

# Anais

do 2º Congresso Internacional  
de Resíduos e Saneamento  
em Búzios 2025



**CIRS**  
Búzios

 **Atena**  
Editora  
Ano 2025

 **Masterplan**  
ENGENHARIA CONSULTIVA E AMBIENTAL

# Anais

do 2º Congresso Internacional  
de Resíduos e Saneamento  
em Búzios 2025

**CIRS**  
Búzios

**Atena**  
Editora  
Ano 2025

**Masterplan**  
ENGENHARIA CONSULTIVA E AMBIENTAL

2025 by Atena Editora

Copyright © 2025 Atena Editora

Copyright do texto © 2025, o autor

Copyright da edição © 2025, Atena Editora

Os direitos desta edição foram cedidos à Atena Editora pelo autor.

*Open access publication by Atena Editora*

**Editora chefe**

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira Scheffer

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Yago Raphael Massuqueto Rocha



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo desta obra, em sua forma, correção e confiabilidade, é de responsabilidade exclusiva dos autores. As opiniões e ideias aqui expressas não refletem, necessariamente, a posição da Atena Editora, que atua apenas como mediadora no processo de publicação. Dessa forma, a responsabilidade pelas informações apresentadas e pelas interpretações decorrentes de sua leitura cabe integralmente aos autores.

A Atena Editora atua com transparência, ética e responsabilidade em todas as etapas do processo editorial. Nosso objetivo é garantir a qualidade da produção e o respeito à autoria, assegurando que cada obra seja entregue ao público com cuidado e profissionalismo.

Para cumprir esse papel, adotamos práticas editoriais que visam assegurar a integridade das obras, prevenindo irregularidades e conduzindo o processo de forma justa e transparente. Nosso compromisso vai além da publicação, buscamos apoiar a difusão do conhecimento, da literatura e da cultura em suas diversas expressões, sempre preservando a autonomia intelectual dos autores e promovendo o acesso a diferentes formas de pensamento e criação.

# Anais do CIRS: 2º Congresso Internacional de Resíduos e Saneamento em Búzios

## | Organizadores:

Claudia de Barros Martins  
Emiliano Dionízio de Angelis Sant'Anna Reis  
Giuliana Garcia Iorio Bartholini  
Pamella Gomes Monteiro de Almeida

Dilma dos Santos Lacerda  
Fernando Altino Medeiros Rodrigues  
Helena Nucci Gasparini  
Taísa Ferreira Thomaz

## | Revisão:

Fernando Altino Medeiros Rodrigues  
Claudia de Barros Martins  
Pamella Gomes Monteiro de Almeida

Dilma dos Santos Lacerda  
Emiliano Dionízio de Angelis Sant'Anna Reis  
Taísa Ferreira Thomaz

## | Diagramação:

Nataly Gayde

## | Correção:

Maiara Ferreira

## | Indexação:

Amanda Kelly da Costa Veiga

## | Capa:

Yago Raphael Massuqueto Rocha

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A532 Anais do CIRS: 2º Congresso Internacional de Resíduos e Saneamento em Búzios / Organizadores Claudia de Barros Martins, Emiliano Dionízio de Angelis Sant'Anna Reis, Giuliana Garcia Iorio Bartholini, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.

Outros organizadores  
Pamella Gomes Monteiro de Almeida  
Dilma dos Santos Lacerda  
Fernando Altino Medeiros Rodrigues  
Helena Nucci Gasparini  
Taísa Ferreira Thomaz

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-258-3961-5  
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.615251812>

1. Resíduos sólidos. 2. Saneamento. 3. Clima. I. Martins, Claudia de Barros (Organizadora). II. Reis, Emiliano Dionízio de Angelis Sant'Anna (Organizador). III. Bartholini, Giuliana Garcia Iorio (Organizadora). IV. Título. CDD 628.44

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

## Atena Editora

+55 (42) 3323-5493

+55 (42) 99955-2866

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

# CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto  
Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Dr. Joachin de Melo Azevedo Sobrinho Neto – Universidade de Pernambuco  
Prof. Dr. João Paulo Roberti Junior – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof. Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

# COMISSÃO ACADÊMICA E DE AVALIAÇÃO

## COORDENAÇÃO

Professor	Professora	Professor
Fernando Altino Medeiros Rodrigues CEMAI/UERJ	Maria Inês Bruno Tavares IMA/UFRJ	Marcelo Augusto Vieira de Souza IQ/UERJ

## CORPO TÉCNICO

Andréia Silveira Freire Soares  
Químea Inteligência Ambiental

Dilma dos Santos Lacerda  
Centro de Estudos em Meio Ambiente Industrial da Universidade do  
Estado do Rio de Janeiro – CEMAI/UERJ

Gisele Cristina Valle Iulianelli  
Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano – IMA/UFRJ

Mônica Regina da Costa Marques Calderari  
Departamento de Química Orgânica - UERJ

Paulo Sergio Rangel Cruz da Silva  
Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano – IMA/UFRJ

# DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

# DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O 2º Congresso Internacional de Resíduos e Saneamento - CIRS Búzios 2025, realizado de 6 a 10 de outubro, consolidou-se como um espaço central para o avanço do debate sobre os desafios urbanos e ambientais. Sob o tema “Sistemas Resilientes para um Mundo em Transformação”, esta edição marcou uma significativa evolução ao ampliar seu escopo temático. Enquanto a primeira edição, em 2023, concentrou-se no pilar dos resíduos sólidos, o Congresso de 2025 passou a abranger integralmente os quatro pilares do saneamento: Abastecimento de água, Esgotamento sanitário, Drenagem urbana e Resíduos sólidos.

Reunindo pesquisadores, profissionais, gestores públicos e representantes da sociedade civil, o Congresso fomentou um diálogo rico e multissetorial. Foram debatidas soluções inovadoras, tecnologias emergentes e pesquisas de ponta, sempre com o objetivo de promover uma infraestrutura de saneamento mais resiliente, equitativa e preparada para o futuro, em sintonia com as metas globais de sustentabilidade.

Estes Anais são o registro acadêmico científico desse diálogo frutífero. Eles compilam os trabalhos e pesquisas apresentados, capturando a profundidade e a diversidade dos conhecimentos compartilhados durante o Congresso. Esta coletânea serve assim como um legado duradouro e uma ferramenta de consulta essencial, espelhando o compromisso do CIRS Búzios com a geração e disseminação de conhecimento para a construção de cidades mais sustentáveis.

O evento foi realizado pela Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental, com patrocínio da PROLAGOS, SANEPAR, CREA-RJ, CAU-RJ, BR Marinas, Aspen Ambiental, Instituto Aupaba e com o apoio institucional da SEAS, INEA, Rio 2030, Prefeitura de Búzios, ANAMMA, ABAR, AGENERSA, ECO Expo, Lavoro Solutions, Rio Convention e Visitors Bureau, COPPE UFRJ, ABES RJ, Webresol, IFRJ - Instituto Federal - Arraial do Cabo, PRIMA, ABREMA, ONU-HABITAT, ABEMA, Mais Ambiental.



CIRS Búzios 2025

2º Congresso Internacional  
de Resíduos e Saneamento



## CURADORIA TÉCNICA

### **Luiz Firmino M. Pereira**

Arquiteto, Urbanista, Pesquisador da FGV e Doutor em Saneamento pela Universidade de Lisboa, Curador de Saneamento do CIRS Búzios 2025

### **Mariana Maia**

Advogada e Especialista em Compliance Ambiental e Gestão Ambiental, Curadora de Resíduos Sólidos do CIRS Búzios 2025

## COMISSÃO ORGANIZADORA

### **Brigida Alves Evangelista**

Engenheira Ambiental e Sanitarista. Gestora Geral da Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental

### **Claudia de Barros Martins**

Jornalista, Mestre em Estudos de Gênero pela Central European University e Consultora de Comunicação e Sustentabilidade da Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental

### **Danniel Sacramento da Cunha**

Analista de Redes e Telecomunicações e Gerente de TI na Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental

### **Emiliano Dionízio de Angelis Sant'Anna Reis**

Biólogo, Mestre em Ciências Biológicas, Pós-Graduado em Gestão Ambiental – UERJ, Coordenador de Biodiversidade na Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental

### **Giuliana Garcia Iorio Bartholini**

Graduanda em Ciências Biológicas, Estagiária na Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental

**Helena Nucci Gasparini**

Licencianda em Ciências Biológicas, Estagiária na Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental

**Luiz Soraggi**

Engenheiro Sanitarista, CEO da Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental

**Marina Moraes Valentim Gomes**

Gestora financeira com foco em competências comportamentais e gestão, Analista Administrativa na Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental

**Pamella Gomes Monteiro de Almeida**

Cientista Ambiental, Especialista em Gestão ESG, Analista Ambiental na Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental

**Rodrigo Costa Coelho**

Publicitário Especialista em ESG e Terceiro Setor, Consultor na Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental

**Taísa Ferreira Thomaz**

Engenheira Civil, Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental, Consultora na Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental

**Vilma Cristina de Souza Arraes**

Assistente Administrativa na Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental

## COMITÊ TÉCNICO CIENTÍFICO

### **Alice Hagge**

Bióloga, Especialista em Gestão Pública, Gerente de Relações Institucionais da Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental

### **Ana Asti**

Subsecretária de Recursos Hídricos e Sustentabilidade da Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade – SEAS

### **Carlos Martins**

Professor Especialista em Engenharia Sanitária do Instituto Politécnico de Lisboa e ex-secretário de Estado do Ambiente de Portugal

### **Fernando Altino Medeiros Rodrigues**

Professor e Coordenador do Centro de Estudos em Meio Ambiente Industrial - CEMAI/UERJ

### **José Henrique Penido**

Engenheiro Especialista e Coordenador do Escritório de Sustentabilidade Ambiental da COMLURB

### **Luiz Firmino M. Pereira**

Arquiteto, Urbanista, Pesquisador da FGV e Doutor em Saneamento pela Universidade de Lisboa, Curador de Saneamento do CIRS Búzios 2025

### **Mariana Maia**

Advogada e Especialista em Compliance Ambiental e Gestão Ambiental, Curadora de Resíduos Sólidos do CIRS Búzios 2025

### **Rodrigo Imbelloni**

Arquiteto e Urbanista, Professor e Especialista em Resíduos Sólidos, Mestre em Saneamento e Meio Ambiente

## REALIZAÇÃO



## COORDENAÇÃO ACADÊMICA



## PATROCINADORES



## APOIO INSTITUCIONAL



# PROGRAMAÇÃO

1º DIA: 06/10/2025		
Reuniões Institucionais – acesso restrito		
9:00 18:00	Reuniões previamente agendadas entre representantes de instituições da área ambiental, com foco em temas como resíduos e saneamento. Participação exclusiva para convidados das instituições.	

2º DIA 07/10/2025		
9:00 19:00	Credenciamento	
9:00 14:00	Reuniões Institucionais – acesso restrito	
19:00 19:10	Cerimônia de entrega da certificação “Carbono Neutro”	
19:10 20:50	Cerimônia de Abertura	
	Alexandre Martins – Prefeito de Armação dos Búzios/RJ;	Carlos Martins – Presidente Executivo da Águas de Portugal (SGPS);
	Ana Asti – Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade da SEAS;	Jorge Arraes – Presidente da Comlurb;
	Sydnei Menezes – Presidente do CAU/RJ; Fernando Altino – Comissão Acadêmica	Alice Hagge - Gerente de relações institucionais da Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental.
20:50 21:10	Palestra Magna Édson Carlos - Presidente do Instituto Aegea	

3º DIA 08/10/2025					
MACROTEMA: SANEAMENTO INTEGRADO					
MESA: RESÍDUOS E SANEAMENTO: ODS COMO CATALISADORES DA MUDANÇA					
09:00 11:00	MEDIAÇÃO	PALESTRA A1	PALESTRA A2	PALESTRA A3	PALESTRA A4
		Desafios e Avanços na Implementação dos ODS no Mundo	A Tecnologia a Serviço do Saneamento e o Direito a Cidade na Agenda Urbana	Recuperação de ecossistemas pela chegada do Saneamento Básico	Acelerando os ODS na Metrópole Azul
	Alice Hagge - Gerente de Relações Institucionais da Masterplan Engenharia Consultiva e Ambiental	Kassya Fernandes - Coordenadora de Projetos PNUD - Pará	Sinval Andrade - Diretor Institucional - Águas do Rio	Edison Carlos Presidente do Instituto AEGEA	Ana Asti - Sub Secretária de Ambiente e Sustentabilidade - Governo RJ
Apresentação de Trabalhos Acadêmicos					
11:20 11:30	Anna Rosman Deriva de Microplásticos Leves Oriundos dos Emissários de Ipanema e Icaraí na Baía de Guanabara e Zona Costeira Adjacente				
MACROTEMA: SANEAMENTO INTEGRADO					
MESA: OPERAÇÃO E INOVAÇÃO NO SANEAMENTO					
11:30 13:20	MEDIAÇÃO	PALESTRA B1	PALESTRA B2	PALESTRA B3	PALESTRA B4
		Aproveitamento de efluente de ETE para Indústria e uso de satélite para detecção de perdas	Aproveitamento de lodo de ETE para biogás	PPPs e Concessões de Saneamento - Financiamento	CCO Metropolitano
	Fernando Altino - Coordenador do CEMAI/UERJ Centro de Estudos do Meio Ambiente Industrial	Wagner Carvalho - Gestor Estratégico - PROLAGOS	Rodolfo Cardoso - Dr. em Engenharia de Produção - UFF	Denilson Campello - Diretor - Secretaria Nacional de Fundos e Instrumentos Financeiros	Bruno Vaz Sasson - Assessor Regulatório da AGENERSA

13:20 14:20	Almoço			
14:20 14:30	Apresentação Trabalho Acadêmico			
	Lucas da Silva Ribeiro Avaliação de Resíduo de Pedreira como Remineralizador de Solos: Caracterização e Liberação de Macronutrientes			
MACROTEMA: SANEAMENTO INTEGRADO				
MESA: DESAFIOS DE GOVERNANÇA EM BUSCA DA UNIFORMIDADE REGULATÓRIA DO SANEAMENTO				
14:30 17:15	MEDIAÇÃO	PALESTRA D1	PALESTRA D2	PALESTRA D3
		A Regulamentação do Novo Marco do Saneamento Básico - Normas de Referência	A Regulamentação Europeia - Diretivas Quadro	O Desafios das Entidades Reguladoras Infranacionais
	Jerson Kelman - Coordenador do Comitê de Saneamento da ANE (COSANE) - Academia Nacional de Engenharia e Comitê Permanente de Saneamento	Veronica Sánchez - Diretora - Presidente da Agência Nacional de Águas - ANA	Carlos Martins - Águas de Portugal - SGPS	Samuel Alves Barbi Costa - Conselheiro ARSAE - MG - Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais
17:15 17:25	Apresentação Trabalho Acadêmico			
	Dilma Lacerda Caracterização de microplásticos em amostras de água mineral por técnicas analíticas avançadas			
MACROTEMA: SANEAMENTO INTEGRADO				
MESA: DA MODELAGEM À OPERAÇÃO - CONCESSÃO DA CEDAE - 4 ANOS				
17:25 19:00	MEDIAÇÃO	PALESTRA E1	PALESTRA E2	PALESTRA E3
		Panorama das Concessões da CEDAE	Águas do Rio	Rio + Saneamento
	Joisa Dutra - Diretora do Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura (CERI) da FGV	Juliana Ayres - Chefe no setor de Regulação e Contratos de Concessão da CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro	Sinval Andrade - Diretor Institucional - Águas do Rio	Carlos Gontijo - Diretor Institucional e Regulatório da Rio+Saneamento
				Igua
				Flavio da Costa Vaz - Diretor Geral da Igua Rio de Janeiro S/A

