade e sociedade.

## Referências bibliográficas

BRANDÃO, Gustavo Krysnamurthy Linhares. **Horta escolar como espaço didático para a educação em Ciências**. 2012. 114f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciência e Matemática). Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

BNCC. **Base Nacional Comum Curricular: educação é a base**. Ministério da Educação. 2018. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf) Acesso em 10 de setembro de 2022.

CARVALHO, Isabel Cristina de Moura. **Educação Ambiental: a formação do sujeito ecológico**. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2012.

CORBARI, Fábio et al. Educação ambiental agroecológica para público estudantil no Oeste do Paraná - universidade e escolas juntos pela sustentabilidade. In: I Congresso Paranaense de Agroecologia, 2014, Pinhais. **Anais**. Pinhais: Cadernos de Agroecologia, 2014, p. 1-5.

FIGUEIREDO, Túlio Alberto Martins de, MACHADO, Vera Lúcia Taqueti, ABREU, Margaret Mirian Scherrer de. A saúde na escola: um breve resgate histórico. **Ciência Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 397-402, mar., 2010.

LEFF, Enrique. Agroecologia e saber ambiental. **Agroecologia e desenvolvimento rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 36-51, jan-mar., 2002.

LEVY-COSTA, Renata Bertazzi; SICHIERI Roseli; PONTES, Nézio dos Santos;



MONTEIRO, Carlos Augusto. Disponibilidade domiciliar de alimentos no Brasil: distribuição e evolução (1974-2003). **Revista de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 39, n. 4, p. 530-40, ago., 2005.

OLIVEIRA, Fabiane Rezende de, PEREIRA, Emmanuelle Rodrigues, PEREIRA JÚNIOR, Antônio. Horta escolar, educação ambiental e a interdisciplinaridade. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, São Paulo, v.13, n. 2, p. 10-31, 2018.

SANTANA, Lucicleia Marques da Silva et al. Horta escolar como recurso no ensino de ciências na perspectiva da aprendizagem significativa. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, Londrina, v. 9, n. 9, p. 37-45, jul., 2014



# ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS ENCONTRADAS NA LITERATURA E O TRABALHO DA CT-ID DOS COMITÊS PCJ

*Dafne Fernanda Alves e Silva, Sabrina de Oliveira Anicio e Tadeu Fabrício Malheiros*

## **Resumo**

Este trabalho foi desenvolvido tendo como foco o contexto da região das Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Bacias PCJ), de maneira a analisar a como se dá a relação entre as pesquisas acadêmicas publicadas na literatura e o trabalho desenvolvido pela Câmara Técnica de Integração e Difusão de Pesquisas e Tecnologias, pertencente ao Comitês PCJ. O objetivo é compreender o papel da pesquisa universitária no atendimento das demandas e desafios enfrentados em relação ao uso da água e seus recursos no contexto em que se encontra. É proposto que a CT-ID tenha papel fundamental na divulgação científica e tecnológica, além de integrar as informações, porém esse funcionamento é prejudicado pela falta de financiamento prevista no plano de bacias e pela baixa priorização das ações ligadas ao CT-ID, em relação às outras Câmaras Técnicas. Dessa forma, as pesquisas científicas atendem os objetivos e metas do plano de bacias, que buscam atender de forma integral os serviços de abastecimento público. No entanto, os outros serviços sofrem falta de protagonismo e destaque nas pesquisas acadêmicas.

## **Abstract**

This work was developed focusing on the context of the region of the Piracicaba, Capivari and Jundiá River Basins (PCJ Basins), in order to analyze how the relationship between academic research published in the literature and the work developed by the Technical Chamber for the Integration and Dissemination of Research and Technologies, belonging to the PCJ Committees, takes place. The aim is to understand the role of university research in meeting the demands and challenges faced in relation to the use of water and its resources in the context in which it finds itself. It is proposed that CT-ID has a fundamental role in scientific and technological dissemination, in addition to integrating information, however this operation is hampered by the lack of funding provided for in the basin plan and the low prioritization of actions linked to CT-ID, in relation to other Technical Chambers. In this way, scientific research meets the objectives and goals of the basin plan, which seeks to comprehensively meet



public supply services. However, other services suffer from a lack of protagonism and prominence in academic research.

## Introdução

A Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei Federal nº 9.433/1997, emerge como uma resposta à necessidade de assegurar o uso sustentável da água, tanto para as gerações atuais como para as vindouras. Seu propósito central é duplo: promover a utilização racional dos recursos hídricos e prevenir o país de possíveis eventos hidrológicos adversos. Nesse cenário, os Comitês de Bacias Hidrográficas foram integrados ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, uma estrutura fundamental para a efetiva prática do gerenciamento dos recursos hídricos em âmbito nacional (BRASIL, 1997).

A base do atual modelo de gestão de recursos hídricos, respaldado não só pela Política Nacional, mas também por políticas estaduais, é a busca por uma abordagem integrada dos diversos usos da água. Essa abordagem, embasada na delimitação das bacias hidrográficas e na interconexão entre os municípios, se traduz em um modelo de gestão descentralizado e participativo. Assim, os comitês das diferentes bacias são compostos por representantes de órgãos governamentais em diversas esferas (federal, estadual e municipal), bem como pela população usuária da água e por entidades não governamentais da sociedade civil (NORONHA, 2006).

Um exemplo concreto desta abordagem é evidenciado pelo Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Bacias PCJ). Estabelecido conforme a Lei Estadual nº 7.663/1991<sup>1</sup>, o comitê opera como um órgão colegiado, consultivo e deliberativo, integrado ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH). As Bacias dos Rios PCJ assumem um papel central, abrangendo uma área de 15.377,81 km<sup>2</sup>, predominantemente em São Paulo (92,45%) e em Minas Gerais (7,55%). Contando com uma população de cerca de 5 milhões de habitantes em 2014, elas englobam 76 municípios, com 71 em São Paulo e 5 em Minas Gerais (Fundação Agência das Bacias PCJ, 2023).

Este estudo concentra-se nos Comitês Piracicaba, Capivari e Jundiá (Comitês PCJ), compostos por 11 câmaras técnicas que auxiliam no planejamento e na tomada de decisões. Entre elas, destaca-se a Câmara Técnica CT-ID (Câmara Técnica de Integração e Difusão de

---

<sup>1</sup> *Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.*





Pesquisas e Tecnologias), que promove a colaboração entre universidades, centros de pesquisa e os Comitês PCJ.

A CT-ID é encarregada de coletar, sistematizar e disseminar informações sobre pesquisas e tecnologias relacionadas aos recursos hídricos das Bacias Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Suas funções abrangem a prevenção de redundâncias, aconselhamento aos Comitês PCJ, contribuição para relatórios e planos, seleção de novos membros, participação na implementação de resoluções e proposição de ações orçamentárias. Nesse contexto, a CT-ID é essencial para garantir a gestão sustentável das bacias. Além de sugerir ações para o Plano de Bacias, supervisiona a execução dessas ações, assegurando sua eficácia e alinhamento com os objetivos estabelecidos no Plano Plurianual dos Comitês PCJ (Comitês PCJ, 2023).

Desse modo, este estudo busca avaliar, por meio de um estudo de caso, como as metas do Plano de Bacias se conectam com o incentivo à pesquisa acadêmica. O foco é nos Comitês de Bacias PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiaí), analisando a atuação da CT-ID e sua capacidade de promover a integração e divulgação de ações científicas e tecnológicas na área de recursos hídricos dentro das Bacias PCJ.

## Metodologia

A pesquisa emprega a metodologia de estudo de caso, com abordagem qualitativa, utilizando como foco a Bacia do Rio PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiaí). Para isso, foram utilizados instrumentos como revisão de literatura, por meio de plataformas como Scielo, Scopus e FAPESP, em março de 2023. Também foram analisados dados fornecidos pelos Comitês PCJ, que são responsáveis pela gestão da Bacia PCJ.

Foi utilizado o *string* de busca ‘Bacias PCJ’ na data de 23 de março de 2023, nas plataformas Scielo, Scopus e FAPESP. A escolha das plataformas se deu em função de terem se demonstrado como os portais com o número mais significativo de pesquisas a partir dessa busca. Inicialmente foram encontrados 60 trabalhos, mas após a seleção apenas de trabalhos que tivessem a Bacia PCJ como objeto de estudo, por meio da leitura dos projetos (FAPESP) ou pela leitura do resumo (Scopus e Scielo), chegou-se ao número de 49 trabalhos. Também foi empregada a aplicação de filtro, com auxílio do Excel, para identificação de trabalhos duplicados.

O produto principal resulta de uma revisão bibliográfica de trabalhos acadêmicos nas Bacias PCJ, com o objetivo de identificar as atividades significativas na região, como abastecimento público, atividades industriais, agropecuárias, geração de energia, transporte,



navegação, mineração, turismo e lazer. Adicionalmente, foram identificadas diversas demandas - sociais, ambientais, organizacionais, legislativas, tecnológicas, econômicas, culturais e governamentais - que influenciam o desenvolvimento dessas pesquisas.

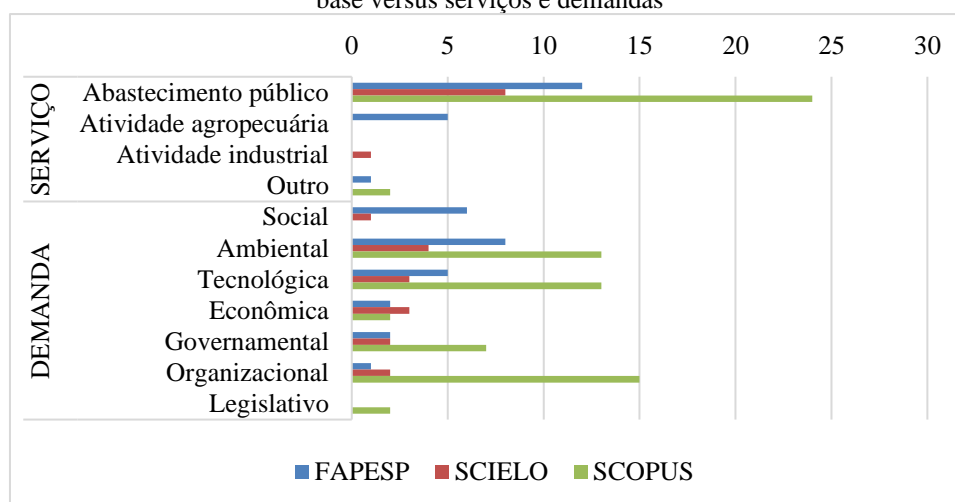
A análise dos usos dos recursos hídricos se baseou no Boletim do SNIRH nº1, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, que oferece uma visão abrangente dos possíveis usos da água, levando em conta as dinâmicas regionais. A identificação das demandas foi guiada pela variação regional e pelas necessidades das comunidades locais, considerando também as atividades econômicas predominantes nos municípios das Bacias PCJ. Também foram identificadas as instituições de origem dos autores listados para cada trabalho.

A análise documental se sustentou no Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá e no Caderno Temático de Educação Ambiental, Integração e Difusão de Pesquisas e Tecnologias, ambos elaborados pelos Comitês PCJ como parte do Plano de Recursos Hídricos para 2020-2035.

## Resultados

A Figura 1 é resultado de um processo de busca de artigos (realizado no dia 23 de março de 2023), o qual resultou em 49 trabalhos no contexto do estudo de caso, a partir do string de buscas “Bacias PCJ”. Neste levantamento, levou-se em consideração a possibilidade de um mesmo estudo abranger múltiplos aspectos dos serviços de recursos hídricos, assim como abordar variadas demandas que impactaram a elaboração desses trabalhos.

Figura 1. Resultados para caracterização de serviços e demandas - Número de pesquisas encontradas em cada base versus serviços e demandas



Fonte: Elaboração própria (2023).