4º DIA 09/10/2025					
MACROTEMA: SANEAMENTO					
MESA: SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA NO SETOR DE SANEAMENTO					
09:00 11:00	MEDIAÇÃO	PALESTRA E1	PALESTRA E2	PALESTRA E3	PALESTRA E4
		Estudo de avaliação do impacto das privatizações em populações de baixa renda	A Sustentabilidade nas Modelagens do Saneamento	Remuneração dos Serviços de Saneamento - exemplo de Portugal	Sustentabilidade do Setor dos Resíduos Sólidos Urbanos
	Rodrigo Imbelloni - Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental, Resíduos Sólidos e Gestão - Masterplan	Carlos Rossas - Diretor da CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará	Luciene Machado - Líder do programa de Parcerias Público-Privadas (PPPs) no Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)	Carlos Martins - Águas de Portugal - SGPS	Pedro Maranhão - Presidente da ABREMA - Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
Coffee Break					
Apresentação Trabalho Acadêmico					
11:00 11:20					
11:20 11:30	Danielle Dos Santos Honorato Tonassi Ribeiro  Proposta de plano de gerenciamento de resíduos sólidos de um alojamento estudantil público universitário situado no Rio de Janeiro - RJ				
MACROTEMA: SANEAMENTO					

MESA: DESAFIOS DA DRENAGEM URBANA					
11:30 13:20	MEDIAÇÃO	PALESTRA F1	PALESTRA F2	PALESTRA F3	PALESTRA F4
		Adaptações as Mudanças Climáticas no setor de Saneamento	Ferramentas para Gestão Integrada das Águas Urbanas	NBR sobre sistemas de tempo seco	As interfaces entre drenagem e CTS - Lições e projetos
	Luiz Firmino - Doutor em Saneamento pela Universidade de Lisboa, Curador de Saneamento do CIRS Búzios 2025	Paulo Canedo - Fundador do Laboratório de Hidrologia da COPPE - Coordenação dos Programas de Pós- Graduação e Pesquisa de Engenharia	Antônio Krishnamurti - Engenheiro Civil e Professor	Isaac Volschan - Diretor de Engenharia da Aquacon Consultoria	Sinval Andrade - Diretor Institucional - Águas do Rio
13:20 15:00	Almoço				
15:00 15:10	Apresentação Trabalho Acadêmico				
	Monica Frickmann Young Buckmann Impactos das Mudanças Climáticas Tempestades nos Níveis de Água no Sistema Lagunar de Jacarepaguá				
MACROTEMA: SANEAMENTO					
MESA: SUPERANDO OS DESAFIOS DA UNIVERSALIZAÇÃO NO SANEAMENTO BÁSICO					
15:10 16:30	MEDIAÇÃO	PALESTRA G1	PALESTRA G2	PALESTRA G3	
		Segurança Jurídica	O Desafio do Regulador	Inserção do ESG no Setor de Saneamento	
	Keila Ferreira - Coordenadora de Saneamento da ADR Lagos - Agência de Desenvolvimento da Região dos Lagos	Rodrigo Mascarenhas - Procurador-Chefe da Procuradoria do Patrimônio e do Meio Ambiente	Vladimir Paschoal - Conselheiro AGENERSA - Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro	Marilene Ramos - Diretora de Relações Institucionais e Sustentabilidade do Grupo Águas do Brasil	
16:30 16:50	Coffee Break				

16:50 17:00	Apresentação Trabalho Acadêmico				
	Marina Da Silva Sacramento				
	Microplásticos em Areia Costeira: Protocolo de coleta e caracterização microscópica e espectroscópica				
MACROTEMA: RESÍDUOS SÓLIDOS					
MESA: FOMENTO À CADEIA DA RECICLAGEM NOS MUNICÍPIOS					
17:00 19:20	MEDIAÇÃO	PALESTRA H1	PALESTRA H2	PALESTRA H3	PALESTRA H4
		O impacto da lei de incentivo à reciclagem nas cooperativas de catadores	Políticas públicas de fomento a reciclagem no Estado do Rio de Janeiro	Políticas públicas de fomento a reciclagem no Estado do Rio de Janeiro	Do princípio à prática: a Responsabilidade Alargada do Produtor como motor da Economia Circular
	Carlos Augusto Abreu - Vice Presidente do CAU/RJ - Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Rio de Janeiro	Aline Souza - Diretora/ Presidente da Central de Cooperativas de Materiais Recicláveis do Distrito Federal e Entorno	Sebastião dos Santos - Presidente Associação dos Catadores de Jardim Gramacho (ACAMJG) e Movimento Eu Sou Catador	Ana Asti - Sub Secretária de Ambiente e Sustentabilidade - Governo RJ	Luis Veiga Martins - Professor na Nova School of Business and Economics - Portugal
5º DIA 10/10/2025					
MACROTEMA: RESÍDUOS SÓLIDOS					
MESA: AS DIVERSAS FACES DA GESTÃO DOS RESÍDUOS					
09:00 11:00	MEDIAÇÃO	PALESTRA F1	PALESTRA F2	PALESTRA F3	PALESTRA F4
		Waste Energy em Portugal	Gestão de Resíduos em Armação dos Búzios	A gestão consorciada de Resíduos em Portugal	Valorização de resíduos na rota tecnológica da cimenteira
	Isabela Antunes - Bióloga e Mestre em Ciências Ambientais	Norberto Costa - Diretor na SUMA Brasil - Serviços Urbanos e Meio Ambiente	Anthony Marques - Diretor da Mais Ambiental	Nuno Soares - Presidente da Tratolixo	Juliano Menezes - Gerente Geral Revalora   Companhia Siderúrgica Nacional

11:00 11:10	Coffee Break			
MACROTEMA: RESÍDUOS SÓLIDOS				
MESA: A DÉCADA DO OCEANO E O ENFRENTAMENTO À POLUIÇÃO MARINHA				
11:10 12:40	MEDIAÇÃO	PALESTRA G1	PALESTRA G2	PALESTRA G3
		A experiência do Blue Keepers na prevenção e combate ao lixo em ambientes aquáticos na região dos lagos	Ação para Limpeza dos Oceanos	Microplásticos nos Oceanos
	Mariana Maia - Curadora de Resíduos Sólidos do CIRS Búzios 2025	Gabriela Otero - Coordenadora do Projeto Blue Keepers e gerente de resíduos e circularidade do Pacto Global da Onu-Rede Brasi	João Felliipe Neves - Coordenador Ambiental BR Marinas	Maria Inês Bruno Tavares - Professora do Instituto de Macromoléculas (IMA/UFRJ) - Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano)
	Apresentação Trabalho Acadêmico			
12:40 12:50	Alexandre Cesar Motta De Castro  Sistema de indicadores com base nas metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável 6, 11, 12 e 14 aplicado ao contexto local da cidade do Rio de Janeiro.			
12:50 15:00	Almoço			
15:00 15:10	Apresentação de trabalho acadêmico			
	Maria Luiza da Rocha Lima  Bitucas à beira-mar: um alerta sobre a poluição por bitucas de cigarro na Praia do Canto, Armação dos Búzios (RJ), Brasil			

15:10 15:20	Apresentação de trabalho acadêmico					
	Ana Carolina Teixeira Maria Fernanda Peralta Programa Estadual Remedia RJ: desafios e perspectivas para a remediação de lixões municipais					
MACROTEMA: RESÍDUOS SÓLIDOS						
MESA: COMO A ECONOMIA CIRCULAR PODE REDUZIR O DESPERDÍCIO DE RECURSOS						
15:20 17:40	MEDIAÇÃO	PALESTRA H1	PALESTRA H2	PALESTRA H3	PALESTRA H4	PALESTRA H5
		Educação Ambiental para o Consumo de Produtos de Cadeias Sustentáveis	Estratégias de Conscientização Ambiental para a Gestão de Resíduos	Sustentabilidade na Indústria Têxtil: O Projeto “e-fabrics”	Educação Ambiental como Ferramenta para a Gestão Urbana	Execução do Plano de Economia Circular
	Rodrigo Imbelloni - Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental, Resíduos Sólidos e Gestão - Masterplan	Irlaine Alvarenga - Superintendente de Sustentabilidade SEAS-RJ - Secretária de Estado do Ambiente e Sustentabilidade	Luiz Gustavo Vilela - Coordenador de Programas ONU-Habitat Brasil	Nina Braga - Conselheira de estratégia Osklen - Instituto E	Nanci Darcolete - Diretora Executiva da Pimp My Carroça e Conselheira da Universidade de e para Catadoras e Catadores(UNICATA)	Beatriz Luz - CEO da Exchange 4 Change Brasil e líder do Hub de Economia Circular Brasil
17:40 17:50	Apresentação Trabalho Acadêmico					
	Marcello Amaral de Oliveira Potencial dos RSU na Transição Energética e na Economia Circular: Uma Análise Comparativa de Cenários para o Consórcio Localizado na Região dos Lagos					

MACROTEMA: RESÍDUOS SÓLIDOS			
MESA: ROTAS TECNOLÓGICAS E INTEGRAÇÃO DE SETORES ECONÔMICOS			
	MEDIAÇÃO	PALESTRA I1	PALESTRA I2
		Investimento em Inovação em Comunidades Integração de setores econômicos	Viabilidade Econômica e Aproveitamento dos Rejeitos de Mineração
17:50 19:30	José Henrique Penido - Presidente do instituto Web-Resol e Engenheiro Especialista da COMLURB	José Aranha - Coordenador Geral do Programa Parque de Inovação Social, Tecnológica e Ambiental (PISTA) - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD)/SEAS	Debora Toci Puccini - CEO - Esp. em regulação Mineral na TOCCINI Consultoria em Mineração e Sustentabilidade
			Design Regenerativo para Economia Circular e Desenvolvimento Territorial
			Luciana De La Mare - Fundadora do Instituto Aupaba



# APRESENTAÇÃO

Realizado no icônico balneário de Búzios, o 2º Congresso Internacional de Resíduos e Saneamento - CIRS Búzios 2025 destacou-se por discutir com muita clareza e profundidade os desafios enfrentados pelas cidades, instituições e pessoas.

Essas duas questões centrais na pauta ambiental brasileira - saneamento e resíduos - foram abordadas por meio de casos práticos e trabalhos acadêmicos de alto nível, resultando em uma contribuição tangível para o setor. A qualidade dos estudos reunidos nestes anais, somadas às brilhantes palestras e discussões que ocorreram nos dias do Congresso, nos motivam, ainda mais, a contribuir na próxima edição em 2027.

É de se destacar o caráter inclusivo do Congresso ao permitir a participação dos autores de trabalhos aprovados sem qualquer custo financeiro. Também por conta disso, há uma plateia plural, com participantes de diferentes idades e com as mais diversas ênfases profissionais.

Esse é o charme especial do CIRS, frequentemente mencionado nas plenárias: o Congresso reunindo técnicos da iniciativa privada, autoridades públicas das esferas municipal, estadual e federal, acadêmicos docentes e discentes de diversas graduações, pesquisadores e especialistas internacionais, todos com o foco centrado em contribuir para avançarmos no saneamento e no gerenciamento de resíduos.

Professor  
Fernando Altino  
Medeiros Rodrigues  
CEMAI/UERJ

Professora  
Maria Inês Bruno Tavares  
IMA/UFRJ

Professor  
Marcelo Augusto  
Vieira de Souza  
IQ/UERJ



# SUMÁRIO

## **TRABALHO 1 ..... 36**

A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL: INSTRUMENTOS LEGAIS E GOVERNANÇA COMPARTILHADA EM UMA ANÁLISE CRÍTICA DA INCLUSÃO DOS CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS

**Tatiane Soares da Cunha Codeço**

**Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos**

**Valéria Pereira Bastos**


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152518121>

## **TRABALHO 2 ..... 52**

A REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CARBONO, PELA RETIRADA DO LIXO EM ZONAS COSTEIRAS E O SEU ENVIO PARA O SISTEMA DE RECICLAGEM

**Clarice Silva Lima**

**Michelle Passos Araújo**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152518122>

## **TRABALHO 3 ..... 65**

A UTILIZAÇÃO DAS LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PARA O PRÉ-TRATAMENTO DE CHORUME EM ATERROS SANITÁRIOS

**Dilma dos Santos Lacerda**


**Daniele Maia Bila**

**Fernando Altino Medeiros Rodrigues**

**Giovana Ferreira dos Santos**

**Marcelo Augusto Vieira de Souza**

**Zilacleide da Silva Barros Sousa**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152518123>

## **TRABALHO 4 ..... 83**

ACESSO À INFORMAÇÃO SOBRE O DESCARTE DE MEDICAMENTOS ENTRE PROFISSIONAIS E USUÁRIOS DA ATENÇÃO PRIMÁRIA EM CEILÂNDIA, DISTRITO FEDERAL

**Danielle Cristina Sá de Paiva**


**Gabriel Alvino Martins**

**Dayani Galato**

**Izabel Cristina Rodrigues da Silva**

**Micheline Marie Milward de Azevedo Meiners**

**Vanessa Resende Nogueira Cruvinel**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152518124>

## **TRABALHO 5.....90**

ALOCÇÃO ESTRATÉGICA E AMPLIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DOS PONTOS DE COLETA SELETIVA NO MUNICÍPIO DE NOVA IGUAÇU-RJ

**Rebeca do Nascimento de Jesus**

**Diego Macedo Veneu**

**Felipe Sombra dos Santos**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152518125>

## **TRABALHO 6 .....103**

ANÁLISE DO IMPACTO DAS TAXAS DE SANEAMENTO BÁSICO URBANO NA QUALIDADE DE UM CORPO HÍDRICO DO MUNICÍPIO DE BARBACENA-MG


**Maria Alice dos Santos Alves**

**Antonia Samylla Oliveira Almeida**

**Cláudia Dias de Sá**

**Eduardo Sales Machado Borges**

**Thayná Gonçalves Machado**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152518126>

## **TRABALHO 7.....113**

ANÁLISE DO MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA COMUNIDADE DA ROCINHA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

**Larissa Rocha Abadias**

**Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152518127>

## **TRABALHO 8.....122**

ANÁLISE DOS PLANOS MUNICIPAIS DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA REGIÃO ADMINISTRATIVA DE BARRETOS/SP

**Aline Costa da Silva**

**Adriana Maria Nolasco**

**Cynthia Mara Vital Bonaretto**

**Clauciana Schmidt Bueno de Moraes**

**Stela Luiza de Mattos Ansanelli**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152518128>

## **TRABALHO 9 .....142**

ANÁLISE ESPACIAL DO ACESSO À REDE GERAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DEMAIS FORMAS DE FORNECIMENTO EM DOMICÍLIOS PARTICULARES PERMANENTES OCUPADOS COM BASE NOS SETORES CENSITÁRIOS DE 2022 EM CABO FRIO E MUNICÍPIOS LIMÍTROFES, ESTADO DO RIO DE JANEIRO

**Clara Correia Vieira**

**Aline Pereira**

**Débora Ferraz**

**João Pedro Marins Barbosa Joaquim**

**Yasmin Moreira Sturião**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152518129>

## **TRABALHO 10 .....156**


AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO CICLO DE VIDA AMBIENTAL DE PLÁSTICOS PET E PLA: FOCO NOS IMPACTOS RELACIONADOS À GERAÇÃO DE MACROPLÁSTICOS E MICROPLÁSTICOS

**Bruno Freitas de Souza Placido**

**Bettina Susanne Hoffmann**

**Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco**

**Thiago Santiago Gomes**


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181210>

## **TRABALHO 11 .....171**

AVALIAÇÃO DE RESÍDUO DE PEDREIRA COMO REMINERALIZADOR DE SOLOS: CARACTERIZAÇÃO E LIBERAÇÃO DE MACRONUTRIENTES

**Lucas da Silva Ribeiro**

**Mário Jorge Mello Abraham Fernandes**


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181211>

## **TRABALHO 12 .....181**

BITUCAS À BEIRA-MAR: UM ALERTA SOBRE A POLUIÇÃO POR BITUCAS DE CIGARRO NA PRAIA DO CANTO, ARMAÇÃO DOS BÚZIOS (RJ), BRASIL

**Maria Luiza da Rocha Lima**

**Vanessa Trindade Bittar**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181212>


**TRABALHO 13 ..... 187**

CARACTERIZAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM AMOSTRAS DE ÁGUA  
ENGARRAFADA POR TÉCNICAS ANALÍTICAS

**Dílma dos Santos Lacerda**

**Fernando Altino Medeiros Rodrigues**

**Maria Inês Bruno Tavares**


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181213>

**TRABALHO 14 ..... 195**

COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEL DE PHBV COM RESÍDUO DE VARVITO A  
SER APLICADO COMO EMBALAGEM DE HORTIFRUTIGRANJEIROS