Dentre os estudos identificados, destaca-se que quatro deles foram resultado de colaborações bem-sucedidas com o órgão gestor das Bacias PCJ, ou seja, os Comitês. Essa colaboração efetiva evidencia que parcerias podem ser estabelecidas de maneira eficaz, visando à obtenção de resultados para enfrentar os desafios relacionados às bacias hidrográficas PCJ.

Na Tabela 1, encontram-se informações sobre as instituições de origem dos autores, permitindo observar que as instituições de ensino superior públicas lideram em termos de produção de pesquisas científicas relacionadas à Bacia PCJ, apresentando números substanciais.

Tabela 1. Resultados para caracterização de instituição de origem dos autores - Número de pesquisas encontradas em cada base versus instituição de origem do autor principal

<b>INSTITUIÇÃO DE ORIGEM</b>	<b>FAPESP</b>	<b>SCIELO</b>	<b>SCOPUS</b>	<b>TOTAL</b>
Instituição de ensino superior pública	12	10	36	58
Instituição de ensino superior privada	0	2	4	6
Órgão governamental	2	0	6	8
Empresa privada	0	0	2	2

Fonte: (Elaboração própria, 2023).

A partir da Tabela 1 é possível relacionar que o corpo docente das instituições de ensino ou os servidores dos outros órgãos mencionados, podem ter relação direta com os Comitês PCJ, visto que trata-se de um órgão colegiado responsável pela gestão dos recursos hídricos nas respectivas bacias hidrográficas. Os participantes desses comitês geralmente incluem representantes de diversos setores da sociedade.

Na Figura 2 está representada a priorização dos programas e ações do Caderno Temático de Educação Ambiental, Integração e Difusão de Pesquisas e Tecnologias. Destaca-se que as ações 2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3 estão fortemente alinhadas com o contexto de produção científica nas universidades.



Figura 2. Ações e respectiva priorização do Caderno Temático de Educação Ambiental, Integração e Difusão de Pesquisas e Tecnologias

Ação	Prioridade
1.1.1 - Elaboração e execução de um Plano de Comunicação para o fortalecimento da comunicação entre a sociedade civil e os Comitês PCJ	Muito Alta
1.2.1 - Elaboração de diagnóstico da situação dos programas de educação ambiental dos empreendimentos analisados pelos Comitês PCJ	Baixa
1.2.2 - Elaboração de proposta de acompanhamento dos Programas de Educação Ambiental dos empreendimentos analisados pelos Comitês PCJ.	Muito Baixa
2.1.1 - Realização de processos formativos de comunicadores	Média
2.1.2 - Realização de processos formativos e campanhas educativas sobre a realidade das Bacias PCJ	Muito Alta
2.1.3 - Elaboração e divulgação de materiais educativos	Média
2.2.1 - Elaboração de propostas para órgãos de financiamento em pesquisas	Média
2.2.2 - Divulgação e facilitação de acesso à informação sobre pesquisas (em execução e concluídas) e inovações tecnológicas	Baixa
2.2.3 - Apoio ao desenvolvimento e difusão de pesquisas e tecnologias que contribuam no enfrentamento dos desafios identificados no Plano das Bacias PCJ	Alta
3.1.1 - Processos formativos de representantes dos poderes legislativo, executivo, judiciário e líderes comunitários sobre a realidade socioambiental das Bacias PCJ e as prioridades do Plano de Bacias	Muito Alta
3.1.2 - Elaboração de um Plano de Capacitação Técnica e realização de processos formativos nas áreas de atuação das Câmaras Técnicas	Muito Alta
4.1.1 - Construção de propostas para a recuperação, conservação e proteção dos recursos hídricos em áreas rurais	Muito Alta

Fonte: Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios PCJ (2020).

Figura 3. Plano de Ações e Programa de Investimentos dos Comitês PCJ.

Temas Estratégicos e Eixos Temáticos	Investimentos necessários (R\$)	(%)
<b>Educação Ambiental, Integração e Difusão de Pesquisas e Tecnologias</b>	34.310.187,16	0,45%
<b>Eixo Temático 1: Fortalecimento institucional, planejamento e gestão de recursos hídricos</b>	12.950.000,00	0,17%
<b>Eixo Temático 2: Comunicação institucional dos Comitês PCJ e difusão de pesquisas e tecnologias em recursos hídricos</b>	15.289.962,90	0,20%
<b>Eixo Temático 3: Capacitação técnica relacionada ao planejamento e com a gestão dos recursos hídricos</b>	5.683.914,57	0,07%
<b>Eixo Temático 4: Educação ambiental voltada à conservação dos recursos hídricos em áreas rurais e áreas protegidas</b>	386.309,69	0,01%

Fonte: Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios PCJ (2020).

Os Comitês de Bacias possuem financiamento proveniente do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) e cobranças pelo uso da água, que são investidos para melhorar a qualidade dos recursos hídricos. A Figura 3 ilustra como esses recursos são alocados, mostrando que está previsto destinar somente 0,45% do investimento total para as temáticas relacionadas à CT-ID.

## Discussão

As metas estabelecidas no plano de bacias têm uma abordagem de longo prazo; no entanto, enfrentamos desafios urgentes no presente. O plano de bacias está focado em aprimorar a qualidade da água, assegurar o suprimento hídrico e preservar os mananciais. A análise da literatura destaca que os serviços de abastecimento hídrico são uma prioridade de pesquisa. Nota-se também uma concordância entre as pesquisas universitárias e as metas dos Comitês PCJ. Os principais serviços e demandas levantados também estão em evidência no



plano de bacias, indicando que existe alinhamento de temáticas. Além disso, também é possível associar que há a necessidade de colocar em foco outras vertentes de pesquisa.

No entanto, algumas pesquisas encontradas nas plataformas (Scopus, Scielo e FAPESP) possuem acesso limitado, não sendo disponibilizado o conteúdo completo, de forma que 23 dos 59 trabalhos listados possuem essa restrição. Essa limitação contradiz os propósitos da CT-ID, que preza pelo compartilhamento de informações sobre novas tecnologias.

Outro ponto a ser ressaltado é a falta de verba e financiamento, que pode prejudicar o fomento de novas pesquisas e a busca da melhoria de projetos por meio da tecnologia, limitando a atuação da CT-ID.

## **Conclusões**

É evidente que os esforços dedicados ao desenvolvimento de pesquisas acadêmicas estão alinhados com as metas estabelecidas pelos Comitês PCJ. A participação ativa dessas instituições na promoção de pesquisas voltadas para os municípios situados nas Bacias Piracicaba, Jundiaí e Capivari pode ter um impacto significativo na melhoria da qualidade dos serviços relacionados aos recursos hídricos. Esse impacto positivo decorre da colaboração entre os diversos atores envolvidos nessas bacias, o que, por sua vez, contribui para a validação das políticas públicas em vigor e promove a integração de práticas que incentivam a regionalização desses serviços.

Nesse contexto, o caráter estratégico da CT-ID desempenha um papel crucial no direcionamento de recursos para essa causa. Portanto, uma iniciativa de grande porte, como essa, fortalece o modelo de parcerias para investimentos, proporcionando melhorias imediatas na qualidade de vida da população que faz parte dos Comitês PCJ.

Atualmente, é possível observar uma falta de diversificação temática no cenário das pesquisas, embora não haja sobreposição significativa de iniciativas tecnológicas relacionadas aos recursos hídricos. É importante notar que muitas das pesquisas já resultaram em tecnologias conhecidas por meio de empresas que atuam nas Bacias PCJ. Isso destaca a necessidade de promover uma conexão mais estreita entre as instituições de pesquisa e as empresas da região, uma missão que é valorizada pela CT-ID. Investir na expansão da atuação da câmara técnica em questão poderia facilitar essa integração entre as instituições de pesquisa e as empresas, proporcionando uma colaboração mais eficaz e produtiva.

## **Referências Bibliográficas**



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Boletim do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. 1ª Edição. 2022.

BRASIL. LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Brasília, DF: Presidência da República.

BRASIL. LEI Nº 7.663, DE 30 DE DEZEMBRO DE 1991. Estado de São Paulo.

COMITÊS PCJ. **Caderno Temático de Educação Ambiental, Integração e Difusão de Pesquisas e Tecnologias**. 2020.

COMITÊS PCJ. **Câmara Técnica de Integração e Difusão de Pesquisas e Tecnologias**. 2023. Disponível em:

[https://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=79:ct-id-atribuicoes&catid=33:ct-id-integracao-e-difusao-de-pesq-tec&Itemid=265](https://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=79:ct-id-atribuicoes&catid=33:ct-id-integracao-e-difusao-de-pesq-tec&Itemid=265).

COMITÊS PCJ. **Relatório Final do Plano das Bacias PCJ 2020 a 2035**. 2020.

FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. Localização. 2023. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/bacias-pcj/localizacao/>.

NORONHA, L. C. **Com boa gestão, não faltará água**. In: BARROS FILHO, O. L.; BOJUNGA, S. (Orgs.), Tempo das águas. Porto Alegre: Laser Press Comunicação, 2006. p.15-39.



# AVALIAÇÃO DO EFEITO DA PROGESTERONA SINTÉTICA NA MACRÓFITA

## *Salvinia auriculata*

Laiane Neri Sant Ana, Marcela Bianchessi da Cunha Santino

### RESUMO

O presente estudo pretende avaliar a ação da progesterona sintética sobre o crescimento da área foliar da macrófita flutuante *Salvinia auriculata*. Foram analisadas três concentrações diferentes do hormônio diluído em água: Tratamento A: 0,225 mg/L, B: 0,450 mg/L e C: 0,900 mg/L. Para cada concentração utilizou-se 100 indivíduos *S. auriculata* sendo 50 para o Tratamento Controle (sem adição de hormônio) e 50 para os demais tratamentos. A área foliar de *S. auriculata*, em cada tratamento, foi medida uma vez por semana ao longo de 5 semanas e, na sequência, utilizou-se a modelagem matemática para parametrizar o crescimento da macrófita. Surpreendentemente, os resultados mostraram que o crescimento da *S. auriculata* foi significativamente mais acelerado nos tratamentos com hormônio, sugerindo que a progesterona estimulou o seu crescimento e não apresentou danos a essa macrófita nas concentrações testadas.

### ABSTRACT

This study intends to evaluate the action of synthetic progesterone on the growth of the leaf area of the floating macrophyte *Salvinia auriculata*. Three different concentrations of the hormone diluted in water were analyzed: Treatment A: 0.225 mg/L, B: 0.450 mg/L and C: 0.900 mg/L. For each concentration, 100 individuals of *S. auriculata* were used, 50 for the Control Treatment (without hormone addition) and 50 for the other treatments. The leaf area of *S. auriculata*, in each treatment, was measured once a week over 5 weeks and, subsequently, mathematical modeling was used to parameterize the growth of the macrophyte. Surprisingly, the results showed that the growth of *S. auriculata* was significantly more accelerated in the hormone treatments, suggesting that progesterone stimulated its growth and did not damage this macrophyte at the tested concentrations.

### INTRODUÇÃO

Os contaminantes emergentes são um grupo de substâncias que vêm sendo detectados no ambiente nos últimos anos como pesticidas, fármacos, cosméticos, aditivos industriais, plastificantes dentre outros subprodutos da evolução tecno-industrial (GIL et al., 2012; LIMA





et al., 2017). Certas características destes compostos têm chamado atenção dos pesquisadores e gerado preocupações como a capacidade de se manter durante longo tempo, de reagir com outras substâncias tornando-se tóxicos e sua difícil remoção da água através dos métodos convencionais de tratamento (RODRIGUES, 2018). Dentre os contaminantes emergentes, um dos grupos mais preocupantes é o dos disruptores endócrinos. Estas substâncias provocam disfunções no sistema endócrino e vários distúrbios já foram observados no organismo e no comportamento de animais como: feminilização de peixes, queda na deposição de ovos e deformidades em filhotes (SANMARTA, 2001; RODRIGUES et al., 2018).

As macrófitas, por sua vez, são um grupo de plantas aquáticas que reúne grande variedade de espécies. São adequadas como bioindicadores e para pesquisas científicas por apresentarem características como: bioacumulação, alta distribuição e produtividade e sensibilidade às toxinas (POZZA & SANTOS, 2015).

Neste contexto, este trabalho pretende avaliar o crescimento e desenvolvimento de macrófitas flutuantes *Salvinia auriculata* quando expostas a progesterona sintética, um hormônio geralmente encontrado em alguns tipos de contraceptivos orais. Devido aos hormônios serem microcontaminantes acredita-se que a progesterona prejudique o crescimento das macrófitas fazendo com que aquelas mantidas no tratamento controle tenham um crescimento mais acelerado que as mantidas no tratamento com o hormônio. O efeito da progesterona no crescimento da planta foi avaliado através da medição de sua área foliar ao longo de cinco semanas em três concentrações distintas.

## METODOLOGIA

Foram realizados três tratamentos, sendo diferenciados pela concentração da progesterona sintética dissolvida em água do reservatório do Monjolinho:

Tabela 1: Concentração de progesterona sintética para cada tratamento (mg/L).

Tratamentos	Concentração da progesterona (mg/L)
A	0,225
B	0,450
C	0,900
Controle	0 (apenas água do Monjolinho)

Para cada tratamento, utilizou-se 100 indivíduos da *S. auriculata* sendo 50 em meio com hormônio e 50 do Tratamento Controle, todos acondicionados em béqueres com 200 ml de água





do reservatório do Monjolinho, mantidos à temperatura ambiente média de  $21^{\circ} \pm 2,01^{\circ} \text{C}$ . Uma vez por semana, ao longo de cinco semanas, os indivíduos foram fotografados com o auxílio de uma plataforma iluminada sobre uma base milimetrada para que sua área foliar fosse calculada através do programa de processamento de imagem Image J. Com os resultados obtidos foi possível realizar a descrição do crescimento através do modelo sigmoide (Equação 1):

$$\frac{dN}{dt} = \mu \times \left(1 - \frac{N}{K}\right) \quad (1)$$

em que: N = área foliar total;  $\mu$  = coeficiente de crescimento ( $\text{dia}^{-1}$ ); K = biomassa máxima de *S. auriculata* no frasco do bioensaio e t = tempo (d).

O tempo de duplicação ( $t_d$ ) das culturas é calculado pela Equação 2 (MITCHELL & TUR, 1975).

$$t_d = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2)$$

## RESULTADOS

Visualmente, os indivíduos de *S. auriculata* mantidos nos tratamentos com a progesterona sintética bem como o Controle apresentaram reprodução com o brotamento de novas folhas embora estivessem perdendo a coloração e o vigor ao longo das semanas.

O crescimento no Tratamento Controle foi diferente para os três Tratamentos A, B e C, respectivamente 0,225 mg/L, 0,450 mg/L e 0,900 mg/L de progesterona sintética. O crescimento nas concentrações 0,225 mg/L e 0,900 mg/L foram iguais com  $p < 0,05$ ; porém a concentração 0,450 mg/L foi diferente ( $p < 0,001$ ). A Tabela 2 mostra a parametrização do crescimento da *Salvinia auriculata* ao longo de 5 semanas. Foi possível observar que, o crescimento de *S. auriculata* nos Tratamentos (A, B e C) foi mais acelerado que o do Tratamento Controle para as três concentrações.

Tabela 2: Coeficientes de crescimento  $\mu$  ( $\text{dia}^{-1}$ ) de *Salvinia auriculata* nos Tratamento A, B e C.

Concentrações	Tipo	$\mu$ ( $\text{dia}^{-1}$ )	Erro
A) 0,225 mg/L	Controle	0,047	0,007
	Tratamento	0,059	0,009



B) 0,450 mg/L	Controle	0,026	0,006
	Tratamento	0,032	0,004
C) 0,900 mg/L	Controle	0,032	0,004
	Tratamento	0,036	0,008

No Tratamento A, o coeficiente de crescimento variou de  $0,059 \pm 0,009 \text{ dia}^{-1}$  representando um crescimento 23,4% mais elevado que o Tratamento Controle que foi cerca de  $0,047 \pm 0,007 \text{ dia}^{-1}$ . O Tratamento B obteve  $0,032 \pm 0,004 \text{ (dia}^{-1}\text{)}$ , ou seja 23,5% mais rápido que o Tratamento Controle de  $0,026 \pm 0,058 \text{ (dia}^{-1}\text{)}$ . O Tratamento C obteve  $0,036 \pm 0,008 \text{ (dia}^{-1}\text{)}$ , representando um crescimento 12,7% mais rápido que o Controle que obteve  $0,032 \pm 0,004 \text{ (dia}^{-1}\text{)}$ . Estes parâmetros indicaram que a *S. auriculata* cresceu mais rápido nas concentrações mais baixas de progesterona sintética e, a partir das concentrações de 0,450 mg/L e 0,900 mg/L, a aceleração do crescimento diminuiu.

## DISCUSSÃO

Estudos sobre a influência de progesterona sintética ou outros hormônios sobre a *Salvinia auriculata* são escassos, porém existem estudos sobre o efeito de contaminantes como cádmio, chumbo, cafeína, amoxicilina, entre outros (OTOMO et al., 2021; ALMEIDA, 2009). Estudo realizado por Otomo e colaboradores (2021) avaliou o efeito da mistura de oito tipos de drogas (amoxicilina, cafeína, carbamazepina, dipirona, ibuprofeno, losartana, omeprazol e tenivastatin) em três concentrações 10, 200, e 500  $\mu\text{g L}^{-1}$  sobre duas macrófitas flutuantes *Lemna minor* e *Salvinia auriculata*. A mistura das oito substâncias inibiu o crescimento da *L. minor* desde 10  $\mu\text{g L}^{-1}$  e não tiveram efeito significativo no crescimento da *S. auriculata* mesmo em 500  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Almeida (2009) observou que *S. auriculata* expostas a cádmio em diferentes concentrações (0; 1; 2,5; 5 e 10  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) não apresentaram redução de biomassa. Lazaro (2020) analisou a eficiência da macrófita *Eichhornia crassipes*, o aguapé como fitorremediador do hormônio feminino estriol observando se haveria alterações morfo-anatômicas (tamanho foliar, pecíolo, raiz e seus pelos, massa fresca e tecidos). A *E. crassipes* acumulou significativamente este contaminante em suas raízes, especificamente nos pêlos radiculares que, inclusive, aumentaram em quantidade, demonstrando que macrófitas flutuantes podem acumular substâncias hormonais, removendo-as da água. Mesmo assim, o tamanho da folha, pecíolo, raiz e massa fresca não tiveram variações significativas.



Foi surpreendente a *Salvinia auriculata* ter apresentado um crescimento mais acelerado ao ser exposta a progesterona sintética o que sugere que este hormônio não apresenta risco às populações desta macrófita em específico. Contudo, o crescimento elevado de populações de macrófitas também pode impactar negativamente os ambientes aquáticos à medida que a cobertura da superfície impede os raios solares de atingir as camadas mais profundas, inibindo assim a produção das espécies aquáticas submersas (BIUDES & CAMARGO, 2008).

## CONCLUSÕES

A introdução dos contaminantes emergentes nos corpos hídricos têm sido cada vez maior e mais frequente, por isso é importante que estudos sobre o efeito dessas substâncias na biodiversidade aquática sejam realizados. O efeito da progesterona sintética sobre a espécie *Salvinia auriculata* demonstrou que o hormônio não teve um efeito negativo sobre o crescimento da planta e, pelo contrário, pareceu estimulá-lo. Além disso, foi observado que houve brotamento tanto nos exemplares do Tratamento Controle, quanto dos mantidos em hormônio. Por ter se mostrado resistente a presença da progesterona sintética e apresentado uma resposta através do crescimento a *S. auriculata* possui potencial para ser um bioindicador sendo necessários mais estudos para avaliar esta possibilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, G. W. de. **Avaliação do potencial bioindicador e fitorremediador de *Salvinia auriculata* Aublet na presença de cádmio e chumbo**. 2009. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.
- BIUDES, J. F. V.; CAMARGO, A. F. M. Estudos dos fatores limitantes à produção primária por macrófitas aquáticas no Brasil. **Oecologia Brasil**. vol. 12, n. 1, p. 7-19, ago/2008.
- GIL, M. J.; SOTO, A. M.; USMA, J. I.; GUTIÉRREZ, O. D. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. **Producción + Limpia**, vol. 7, n. 2, p. 52-73, jul/dec 2012.
- LAZARO, L. C. C. Fitorremediação em águas contaminadas com o hormônio estriol. Araraquara, SP: 2020. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, 2020.
- LIMA, D. R. S.; TONUCCI, M. C.; LIBÂNIO, M.; AQUINO, S. F. de. Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrências e técnicas de remoção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol. 22, n. 6, p. 1043-1054, nov/dez 2017.
- MITCHELL, D. S.; TUR, N. M. The rate growth of *Salvinia molesta* (*S. auriculata* auct.) in laboratory and natural conditions. **Journal of Applied Ecology**, Londres, v. 12, n. 1, p. 213–225, 1975.
- OTOMO, J. I.; JESUS, T. A. de; COELHO, L. H. G.; MONTEIRO, L. R.; HUNTER, C.; ROBERTS, J. PAHL, O. Effect of eight common Brazilian drugs on *Lemna minor* and *Salvinia auriculata* growth. **Environmental Science and Pollution Research** vol. 28, p. 43747-43762, abr. 2021.



POZZA, S. A.; PENTEADO, C. S. G. **Monitoramento e caracterização do ambiente**. São Carlos: EdUFSCar, 2015.

RODRIGUES, J. S.; CORDEIRO, J.; CALAZANS, G. M.; CORDEIRO, J. L.; GUIMARÃES, J. C. S. Presença de fármacos e hormônios na água: uma análise cienciométrica. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 6, p. 01-22, dez. 2017.

SANMARTA, J. A ameaça dos disruptores endócrinos. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p.18-29, jul/set 2001.



# **AVALIAÇÃO DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE ESGOTO SANITÁRIO VISANDO A BIODEGRADAÇÃO DE MICROPOLUENTES ORGÂNICOS EM REATOR ANAERÓBIO DE LEITO FIXO ACIDOGÊNICO-METANOGÊNICO**

**GOMES G. M, CARNEIRO R. B.**

## **RESUMO**

O presente trabalho avaliou a digestão anaeróbia em duas fases em reator anaeróbio de leito fixo, acidogênico (Ac) e metanogênico (Met), visando a biodegradação de micropoluentes orgânicos (MPOs) específicos tais como: sulfametoxazol (SPX), ciprofloxacina (CIP), naproxeno (NPX) e propilparabeno (PPB). A eficiência média de remoção de matéria orgânica do sistema foi superior a 95 % durante toda a operação dos reatores, indicando um ótimo desempenho da metanogênese. Houve remoção completa de SMX, NPX e PPB, enquanto que CIP ( $56 \pm 26\%$ ) apresentou remoção moderada. O perfil de concentrações dos MPOs ao longo dos reatores revelou que a cinética de remoção foi mais favorável para os compostos facilmente degradados (SMX, NPX e PPB) em comparação ao composto CIP, que apresentou uma cinética de remoção mais lenta. No geral, o reator anaeróbio de duas fases acidogênico-metanogênico se mostra promissor para o tratamento de águas residuárias domésticas contendo variados micropoluentes.