**Roberto Carlos Ribeiro**

**Laura Gomes**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181214>


**TRABALHO 15 ..... 201**

CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: REVESTIMENTOS E PISOS PARA A INDÚSTRIA  
CIVIL À BASE DE PEAD E RESÍDUOS DE ROCHA ORNAMENTAL

**Roberto Carlos Ribeiro**

**Daniele Cruz Bastos**

**Pedro Afonso de Moraes Paes**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181215>


**TRABALHO 16 ..... 207**

DERIVA DE MICROPLÁSTICOS LEVES ORIUNDOS DOS EMISSÁRIOS DE  
IPANEMA E ICARAÍ NA BAÍA DE GUANABARA E ZONA COSTEIRA ADJACENTE

**Anna A. C. Rosman**

**Paulo Cesar C. Rosman**


**Renato Carreira**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181216>

**TRABALHO 17 ..... 220**

ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA COSMÉTICA: A RECICLAGEM DE  
EMBALAGENS

**Caroline Teixeira Lopes**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181217>

## **TRABALHO 18 ..... 226**

EMPRESAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS NO BRASIL

**Fernando Altino Medeiros Rodrigues**

**Alexander Felix Martins**

**Camila Spinola Gonçalves Ferreira**

**Dilma dos Santos Lacerda**

**Marcelo Augusto Vieira de Souza**

**Maria Georgina Muniz Washington**

**Mariana Bessa Ribeiro de Lima**

**Neilson Martins de Oliveira**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181218>

## **TRABALHO 19 ..... 242**

ESTUDO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PRODUZIDOS PELA DEGRADAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS INDEVIDAMENTE DESCARTADOS

**Gustavo Reis Martins**


**Bruno Mello Da Rocha Corpas Maciel**

**Endrius Cardoso Corrêa Silva**

**Jose Guilherme De Oliveira Peixoto**

**Marcelo Gonçalves Corrêa Filho**

**Maria Inês Bruno Tavares**


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181219>

## **TRABALHO 20 ..... 256**

FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA À BASE DE PERLITA CRIOGÊNICA RESIDUAL DA INDÚSTRIA DE SEPARAÇÃO DE GASES

**Frederico Valério Nunes**

**Conny Ceraí Ferreira**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181220>

## **TRABALHO 21 ..... 267**

GESTÃO DE MATERIAIS PERIGOSOS SÓLIDOS NO DESCOMISSIONAMENTO DE EMBARCAÇÕES: IMPACTOS AMBIENTAIS E ESTRATÉGIAS DE RECICLAGEM

**Misael Santini de Freitas**

**Denise de Castro Bertagnolli**

**Eduarda Campos Martins**


**José Mauro Moraes Junior**

**Juliana Rodrigues Lima dos Santos**

**Maria Eduarda Aguiar Mariano**

**Milene França**

**Newton Narciso Pereira**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181221>


## **TRABALHO 22 ..... 276**

GESTÃO DESCENTRALIZADA DA ÁGUA POTÁVEL EM PEQUENAS CIDADES: TECNOLOGIAS APROPRIADAS E EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

**Antônio Cláudio Moura Ferreira de Souza**

**Pedro Peixoto Gjorup**

**Vicente Paulo Santos de Oliveira**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181222>

## **TRABALHO 23 ..... 293**


IMPACTOS DAS MARÉS METEOROLÓGICAS NOS NÍVEIS DE ÁGUA NO SISTEMA LAGUNAR DE JACAREPAGUÁ SOB INFLUÊNCIA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

**Monica Frickmann Young Buckmann**

**Laura Aguilera**

**Paulo Cesar C. Rosman**

**Verônica S. de Andrade**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181223>

## **TRABALHO 24 ..... 306**


INOVAÇÃO SOCIOAMBIENTAL NA GESTÃO PÚBLICA: ANÁLISE SWOT DO APRIMORAMENTO DA COLETA SELETIVA EM PARCERIA COM COOPERATIVA DE CATADORES

**Maria Carolina Santos**

**Clarisse Budakian Aramian**

**Leonardo Magia Rodrigues**

**Nicolý Muniz dos Santos**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181224>

## **TRABALHO 25 .....320**

LIXO NO MAR: LEVANTAMENTO DO MACRO RESÍDUO SÓLIDO NAS PRAIAS DA BICA NA ILHA DO GOVERNADOR (RJ) E ABRAÃO NA ILHA GRANDE (RJ)

**Leticia Silva Pozzi**

**Brunna Tomaino de Souza**

**Cássia de Oliveira Farias**

**Cláudia Hamacher**


**Debora Cassuce**

**Igor da Costa Leôncio**

**Jeferson Castro Xavier**

**Manoela Barbosa de Oliveira**

**Michelle Passos Araújo**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181225>


## **TRABALHO 26 ..... 332**

MICROPLÁSTICOS EM AREIA COSTEIRA: PROTOCOLO DE COLETA E CARACTERIZAÇÃO MICROSCÓPICA E ESPECTROSCÓPICA

**Marina Da Silva Sacramento**

**Elton Jorge da Rocha Rodrigues**

**Maria Inês Bruno Tavares**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181226>


## **TRABALHO 27 ..... 345**

MICROPLÁSTICOS EM ESGOTOS E EFLUENTES: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA GLOBAL

**Gustavo Reis Martins**

**Elton Jorge da Rocha Rodrigues**

**Maria Inês Bruno Tavares**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181227>

## **TRABALHO 28 ..... 362**


NEGÓCIOS DE IMPACTO: O CASO DA ORGANA BIOTECH NO ECOSISTEMA DE INOVAÇÃO DE JOINVILLE (SC)

**Guilherme Ottoni Zimmermann**

**Andrea Geiza dos Anjos**

**Pamela Prim**

**Talita Defrein**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181228>

## **TRABALHO 29 ..... 368**

PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO TRE-RJ: UMA EXPERIÊNCIA DE SUSTENTABILIDADE NO PODER JUDICIÁRIO

**Dílma dos Santos Lacerda**

**Anderson Taboada Carballo de Araújo**

**Carolina Freitas Pessoa**


**Carolina Quaresma Passos**

**Fernando Altino Medeiros Rodrigues**

**Isabella Vitoria Abduche Feijó**

**Karen Letícia Ferreira da Silva**

**Marcelo Augusto Vieira de Souza**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181229>

## **TRABALHO 30 ..... 377**

POTENCIAL DOS RSU NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E NA ECONOMIA CIRCULAR: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DE CENÁRIOS PARA O CONSÓRCIO LOCALIZADO NA REGIÃO DOS LAGOS

**Diego Macedo Veneu**

**André Rodrigues Pereira**

**Alexandre Lioi Nascentes**

**Felipe Sombra dos Santos**

**Gisele Martins da Rocha**

**Isabelle Santux Mendes Pereira**

**Kauã Machado Siqueira**


**Marcello Amaral de Oliveira**

**Maria Eduarda da Silva Barreto**

**Maria Luisa Pinheiro da Rocha**

**Mário Jorge Mello Abraham Fernandes**

**Raquel de Souza Baltar**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181230>

## **TRABALHO 31 ..... 392**

PRODUÇÃO DE CORAIS ARTIFICIAIS CONTENDO RESÍDUOS DE CALCÁRIO MARINHO E ARGILA COMERCIAL

**Manuella Ribeiro**

**Nuria Castro**

**Roberto Carlos Ribeiro**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181231>

## **TRABALHO 32 .....399**


PROGRAMA ESTADUAL REMEDIA RJ: DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A REMEDIAÇÃO DE LIXÕES MUNICIPAIS

**Ana Carolina Macedo Teixeira**

**Maria Fernanda Peralta**

**Mona Rotolo**

**Yanko Santiago**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181232>


## **TRABALHO 33 .....411**

PROPOSTA DE PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE UM ALOJAMENTO ESTUDANTIL PÚBLICO UNIVERSITÁRIO SITUADO NO RIO DE JANEIRO - RJ

**Danielle dos S. Honorato Tonassi Ribeiro**

**Diego Macedo Veneu**

**Felipe Sombra**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181233>

## **TRABALHO 34 .....422**

QUALIDADE DA ÁGUA NO ENTORNO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS DE MONTE ALTO - ARRAIAL DO CABO/RJ

**Carolina Lopes Neto**


**Agatha Caroline Silva dos Santos**

**Akauê Keith Medeiros Ferreira**

**Gabriella Paula Moreira da Silva**

**Thais da Silva Pereira**

**Yasmin Rangel de Freitas Bastos**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181234>

**TRABALHO 35 .....432**

RESÍDUOS SÓLIDOS NA ZONA COSTEIRA: DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO SAZONAL DO LIXO MARINHO NA PRAIA DE AQUARIUS - CABO FRIO/RJ

**Michelle Passos Araújo**

**Brunna Tomaino de Souza**

**Iracilda Menezes da Mota**

**Kathleen da Rocha Soares**


**Luiz Gustavo Leite Picanço**

**Pedro Henrique da Silva Andrade**

**Pérola Luiza Vantine dos Santos**

**Samir Santos Costa**

**Thifany Campos Paulino Faria**


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181235>

**TRABALHO 36 .....442**

SACOS BIODEGRADÁVEIS CONTENDO PLA E RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS FIXADORES DE MUDAS COMO CORRETIVOS DE PH

**Roberto Carlos Ribeiro**

**Gabriel Terra**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181236>

**TRABALHO 37 .....451**


SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS OFERTADOS PELO PROJETO CESCOLA

**Hiago Tavares de Souza**

**Afonso Aurélio de Carvalho Peres**

**Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva**


**Roberto Guião de Souza Lima Júnior**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181237>

**TRABALHO 38 .....461**

SISTEMA DE INDICADORES COM BASE NAS METAS DOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 6, 11, 12 E 14 APLICADO AO CONTEXTO LOCAL DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

**Alexandre Cesar Motta de Castro**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181238>

**TRABALHO 39 ..... 472**

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ODORES: INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL,  
PARA ANÁLISE DE TEMPO REAL, EM USINA DE COMPOSTAGEM

**Aida Araújo Ferreira**

**Ana Paula Souza Silva**

**Gilmar Gonçalves de Brito**

**Ioná Maria B. R. Barbosa**

**José Ruan dos Santos Paiva**


**Larissa M. do Nascimento Lira**

**Luciana Caribé F. Cantarelli**

**Rebeca Beatriz de Luna Oliveira Silva**

**Romero Barbosa de Assis**

**Vânia Soares de Carvalho**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181239>

**TRABALHO 40 ..... 483**

SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO: UM PANORAMA DE INVESTIMENTOS  
DO COMITÊ MÉDIO PARAÍBA DO SUL

**Naomy Euphemio de Souza**

**Caroline Teixeira Lopes**

**Geovane Alves de Andrade**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181240>

**TRABALHO 41 ..... 490**

TENDÊNCIAS E LACUNAS NA APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS  
NA PRODUÇÃO ORGÂNICA E AGROECOLÓGICA NO BRASIL: UMA  
ABORDAGEM BIBLIOMÉTRICA SOB A ÓTICA DA ENGENHARIA DE  
BIOSSISTEMAS


**Abel Victor Limpo**

**Carlos Rodrigues Pereira**

**Laura Luis Castelo**

**Naomi Kato Simas**

**Thelma de Barros Machado**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181241>

## **TRABALHO 42 ..... 500**

UM ESTUDO SOBRE COOPERATIVAS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS E O ICMS ECOLÓGICO: AS DEMANDAS DOS CATADORES E CATADORAS NA GESTÃO COMPARTILHADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO


**Tatiane Soares da Cunha Codeço**

**Maximiano Prates**

**Rafael Ângelo Fortunato**

**Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos**

**Valéria Pereira Bastos**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181242>


## **TRABALHO 43 ..... 513**

USO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA O INCREMENTO DAS PROPRIEDADES DA MISTURA PLA/PBAT EM EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS BIODEGRADÁVEIS

**Iasmyn de Souza Lipkit**

**Gisele Cristina Vale Iulianelli**

**Luciana da Cunha Costa**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61525181243>



## TR A B A L H O 1

# A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL: INSTRUMENTOS LEGAIS E GOVERNANÇA COMPARTILHADA EM UMA ANÁLISE CRÍTICA DA INCLUSÃO DOS CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS

Tatiane Soares da Cunha Codeço

Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos

Valéria Pereira Bastos

**RESUMO:** A gestão dos resíduos sólidos no Brasil é um desafio socioambiental de governança e gestão compartilhada conforme preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). Este estudo analisa criticamente a legislação socioambiental nos últimos anos com ênfase na inclusão dos catadores de materiais recicláveis. A pesquisa é baseada em revisão bibliográfica e documental, com foco nos instrumentos legais que promovem a participação de entidade de catadores. Os resultados indicam que, apesar de avanços legais como o reconhecimento do papel desses atores na reciclagem no Brasil em números, ainda há desafios estruturais na implementação prática das políticas e necessidade de aprimorar a legislação. Identifica-se uma crescente participação das mulheres nas organizações no Brasil. Conclui-se que fortalecer os empreendimentos e dar sustentabilidade aos catadores é essencial para garantir justiça ambiental, aprimoramento da governança compartilhada e a eficácia da PNRS.

**PALAVRAS-CHAVES:** Gestão compartilhada de Resíduos Sólidos Urbanos, Catadores de Materiais Recicláveis, Legislação Socioambiental

## INTRODUÇÃO

A gestão dos resíduos sólidos no Brasil é uma atribuição disposta em Constituição Federal que dá competência à esfera municipal, devendo ser um serviço executado e mantido pelo Estado. Fator que se constitui no Brasil como um grande desafio, visto que em 2022, o Panorama dos Resíduos Sólidos, da Abrema, revelou que a geração

de resíduos alcançou um total de aproximadamente 81,8 milhões de toneladas, o que corresponde a 224 mil toneladas diárias (ABREMA,2023). Com isso, cada brasileiro produziu, em média, 1,043 kg de resíduos por dia. Nos anos seguintes, com o fim do período de isolamento social, o país apresentou uma curva regressiva. As possíveis razões podem estar relacionadas às novas dinâmicas sociais, com a retomada da geração de resíduos nas empresas, escolas e escritórios, com a menor utilização dos serviços de delivery em comparação ao período auge da pandemia de covid- 19 e por conta da variação no poder de compra de parte da população.

A crescente demanda por políticas públicas sustentáveis e inclusivas tem colocado em evidência a importância da legislação socioambiental no Brasil. Entre os diversos temas que compõem essa agenda, destaca-se a inclusão da dimensão socioambiental na gestão compartilhada de resíduos sólidos urbanos. No período entre 2010 e 2023, foram promulgadas diversas normas que visam enfrentar os desafios da urbanização, da desigualdade social e dos impactos sociais e ambientais decorrentes do manejo e disposição inadequado de resíduos. Este trabalho propõe-se a analisar a evolução dessas normas, a fim de compreender seus avanços, desafios e perspectivas futuras. Levando em conta os instrumentos de gestão ambiental de resíduos e destacando o seu principal normativo legal: a Lei Federal nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010a).

## Resíduos sólidos Urbanos

Os resíduos sólidos são definidos pela NBR 10.004/04 como: “Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades antrópicas de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”(ANBT,2004). A atualização da norma em 2024 proporciona uma classificação mais clara e alinhada com padrões internacionais, facilitando a gestão e destinação adequada dos resíduos. não fornece uma definição específica para “resíduos sólidos urbanos”. Por outro lado a PNRS define os Resíduos Urbanos como o Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente viáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010a). Nesse sentido, a diferença

entre o conceito de rejeito apresentado que é quando foram esgotadas todas as possibilidades de reaproveitamento ou reciclagem. Neste caso, não apresentam outra alternativa a não ser a disposição final adequada.

## Os catadores de materiais recicláveis

Os catadores de materiais recicláveis são representantes de uma categoria de trabalhadores que vivem da catação dos resíduos reaproveitáveis que são lançados no ambiente pela sociedade de consumo. Eles vêm, cada vez mais, se organizando em busca não somente de sua sobrevivência, como também do seu estabelecimento enquanto profissão. A respeito da cadeia da reciclagem o seu viés econômico e social apoia-se no catador e catadora de material reciclável, figura que é o elo mais importante, por sustentar altos números no processo de coleta seletiva e reciclagem e que, no entanto, apresenta-se como o elo mais frágil da cadeia da reciclagem. Neste sentido, considera-se que os catadores (as) “ainda são configurados como integrantes de um segmento estigmatizado em função da própria natureza da atividade laboral por eles exercida, aliada à desvinculação patronal e à precarização nas relações trabalhistas” (Bastos e Figueiredo, 2021, p.105).