## **ABSTRACT**

This study assessed anaerobic digestion in a two-phase fixed-bed anaerobic reactor, consisting of acidogenic (Ac) and methanogenic (Met) stages, aiming at the biodegradation of specific organic micropollutants (MPOs) such as sulfamethoxazole (SMX), ciprofloxacin (CIP), naproxen (NPX), and propylparaben (PPB). The average organic matter removal efficiency of the system exceeded 95% throughout reactor operation, indicating excellent methanogenesis performance. SMX, NPX, and PPB were completely removed, while CIP showed moderate removal ( $56 \pm 26\%$ ). The concentration profiles of MPOs across the reactors revealed that removal kinetics were more favorable for easily degradable compounds (SMX, NPX, and PPB) compared to the CIP compound, which exhibited slower removal kinetics. Overall, the two-phase anaerobic reactor, combining acidogenic and methanogenic stages, demonstrates promise for treating domestic wastewater containing various micropollutants.

## INTRODUÇÃO

Micropoluentes orgânicos (MPOs) são compostos antropogênicos, como produtos farmacêuticos e químicos industriais, que estão presentes em águas em concentrações da ordem de  $\text{ng L}^{-1}$  a  $\mu\text{g L}^{-1}$ . A diversidade desses contaminantes emergentes torna complexos os procedimentos de detecção, análise e tratamento, levando a preocupações sobre seus efeitos prejudiciais à saúde humana e ao ambiente (LUO et al., 2014).

No contexto dos fármacos a biodegradação desses compostos no esgoto é limitada pelas baixas concentrações nos esgotos brutos e pela taxa de degradação proporcional à concentração do fármaco na água (AQUINO et al., 2013).

Os sistemas de tratamento convencionais não removem eficazmente esses contaminantes, expondo organismos a riscos como bioacumulação, câncer, infertilidade e resistência bacteriana (ALVES; GIRALDI; PINHEIRO, 2017). Alternativas de tratamento físico-químicas, como oxidação avançada e ultrafiltração, são dispendiosas e energeticamente desvantajosas (CHATILA et al., 2015). Nesse cenário, reatores anaeróbios surgem como uma opção viável, especialmente sistemas de duas fases que consiste em dois reatores colocados em série, onde a acidogênese e a metanogênese prevalecem no primeiro e no segundo reator, respectivamente, devido à pressão seletiva (PEIXOTO, 2011). Tal sistema permite a operação com cargas maiores e maior eficiência de remoção da demanda química de oxigênio (DQO) (KE et al. 2005; MOTA; ZAIAT, 2018).

## METODOLOGIA

A estratégia operacional dos reatores consistiu de duas fases – a primeira somente com esgoto sintético e a segunda com esgoto e aplicação dos MPOs.

### **Configuração dos reatores anaeróbios de leito fixo estruturado**

O volume útil de cada reator é de 2 L, o que resulta em uma carga orgânica volumétrica aplicada no sistema de  $2 \text{ kgDQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ . O tempo de detenção hidráulica total adotado para a operação do sistema de reatores foi de 12 h, conforme Carneiro et al. (2019).

#### **1. Micropoluentes selecionados para avaliação na pesquisa e análises físico-químicas de monitoramento do sistema**

Os micropoluentes orgânicos selecionados pertencem a diferentes classes, como os antibióticos sulfametoxazol (SPX) e ciprofloxacina (CIP), o anti-inflamatório naproxeno

(NPX) e o parabenol propilparabenol (PPB). As concentrações usadas no estudo baseiam-se nas faixas afluentes às estações de tratamento de esgoto adotando  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  para cada MPO. A avaliação do desempenho dos reatores foi conduzida por meio de análises físico-químicas como Alcalinidade (Titulométrico), Ácidos Voláteis (Cromatografia Gasosa), DQO (Espectrofotométrico) e MPOs (LC-MS/MS).

## 2. Perfis espaciais de MPOs

Para avaliar a cinética de remoção dos MPOs ao longo dos reatores, foram realizados perfis espaciais por meio da análise da concentração das amostras coletadas nos pontos laterais de cada reator. Dessa forma, estabelece-se abaixo a expressão cinética de decaimento.

$$C = CR + (C0 - CR) \cdot e^{(-kI^{app} \cdot \theta h)} \quad \text{Equação 1}$$

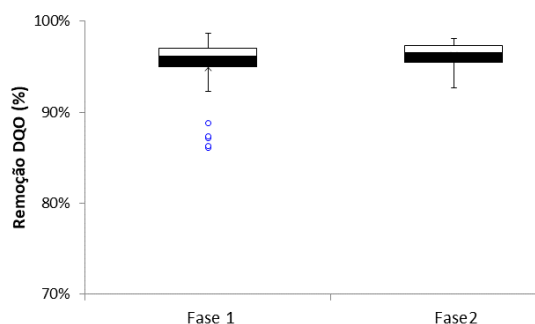
Em que: C é a concentração de MPO; CR é a concentração residual de MPO; C0 é a concentração inicial de MPO;  $kI^{app}$  é a constante cinética de primeira ordem;  $\theta h$  é o tempo de detenção hidráulica.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3. Remoção de matéria orgânica (DQO)

A Figura 1 apresenta a remoção global de DQO durante as fases operacionais. O reator metanogênico mostrou maior eficiência de remoção de DQO em ambas as etapas. A remoção total do sistema foi de  $96 \pm 1\%$  nas duas fases, indicando bom desempenho e ausência de influência dos MPOs no desempenho dos reatores.

Figura 1 - *Boxplot* da eficiência de remoção de DQO no reator.



Fonte: Os autores, 2022

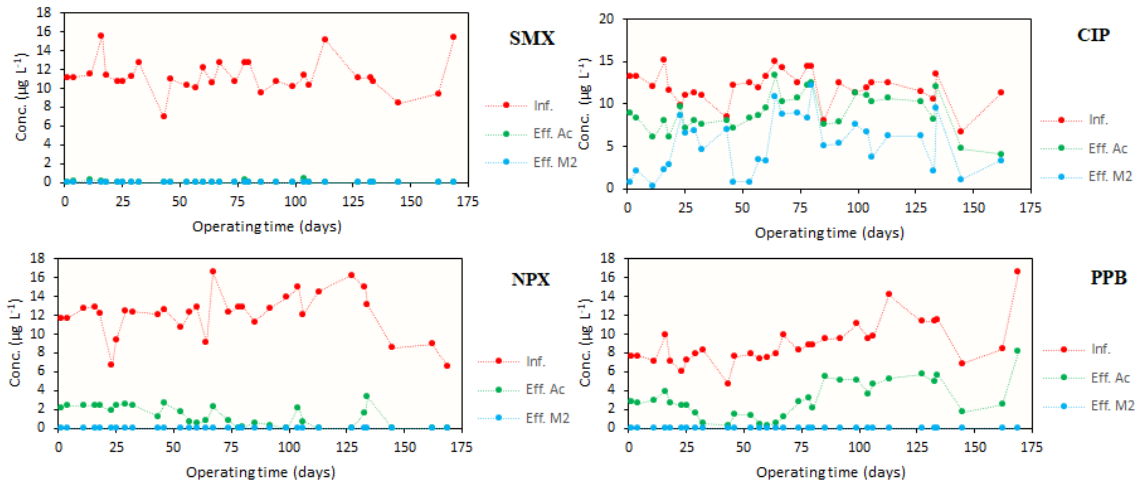
### 4. Remoção de MPOs

5. A Figura 2 mostra as concentrações afluente e efluente dos reatores Ac e Met, bem como para cada micropoluente ao longo do tempo. A remoção média foi de 100% para sulfametoxazol, naproxeno e propilparabenol, enquanto que para ciprofloxacina foi  $56 \pm$

26%.

6.

Figura 2: Concentrações afluente e efluente para cada MPO nos diferentes reatores.



7.

8. Fonte: Os autores,2022

## 9. Alcalinidade e ácidos voláteis

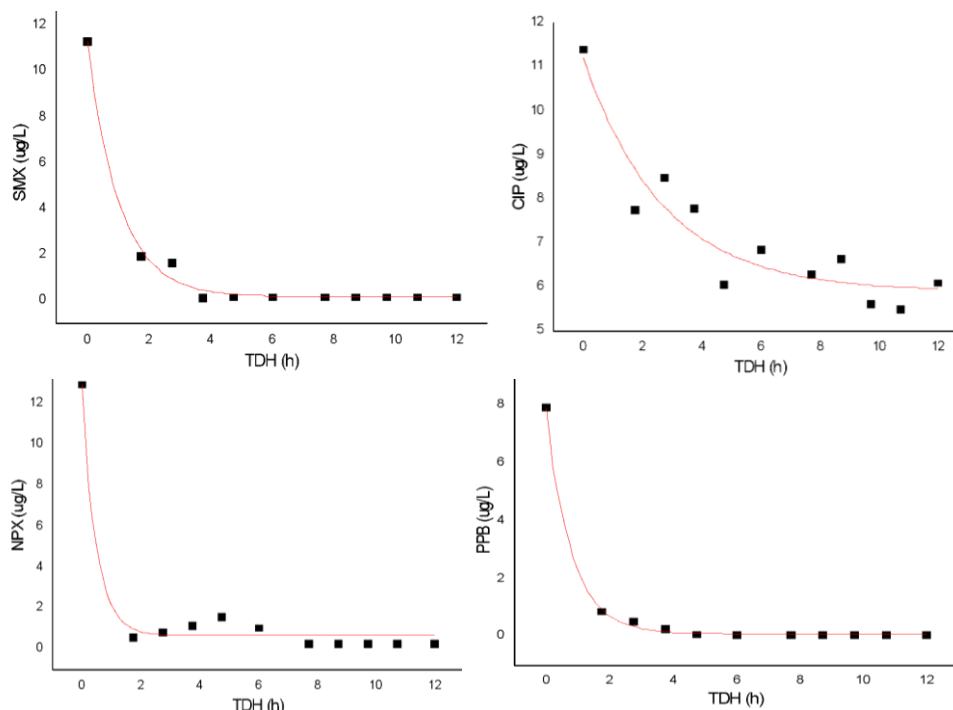
10. A relação AI/AP ( $0,31 \pm 0,05$  na fase 1 e  $0,36 \pm 0,08$  na fase 2) indicaram estabilidade do processo de digestão anaeróbia, evitando desequilíbrios na produção e consumo de ácidos voláteis. O monitoramento de ácidos graxos voláteis no reator Ac revelou maior produção de ácido acético, propiônico, isovalérico e butírico na fase 1, e ácido isovalérico, acético e propiônico na fase 2. A ausência de acúmulo de ácidos voláteis no reator Met foi observada ao longo de ambas as fases, indicando equilíbrio no processo, uma vez que um acúmulo excessivo desses ácidos pode causar inibição das archaeas metanogênicas.

## 11. Perfis cinéticos espaciais de remoção de MPO

A Figura 3 abaixo apresenta os perfis espaciais de decaimento dos MPOs. Observa-se que nem todos os MPOs (CIP e NPX) apresentaram perfil de decaimento de primeira ordem nos reatores. Os coeficientes cinéticos foram determinados como segue: para o composto SMX, a constante cinética ( $h^{-1}$ ) foi de  $0,96 \pm 0,08$ , no caso do composto CIP foi de  $0,37 \pm 0,1$ , para o NPX  $2,10 \pm 0,99$ , e por fim para o PPB a constante foi de  $1,27 \pm 0,05$ .

Figura 3: Perfis espaciais de decaimentos dos MPOs para cada reator





12. Fonte: Os autores,2022

## CONCLUSÃO

O reator acidogênico contribuiu para a melhoria global do desempenho, promovendo redução significativa dos MPOs para a etapa metanogênica. Não houve acúmulo de ácidos voláteis na etapa metanogênica, mantendo a estabilidade do processo de digestão anaeróbia no reator. A remoção de MPOs foi total para SMX, PPB e NPX, exceto CIP, recomenda-se assim estudos futuros com o composto CIP que possui um grupo halogenado em sua estrutura molecular (F) o que pode aumentar a persistência desse fármaco e desta forma necessitar de um pré-tratamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, S.F; EMANUEL M. F.; BRANDT, E.M.F.; CARLOS A. L.; CHERNICHARO, C.A.L. (2013) Destino e mecanismos de remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, p. 5-9.
- ALVES, Thiago & Girardi, Rubia & Pinheiro, Adilson. (2017). Micropoluentes orgânicos: ocorrência, remoção e regulamentação. *Revista de Gestão de Água da América Latina*. 14. 1. 10.21168/rega.v14e1.
- CARNEIRO, R.B., Sabatini, C.A., Santos-Neto, Á.J., Zaiat, M., 2019a. Feasibility of anaerobic packed and structured-bed reactors for sulfamethoxazole and ciprofloxacin removal from domestic sewage. *Sci. Total Environ.* 678, 419–429. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.437>
- CHATILA, S. et al. Sulfamethoxazole and ciprofloxacin removal using a horizontal-flow anaerobic immobilized biomass reactor. *Environmental Technology*, p. 1-7, 2015.
- KE, S., Shi, Z. & Fang, H. H. P. 2005, Applications of two-phase anaerobic degradation in industrial wastewater treatment. *International Journal of Environment and Pollution* 23, 65–80.
- LUO, Y., Guo, W., Hao, H., Duc, L., Ibney, F., Zhang, J., Liang, S., & Wang, X. C. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, The, 473–474, 619–641,2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065>>

19. MOTA, V.T.; ZAIAT, M. Two- vs. single-stage anaerobic reactors: Evaluation of effluent quality and energy production potential using sucrose-based wastewater. *Water Sci. Technol.* 2018, 9, 1966–1979
20. PEIXOTO, G. Sistema fermentativo de duas fases para a produção de hidrogênio e metano a partir de esgoto sanitário combinado com águas residuárias industriais. 191 f. Tese( Doutorado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

Este trabalho foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - processos nº 2021/05052-5).



# CARACTERIZAÇÃO DA POLUIÇÃO DIFUSA E POSSÍVEIS FATORES INTERVENIENTES DURANTE EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO EM UM RIACHO URBANO DE SÃO CARLOS (SP)

Aluna: Cecilia Loretti de Paiva<sup>1</sup>

Orientador: Prof. Dr. Davi Gasparini Fernandes Cunha<sup>2</sup>

<sup>1</sup> cecilialoretti@usp.br, USP-EESC; <sup>2</sup> davig@sc.usp.br, USP-EESC

## RESUMO:

No presente estudo, buscou-se caracterizar, por meio das concentrações médias de Sólidos Suspensos (totais, fixos e voláteis) do evento, a poluição difusa durante ocorrências de precipitação no riacho Santa Maria do Leme e sua relação com a preservação ambiental no local, avaliada pela aplicação de Protocolos de Avaliação Rápida. O estudo mostrou o elevado aporte de sólidos, principalmente de origem inorgânica, e sua possível relação com a erosão próxima e/ou nas margens do rio, bem como com a pequena extensão e descontinuidade da mata ciliar observada. Nesse contexto, a poluição difusa contribui diretamente para o assoreamento do Rio Monjolinho, importante manancial de abastecimento público e principal rio de São Carlos, e impacta diretamente na captação de água e no problema de inundações da cidade, demonstrando a necessidade de maiores investimentos em monitoramento, capacitação e conscientização para a preservação ambiental do riacho.

## ABSTRACT:

This research aims to characterize diffuse pollution during precipitation events in the Santa Maria do Leme stream and its relationship with environmental preservation at the site, evaluated through the application of Rapid Assessment Protocols. The study revealed a high input of Total Suspended Solids (TSS), Fixed Suspended Solids (FSS), and Volatile Suspended Solids (VSS), mainly of inorganic origin, and its potential association with erosion near the riverbanks, as well as the limited and discontinuous riparian vegetation observed. In this context, diffuse pollution directly contributes to the siltation of the Monjolinho River, a crucial public water supply source and the main river of São Carlos, impacting water intake and the city's flooding issues, highlighting the need for greater investments in monitoring, capacity building, and awareness-raising for the environmental preservation of the stream.

## 1. INTRODUÇÃO

A expansão acelerada das cidades brasileiras na segunda metade do século passado resultou em diversos impactos negativos sobre os ambientes aquáticos e na degradação da vegetação ripária, com conseqüente aumento da erosão das margens e do transporte de poluentes para os cursos de água (CHUA et. al, 2019), entre outros efeitos.



Uma das formas de aporte de poluentes em ambientes aquáticos é a difusa, processo que tem início com a lavagem e o transporte de poluentes atmosféricos pela chuva, a formação dos deflúvios superficiais que carregam os poluentes depositados na superfície da bacia hidrográfica e o transporte ao seu destino final em um corpo receptor (CAMPBELL et al., 2004). Trata-se de um fenômeno aleatório de complexa mensuração e difícil monitoramento, em decorrência da dificuldade de identificação de sua origem, e cujas consequências dependem, majoritariamente, do tipo de uso e ocupação do solo, de aspectos meteorológicos, e das características quantitativas e qualitativas dos poluentes (PORTO, 2015; RIGHETTO; GOMES; FREITAS, 2017). Assim, ressalta-se a importância de conhecer os efeitos da poluição difusa sobre os ambientes aquáticos, sobretudo em áreas urbanas, para melhorar o seu controle e monitoramento.

A poluição difusa pode ser caracterizada por meio de polutogramas, curvas massa(volume) [M(V)] e concentrações médias do evento (CME). A CME corresponde à divisão da massa total observada de um poluente pelo volume total escoado no curso de água (MITCHELL et al., 2000) e representa a concentração que resultaria se toda a descarga da drenagem pluvial fosse coletada em um único ponto (RIGHETTO et al., 2017; MARTINS, 2017), resultante da totalidade do evento chuvoso.

Em países desenvolvidos, estudos têm buscado a determinação de valores de CME para diversos poluentes. Entretanto, no Brasil, tais monitoramentos e análises são escassos em razão dos custos logísticos (e.g., coleta, armazenamento e análises laboratoriais) e/ou da falta de capacitação profissional, o que resulta em um banco de dados limitado e na utilização de dados inconsistentes ou incompletos acerca de CME de poluentes observadas nas bacias (MARTINS, 2017). Na prática, CME incompatíveis com a realidade podem prejudicar o dimensionamento de técnicas compensatórias de redução de impacto da poluição difusa sobre os cursos de água, gerando perdas financeiras e obras com baixa eficiência.

Além do aporte de poluentes difusos aos cursos de água, um grande problema em ambientes urbanos é a degradação da vegetação ripária, agravando o quadro de carreamento de poluentes, tendo em vista que tal vegetação atua como uma barreira para a entrada destes. Entende-se por vegetação ripária (ou mata ciliar) a área de preservação permanente localizada na margem de rios, riachos e circundando suas respectivas nascentes (BRASIL, 2012). As matas ciliares apresentam diversas funções ecológicas (e.g., amortecimento de inundações, filtragem da água e nutrientes), além de influenciarem as entradas e saídas de matéria orgânica, contribuírem para a biodiversidade regional e promover o sombreamento dos cursos de água (GONZÁLEZ et al., 2017). Assim, faz-se necessário compreender melhor o papel das matas



ciliares e de outros fatores intervenientes durante eventos de precipitação sobre a qualidade da água urbana, particularmente as alterações geradas pelas cargas difusas. Dessa forma, o presente trabalho busca fornecer subsídios para melhor planejamento e atuação mais efetiva de gestores ambientais.

## 2. METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no exutório do riacho Santa Maria do Leme, principal curso d' água de bacia hidrográfica de mesmo nome (11,18 km<sup>2</sup>), localizada na área urbana de São Carlos (SP). Originalmente, o riacho Santa Maria do Leme está inserido, majoritariamente, em área de vegetação secundária típica do Cerrado e sua transição para a Mata Atlântica. A precipitação anual total esperada na área é de aproximadamente 1.500 mm, com verões chuvosos (média mensal > 150 mm) e invernos secos (< 70 mm) (SALTARELLI et al., 2018).

O número de eventos de precipitação avaliados dependeu da ocorrência de chuvas. Analisou-se, durante o período chuvoso na cidade de São Carlos, a CME para SST (Sólidos Suspensos Totais), e suas frações fixas [SSF] e voláteis [SSV], no exutório da bacia Santa Maria do Leme em quatro eventos. Durante os eventos de precipitação, as amostras de água do riacho foram coletadas de forma manual, com o número de amostras por evento dependente das alterações no nível da água no riacho e da intensidade pluviométrica, variando entre 10 a 12 amostras. Em eventos mais intensos [ $\geq 10$  mm h<sup>-1</sup>], a variação de nível adotada para a coleta das amostras de água superficial foi maior, quando comparada a eventos de menor intensidade. A amostragem foi feita tanto na fase ascendente do hidrograma quanto na descendente, além de serem coletadas duas amostras de água do riacho antes da ocorrência da precipitação (amostras basais).

As amostras coletadas foram acondicionadas em garrafas de polietileno de 1 L e levadas ao laboratório BIOTACE (Biotoxicologia de Águas Continentais e Efluentes) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP) para posterior análise. No laboratório, as concentrações de SST, SSF e SSV foram obtidas por meio do método gravimétrico, seguindo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017). A partir delas, foram calculadas as respectivas CMEs.



O Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) é uma ferramenta utilizada para avaliar o estado de conservação da zona ripária de APPs e auxiliar no monitoramento ambiental dos sistemas aquáticos. Para a presente pesquisa, foram utilizados dois protocolos, a fim de possibilitar a comparação entre os resultados obtidos. O primeiro foi elaborado com base nos estudos de Callisto et al. (2002) e adaptado por Barbosa, Cabral e Oliveira (2017) e o segundo, com base na normativa EPA 841-B-99-002 e no protocolo utilizado por Hannaford et al. (1997), adaptado por Espíndola (2022).

Os PARs foram analisados em ambas as margens em cinco transectos definidos no curso de água, distantes 100 m entre si, cada um com aproximadamente 100 m<sup>2</sup> de área. Após a aplicação, as pontuações finais refletem o nível de preservação das condições ecológicas dos trechos estudados, sendo, para o protocolo proposto por Barbosa *et al.* (2017) propostas as classificações: 0 - 20 (trecho impactado), 21- 30 (trecho alterado) e 31- 40 (trecho natural); e para Espíndola (2022), de 0-40 (trecho impactado), 41-60 (trecho alterado) e acima de 61 pontos (trecho natural).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os eventos de precipitação monitorados abrangeram características hidrológicas distintas e variações no valor da CME, como observado pelos dados apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características dos eventos chuvosos monitorados no trecho em questão da bacia hidrográfica do Santa Maria do Leme, incluindo nível basal, intensidade da chuva, dias antecedentes sem chuva (DAC), concentração média do evento(CME) de SST, CME de SSV e CME de SSF

	Nível Basal (m)	Vazão Média (m <sup>3</sup> /s)	DAC (d)	CME SST (mg/L)	CME SSV (mg/L)	CME SSF (mg/L)
Chuva 1 (30/11/2022)	0,28	1,35	0,75	74,46	16,87	57,59
Chuva 2 (06/12/2022)	0,29	1,84	0,38	103,22	26,92	76,30
Chuva 3 (20/12/2022)	0,30	4,20	0,83	204,88	40,49	164,39
Chuva 4 (16/01/2023)	0,36	4,94	2,4	1031,00	215,99	815,01

Fonte: Da Autora, 2022.