De acordo com estudos do Instituto de Pesquisa Econômica (2013), sobre as dinâmicas da economia solidária: O segmento social dos catadores de material reciclável faz parte do cenário urbano no Brasil, nos diversos espaços nas pequenas e grandes cidades. No que concerne a luta política do catador e a sua atuação na reciclagem, organizam-se por meio do trabalho associativo em empreendimentos econômicos para garantir força da categoria na luta por direitos.

De acordo com o anuário de reciclagem do Instituto Caminhos Sustentáveis (2024), em 2023, foram identificados 3.028 (três mil e vinte e oito) organizações, que juntas possuem 70.608 (setenta mil e seissentos e oito) catadoras e catadores organizados em cooperativas. As mulheres têm sido a maioria nas organizações e representam no total nacional, 54,2% (38.280) dos integrantes das organizações, já os homens totalizam 45,8% (32.328).

O anuário do Instituto Caminhos sustentáveis (ICS, 2024), aponta uma quantidade total nacional de materiais coletados e destinados, por esses atores, contribuindo para a reciclagem de cerca de 1,77 milhão de toneladas recuperadas e reinseridas na cadeia produtiva, e diretamente para o aumento da vida útil de aterros e para a diminuição de consumo de matérias-primas virgens para fabricação de novos produtos e embalagens. No Rio de Janeiro, registra-se um total de 135.961,79 toneladas, ou aproximadamente 8 % do total nacional.

Com todas as dificuldades econômicas e sociais enfrentadas pelos catadores e tendo em vista os baixos índices de reciclagem no Brasil. Conforme aponta o Ipea (2013), a taxa de reciclagem no Brasil corresponde a 4% (quatro por cento),

anualmente, e mesmo estando na base da cadeia da reciclagem os catadores são responsáveis por quase 90% de todos os materiais recicláveis coletados no país. Um trabalho braçal, ainda desorganizado do ponto de vista do trabalho, tendo em vista que apenas 5% (cinco por cento) encontra-se hoje em organizações coletivas. Transformando-se num desafio conhecer os números de catadores e catadoras, constitui-se com importante política pública que vem sendo pensada para a classe e posta em prática na conjuntura atual.

## OBJETIVO

O Objetivo Geral deste trabalho é analisar criticamente a legislação socioambiental sobre Resíduos Sólidos Urbanos com foco na perspectiva de inclusão do catador de material reciclável. por meio de revisão considerando os instrumentos legais disponíveis na lei da política Nacional de Resíduos Sólidos e a evolução da temática ao longo da última década. Além dos avanços, retrocessos, desafios e perspectivas para o cumprimento da legislação vigente.

## METODOLOGIA

A metodologia empregada neste estudo consiste em uma revisão bibliográfica, com publicações das últimas duas décadas, de acordo com o objetivo do estudo.

Fink (2014) descreve a metodologia de pesquisa bibliográfica como um processo sistemático e estruturado, que visa organizar, avaliar e sintetizar a literatura existente sobre determinado tema. Ressaltando a importância de definir a questão de pesquisa, identificar fontes relevantes, buscar estudos de alta qualidade e realizar uma análise crítica dos achados. Destacando a abordagem de forma organizada e rigorosa para garantir que a revisão da literatura seja completa, imparcial e útil para a formulação de novas hipóteses ou direções para a pesquisa futura.

Através da revisão bibliográfica da legislação socioambiental de resíduos sólidos foram observadas a evolução da temática no Brasil, a fim de :

- I Identificar e expor os instrumentos, conceitos e diretrizes.
- I Os critérios de inclusão para a seleção dos artigos/textos científicos, foram: as palavras-chave da pesquisa: Legislação de Resíduos sólidos urbanos; Gestão compartilhada de Resíduos sólidos urbanos com a participação dos Catadores de materiais recicláveis; Cooperativas de catadores de materiais recicláveis; A cadeia da reciclagem;

Em relação a busca bibliográfica foram feitos Levamento documental nas instituições:

- I Instituto pragma atual instituto caminhos sustentáveis ( anuário de reciclagem);
- I Abrema antiga Abrelpe (panorama de resíduos sólidos no Brasil);

Para obtenção de dados do governo (públicos) os Sítios eletrônicos de instituições como: IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), MMA (atual Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima); Planalto e da câmara dos deputados do Rio de Janeiro (original da Lei e suas atualizações) referenciadas pelo *power BI* da legislação ambiental do MMA; Após a aplicação dos critérios de inclusão, foram selecionados artigos/textos científicos para compor a revisão bibliográfica da legislação socioambiental de inclusão do catador e catadora de material reciclável, principal agente ambiental na gestão de resíduos no Brasil, discute-se sobre os aspectos conjunturais que envolvem o catador na gestão compartilhada de resíduos sólidos aponta-se através da reflexão em resultados da pesquisa a discussão com sugestões de como esse diálogo compartilhado entre atores acontece, pelo debate do avanço e também dos retrocessos, apontando estratégias para a inclusão prática deste trabalhador com mais efetividade e em justa posição e protagonismo na cadeia da reciclagem.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### As políticas públicas, os modelos de política ambiental e Instrumentos de Gestão de resíduos sólidos urbanos

As políticas públicas, no Brasil, são um campo de estudos iniciados na transição do autoritarismo para a democracia, entre final dos anos 1970 e a primeira metade dos 1980, conforme esclarecem Hochman *et al.* (2013, p.9):

Nos anos 1980, reforma do sistema de proteção social herdado do autoritarismo ou das políticas individuais que o constituíam - políticas de saúde, educação, previdência, assistência social, habitação, saneamento ou de enfrentamento da criminalidade. Reformas econômicas e da distribuição de responsabilidades e capacidades entre as esferas de governo, na década seguinte.

Nesse contexto, as políticas públicas representavam desafios colocados a partir da nova constituição de 1988 e/ou consequências das decisões de governo. Elas envolvem um conjunto de ações e políticas sociais como programas de responsabilidade do Estado visando garantir os direitos já colocados pela Constituição e por outros instrumentos legais. As P.P Fazem parte do conjunto de medidas do estado de bem-estar da população e executar em consonância com uma governança participativa as medidas para que a população tenha acesso a tais políticas.

Do ponto de vista da organização do ordenamento Constitucional brasileiro para a execução das leis ambientais, o Instituto Chico Mendes de Biodiversidade, autarquia federal brasileira, é responsável por gerir, proteger, fiscalizar e monitorar as unidades de conservação federais, além de promover a pesquisa e a conservação da biodiversidade. Junto com o Ibama, ambos têm o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), como órgão central do governo brasileiro responsável por formular e implementar políticas públicas ambientais, emitem as instruções normativas ambientais, para proteger o meio ambiente e promover o desenvolvimento socioeconômico sustentável. Os Decretos são atos administrativos emitidos diretamente pelo presidente da República, Poder Executivo, a partir de uma demanda de detalhar as leis e explicar como elas devem ser aplicadas Na prática. Com o objetivo de regulamentar leis ou organizar a administração pública. Eles possuem normativa, mas não criam novas leis. Apenas a regulamentam. O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) é um órgão consultivo e deliberativo, colegiado do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), criado pela Lei nº 6.938/1981, PNMA. O CONAMA contribui para a democratização da gestão ambiental no Brasil, ao deliberar sobre normas e critérios para a proteção ambiental no Brasil em conjunto, vinculado ao MMA).

O modelo da política ambiental brasileira teve como base o controle da poluição e a criação de espaços territorialmente protegidos e, com a lei nº 6.938/1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente com objetivos, ações e instrumentos. Ficaram excluídos desse modelo o crescimento populacional e o saneamento básico, que são impactantes nas políticas em relação ao meio ambiente, sendo objetos de política própria não vinculados com a questão ambiental (Botelho, *et al.*, 2007).

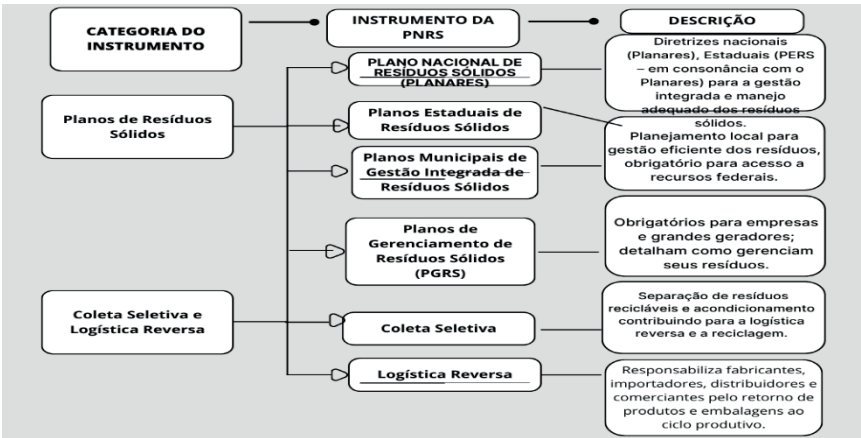
Os mecanismos de tentativa de resolução de problemas se materializam na forma de instrumentos de políticas que podem ser diretos e indiretos. Os Instrumentos tratam-se das ferramentas práticas (leis, programas) para implementar políticas que são mais genéricas. Enquanto os mecanismos são sistemas e processos (agências, procedimentos) que orientam o desenvolvimento e execução das políticas. As agências que orientam; e os procedimentos – normas práticas e a forma como será feito.

Os instrumentos de gestão ambiental, no contexto da gestão de resíduos sólidos, são ferramentas e mecanismos técnicos, legais, econômicos e administrativos utilizados para planejar, implementar, monitorar e avaliar ações voltadas para a minimização da geração de resíduos, o reaproveitamento, a reciclagem, o tratamento e a disposição final ambientalmente adequada desses materiais. Tais instrumentos incluem, entre outros, o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), a Logística Reversa, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e os sistemas de licenciamento ambiental (BRASIL, 2010a).

De acordo com : O Modelo de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é composto por três aspectos: **Os Arranjos institucionais:** Instituição de diversos órgãos ambientais, membros do CONAMA, nas três esferas administrativas (federal, estadual e municipal) designados para as tomadas de decisões na área de resíduos sólidos; **Os Instrumentos legais:** Levam em conta a aprovação de leis, decretos, resoluções, normas, dentre outros instrumentos normativos, relativos ao gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos; E os **Mecanismos de financiamento:** Fundos e linhas de financiamento que oferecem suporte financeiro para a implementação de atividades relacionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece diversos **instrumentos de gestão ambiental** voltados à gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos. Esses instrumentos têm como objetivo organizar a gestão e o gerenciamento dos resíduos, promover a responsabilidade compartilhada e estimular a sustentabilidade. É importante salientar que os instrumentos de que tratamos envolvem a atuação dos catadores de materiais recicláveis. Sendo eles apresentados no figura (01):

figura 01: Categoria dos Instrumentos de gestão de resíduos da PNRS



Fonte: Elaboração própria (2025)

Outros instrumentos da PNRS que incluem os catadores são os: **Acordos Setoriais e Termos de Compromisso** caracterizados como Instrumentos voluntários entre o poder público e os setores empresariais para implementação da logística reversa e outras metas de gestão. Em 2015, foi fechado um acordo que incluiu os catadores, assinado em 25 de novembro de 2015 o Acordo Setorial para Implantação do Sistema

de Logística Reversa de Embalagens em Geral, com a participação do governo federal, 20 associações empresariais e o Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR). Este acordo, alinhado à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelecida pela Lei nº 12.305/2010, visa promover a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Ele estabelece que fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos comercializados em embalagens devem criar sistemas de recolhimento e destinação final ambientalmente adequada dessas embalagens (BRASI,2010a).

A inclusão dos catadores foi um aspecto fundamental deste acordo. O documento prevê apoio a cooperativas de catadores de materiais recicláveis, capacitação e qualificação dos catadores, aquisição de equipamentos, fortalecimento de parcerias com o comércio para a instalação de pontos de entrega voluntária e compra de embalagens triadas por cooperativas e centrais de triagem.

No acordo setorial firmado em 2015, a implementação do sistema de logística reversa ocorreria em duas fases. A primeira fase priorizou as 12 cidades sedes da Copa do Mundo de 2014 e suas regiões metropolitanas, com ações como a ampliação da capacidade das cooperativas de catadores e a instalação de pontos de entrega voluntária. A segunda fase expandiria o sistema para outras cidades e regiões. Esse acordo representou um marco na integração dos catadores ao sistema formal de gestão de resíduos sólidos, promovendo a inclusão social e o reconhecimento do trabalho desses profissionais essenciais para a reciclagem e a sustentabilidade ambiental (MMA,2015).

Outro instrumento essencial de gestão pública é o: **Sistema de Informação** (Sistema Declaratório Anual de Resíduos Sólidos) (SINIR) Trata-se de uma Plataforma pública com dados sobre geração, transporte e destinação de resíduos. Sendo, uma importante ferramenta para o controle e a transparência da gestão dos resíduos. Destaca-se que atualmente o SINIR passou a contar com um módulo para catadores.

Ainda os Instrumentos menos tangíveis são o **Mapeamento e Diagnóstico** Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Levantamento da geração, tipos e destinação de resíduos no Brasil. **Educação e Conscientização** com programas de educação ambiental Ações para promover consumo consciente, separação e redução de resíduos. E **Incentivos financeiros e econômicos e créditos de carbono** Estímulo a tecnologias limpas, reciclagem, compostagem e recuperação energética de resíduos.

## Legislação socioambiental de resíduos sólidos

A legislação socioambiental brasileira sobre resíduos sólidos tem como marco a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), pela Lei nº 12.305/2010, regulamentada pelo Decreto Federal nº 7.404/2010 (já revogado), que detalhou as diretrizes para

a gestão de resíduos. Os instrumentos incluíam: os planos de resíduos sólidos; a implementação da logística reversa; a atuação dos órgãos gestores e responsabilização de entidades; a inclusão dos catadores por meio do programa Pró-Catador (BRASIL, 2010b).

Contudo, durante o período de 2017 a 2022, houve retrocessos importantes no arcabouço legal brasileiro, com a revogação do Decreto Federal: nº 5.940/2006, que obrigava o poder público federal a doar resíduos recicláveis às cooperativas de catadores; E o Decreto nº 7.405/2010, que instituía o programa Pró-Catador. Através do Decreto Federal Nº.10.473 de 2020 que extinguiu o Programa Pró-Catador e o Comitê Interministerial para Inclusão Social e Econômica dos Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis, nesse sentido houve também o enfraquecimento de políticas públicas voltadas à capacitação e inclusão produtiva dos catadores.; E o Decreto Federal Nº 10.936/2022, regulamentou a PNRS, ainda em vigor, estabelece que apenas cooperativas formalizadas, com infraestrutura adequada e cadastradas no SINIR, poderão atuar na coleta de resíduos recicláveis descartados pelos órgãos públicos federais, fortalecendo o papel das organizações populares na cadeia da reciclagem (BRASIL, 2022). O que limita o acesso às políticas públicas e exclui as que não tem um grau de formalização e infraestrutura. Em substituição ao Decreto 5.940/2006 (revogado) foi instituído o Decreto Federal Nº. 10.936/2022, institui o Programa Nacional de Logística Reversa, o Programa Coleta Seletiva Cidadã, determinando que cooperativas de catadores deem destinação final adequada dos rejeitos da reciclagem e o Planares. Diante da lógica do enfraquecimento com a extinção do principal programa de capacitação das cooperativas de catadores e da diminuição do investimento, como atribuir tal determinação normativa.

No referido Decreto de 2020, a categoria dos catadores perdeu a exclusividade na coleta em órgãos públicos e ao seu principal programa de capacitação. A ênfase do Decreto foi dada à Logística Reversa, com a centralidade nas empresas, aumentando os conflitos com as cooperativas resultando em perdas de suas conquistas que levaram anos em construção.

Ao iniciar o ano de 2023, o atual governo, através do seu Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, republicou os Decretos de incentivo às cooperativas e organizações de catadores e catadoras de materiais recicláveis. Destaca-se o Decreto nº 11.414/2023, que criou o Programa Diogo de Sant'Ana, voltado à articulação de ações integradas em prol da inclusão socioeconômica dos catadores. Comtemplando ações como: fortalecimento da capacidade de organização, melhoria das condições de trabalho, financiamento público, educação ambiental e ampliação da coleta seletiva e da inclusão na logística reversa (BRASIL, 2023b).