Sabe-se que um maior número de DAC pode resultar em maior concentração de sólidos depositados sobre a superfície da bacia e, conseqüentemente, em maior carreamento destes após um determinado evento chuvoso (RIGHETTO et al.,2017). Dessa forma, comparando os



parâmetros presentes na Tabela 1, é verificada essa informação para a análise das chuvas 2, 3 e 4, com um aumento característico da concentração de sólidos na chuva 4, sendo essa a chuva com mais dias antecedentes sem ocorrência de eventos pluviométricos. A chuva 1, apesar de ter maior número de DAC que a chuva 2, apresenta menor valor de concentração média de sólidos carregados durante o evento. Por meio da tabela 5 também depreende-se que a maior parcela (77,3% no caso da chuva 1; 73,9% para a chuva 2; 80,2% com a chuva 3 e 79,1% no caso da chuva 4) de sólidos carregados caracterizou-se como sólidos suspensos fixos, que representam a matéria inorgânica, ou mineral. Tal dado pode estar relacionado com o processo moderado a intenso de erosão presente na bacia, fazendo com que minerais do solo arenoso (o qual está exposto provavelmente devido à ausência ou redução da mata ciliar) da região sejam carregados rio abaixo, provocando assoreamento e fomentando o grave quadro de enchentes presentes na região.

Nesse sentido, é válido pontuar os resultados obtidos pelo PAR: pelo método proposto por Espíndola (2022), apenas o trecho 3 da margem direita e os trechos 1 e 2 da margem esquerda foram classificados como “alterados”, o restante recebeu classificação de “impactados”. Para Barbosa *et al.* (2017), o resultado foi igual, com as margens esquerda dos trechos 1 e 2, além da margem direita do trecho 3, considerados alterados. Pode-se, assim, verificar a inter-relação entre os métodos. Comparando-se a caracterização da poluição difusa realizada com os resultados obtidos pelo Protocolo, pode-se destacar a erosão próxima e/ou nas margens do rio, assoreamento em seu leito, pequena extensão e descontinuidade da mata ciliar (sendo a maior com 8m na margem direita do trecho 3 e a menor com 2m na margem direita do trecho 4) como possíveis fatores intervenientes para a ocorrência de poluição difusa durante os eventos de precipitação estudados.

No contexto da cidade de São Carlos, tais sólidos contribuem diretamente para o assoreamento do Rio Monjolinho, importante manancial de abastecimento público e principal rio de São Carlos, tendo em vista que a bacia do Santa Maria do Leme é tributário deste. Assim, o elevado aporte de sólidos demonstrado pela pesquisa, e que estão diretamente relacionados com as condições de mata ciliar evidenciados pelo PAR é alarmante e impacta diretamente o problema de inundações na cidade.

#### **4. CONCLUSÃO**

Os resultados apontam que o aumento do número de dias antecedentes com chuvas pode estar associado a maior concentração de sólidos (*e.g.*, maior valor de CME) carregados na bacia. A predominância de sólidos suspensos fixos, obtida após a caracterização da poluição difusa nos eventos pluviométricos apontados, sugere a influência da erosão, possivelmente





agravada pela descontinuidade e pequena extensão registrada da mata ciliar nos trechos analisados. Além disso, a classificação geral como “alterados” em ambas as margens dos trechos analisados indica degradação ambiental na região. Nesse sentido, tendo em vista que o elevado aporte de sólidos contribui diretamente para o assoreamento do Rio Monjolinho, agravando o problema de enchentes em São Carlos e influenciando no sistema de abastecimento da região, é imperioso a adoção de medidas que visam a preservação da bacia e da mata ciliar na região, a fim de mitigar os efeitos da poluição difusa e garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos.

##### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA NETO, V. C.; CABRAL, J. J. S. P.; OLIVEIRA, A. L.. Protocolo de avaliação rápida do estado de conservação de um trecho de mata ciliar do rio Sirinhaém (PE). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.8, n.3, p.64-77, 2017. DOI: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.003.0007>

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Código Florestal Brasileiro** [on line] Disponível em : [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)

CAMPBELL, N; D'ARCY, B.; FROST, A.; NOVOTNY, V.; SANSOM, A. Diffuse pollution: an introduction to the problems and solutions. London: **IWA Publishing**, 2004. 310p

CHUA, E. et al. The influence of riparian vegetation on water quality in a mixed land use river basin. **Wiley**. [S. l], p. 1-9, 2019. DOI: 10.1002/rra.3410.

GONZÁLEZ, E. et al., Integrative conservation of riparian zones. **Biological Conservation**. In: GURNELL, A et al., A multi- scale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management. [S. l.], n. 211, p. 20-29, 2017.

MARTINS, R. G. **Modelagem da carga de poluição difusa em escala de bacia com valores de concentração média por evento a partir de dados de uma rede de monitoramento local**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

MITCHELL, G. et al. **Urban development and nonpoint source water pollution: a generic assessment tool**. Report, 2000. Disponível em: <<http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/nps/index.htm>>.

PORTO, M. **Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas**. Porto Alegre: Editora da Universidade /UFRGS, 2015. 428p.

RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S. In: Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 1109–1120, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017162357.

SALTARELLI, Wesley A.; DODDS, Walter K.; TROMBONI, Flavia; CALIJURI, Maria Do Carmo; NERES-LIMA, Vinicius; JORDÃO, Carlos E.; PALHARES, Julio C. P.;





CUNHA, Davi G. F. Variation of stream metabolism along a tropical environmental gradient. **Journal of Limnology**, [S. l.], v. 77, n. 3, p. 359–371, 2018. DOI: 10.4081/JLIMNOL.2018.1717.

SILVA, J. C. A. **Recuperação de córregos urbanos através do controle de cargas pontuais e difusas. Estudo de caso: Córrego Ibiraporã do Sapé**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.



# Remoção de macronutrientes de água residuária por clorofíceas em consórcio microbiano sob diferentes luminosidades

Gabriel Bolani<sup>1,2</sup>; Sarah Regina Vargas<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Biotecnologia Aplicada, Universidade do Estado de Minas Gerais, R. Sabará 164, Centro, 37900-004, Passos, MG.

<sup>2</sup> Mestrando na Universidade Federal de Lavras no Programa de Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas.

<sup>3</sup> Laboratório de Processos Biológicos, Universidade de São Paulo, Avenida João Dagnone 1100, 13563-120, São Carlos, SP, Brasil.

## RESUMO

Microalgas em consórcio microbiano são potenciais organismos que vem sendo recentemente estudados no tratamento biológico de água residuária. Diante disso, neste trabalho foi realizado ensaios de tratamento de água residuária com as cepas de clorofíceas mixotróficas, *Chlorella* sp., e *Desmodesmus* sp. em consórcio microbiano, em diferentes condições luminosas, 24h de luz, em fotoperíodo de 12h claro:12h escuro e 24h sem luz, para avaliar a eficiência de remoção de nitrogênio, fósforo e carbono orgânico. *Desmodesmus* sp. apresentou melhor eficiência de remoção em todas as condições embora ambas as cepas se mostraram como boas alternativas para os tratamentos biológicos de água residuária.

## ABSTRACT

Microalgae in microbial consortium are potential organisms that have been recently studied in the biological treatment of wastewater. Therefore, in this work, wastewater treatment tests were carried out with the mixotrophic chlorophytes strains, *Chlorella* sp., and *Desmodesmus* sp. in microbial consortium, under different light conditions, 24 hours of light, in a photoperiod of 12 hours light: 12 hours dark and 24 hours without light, to evaluate the efficiency of removal of nitrogen, phosphorus and organic carbon. *Desmodesmus* sp. showed better removal efficiency in all conditions although both strains proved to be good alternatives for biological wastewater treatments.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da industrialização e da poluição a partir da revolução industrial, tem-se aumentado a contaminação dos ecossistemas aquáticos devido ao lançamento de efluentes sem



tratamento prévio nos corpos hídricos, prejudicando a qualidade, viabilidade e disponibilidade de água no mundo todo (Gonçalves *et al.*, 2017; Ahmad *et al.*, 2021).

Diante disso, vem-se aumentando as investigações de alternativas de tratamento de águas residuárias, como o tratamento biológico com microrganismos. As clorofíceas mixotróficas são eficazes no tratamento de água residuária, além de conseguirem se adaptar as mudanças climáticas, e dessa forma, estão sendo cada vez mais estudadas nas últimas décadas (Gonçalves *et al.*, 2017; Delgadillo-Mirquez *et al.*, 2016). Além disso, as microalgas mixotróficas, também podem se comportar diferentemente quanto ao regime de luminosidade, como exemplificado por Lee (2015), que demonstrou a influência do fotoperíodo na remoção de nutrientes da água.

Portanto, essa pesquisa visou avaliar a eficiência da remoção de macronutrientes com duas cepas de microalgas, *Chlorella* sp., e *Desmodesmus* sp. em consórcio microbiano em diferentes condições luminosas, 24h de luz, fotoperíodo 12h claro:12h escuro e 24h sem luz, a fim de buscar a melhor eficiência de remoção em água residuária que simula o esgoto sanitário. Espera-se que em diferentes condições de luminosidade a remoção dos macronutrientes será diferente, havendo principalmente remoção de carbono orgânico em condições sem luminosidade, devido a presença de bactérias heterotróficas e pelas algas serem mixotróficas no consórcio microbiano, e maior remoção de nitrogênio e fósforo inorgânico em condições de luminosidade, devido a fotossíntese realizada pelas microalgas.

## 2. METODOLOGIA

As cepas das clorofíceas *Desmodesmus* sp. (CHL0004) e *Chlorella* sp. (CHL0005), foram fornecidas do Laboratório de Biotoxicologia de Águas Continentais e Efluentes - EESC - USP - São Carlos. Estas cepas são não axênicas, e dessa forma se estabelece um consórcio microbiano com bactérias autóctones no cultivo na água residuária. O monitoramento do crescimento foi realizado através de sólidos suspensos totais (APHA, 2012) e a concentração de clorofila *a* pelo método de extração com etanol 80% (Nederlands Norm, 1981; Nusch, 1980).

### 2.1. Delineamento experimental e análise dos resultados

Para a realização dos ensaios de remoção dos nutrientes, foi executado o aumento de volume das culturas, para a obtenção de biomassa de cada cepa. Foi realizado em frascos Duran, e em meio de cultura TAP (Gorman; Levine, 1965), previamente autoclavado a 121 °C por 20 minutos, em condição aeróbia, mantidas em incubadora a 30 °C, com fotoperíodo de 12h claro:12h escuro, intensidade luminosa de 150  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , e pH aproximado de 8,0.

Posteriormente, foram realizados os ensaios de remoção de nutrientes em fotobiorreatores em batelada e em triplicata, na água residuária sintética, com DQO teórica de 1100  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$



(Torres,1992) adaptado por Carneiro (2019). Os ensaios foram realizados em frascos Duran de 250 ml, com volume total de 150 ml e para a montagem, foram mensurados 150 mL da biomassa de cada cepa na metade da fase exponencial, e centrifugados em frascos falcon por 8 minutos a 2000 rpm e resuspensa na água residuária. Os frascos foram mantidos com tampa semi-rosqueada, sob as diferentes condições luminosas, em estufas com condições controladas por 10 dias. As demais condições foram mantidas iguais a da obtenção de biomassa.

Foram realizadas análises de N total (Kjeldahl), P inorgânico, e C orgânico por demanda química de oxigênio (DQO) (APHA, 2012) e por carboidratos totais (Dubois *et al.*, 1956). A análise da eficiência do percentual de remoção dos macronutrientes foi realizada a partir da comparação das concentrações iniciais e finais desses nutrientes, por mg de biomassa de cada cepa (% de remoção por mg de biomassa mensurada por sólidos suspensos totais – SST).

Para analisar os resultados foi feita a análise de variância, ANOVA *one way*, seguido do teste *post hoc* de Tukey, e o teste T-student para comparar a remoção de nutrientes entre as cepas em cada condição luminosa. Os resultados foram processados no software estatístico GraphPad Prism 7®, utilizando-se  $p \leq 0,05$  para indicar diferença significativa.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A *Desmodesmus* sp., iniciou os ensaios com biomassa de  $230 \pm 42,43$  mg.L<sup>-1</sup> e concentração de clorofila *a* de  $1,98 \pm 0,54$  mg.L<sup>-1</sup>, e a *Chlorella* sp.  $430 \pm 56,57$  mg.L<sup>-1</sup> e a concentração de clorofila *a* de  $2,62 \pm 0,48$  mg.L<sup>-1</sup>. De maneira geral, os resultados demonstraram que ambas as cepas foram eficientes na remoção de N, P e C orgânico em todas as condições luminosas, embora obteve-se melhores resultados com a *Desmodesmus* sp.

A remoção de carbono orgânico quantificada por carboidrato por ambas as cepas, *Desmodesmus* sp. e *Chlorella* sp., apresentou melhores valores no ensaio com 24h no escuro com eficiência de remoção de  $95,61 \pm 0,91$  % e  $92,02 \pm 0,71$  %, respectivamente. Quanto a remoção de carbono orgânico mensurado por DQO, a *Desmodesmus* sp. também apresentou resultados melhores nos ensaios sem luz, com eficiência de remoção de  $85,61 \pm 2,54$  %, enquanto a *Chlorella* sp. apresentou  $48,83 \pm 9,52$  % de remoção. A análise estatística confirmou efeito da luminosidade quanto a remoção de carbono orgânico tanto pela análise de carboidrato ( $F_{(2,6)} \geq 7,41$ ;  $p \leq 0,024$ ), quanto por DQO ( $F_{(2,6)} \geq 6,13$ ;  $p \leq 0,035$ ).

Em relação à remoção de fósforo inorgânico nos ensaios com 24 horas luz, *Chlorella* sp. obteve uma eficiência de remoção média de  $95,17 \pm 2,57$  %, e *Desmodesmus* sp.,  $93,90 \pm 2,97$  %. Quanto a remoção de nitrogênio a melhor condição para *Desmodesmus* sp. foi em fotoperíodo, em que obteve eficiência de remoção média de  $55,38 \pm 8,02$  % enquanto que a



remoção média da *Chlorella* sp. nesse parâmetro foi de  $32,30 \pm 11,29$  %. A ANOVA também confirmou efeito das condições luminosas na remoção de fósforo inorgânico e nitrogênio para ambas as cepas ( $F_{(2,6)} \geq 8,72$ ;  $p \leq 0,017$ ).

A comparação da eficiência de remoção de nutrientes entre as cepas, confirmou de modo geral, que o consórcio da cepa *Desmodesmus* sp. se mostrou mais eficiente na proposta de tratamento biológico da água residuária, com maior potencial de remoção dos macronutrientes e em todas as condições de luminosidade comparado a *Chlorella* sp. ( $p \leq 0,0283$ ).

Perante os dados expostos, o metabolismo heterotrófico de ambas as cepas foi mais eficiente na remoção de carbono orgânico, tanto para DQO como para carboidrato, uma vez que removeu mais desse macronutriente na condição sem luz, e isso se deve provavelmente a presença das bactérias heterotróficas em consórcio com as microalgas mixotróficas.

Os resultados obtidos nesta pesquisa são próximos aos de Kumar (2018) e de Assis Neto e colaboradores (2021), que removeu 75 % de carbono orgânico e em média 70,57 % de DQO, respectivamente, ambos utilizando *Chlorella* sp. em fotoperíodo. Enquanto que no presente trabalho utilizando o mesmo parâmetro e cepa, alcançou  $66,77 \pm 2,92$  %, porém inferior à média obtida pela *Desmodesmus* sp. em todas as condições de luminosidade.

Referente a remoção de nitrogênio total e fósforo inorgânico, Moondra (2021) obteve remoção de 85,67 % e 87 % em média, respectivamente, utilizando a *Chlorella vulgaris* em consórcio com bactérias em ambiente aberto. Semelhante ao presente estudo que alcançou  $85,76 \pm 7,4$  % na condição de 24h luz removendo nitrogênio total com *Chlorella* sp. Luo e colaboradores (2018), utilizando *Desmodesmus* sp., alcançaram 88,26 % e 95% de remoção de N e P total, respectivamente, utilizando fotoperíodo de 18h luz: 6h escuro.

Portanto, é possível fazer a remoção de macronutrientes tanto em condições de períodos de luz como sem luminosidade, embora cada condição seja melhor a depender do nutriente que se deseja remover (Russel *et al.*, 2019). Dessa forma, as cepas *Desmodesmus* sp. e *Chlorella* sp. se mostram eficientes para o tratamento biológico de esgoto sanitário, como alternativa para tratamento de resíduos sustentável e contribuindo com a mitigação de impactos ambientais.

#### 4. CONCLUSÃO

Ambas as cepas de microalgas em consórcio microbiano foram eficientes na remoção de N, P e C orgânico, sendo potenciais para o uso em tratamento biológico de água residuária, principalmente sob condições de luminosidade para a remoção de N e P inorgânico, e sem luminosidade para a remoção de C orgânico. Entretanto, a *Desmodesmus* sp., que é pouco estudada, apresentou melhor eficiência na remoção dos nutrientes.



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, Imran & ABDULLAH, Norhayati & KOJI, I & YUZIR, Ali & MOHAMAD, Shaza. **Potential of Microalgae in Bioremediation of Wastewater**. Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis. Doi:10.9767/bcrec.16.2.10616.413-429, 2021.
- APHA / AWWA / WEF – **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 21<sup>st</sup> Ed. American Public Health Association, Washington D.C., 2005.
- DELGADILLO-MIRQUEZ, Liliana *et al.* **Nitrogen and phosphate removal from wastewater with a mixed microalgae and bacteria culture**. Biotechnology reports, v. 11, p. 18-26, 2016.
- DUBOIS, M. *et al.* **Colorimetric method for determination of sugars and related substances**. *Analytical Chemistry*. v. 28, n. 3, p. 350-356. 1956.
- GONÇALVES, Ana L.; PIRES, José CM; SIMÕES, Manuel. **A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment**. Algal Research, v. 24, p. 403-415, 2017.
- GORMAN; LEVINE, R. **TAP and Tris-minimal\* medium**. v. 54, p. 1665–1669, 1965.
- KUMAR, P. K. *et al.* **Phycoremediation of sewage wastewater and industrial flue gases for biomass generation from microalgae**. South African Journal of Chemical Engineering, 25, 133–146. doi:10.1016/j.sajce.2018.04.006. 2018.
- LEE, Chang Soo *et al.* **Effects of photoperiod on nutrient removal, biomass production, and algal-bacterial population dynamics in lab-scale photobioreactors treating municipal wastewater**. Water research, v. 68, p. 680-691, 2015.
- LUO, Long-zao *et al.* **Nutrient removal from piggery wastewater by *Desmodesmus* sp. CHX1 and its cultivation conditions optimization**. Environmental Technology, doi: 10.1080/09593330.2018.1449903. 2018.
- MOONDRA, N., Jariwala, N. D., & Christian, R. A. **Microalgae based wastewater treatment: a shifting paradigm for the developing nations**. International Journal of Phytoremediation, 1–10. doi:10.1080/15226514.2020.1857333. 2020.
- DE ASSIS NETO, Djalma Queiroga *et al.* **Potencial biorremediador da microalga *Chlorella vulgaris* BEIJERINCK em meio composto por águas residuárias**. Águas Subterrâneas, v. 35, n. 3, 2021.
- NORM, Netherlands. NEN 6520. **Norma holandesa sobre determinação de clorofila a pelo método do etanol**, 1981.
- NUSCH, E. A. **Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination**. Arch Hydrobiol Beih Ergebn Limnol, v. 14, p. 14-36, 1980.



RUSSEL, M. *et al.* **Investigating the potentiality of *Scenedesmus obliquus* and *Acinetobacter pittii* partnership system and their effects on nutrients removal from synthetic domestic wastewater.** Bioresource Technology.

TORRES, Patricia. **Desempenho de um reator anaeróbio de manta de lodo (uasb) de bancada no tratamento de substrato sintético simulando esgotos sanitários.** 1992. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992. Acesso em: 27 jul. 2022.



# VALOR DE SEGUROS DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS: UM ESTUDO DE CASO NA BACIA DO CANCÃ – SP

Danilo Tabarelli Melo Barbosa<sup>1</sup>, Marcos Roberto Benso<sup>2</sup> & Eduardo Mario Mendiondo<sup>3</sup>

1: Graduando do Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo - *Campus* de São Carlos, SP.

2: Doutorando em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo - Campus de São Carlos, SP.

3: Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo - Campus de São Carlos, SP.

## RESUMO

Recentes crises hídricas em regiões de grande importância socioeconômica no Brasil têm evidenciado, cada vez mais, a importância dos serviços ecossistêmicos para uma sociedade resiliente e sustentável. Temas como pagamentos por serviços ambientais (PSA) e soluções baseadas na natureza (SbN) são fundamentais para a proteção do capital natural preservado e o incentivo para melhoria da qualidade ambiental dos ecossistemas antropizados. No entanto, nota-se a necessidade de propor ferramentas que auxiliem na proteção e promoção das SbN, no sentido de reduzir o risco de desastres naturais nessas áreas e fomentar maior investimento público e privado na conservação ambiental. Para a criação destas ferramentas, é necessário produzir mais estudos de base que levantem dados secundários, identifiquem bacias hidrográficas críticas e produzam indicadores que permitam avaliar o risco ambiental dessas zonas críticas para serviços ambientais. Espera-se com este projeto, coletar dados relevantes aos desafios mencionados bem como produzir um modelo conceitual de seguros indexados para proteção e promoção das SbN na microbacia hidrográfica do Córrego do Cancã, no município de Joanópolis (SP).

**Palavras-chave:** Pagamentos por Serviços Ambientais, Soluções Baseadas na Natureza, modelagem hidrológica.

## ABSTRACT

Recent water crisis in regions of great social and economic importance in Brazil have increasingly highlighted the importance of ecosystem services for a resilient and sustainable society. Themes such as payments for ecosystem services (PES) and nature-based solutions (NbS) are essential for the protection of preserved natural capital and incentives for improving the environmental quality of anthropized ecosystems. However, there is a need to propose tools that assist in the protection and promotion of NbS in order to reduce the risk of natural disasters in these areas and encourage greater public and private investment in environmental





conservation. To create these tools, it is necessary to produce more baseline studies that gather secondary data, identify critical watersheds, and produce indicators that allow for the assessment of environmental risk in these critical zones for ecosystem services. With this project, we hope to collect relevant data on the mentioned challenges as well as produce a conceptual model of index-based insurance for the protection and promotion of NbS in the micro-watershed of the Córrego do Cancã, in the municipality of Joanópolis (SP).

**Keywords:** Payments for Environmental Services, Nature-Based Solutions, Hydrological Modeling.

## INTRODUÇÃO

A provisão de água é um serviço ecossistêmico que é fundamental para a sociedade. Em regiões de alta demanda, situações críticas de seca podem levar a conflitos, desabastecimento e prejuízos econômicos. As bacias hidrográficas são elementos fundamentais para a gestão integrada dos recursos hídricos e desempenham um papel crucial na garantia do abastecimento público das megacidades. Um desafio significativo surge quando se trata de bacias hidrográficas não monitoradas, também conhecidas como *ungauged basins* caracterizadas pela falta de dados hidrológicos e climáticos confiáveis, o que dificulta a compreensão precisa dos processos hidrológicos e o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão de riscos (SILVA, 2016). O problema se agrava quando consideramos que justamente nessas bacias não monitoradas estão localizados projetos de grande importância para a gestão integrada dos recursos hídricos. A falta de monitoramento adequado nessas bacias torna-se uma preocupação crítica, pois a gestão de risco e a redução de desastres (Disaster Risk Reduction - DRR) são comprometidas pela falta de dados confiáveis e pela limitada compreensão dos riscos associados (TWIGG, 2015).