Complementarmente, o Decreto nº 11.413/2023 criou mecanismos de incentivo econômico à cadeia da reciclagem, como o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, que traz como critério de validade a participação direta dos catadores. O decreto determina os projetos estruturantes que devem envolver, em mais de 50% da meta de recuperação de embalagens, parcerias formais e mais duradouras com catadores, além de prever diagnóstico, plano de ação, investimentos, qualificação e formalização dessas organizações (BRASIL, 2023a).

Reforçando a lógica do retrocesso vivido pela legislação socioambiental de inclusão dos catadores entre os anos de 2017 à 2022, outro exemplo é a nova Lei da Reciclagem, Lei nº 14.260 (BRASIL, 2021), que carecia de regulamentação, criando o Fundo de Apoio para Ações Voltadas à Reciclagem (Favorecycle) e os Fundos de Investimentos para Projetos de Reciclagem (ProRecycle) e somente em 11 de julho de 2024, no atual governo, foi publicado o Decreto Federal nº 12.106/2024, que regulamenta o incentivo fiscal à cadeia produtiva da reciclagem estabelecido na Lei Federal nº 14.260/2021, com vistas a fomentar o uso de matérias-primas e de insumos de materiais recicláveis e reciclados nos processos produtivos, inclui o catador especificamente no artigo (vii) de fortalecimento da participação dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas cadeias de reciclagem.

Por fim, a Lei Federal nº 14.119/2021, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), insere a valorização das práticas humanas que promovem benefícios ambientais, como a reciclagem, no escopo dos serviços que podem ser remunerados pelo Estado. Tal diretriz deve abrir espaço para que cooperativas e catadores sejam reconhecidos como provedores de serviços ambientais, ampliando sua participação em políticas públicas integradas com controle social. Embora o reconhecimento faz parte da luta dos movimentos sociais de catadores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da revisão bibliográfica apontaram que a legislação socioambiental sobre Resíduos Sólidos Urbanos com foco na perspectiva de inclusão do catador de material reciclável inclui avanços, retrocessos, modernização, desafios e perspectivas. A partir das políticas públicas e instrumentos não tangíveis da lei como: os acordos; políticas; estruturas legais ou arranjos institucionais organizacionais; se define o modelo do sistema brasileiro de gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi importante incremento na participação das organizações de catadores na gestão compartilhada de resíduos, por meio de instrumentos como a coleta seletiva e a logística reversa, que estabelece a responsabilidade compartilhada pela gestão dos resíduos sólidos entre municípios, empresas, catadores e catadoras e a sociedade civil.

No entanto, na análise crítica da legislação socioambiental de inclusão da dimensão humana, catador e catadora observa-se que as conquistas da classe foram resultado da articulação da luta de catadores e catadoras organizados em seus movimentos sociais e a pressão pelas políticas públicas. Neste cenário, as tentativas de enfraquecimento de tais políticas, durante determinado período resultou na fragilidade da posição do catador na cadeia da reciclagem.

Nesse sentido, os empreendimentos coletivos de catadores se apresentam como uma estratégia para o fortalecimento das relações entre os envolvidos. Entre as vantagens observada da organização coletiva e em redes solidárias é que agrega mais valor ao material recolhido, eleva o poder de barganha do preço do material, fortalece as negociações com o poder público, empresas, parceiros e, principalmente, aumenta a capacidade de mobilização política na luta por melhorias nas condições de trabalho (IPEA, 2013).

A importância da organização coletiva de catadores é destacada na Lei Federal nº 15.068/2024, conhecida como Lei Paul Singer, que reconhece os empreendimentos econômicos solidários como uma forma de organização social e econômica sem fins lucrativos, com prioridade para grupos em situação de vulnerabilidade social e em que os empreendimentos econômicos solidários são considerados sociedades de caráter econômico sem finalidade lucrativa, podendo serem organizados sob a forma de cooperativas, associações, empresas autogestionárias, entre outras formas de organização previstas em lei. Ainda de acordo com essa Lei, os principais beneficiários da política são os empreendimentos econômicos solidários, podendo assumir diferentes formas societárias, incluindo a de grupos informais. A política pública poderá atender ainda aos beneficiários de programas sociais governamentais, com prioridade para aqueles que vivem em situação de vulnerabilidade social, desde que se organizem em empreendimentos econômicos solidários. São propostos meios para que as cooperativas de catadores (as) possam melhorar e serem mais resilientes política e economicamente.

Os catadores juntos organizam as suas demandas e estão em busca da aprovação da PEC (Proposta de Emenda à Constituição) n. 309/2013, que altera o § 8º do art. 195 da Constituição Federal, para dispor sobre a contribuição para a seguridade social do catador de material reciclável que exerça suas atividades em regime de economia familiar, em regime especial de 2,3% do rendimento para aposentadoria no Instituto Nacional do Seguro Social (INSS). Ainda buscam reconhecimento nas diversas leis como a da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais, e de outros instrumentos legais, como o ICMS-Ecológico, para o recebimento de parte desse benefício fiscal, além do acesso aos direitos que já existem na lei mas não efetivados de fato. É apontado nos diversos estudos sobre os avanços e retrocessos da PNRS, ao longo da última década, o enfraquecimento das políticas públicas

envolvendo catadores e a flexibilização, revogação e atualização das leis entre os anos de 2017 e 2022. Quanto aos retrocessos considera-se a revogação dos Decretos de Coleta Seletiva em nível Federal (nº 5.940/2006); A revogação da Lei Federal nº 11.445/2007 (revogada), que previa no seu Art. 57, que as prefeituras podem contratar, com dispensa de licitação, as associações e cooperativas de catadores para atuarem na coleta seletiva da cidade (Brasil, 2007). Também o Decreto Federal nº 7.405/2010 (revogado), que criava o programa Pró-Catador, além de modificados os mecanismos para capacitação das cooperativas (Brasil, 2010b).

Com a recente reformulação e atualização da legislação. Ainda a Lei Federal nº 14.026/2020, conhecida como o Novo Marco Legal do Saneamento Básico, trouxe importantes mudanças na política de saneamento no Brasil, alterando dispositivos da Lei nº 11.445/2007 e da Lei nº 12.305/2010 (PNRS). Há que ressaltar-se que a inserção da prioridade na contratação de cooperativas representa um avanço normativo importante, já conhecido, pois reconhece o papel histórico e ambientalmente estratégico dos catadores e catadoras no sistema de gestão de resíduos. Mas, na prática, essa prioridade ainda não tem sido concretizada pelas prefeituras, se restringindo casos de sucesso. Do ponto de vista das necessidades e desafios porque passam os catadores e catadoras organizados a modernização precisa vir acompanhada da compreensão na valorização social, econômica e ambiental do trabalho dos catadores, que historicamente atuam em condições precárias e marginalizadas, para isto remunerando financeiramente e não apenas com os resíduos. A lei pode representar um retrocesso há medida em que deu uma diretriz clara: a prioridade é das cooperativas. Mas a efetivação dessa diretriz depende da vontade política local, do fortalecimento institucional das cooperativas e da construção de modelos contratuais mais inclusivos e sustentáveis. Desta forma, a lei deve não apenas exigir adequação das cooperativas mas olhar para as necessidades de sustentabilidade das mesmas. Sem isso, o risco é a prioridade virar apenas um enunciado simbólico, e os catadores continuarem à margem de um sistema que eles mesmos ajudaram a construir.

A responsabilidade de gestão dos resíduos sólidos é de competência dos municípios, o aspecto socioambiental da lei envolveu todas as esferas de governo, as empresas, os catadores e a sociedade civil. A partir de 2023, o cenário foi reconfigurado com a retomada de normativos que reafirmam o papel socioambiental dos catadores dando uma perspectiva de ampliação da inclusão das cooperativas. Houve o retorno do programa Federal pró-catador Diogo Sant'anna, que criou o Comitê Interministerial para Inclusão Socioeconômica de Catadoras e Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis (CIISC), que visa a expansão da coleta seletiva de resíduos sólidos, coleta seletiva solidária, reutilização, reciclagem, logística reversa e educação ambiental, por meio de ações do Ministério do Meio Ambiente. Todo esse movimento em torno das leis tem gerado uma corrida para adequação das organizações privadas que estão voltadas para o lucro e o mercado.

Conclui-se que no âmbito federal o governo vem revendo a questão da inclusão socioprodutiva dos catadores e catadoras e avançando na restauração dos direitos perdidos. Os Decretos dão ênfase aos catadores organizados em cooperativas ou associações, ao mesmo tempo que propõem regras que precisarão ser atendidas pelas organizações contratantes. Dessta forma, o fortalecimento desses empreendimentos (projetos estruturantes) depende de investimentos para se ter uma estrutura adequada e qualificação de mão-de-obra. Entender esses e outros desafios colocados às cooperativas de catadores(as) é o primeiro passo para que elas possam se fortalecer e atender a essa lógica do capital, e isso vai depender, entre outros fatores, da consolidação das políticas públicas, por meio de programas sociais voltados para essa categoria de trabalhadores (as).

## CONCLUSÕES

Os resultados da revisão bibliográfica apontam que, do ponto de da governança na gestão de resíduos sólidos urbanos, a PNRS é uma das poucas legislações no mundo que implementaram a responsabilidade compartilhada para os agentes envolvidos na cadeia da reciclagem e na logística reversa dos resíduos sólidos. Nos países desenvolvidos vigora o sistema de Responsabilidade Estendida do Produtor (REP). Fabricantes, comerciantes e importadores pagam aos governos taxas que compõem um fundo para a coleta seletiva. O sistema opera na esfera B2B (Business to Business), eliminando o aspecto mais social da coleta seletiva. O modelo também não engloba a categoria de catadores informais, agentes comuns em países em desenvolvimento. Por isso a PNRS é referência na América Latina. Como a responsabilidade é compartilhada, torna-se necessário prover recursos para os agentes que atuam na esfera social e ambiental, como os catadores e catadoras de recicláveis. Cabe ressaltar que a PNRS considera em seu cap. VI, a importância do controle social, sendo ele visto “como o conjunto de mecanismos e procedimentos que garantam à sociedade informações e participação nos processos de formulação, implementação e avaliação das políticas públicas relacionadas aos resíduos sólidos”. Aborda-se no presente as temáticas sociambientais na gestão de RSU, incluindo os catadores como agentes ambientais em grande parte dos tópicos que abordam a dinâmica social diretamente relacionados à essa Lei.

De acordo com as leituras realizadas dos documentos pesquisados, aqui entende-se o Catador de material reciclável como principal agente ambiental na cadeia da reciclagem, apesar de ser o elo mais frágil da cadeia da reciclagem estando na base. Tendo em vista que dados do Ipea (2013), revelam que o catador é responsável por 90% do que é reciclado e retorna ao ciclo produtivo no Brasil. Apesar das dificuldades enfrentadas, os catadores organizados, segundo dados do anuário de reciclagem do Instituto caminhos sustentáveis (2024) mostram que foram responsáveis pelo retorno

de 1,68 milhão de toneladas de materiais processados de pós-consumo, pertencentes às categorias: papel, plástico, vidro e metais (pragma, 2021). Num panorama nacional a : Região Sudeste apresentou a maior quantidade, representando 45,6% (771.0 mil toneladas), o Sul representa 21,5% (363,8 mil toneladas), o Nordeste, 17,6% (298,6 mil toneladas), o Centro-Oeste, 9,8 (166,0 mil toneladas) e o Norte, 5,2% (88,6 mil toneladas). Devendo para tanto receber um PSA (pagamento por serviço ambiental). Os catadores e catadoras reivindicam a sua inclusão nessa política para o recebimento pelos serviços por eles(as) prestados. O reconhecimento do serviço prestado pelos(as) catadores(as) precisa ser levado em consideração pela nossa sociedade, pois os mesmos são agentes ambientais que trabalham diretamente na redução do consumo de recursos naturais, através da reciclagem de materiais e geram benefícios na preservação dos mesmos, bem como na redução dos resíduos que são lançados em aterros ou lixões, contribuindo também com diminuição das emissões de gases de efeito estufa deles provenientes, além de outras contribuições.

Os resultados da organização coletiva ao longo dos anos refletiram melhorias de acesso à direitos e políticas públicas. Como a inclusão em programas sociais específicos para catadores e os editais socioambientais de apoio financeiro para cooperativas de catadores prestarem serviços de coleta seletiva para instituições públicas federais e fortalecimento e investimento em capacitação técnica das mesmas. Salienta-se, ainda, que a capacitação técnica das organizações de catadores, do ponto de vista da habilitação, documentação, para acesso aos programas, e a formalização dos catadores em cooperativas são essenciais para garantir o acesso a políticas públicas e melhorar a autonomia dessas organizações. No entanto, o acesso à programas e benefícios para a categoria como a inclusão na governança da gestão compartilhada de resíduos sólidos ainda permanece sendo um desafio. Há necessidade de conhecimento de quantos são os catadores avulsos no Brasil e quanto reciclam. É preciso recrutar os catadores e catadoras ainda não organizados em cooperativas e redes. É preciso melhorar a infraestrutura das cooperativas, seja pela falta de aporte de recursos financeiros e pela necessidade de tecnologias sociais que possam melhorar a gestão e a eficiência das cooperativas com protagonismo e gestão direta dos catadores. As parcerias, por mais que ocorram, precisam chegar a todas as cooperativas e associações, e os catadores precisam caminhar na direção de maior autonomia na gerência do negócio. Entre os desafios enfrentados e as perspectivas de avanço, o investimento nos catadores é o que garantirá as condições para efetividade e acesso à Lei, a dinâmica socioambiental da gestão de resíduos consite na aplicação dos instrumentos da PNRS. Sugere-se que além de todos os esforços necessários do ponto de vista da gestão. O gerenciamento dos instrumentos coleta seletiva e logística reversa devem vir acompanhados de programas municipais de coleta seletiva eficientes nos quais o poder público apoie com políticas públicas às organizações de catadores e catadoras. Tendo em vista que mesmo com toda ação

A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL: INSTRUMENTOS LEGAIS E GOVERNANÇA COMPARTILHADA EM UMA ANÁLISE CRÍTICA DA INCLUSÃO DOS CATADORES DE MATERIAIS RECIKLÁVEIS

## TRABALHO 1

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BASTOS, Valéria Pereira; FIGUEIREDO, Fábio. Os desafios da efetivação da inclusão socioprodutiva dos catadores e catadoras de materiais recicláveis a partir da PNRS/2010. In: *A política nacional de resíduos sólidos e seus 10 anos de execução: balanço dos avanços e retrocessos*. Pág 104-125. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2021.

BRASIL. Presidência da República. Legislação federal brasileira: Constituição, leis e decretos. Brasília, DF. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/gestao-na-camara-dos-deputados/responsabilidade-social-e-ambiental/ecocamara/legislacao-sustentavel/legislacao-aplicavel>. Acesso em: 24 jun 2025.

FINK, A. (2014). *Conducting research literature reviews: From the internet to paper* (4ª ed.). Sage Publications.

INSTITUTO CAMINHOS SUSTENTÁVEIS. Anuário da Reciclagem 2024. Brasília, 2023. Disponível em: [https:// ics.eco.br/](https://ics.eco.br/). Acesso em: 25 jun 2025

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Situação Social dos Catadores e Catadoras de Material Reciclável e Reutilizável. Brasília, 2013.

HOCHMAN, G.; ARRETCHÉ, M.; MARQUES, E. C. L. (Org.). Políticas Públicas no Brasil. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2007, 397 pp.

MATTOS, Ubirajara Aluizio de Oliveira. Balanço dos avanços e retrocessos da Política Nacional de Resíduos Sólidos. In: BASTOS, Valéria Pereira; MATTOS, Ubirajara Aluizio de Oliveira (orgs.). **A política nacional de resíduos sólidos e seus 10 anos de execução: balanço dos avanços e retrocessos**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2021.