Antes de explorar as estratégias de gestão de risco, é importante definir o conceito de risco. No contexto deste estudo, risco refere-se à probabilidade de ocorrência de um evento adverso e às consequências associadas a esse evento (NAGHETTINI & PORTELA, 2011). Compreender e avaliar o risco é crucial para a tomada de decisões informadas e para a implementação de estratégias adequadas de gestão de risco. Uma das abordagens importantes para lidar com o risco é a transferência de risco, que pode ser alcançada por meio do uso de mecanismos de seguro. A transferência de risco envolve a transferência da responsabilidade financeira pelos riscos identificados para terceiros, como seguradoras. A utilização de seguros é uma ferramenta valiosa que auxilia na mitigação dos impactos financeiros decorrentes de eventos adversos, fornecendo proteção e estabilidade às áreas afetadas.

Neste sentido, Programas de Pagamento por Serviços Ambientais têm o objetivo de prover auxílio financeiro para que produtores rurais em bacias produtoras de água preservem e

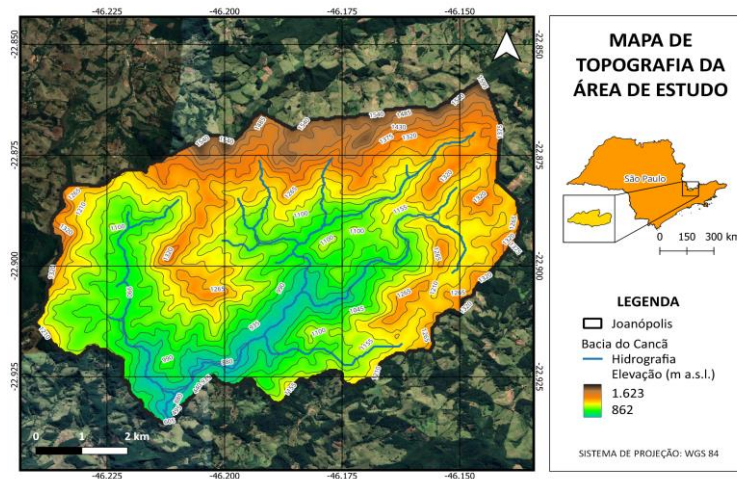


umentem áreas florestais para reduzir o risco de situações críticas. Tendo em vista este desafio, este trabalho objetiva propor um framework conceitual para avaliar a performance de programas de PSA com base em modelagem ecohidrológica.

## METODOLOGIA

O Projeto Produtores de Água do PCJ, implantado em 2010 pela The Nature Conservancy (TNC) e pelos Comitês PCJ, é uma iniciativa que visa promover o PSA a agricultores que adotam práticas que visem promover a melhoria da qualidade e a ampliação da oferta das águas e da região das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (VIANI et al., 2015; AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2021). Os produtores são incentivados e recompensados financeiramente por adotarem práticas sustentáveis de conservação do solo, uso eficiente de água, reflorestamento de áreas degradadas e preservação de nascentes e matas ciliares (VIANI et al., 2015). Como objeto de estudo, foi escolhida a Bacia do Córrego do Cancã (Figura 1), que desempenha um papel fundamental no abastecimento de água para a região.

Figura 1 – Área de estudo.



Fonte: O Autor, 2023.

Para a construção do framework conceitual para que seja possível avaliar a performance do programa de PSA, os seguintes dados foram obtidos: precipitação diária de um ponto da área de estudo, dados de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) desse mesmo ponto, a série histórica dos usos e ocupações do solo da bacia hidrográfica, e uma modelagem ecohidrológica.

O NDVI é um indicador simples de biomassa fotossinteticamente ativa: a vegetação saudável é boa absorvedora do espectro eletromagnético em razão visível - a clorofila absorve as ondas de luz azul e vermelha, refletindo o espectro verde, assim, os olhos humanos visualizam a vegetação verde como a mais saudável (XU et al., 2022).



Foram utilizados dados de precipitação diária do Grupo de Riscos Climáticos de Precipitação por Infravermelho (CHIRPS), com resolução de 5564 m e dados de 16 dias NDVI do Espectrorradiômetro de Imagens de Resolução Moderada (MODIS), com resolução de 250 m, para um ponto localizado na Latitude -46.164 e Longitude -22.897, entre os períodos de 2005 a 2015. Os dados foram obtidos com auxílio da plataforma Google Earth Engine.

Para a evolução do uso e ocupação do solo na área de estudo, foram utilizados os dados do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomas).

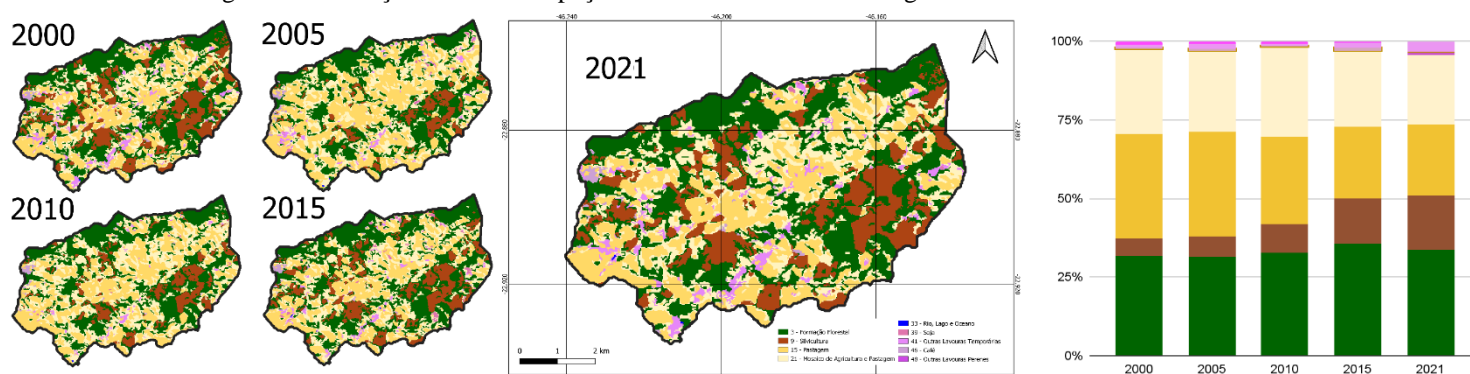
Para a modelagem ecohidrológica, foi utilizado o pacote de modelagem disponível na linguagem de programação R, *Ecohydmod*, que permite simular o balanço hídrico do solo, séries de chuvas e o crescimento da vegetação (SOUZA, 2017).

Por fim, para a interpretação da compatibilidade entre os resultados teóricos e os resultados baseados nos bancos de dados MODIS e CHIRPS, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), uma medida da variância compartilhada entre duas variáveis (FIGUEIREDO FILHO & SILVA JÚNIOR, 2009). Dancy e Reidy (2005) classificam o coeficiente como:  $r = 0,10$  até  $0,30$  (fraco);  $r = 0,40$  até  $0,6$  (moderado);  $r = 0,70$  até  $1$  (forte).

## RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Com a coleta de dados, foi possível identificar 9 classes de uso e ocupação do solo na microbacia ao longo dos anos: formação florestal, silvicultura, pastagem, corpos d'água (rio, lago ou oceano), soja, outras lavouras temporárias, Café e outras lavouras perenes, como ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Evolução do uso e ocupação do solo na Bacia do Córrego do Cancã entre os anos de 2005 e 2021.



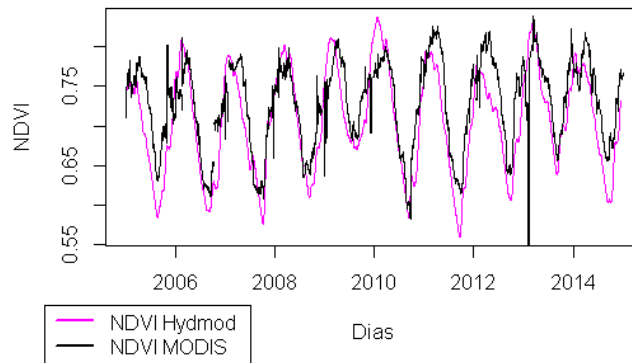
Fonte: MapBiomas.

Entre os anos de 2005 (antes da implantação do PSA) e 2015 (depois da implantação), houve um grande aumento das áreas de formação florestal e silvicultura. Nesse recorte de tempo, a formação florestal cresceu de  $18 \text{ km}^2$  para  $20,3 \text{ km}^2$  e a silvicultura, de  $3,7 \text{ km}^2$  para  $8,3 \text{ km}^2$ . Outro resultado positivo foi a diminuição da pastagem: de  $19 \text{ km}^2$  para  $13 \text{ km}^2$ . Mosaicos de uso de pastagem e agricultura também diminuíram, sendo, em 2005,  $14,8 \text{ km}^2$  e, em 2015,  $13,7 \text{ km}^2$ .



Após a calibragem do modelo ecohidrológico Ecohydmod, obteve-se uma boa correlação entre a série resgatada do MODIS (Figura 3).

Figura 3 – Gráfico das séries de NDVI do modelo ecohidrológico Ecohydmod calibrado e do MODIS para o ponto localizado na Latitude -46.164 e Longitude -22.897.



Fonte: CHIRPS; MODIS.

Com a modelagem, foi possível chegar em um coeficiente de correlação de Pearson igual a 0.805, que indica um forte grau de dependência estatística entre as séries, manifestando uma ótima confiabilidade para o modelo ecohidrológico.

## CONCLUSÃO

Este trabalho propôs um framework conceitual para avaliação da performance de projetos de PSA na provisão de água com base na simulação de balanço de água no solo e NDVI. Um estudo de caso foi realizado na bacia do Córrego do Cancã, que faz parte do sistema Cantareira no Estado de São Paulo.

Com base na observação de dados do Mapbiomas entre o período de 2005 e 2015 houve perceptível transição de uso e ocupação do solo com aumento de áreas florestadas e silvicultura bem como diminuição de pastagens o que sugere impacto positivo do PSA na preservação e melhoria do capital natural e serviços ecossistêmicos na região.

O modelo Ecohydmod mostrou boa performance na simulação de NDVI quando comparado com dados do MODIS.

O próximo passo é considerar o modelo Ecohydmod para áreas de cultivo agrícola, pastagens, florestais e silvicultura com ênfase em regiões que transacionaram de área de pastagem ou agrícola para área florestal e silvicultura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. Localização. Agência das Bacias PCJ, 2021. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/bacias->



[pcj/localizacao/#:~:text=A%20regi%C3%A3o%20das%20bacias%20dos,rios%20Jaguari%2C%20Ca  
manducaia%20e%20Atibaia](#). Acesso em 10 de jun. 2023.

ALBUQUERQUE, EM de et al. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. Revista Estudos Geoambientais, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2014.

DANCEY, C.; REIDY, J. Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows. Porto Alegre, Artmed, 2006.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). Revista Política Hoje, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

MAPBIOMAS. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 10 de jun. 2023.

NAGHETTINI, Mauro; PORTELA, Maria Manuela. Probabilidade e estatística aplicadas à hidrologia. Texto de apoio à unidade curricular Hidrologia e Recursos Hídricos do 3º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, 2011.

MODIS Vegetation Index (MOD 13): Algorithm Theoretical Basis Document Page 26 of 29 (version 3), ([http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod13.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf)).

SILVA, Antonio Kledson Leal et al. Impacto da expansão da palma de óleo sobre o escoamento superficial e produção de sedimentos nas sub-bacias hidrográficas não monitoradas dos rios Bujaru e Mariquita no nordeste do estado do Pará, Amazônia Oriental. 2016. Tese de Doutorado. UFRA/Capanema.

TWIGG, John et al. Disaster risk reduction. 2015.