## TRABALHO 2

# A REDUÇÃO DE EMISSÕES DE CARBONO, PELA RETIRADA DO LIXO EM ZONAS COSTEIRAS E O SEU ENVIO PARA O SISTEMA DE RECICLAGEM

Clarice Silva Lima

Michelle Passos Araújo

**RESUMO:** O estudo avalia as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) geradas pela coleta e destinação de resíduos sólidos em zonas costeiras de Angra dos Reis (RJ), no contexto do Projeto OPAOMA, do Instituto Neuen. Aborda a poluição costeira, a importância do carbono azul e estima as emissões líquidas de GEE com base em metodologias reconhecidas. Considera emissões diretas das operações, emissões evitadas pela reciclagem e a área de manguezal necessária para compensação. A emissão bruta anual foi de 11.080 tCO<sub>2</sub>e, com 1.592,78 tCO<sub>2</sub>e evitados pela reciclagem, resultando em um saldo líquido de 9.487,22 tCO<sub>2</sub>e. A compensação seria possível com o reflorestamento de 0,08 ha de manguezal em um ano. Os dados foram obtidos com a Calculadora de Emissões adaptada do governo alemão. O trabalho oferece subsídios técnicos para políticas públicas e ações climáticas alinhadas a compromissos internacionais e à Política Nacional sobre Mudança do Clima.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gases do Efeito Estufa; Resíduos Sólidos Urbanos; Carbono Azul; Análise Gravimétrica; Reciclagem.

## INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas sempre fizeram parte da dinâmica natural do planeta ao longo do tempo geológico. No entanto, as atividades humanas, baseadas em um modelo de produção e consumo excessivos, têm desempenhado um papel central na intensificação dessa variabilidade climática. Essas alterações acarretam inúmeros impactos ambientais.

Diante dessas transformações, a própria sociedade passa a enfrentar os riscos gerados por seu modo de vida (VEILLARD-BARON, 2007). Entre esses riscos, destacam-se os efeitos regionais e globais da poluição atmosférica e do aquecimento global.

O efeito estufa, fenômeno natural essencial para a manutenção da vida na Terra, vem sendo potencializado pelas atividades produtivas humanas. O aumento na concentração de gases de efeito estufa na atmosfera pode desestabilizar processos climáticos, oceanográficos e terrestres, provocando alterações no balanço radiativo global, na circulação atmosférica e oceânica, e afetando os padrões de umidade, nebulosidade e precipitação.

Nesse contexto, têm sido intensificados os estudos voltados à identificação das fontes emissoras, às causas e às projeções futuras das concentrações desses gases, com o objetivo de sensibilizar a sociedade e buscar alternativas que contribuam para reequilibrar os sistemas naturais.

Ao abordar a despoluição costeira, inserindo o campo das pesquisas sobre resíduos sólidos, contribuimos para a conservação de ecossistemas fundamentais à regulação do clima global e à proteção das zonas litorâneas contra processos erosivos. A implementação de ações para despoluição e conservação dessas áreas é crucial para mitigar os impactos ambientais, reduzir a poluição e preservar os recursos naturais.

A Zona Costeira Brasileira, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2008), constitui uma unidade territorial com mais de 8.500 km de extensão, abrangendo 17 estados e se estendendo por 12 milhas náuticas mar adentro. Essa zona é dividida em cinco compartimentos: Norte (do Amapá ao Golfão Maranhense), Nordeste (até a Baía de Todos os Santos), Leste (até Cabo Frio, RJ), Sudeste (de Cabo Frio ao Cabo de Santa Marta, SC) e Sul (até o Chui, RS).

Essa extensa faixa litorânea abriga diversos ecossistemas com grande biodiversidade, como manguezais, recifes de corais, dunas, restingas, praias arenosas, costões rochosos, lagoas e estuários. Cada ambiente apresenta fauna e flora específicas, influenciadas por fatores físicos e químicos regionais.

Entretanto, devido ao intenso processo de urbanização, essas áreas enfrentam crescente pressão antrópica. Por serem ecossistemas frágeis, a interferência humana afeta diretamente sua estabilidade. A zona costeira é, atualmente, uma das mais vulneráveis às mudanças climáticas, sofrendo com fenômenos como a redução do gelo marinho, retração costeira, branqueamento de corais e aumento da mortalidade desses organismos (TURRA, 2017).

O início das intervenções humanas no litoral brasileiro remonta ao período colonial, com a construção de portos e cais. O Rio de Janeiro é um dos exemplos mais emblemáticos de transformações costeiras. A partir da industrialização, especialmente na segunda metade do século XX, o crescimento desordenado e a falta de planejamento acentuaram os problemas geológicos e ambientais dessas regiões (FAIRCHILD *et al.*, 2009).

Dentre os principais problemas ambientais costeiros, destaca-se a poluição oriunda de múltiplas fontes: dejetos, fármacos, herbicidas, fertilizantes e resíduos sólidos urbanos — foco principal deste artigo. A maior parte desses resíduos tem origem terrestre, porém, em menor escala, as fontes marinhas, como atividades pesqueiras, navegação e plataformas de petróleo, também contribuem para a poluição.

Esse acúmulo inadequado de resíduos sólidos provoca desequilíbrios no ecossistema marinho: contaminação por metais pesados; sufocamento, ferimentos e morte de animais; e introdução de espécies exóticas via resíduos plásticos, que representam ameaça à biodiversidade local.

Medidas de despoluição costeira trazem benefícios significativos, como: melhoria da qualidade da água, promoção da saúde humana e marinha, conservação da biodiversidade, estímulo ao ecoturismo, proteção contra eventos climáticos extremos (como tempestades e inundações), além de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, uma vez que oceanos e zonas costeiras são importantes ecossistemas de “carbono azul”.

Ao tratar da mitigação climática, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) destaca-se como principal responsável pelo aquecimento atmosférico atual, impulsionado pela queima de combustíveis fósseis e pelo desmatamento. A industrialização intensificou esse quadro ao somar as emissões de petróleo e gás do carvão.

A liberação desses gases vem degradando a camada de ozônio e intensificando a radiação ultravioleta, com impactos negativos no material genético de plantas e animais, afetando inclusive organismos essenciais como o plâncton marinho. Além disso, as mudanças climáticas vêm alterando padrões sazonais, provocando secas severas, enchentes e tempestades.

Frente a essa realidade, é preciso refletir: existe um caminho possível para reverter ou ao menos mitigar esses impactos?

Diversas estratégias podem ser adotadas, entre elas destaca-se a captura e a redução de emissões de CO<sub>2</sub> por meio de ecossistemas de carbono azul e do sistema de reciclagem. Esses ecossistemas são capazes de armazenar mais carbono por unidade de área do que muitos sistemas florestais terrestres (MCLEOD *et al.*, 2011).

O termo passou a ser utilizado há cerca de 15 anos, destacando os benefícios das vegetações costeiras na captação de carbono. Sua conservação é, portanto, fundamental para manter seu papel como grandes sumidouros de carbono (MACREADIE *et al.*, 2019).

## OBJETIVOS

### Geral –

Realizar a quantificação das emissões geradas quanto a proposição de soluções práticas para mitigar os impactos ambientais da gestão de resíduos, com um enfoque em sustentabilidade e preservação de ecossistemas costeiros.

### Específicos –

- I. Avaliar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) geradas pela coleta e destinação de resíduos sólidos nas zonas costeiras de Angra dos Reis (RJ), no âmbito do Projeto OPAOMA, do Instituto Neuen.
- II. Analisar a poluição costeira e a importância do carbono azul, com foco no papel do manguezal na compensação das emissões de GEE.
- III. Estimar as emissões líquidas de GEE associadas às operações de gestão de resíduos, considerando:
  - I Emissões diretas das operações de coleta e destinação.
  - I Emissões evitadas pela reciclagem de resíduos.
  - I A área de manguezal necessária para compensação das emissões geradas.
- IV. Calcular o impacto ambiental da gestão de resíduos em termos de emissão bruta anual e o saldo líquido de emissões, levando em conta as emissões evitadas pela reciclagem.
- V. Propor estratégias de compensação das emissões através do reflorestamento de manguezais; e
- VI. Fornecer subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas e ações climáticas, em consonância com compromissos internacionais, como o Acordo de Paris, e a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC).

## METODOLOGIA

Esta pesquisa teve início com o levantamento da quantidade de materiais coletados em zonas costeiras da região de Angra dos Reis ao longo do ano de 2022. Os dados referem-se às ações diárias realizadas pelo Projeto Opaoma, vinculado ao Instituto Neuen, que atua tanto na destinação adequada dos resíduos recicláveis para o sistema de reciclagem quanto no encaminhamento dos rejeitos ao aterro sanitário.

Após a quantificação do lixo recolhido, foi realizada uma caracterização gravimétrica dos resíduos durante um período de dois meses. Essa etapa teve como objetivo identificar os tipos e quantidades de materiais coletados por meio de triagens minuciosas (Figura 1), possibilitando, assim, o cálculo da quantidade de CO<sub>2</sub> que deixa de ser emitida na atmosfera graças à atuação do projeto.

**Figura 1** – Registro dos materiais triados

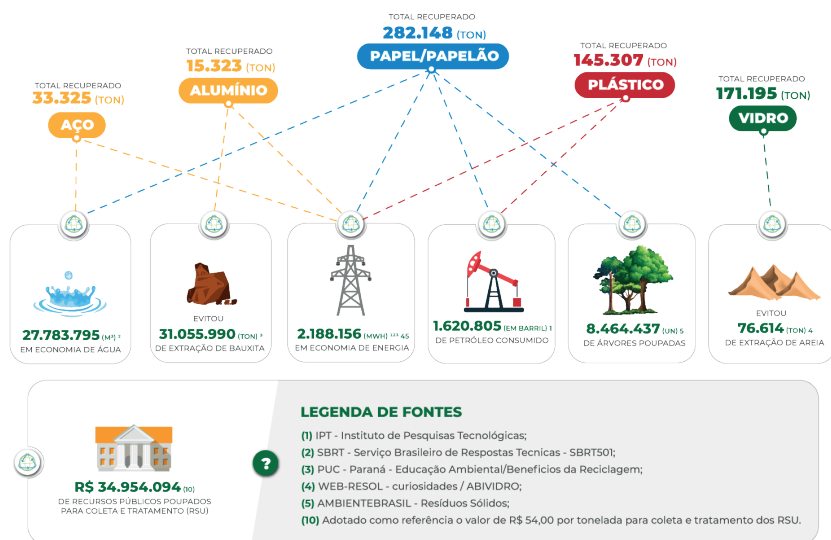


**Fonte:** Projeto Opaoma, 2023.

De acordo com a NBR 10.007/2004, a gravimetria é a “determinação dos constituintes e de suas respectivas percentagens em peso e volume, em uma amostra de resíduos sólidos, podendo ser físico, químico e biológico”. A caracterização dos RSU auxilia a determinar a quantidade desse tipo de resíduo por área, concebendo dados que auxiliam na definição de metas e modelos de gestão (Instituto Estadual do Ambiente, 2021).

O bloqueio da emissão de carbono pela reciclagem acontece com a reintrodução de uma matéria prima já extraída ao ciclo produtivo, no processo de reposição na cadeia produtiva variadas etapas são suprimidas, etapas que causariam diferentes níveis de poluição. Os ganhos ambientais e econômicos, com o processo de reciclagem, podem ser observados na figura a seguir.

Figura 2 – Infográfico ecológico da reciclagem



Fonte: Associação Nacional dos Catadores (ANCAT), 2022/2023.

Para o cálculo das emissões evitadas por tipo de resíduo coletado, utilizou-se a Calculadora de Emissões de Gases de Efeito Estufa para Resíduos. Essa ferramenta possibilitou a estimativa dos potenciais reduções de CO<sub>2</sub> decorrentes das opções de reciclagem, baseando-se em valores padrão que permitem aproximações confiáveis dos resultados. O método da calculadora “analisa as emissões de todos os fluxos dos resíduos para reciclagem, tratamento e disposição final, respectivamente, e calcula as emissões totais de GEE de todas as etapas do processo em CO<sub>2</sub> equivalente” (GIEGRICH, 2021, p.19).

Após o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> evitadas, segmentadas por tipo de resíduo, foi realizado o inventário de carbono do projeto, considerando um período temporal de um ano. Para a elaboração desse inventário, adotou-se a metodologia do Protocolo de Gases de Efeito Estufa, também conhecido como Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol). Essa metodologia permite a mensuração tanto das emissões diretas quanto das indiretas de gases de efeito estufa, com o objetivo de quantificar, reconhecer e reduzir essas emissões, promovendo uma cultura de inventários corporativos.

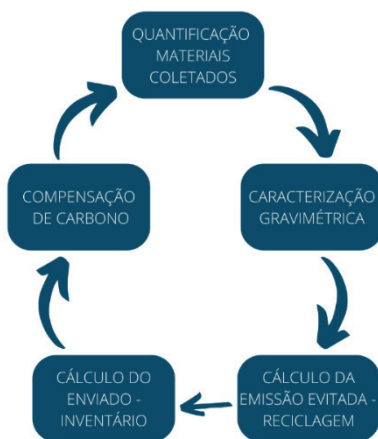
Lançado em 1998, o Greenhouse Gas Protocol (GHG, 2023) tem como missão desenvolver padrões e ferramentas internacionalmente aceitos para a contabilidade e o reporte de emissões de GEE, incentivando sua adoção global para alcançar uma economia de baixas emissões.

Entre suas principais características, destacam-se a disponibilização de uma estrutura pública e transparente para a contabilização de GEE, sua modularidade e flexibilidade, além de ser fundamentado em um amplo processo de consulta pública. Em 2008, o método foi adaptado ao contexto brasileiro pelo GVces e pelo WRI, em parceria com outros atores, organizando grupos de trabalho para aprimorar a metodologia e desenvolver novas ferramentas para contabilizar as emissões de todos os gases reconhecidos internacionalmente como gases de efeito estufa e regulados pelo Protocolo de Kyoto.

Com base nos valores calculados das emissões de CO<sub>2</sub> evitadas pela reciclagem e das emissões geradas, levantadas no inventário do projeto, foi possível obter um saldo positivo de redução de emissões. Para compensar o valor residual de emissões remanescentes, foram propostas alternativas de compensação de carbono.

A seguir (Figura 3), apresenta-se o fluxograma com as etapas metodológicas da pesquisa, descritas nos parágrafos anteriores:

**Figura 3** – Fluxograma das etapas metodológicas



**Fonte:** Os autores, 2023.

## RESULTADOS

Em um ano de atuação, o Projeto Opaoma retirou 5.094,848 kg de resíduos — incluindo materiais recicláveis e rejeitos — das zonas costeiras de Angra dos Reis/RJ. Essa coleta foi realizada por meio de 109 operações com as embarcações *Velaa* e *Muraka*.

Do total recolhido, 1.028,705 kg foram destinados ao sistema de reciclagem. A parcela restante, classificada como rejeito, recebeu destinação final adequada no Aterro Sanitário de Ariró, também em Angra dos Reis.

É importante destacar que uma parte significativa do material considerado rejeito nem sempre o é de fato. Contudo, infelizmente, nem todo material tecnicamente reciclável possui reciclabilidade prática. Isso depende, em grande medida, da capacidade operacional das cooperativas locais e da viabilidade de comercialização nos mercados de reciclagem.

O mercado de reciclagem, por sua vez, realiza a seleção dos resíduos com base em sua rentabilidade. Assim, prioriza-se o valor econômico dos materiais, em vez do potencial de reaproveitamento em si, o que limita a quantidade de resíduos sólidos efetivamente reciclados.

A partir da triagem dos materiais recolhidos, foi possível realizar a análise gravimétrica dos resíduos e rejeitos presentes. Essa classificação, realizada ao longo de dois meses, está apresentada nas tabelas a seguir.

**Tabela 1** – Composição gravimétrica dos resíduos destinados para reciclagem, primeiro mês de amostragem

Tipo Coletado	Destinação/classificação	Categoria	Peso (Kg)	%
Metais	Sistema de reciclagem – resíduo	Alumínio	21,6	3,86%
Sucata	Sistema de reciclagem – resíduo	Metais ferrosos	16,795	3,00%
Plástico duro	Sistema de reciclagem – resíduo	Plástico	118,6	21,20%
Plástico pet	Sistema de reciclagem – resíduo	Plástico	89	15,91%
Plástico fino	Sistema de reciclagem – resíduo	Plástico	26,65	4,76%
Isopor	Aterro sanitário – rejeito	Plástico	63,075	11,28%
Vidro	Aterro sanitário – rejeito	Vidro	61,05	10,91%
Borracha	Aterro sanitário – rejeito	Borracha, couro	42,15	7,53%
Plástico de uso único	Aterro sanitário – rejeito	Plástico	11,555	2,07%
Plástico laminado	Aterro sanitário – rejeito	Plástico	8,45	1,51%
Papelão + tetra pak	Aterro sanitário – rejeito	Papel, papelão	14,155	2,53%
Cordas + redes	Aterro sanitário – rejeito	Outros	49,65	8,88%

**Fonte:** Projeto Opaoma, 2022/2023.

**Tabela 2** – Composição gravimétrica dos resíduos destinados para reciclagem, segundo mês de amostragem

Tipo Coletado	Destinação/classificação	Categoria	Peso (Kg)	%
Metais	Sistema de reciclagem – resíduo	Alumínio	9,915	2,25%
Sucata	Sistema de reciclagem – resíduo	Metais ferrosos	5,815	1,32%
Plástico duro	Sistema de reciclagem – resíduo	Plástico	30,605	6,93%
Plástico pet	Sistema de reciclagem – resíduo	Plástico	44,005	9,97%
Plástico fino	Sistema de reciclagem – resíduo	Plástico	32,895	7,45%
Isopor	Aterro sanitário – rejeito	Plástico	12,585	2,85%
Vidro	Aterro sanitário – rejeito	Vidro	124,6	28,22%
Borracha	Aterro sanitário – rejeito	Borracha, couro	21,145	4,79%
Plástico de uso único	Aterro sanitário – rejeito	Plástico	6,285	1,42%
Plástico laminado	Aterro sanitário – rejeito	Plástico	6,495	1,47%
Papelão + tetra pak	Aterro sanitário – rejeito	Papel, papelão	14,23	3,22%
Cordas + redes	Aterro sanitário – rejeito	Outros	4,1	0,93%

A reintrodução de materiais pós-consumo na cadeia de reciclagem, notoriamente, não é considerada nos inventários de Gases de Efeito Estufa (GEE). Isso se aplica tanto à redução das emissões associadas ao processo de reciclagem – geralmente inferiores àsquelas do processo de produção de matéria-prima virgem – quanto à diminuição das emissões resultantes da nova extração de recursos naturais. Como consequência, as contribuições reais das ações de coleta de resíduos e rejeitos para as metas de redução de emissões acabam não sendo identificadas.

Essa discrepância, quando analisada ao longo do ciclo de vida de cada material, é essencial para evidenciar a relevância da reciclagem para o meio ambiente. Não se trata apenas da redução local da poluição, mas também da diminuição da pressão sobre os recursos naturais e dos impactos no efeito estufa em uma escala global. Com essas informações em mãos, é possível comparar as emissões de cada material ao longo de seu ciclo de vida, considerando o processo produtivo tradicional em contraposição à rota produtiva por meio da reciclagem, calculando a diferença entre o uso de material reciclado e a matéria-prima nova.

Utilizando a Ferramenta de Cálculo de Emissões de GEE no Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) para o Brasil (GIEGRICH, 2021, com adaptações), baseada na Análise do Ciclo de Vida (ACV) dos resíduos, o objetivo foi identificar o saldo das emissões geradas pelas atividades do Projeto Opaoma, especialmente aquelas

decorrentes da reintegração das frações de resíduos coletados nas cadeias produtivas através da reciclagem. As emissões calculadas por essa metodologia também incluem as emissões futuras relacionadas à degradação dos resíduos, considerando o tratamento e a disposição final dos mesmos, incluindo os rejeitos enviados para aterros sanitários.

Foram utilizados dados de entrada como a quantidade de resíduos por tipologia, sua composição, características e a matriz energética específica da região, com base nas informações dos 12 meses de atividade do projeto e uma média gravimétrica de dois meses (30 coletas no total) para os diferentes tipos de material, organizados em sete categorias: Alumínio, Borracha/Couro, Metais ferrosos, Outros, Papel/Papelão, Plásticos e Vidros. Importante ressaltar que, após a gravimetria, estimou-se que cerca de 30% dos metais ferrosos coletados na região costeira são compostos por alumínio, dado relevante para os cálculos metodológicos.

Os resultados das emissões associadas à reciclagem dos materiais recolhidos pelo Projeto Opaoma estão apresentados na Tabela 3, com um total de emissões negativas de 1609,48 kg CO<sub>2</sub> eq. Ao se incluir as emissões relacionadas ao tratamento final desses materiais, em aterro sanitário, o saldo final é de um total negativo de 1592,78 kg CO<sub>2</sub> eq em emissões. Essa consideração do tratamento final é importante, pois, eventualmente, a vida útil dos materiais reintroduzidos no ciclo produtivo será encerrada.

**Tabela 3** – Saldo de emissões decorrentes da reciclagem dos resíduos coletados pelo Projeto Opaoma, no período de junho de 2022 a maio de 2023

Resíduos recicláveis	Peso Reciclado total (kg)	Emissões (kg CO <sub>2</sub> eq)	Emissões evitadas (kg CO <sub>2</sub> eq)	Resultados líquidos (kg CO <sub>2</sub> eq)
Papel, papelão	63,6	79,882	- 98,453	- 18,571
Plásticos	777,635	318,830	- 1.485,127	- 1.166,297
Vidros	208,15	100,578	- 125,723	- 25,145
Metais ferrosos	71,97	4,606	- 123,214	- 118,608
Alumínio	30,58	21,317	- 302,174	- 280,857
<b>Total</b>	<b>1.151,94</b>	<b>525,213</b>	<b>- 2.134,691</b>	<b>- 1.609,478</b>
			Tratamento Aterro	16,69
			<b>Total final</b>	<b>- 1.592,78</b>

Fonte: Projeto Opaoma, 2022/2023.

Além da redução das emissões de CO<sub>2</sub> ao evitar seu lançamento no meio ambiente, devido ao retorno da matéria-prima ao sistema de reciclagem, também existem benefícios relacionados à retirada de rejeitos dispostos inadequadamente no ambiente, que são enviados para aterros sanitários — benefícios que não foram contemplados nos cálculos. Entre esses benefícios, destacam-se:

- a. Prevenção da contaminação do solo;
- b. Proteção da qualidade da água;
- c. Prevenção de doenças, ao evitar a proliferação de vetores como moscas, baratas, ratos, entre outros;
- d. Melhoria da qualidade do ar, uma vez que muitos materiais descartados de forma imprópria liberam gases tóxicos;
- e. Redução de impactos visuais e odores desagradáveis; e
- f. Conservação da fauna e da flora.

O gerenciamento adequado dos resíduos gerados nas áreas costeiras — como praias, costões rochosos, manguezais e estuários — tem um impacto positivo nos ecossistemas marinhos e nas comunidades humanas. Algumas das medidas de gerenciamento incluem:

- I. Ações de educação ambiental focadas na problemática do lixo costeiro e na importância do descarte adequado de resíduos e rejeitos;
- II. Disponibilização de coletores apropriados para resíduos secos, orgânicos e rejeitos, com coleta regular para evitar o acúmulo de lixo nas praias e áreas adjacentes;
- III. Incentivo à separação adequada dos resíduos, facilitando a reciclagem e reduzindo a quantidade de matéria-prima desperdiçada nos aterros;
- IV. Implementação de políticas públicas para eliminar o uso de plásticos descartáveis, contribuindo significativamente para a redução do lixo costeiro;
- V. Monitoramento regular e ações periódicas de limpeza das praias, essenciais para identificar áreas de acúmulo de lixo, fornecendo informações importantes para ações contínuas e de alerta aos atores sociais envolvidos; e
- VI. Parcerias para implementar ações conjuntas que promovam a redução e o manejo adequado dos resíduos sólidos e rejeitos.

Ao comparar as emissões diárias do Projeto Opaoma com a quantidade de CO<sub>2</sub> evitada pelo retorno da matéria-prima à cadeia produtiva, foi registrado um saldo positivo de 9.487,22 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Como alternativa para compensar esse excesso, sugere-se o reflorestamento de uma área de 0,08 hectares de manguezal.

## CONCLUSÕES

A partir da pesquisa realizada, conclui-se que é essencial implementar ações eficazes para a remoção de resíduos sólidos urbanos inadequadamente dispostos em zonas costeiras, uma vez que os benefícios gerados por essas iniciativas são incalculáveis.

Entretanto, é fundamental que novas pesquisas sejam conduzidas para o avanço da literatura e o desenvolvimento de metodologias que proporcionem indicadores mais precisos sobre a presença ou ausência de resíduos em ambientes costeiros. Isso inclui a necessidade de monitoramento contínuo dos diversos compartimentos costeiros, com análises detalhadas de amostras do ar, da água, da fauna e da flora. Dessa forma, será possível obter dados mais robustos sobre os impactos ambientais causados por esses resíduos.

Outro ponto crucial é a urgência de incentivar cooperativas, associações e empresas familiares dedicadas à reciclagem de materiais, para que possam viabilizar a inclusão na cadeia produtiva de resíduos de baixo valor agregado. Além disso, é necessário ampliar o apoio às indústrias de reciclagem, especialmente no que se refere a materiais com pouca ou nenhuma demanda no mercado.

Portanto, estudos aprofundados, levantamento de dados e estímulos a iniciativas de reciclagem são ferramentas imprescindíveis para a gestão e preservação dos ecossistemas costeiros.

## REFERÊNCIAS

Associação Nacional dos Catadores (ANCAT). **Atlas brasileiro da reciclagem**. Disponível em: <<https://atlasbrasileirodareciclagem.ancat.org.br/>>. Acessado em: 26 jul. 2023.

FAIRCHILD, T. R.; TEIXEIRA, W.; e BABINSKI, M. **Geologia e a Descoberta da Magnitude do tempo**. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD T. R.; TOLEDO, M. C. M.; e TAIOLI, F. (orgs.). **Decifrando a Terra**, São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p. 280-305.

GHG. **O que é o GHG protocol?** Disponível em: <<https://ghgprotocol.org/about-us>>. Acessado em: 05 nov. 2023.

GIEGRICH, J. **Manual da calculadora de emissões de GEE para resíduos: Ferramenta de Cálculo de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Manejo de RSU para o Brasil – Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**. Brasil, 2021. 134 p.

Instituto Estadual do Ambiente (RJ). **Estudo da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos urbanos: conhecendo a composição dos resíduos para aplicação na gestão municipal / Instituto Estadual do Ambiente (RJ)**. Rio de Janeiro, 2021.

MACREADIE, P. I., ANTON, A., RAVEN, J. A., *et al.* The future of Blue Carbon science – doi: 10.1038/s41467-019-11693-w. **Nature Communications**, v.10, n. 3998, p. 1 a 13, 2019.

MCLEOD, E., CHMURA, G., BOUILLON, S. SALM, R., BJÖRK, M., DUARTE, C., LOVELOCK, C., SCHLESINGER, W. e SILLIMAN, B. **A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>**. *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol. 9: 552–560, 2011.

MMA. **Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil** – Brasília: MMA, 2008. 242 p.

TURRA, A. *et al.* Zonas Costeiras. In: NOBRES, C. A.; MARENGO, J. A (orgs). **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. São José dos Campos, SP: INCT, 2017. 608p.

VIEILLARD-BARON, H. **Os Riscos sociais**. In: VEYRET, Y. (Org.) **Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2007. 319p.



## TRABALHO 3

# A UTILIZAÇÃO DAS LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PARA O PRÉ-TRATAMENTO DE CHORUME EM ATERROS SANITÁRIOS

Dilma dos Santos Lacerda

Daniele Maia Bila

Fernando Altino Medeiros Rodrigues

Giovana Ferreira dos Santos

Marcelo Augusto Vieira de Souza

Zilacleide da Silva Barros Sousa

**RESUMO:** As lagoas de estabilização são comuns no tratamento de lixiviado no Brasil devido a condições favoráveis e baixo custo. Contudo, o acúmulo de sólidos no fundo, sujeito à decomposição anaeróbia, pode gerar concentrações acima dos limites legais. Este artigo avalia qualitativamente o desempenho dessas lagoas, que oferecem tempo de residência, sedimentação e início da biodegradação do chorume, visando melhorar a eficiência do tratamento. As análises mostraram que a lagoa de aeração contribuiu para a eficácia do pré-tratamento, especialmente na redução das concentrações de nitrogênio amoniacal do chorume bruto, permitindo seu tratamento posterior nas estações interna e externa. Em síntese, ficou evidenciada a função essencial dessas lagoas como etapa preliminar do processo, designadas lagoas de pré-tratamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** LAGOAS de estabilização; TRATAMENTO de lixiviado; EFICIÊNCIA de pré-tratamento.

## INTRODUÇÃO

O chorume é um efluente altamente poluente e seu tratamento tem sido um desafio na Engenharia Sanitária em todo o mundo. O tratamento de chorume e seu lançamento no ambiente dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente

tem sido um problema enfrentado pelos aterros sanitários não só localizados no Estado do Rio de Janeiro, mas em outros estados do Brasil. Além disso, o desenvolvimento de processos de tratamento de chorume de baixo custo e alta eficiência é ainda um dos desafios da mitigação dos impactos causados pela disposição de RSU em aterros sanitários.

Nos aterros sanitários, após a captação do chorume, este será acumulado para posterior envio para Estação de Tratamento de Chorume (ETC), localizada no próprio aterro, ou para o tratamento externo. Contudo, não há uma descrição detalhada desses sistemas e não há um consenso em sua nomenclatura, são chamados de bacia de acumulação ou lagoa de equalização, entre outros. As funções desses sistemas, na maioria dos aterros, é tanto servir como um reservatório para absorver as variações de vazão do chorume ocasionadas pela precipitação pluviométrica do aterro quanto na sua equalização para ser tratado na ETC. Além disso, também podem funcionar como lagoa de contenção, que serão utilizadas para armazenar o chorume em caso de alguma emergência ou problemas operacionais.

Uma vez nessas lagoas, dependendo das condições climáticas, o líquido armazenado sofre evaporação. Em locais com alta pluviosidade, as lagoas são cobertas com uma geomembrana para que a contribuição das chuvas não aumente o volume de chorume (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993).

Todavia, os fenômenos físico-químicos e biológicos que ocorrem nessas lagoas são pouquíssimos estudados e relatados na literatura. Pouco se sabe sobre a atenuação que os poluentes sofrem nesses sistemas. A partir de mecanismos físico-químicos e biológicos, o sistema de lagoas consegue reduzir a concentração de alguns poluentes do chorume, sem, contudo, atender aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação. Porém, podem atuar como um pré-tratamento e adequar o chorume bruto para posteriormente ser tratado em uma Estação de Tratamento.

Dependendo de vários fatores e condições climáticas, os principais mecanismos de redução de concentração de poluentes em lagoas de acumulação que podem ser citados, são: equalização, biodegradação aeróbia e anaeróbia, volatilização da amônia e a sedimentação de sólidos.

As lagoas de estabilização são amplamente empregadas no tratamento de lixiviado no Brasil, principalmente devido às condições climáticas favoráveis, disponibilidade de área territorial e baixo custo de implantação e operação (CASTILHOS JR. et al., 2009; MAIA et al., 2015). Contudo, estudos relatam as dificuldades que os sistemas de lagoas apresentam quanto a remoção de compostos recalcitrantes e nitrogênio amoniacal, que, em muitos casos, resultam em concentrações finais superiores às aquelas requeridas pela legislação (BASSAN, 2010; CASTILHOS JR. et al., 2009).

Em uma lagoa, em decorrência de seu tempo de detenção, baixas turbulência e velocidade do fluxo, os sólidos sedimentáveis presente em um efluente tendem a sedimentar e se depositar, onde vão constituir o lodo de fundo da lagoa. A matéria orgânica particulada passa por um processo de estabilização devido a decomposição anaeróbia, sendo transformada em gás carbônico, água, metano e outros, além de uma fração inerte (não biodegradável) que permanece no fundo. Compostos solúveis ou finamente particulado não se sedimentam e permanecem em suspensão na massa líquida (VON SPERLING, 2002).

Além da possibilidade de digestão anaeróbia, o lodo acumulado no fundo da lagoa pode sofrer adensamento, levando a elevadas concentrações de sólidos totais e baixa relação de sólidos voláteis/sólidos totais (SV/ST) (VON SPERLING, 2002).

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar, ao menos qualitativamente, o desempenho e a importância das lagoas de pré-tratamento. As lagoas de pré-tratamento recebem diferentes chorumes gerados pelos maciços e possuem várias funções. Destacam-se, entre elas, as quatro principais: proporcionar o tempo de residência para que ocorra o fenômeno da volatilização; permitir a sedimentação de sólidos orgânicos e inorgânicos; viabilizar a equalização do chorume gerado - visto que há uma enorme variação nas características do chorume nas diferentes partes dos maciços de resíduos; iniciar a biodegradação da matéria orgânica. Dessa forma, pretende avaliar a efetividade das lagoas de pré-tratamento.

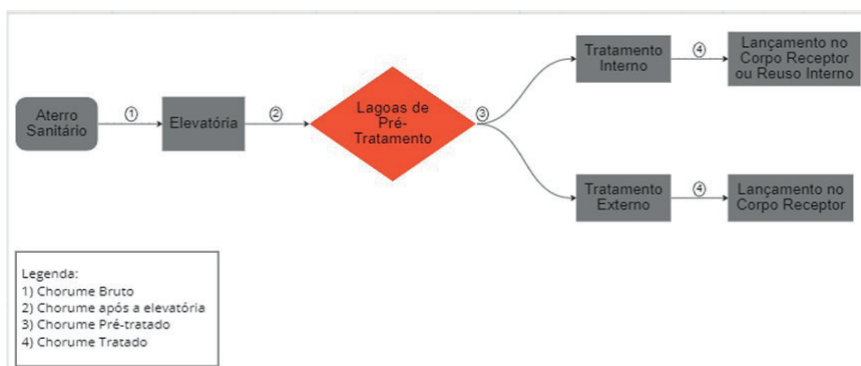
## METODOLOGIA

O presente trabalho visa, principalmente, atender a dois aspectos: diligências e resultados. A abrangência do estudo é a avaliação técnica das lagoas de pré-tratamento de chorume.

O estudo é balizado em pilares a saber: Processos, Diligências, Análises Laboratoriais e Resultados. Em síntese, foi feito um estudo para entender todo o processo, em especial, a geração do chorume e a funcionalidade das lagoas de pré-tratamento. As diligências permitem analisar, em campo, todas as fases do processo.

As análises laboratoriais foram realizadas com o chorume bruto e pré-tratado, com o objetivo de apresentar a eficiência na redução de poluentes, utilizando um conjunto de lagoas de pré-tratamento. A metodologia adotada para avaliar os resultados disponibilizados foi apresentada na Figura 1 - Gestão do Chorume Gerado (da geração ao destino final) - e discutida em maiores detalhes nos resultados.

Figura 1 - Gestão do Chorume Gerado (da geração ao destino final)



FONTE: O Autor, 2023.

O local onde foi realizada a amostragem do chorume bruto foi o ponto 2, após a elevatória, o que pode ser mostrado na Figura 1 – Gestão do Chorume Gerado.

Para entendimento sobre a variabilidade das características físico-química do chorume bruto, priorizaram-se os parâmetros que mais caracterizam este efluente, quais sejam: DQO, DBO, nitrogênio amoniacal, pH, cloreto e condutividade.

Os resultados das análises destes parâmetros, extraídos dos laudos, foram inseridos em uma planilha de resultados. Os resultados foram compilados em uma tabela com análise estatística descritiva e em gráficos do tipo boxplot e seguem apresentados neste TRABALHO.

Desta forma, para avaliar tal processo, definiu-se uma envoltória que está representada, na Figura 2 – Diagrama de Processo com Definição da Elevatória (Quadro Vermelho) para Avaliação da Eficiência dos Processos de Pré-Tratamento do Chorume. Desta maneira, a avaliação dos resultados dos processos de pré-tratamento será dada pela análise dos resultados de caracterização do afluente e do efluente desta envoltória, os quais se caracterizam pelo chorume bruto coletado na elevatória (afluente das lagoas de pré-tratamento) e do chorume pré-tratado coletado na lagoa de pré-tratado (efluente do pré-tratamento).

Figura 2 - Diagrama de Processo com Definição da Envoltória (Quadrado Vermelho) para Avaliação da Eficiência dos Processos de Pré-Tratamento do Chorume



FONTE: O Autor, 2023.

A avaliação da eficiência do sistema foi promovida a partir dos resultados da concentração do nitrogênio amoniacal no chorume bruto e no pré-tratado, pelo período compreendido entre mar/2020 a jun/2022. Os resultados de entrada e de saída da envoltória foram compilados em uma tabela com análise estatística descritiva e, posteriormente, plotados em gráficos do tipo box plot.

A análise do desempenho do Sistema de Pré-tratamento, já definido pela envoltória mencionada no item anterior, foi desenvolvida a partir do cálculo da eficiência de remoção para o nitrogênio amoniacal, em uma planilha de excel, cuja origem dos dados já foi mencionada neste item.

Os resultados de eficiência foram plotados em gráficos do tipo boxplot e analisados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados relacionados às Lagoas de Pré-Tratamento seguiram alguns passos, mas em especial, destaca-se a consolidação das percepções das diligências, conforme previsto na metodologia.

## VARIABILIDADE NA CARACTERIZAÇÃO DO CHORUME BRUTO

A variabilidade nas características físico-químicas do Chorume Bruto é conhecida nos aterros de diversas localidades. Desta maneira, desenvolveu-se nesta etapa a avaliação dos resultados da caracterização do chorume bruto ao longo do ano de 2021.

## LEVANTAMENTO DA EFICIÊNCIA DAS LAGOAS DE PRÉ-TRATAMENTO

Considerando que existe grande variabilidade na caracterização do chorume bruto e que há a necessidade de manutenção de certa linearidade no afluente da Estação de Tratamento de Chorume e nas Estações de Tratamento de Efluente Externas, torna-se importante a avaliação da eficiência dos processos de pré-tratamento que acontecem nas lagoas da empresa em questão.

O chorume bruto que chega à elevatória de chorume é bombeado para as lagoas de pré-tratamento e desta ocorre novo bombeamento para uma das lagoas de entrada da Estação de Tratamento de Chorume Interna, após o atingimento dos níveis de nitrogênio amoniacal desejáveis.

Segundo informado na visita, é necessário que a concentração de nitrogênio amoniacal do chorume bruto seja reduzida a 2.000-2.100 mg/L para que possa ser mantida a vazão da Estação de Tratamento Interna de Chorume e para que o efluente possa ser enviado para o tratamento externo. Esta faixa de concentração está significativamente abaixo da variação da concentração do chorume bruto gerado, segundo as informações fornecidas na visita.

Os dados de caracterização do chorume bruto, disponibilizados foram compilados na Tabela 1 que apresenta a estatística descritiva para os parâmetros avaliados, quais sejam: condutividade, DQO, DBO, cloreto e nitrogênio amoniacal. Os dados referem-se às análises do chorume bruto realizadas entre janeiro e dezembro de 2021.

Tabela 1 - Estatística descritiva para os parâmetros condutividade, DQO, DBO, cloreto e nitrogênio amoniacal para o chorume bruto do Centro de Tratamento de Resíduos (CTR-Rio). Período de monitoramento: janeiro a dezembro de 2021.

Estatística	Condutividade	DQO	DBO	Cloreto	Nitrogênio amoniacal
Número de dados	51	51	24	24	24
Média	30951	8252	3522	4297	2713
Mínimo	17898	1000	1500	1460	910
Máximo	56300	20500	7250	5890	3350
Desvio padrão	0,24	0,35	0,40	0,25	0,19
Percentil 10%	20000	5350	1940	3084	2232
Percentil 25%	28050	6525	2490	3767,5	2617,5
Percentil 50%	31500	8080	3435	4415	2840
Percentil 75%	33530	9770	4195	4997,5	2982
Percentil 90%	36800	10200	5290	5559	3156

FONTE: O autor, 2023. Observação: Os dados de DQO, DBO, cloreto e nitrogênio amoniacal estão apresentados em mg/L e o de condutividade em mS/cm. Número de dados e desvio padrão são adimensionais.

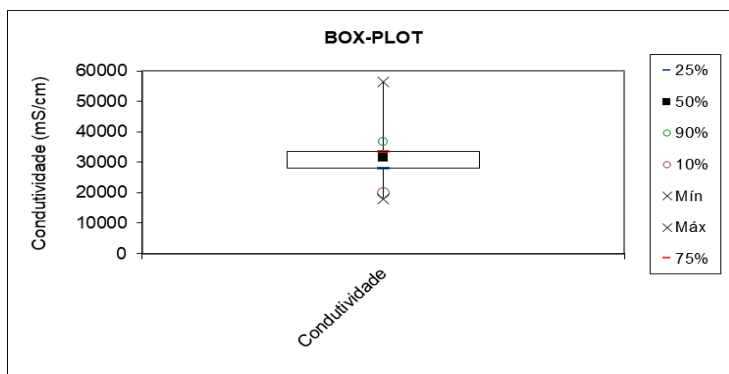
A Tabela 1 mostra que o número de dados para os resultados de DQO e condutividade é de 51 e para DBO, cloreto e nitrogênio amoniacal é de 24. Nota-se, pela observação dos resultados de mínimo e máximo de cada um dos parâmetros, que as variações são significativas:

- Condutividade variando de 17.898 mS/cm a 56.300 mS/cm
- DQO variando de 1.000 mg/L a 20.500 mg/L
- DBO variando de 1.500 mg/L a 7.250 mg/L
- Cloreto variando de 1.460 mg/L a 5.890 mg/L
- Nitrogênio amoniacal variando de 910 mg/L a 3.350 mg/L

Tais variações de valores dos parâmetros são condizentes com as encontradas na literatura de caracterização de chorume bruto (LANGE e AMARAL, 2009). A maior amplitude na variação DQO pode estar associada à mistura de chorume de diferentes estágios presentes no aterro em operação.

A seguir, os gráficos boxplot estão apresentados nas Figuras 3, 4 e 5, por parâmetro avaliado, para o período em monitoramento.

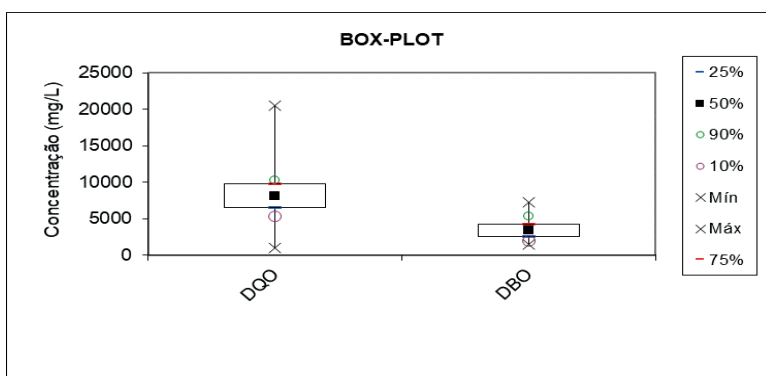
Figura 3 - Gráfico Boxplot com Resultados de Condutividade do Chorume Bruto do CTR-Rio para o Período Compreendido entre Janeiro e Dezembro de 2021.



FONTE: O autor, 2023.

O gráfico apresentado na Figura 3 – Gráfico Boxplot com Resultados de Condutividade do Chorume Bruto do CTR-Rio para o Período Compreendido entre Janeiro e Dezembro de 2021 – mostra a grande amplitude de variação nos resultados de condutividade do chorume bruto, indicando que a maior parte dos dados se encontra entre 28.050 e 33.530 mS/cm.

Figura 4 – Gráfico Boxplot com Resultados de DBO e DQO do Chorume Bruto do CTR-Rio para o Período Compreendido entre Janeiro e Dezembro de 2021

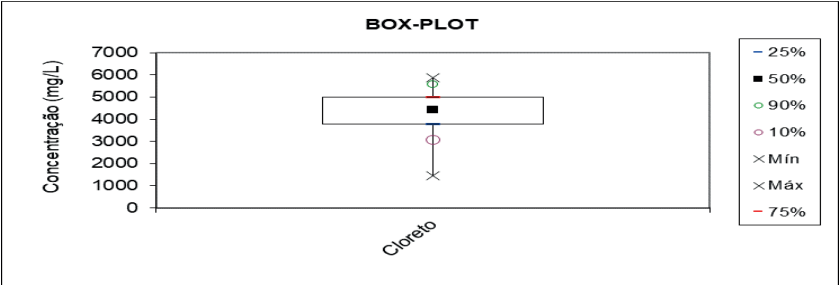


FONTE: O autor, 2023.

O gráfico apresentado na Figura 4 – Gráfico Boxplot com Resultados de DBO e DQO do Chorume Bruto do CTR-Rio para o Período Compreendido entre Janeiro e Dezembro de 2021 – mostra uma maior amplitude de variação dos resultados para

a DQO em relação à DBO, o que pode ser explicado, como acima mencionado, pela mistura de chorume de diferentes etapas de operação do aterro. O gráfico também indica que a faixa de maior concentração dos dados de DQO, entre 6.525 e 9770 mg/L é maior do que a relativa à DBO que está entre 2.490 e 4.195 mg/L.

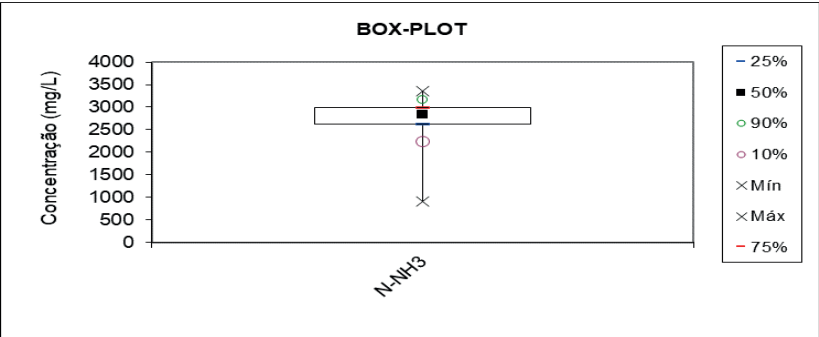
Figura 5 - Gráfico Boxplot com Resultados de Cloreto do Chorume Bruto do CTR-Rio para o Período Compreendido entre Janeiro e Dezembro de 2021.



FONTE: O autor, 2023.

O gráfico apresentado na Figura 5 – Gráfico Boxplot com Resultados de Cloreto do Chorume Bruto do CTR-Rio para o Período Compreendido entre Janeiro e Dezembro de 2021 – mostra a grande amplitude de variação nos resultados de cloreto para o chorume bruto, indicando que a maior parte dos dados se encontra entre 3.767 e 4.997 mg/L.

Figura 6. Gráfico Boxplot com Resultados de Nitrogênio Amoniacal do Chorume Bruto do CTR-Rio para o Período Compreendido entre Janeiro e Dezembro de 2021



FONTE: O autor, 2023.

O gráfico apresentado na Figura 6 – Gráfico Boxplot com Resultados de Nitrogênio Amoniacal do Chorume Bruto do CTR-Rio para o Período Compreendido entre Janeiro e Dezembro de 2021 – mostra a amplitude de variação nos resultados de nitrogênio amoniacal para o chorume bruto, indicando que a maior parte dos dados se encontra entre 2.617 e 2.982 mg/L, faixa de concentração que é bem acima dos limites aceitáveis para entrada do efluente nas Estações Interna e Externa de Tratamento do Chorume. A inexistência das lagoas de pré-tratamento do CTR-Rio, visando reduzir as concentrações de nitrogênio amoniacal do chorume antes da entrada da ETC, ocasionaria grandes impactos negativos para esta Unidade no sentido de reduzir significativamente sua capacidade efetiva de tratamento em termo de vazão. Além disso, a redução de concentração do nitrogênio amoniacal nas lagoas de pré-tratamento também é necessária para atendimento aos critérios de aceitação das Estações Externas de Tratamento no que se refere a este parâmetro.

Os resultados de caracterização físico-química demonstram que o chorume bruto do CTR possui altas concentrações de DQO, nitrogênio amoniacal e cloreto, sendo essas características encontradas em chorumes de outros aterros brasileiros. Além disso, a baixa relação DBO/DQO demonstra um chorume com baixa biodegradabilidade o que sugere a presença de substâncias recalcitrantes, ou seja, de difícil degradação biológica.

Neste sentido, a avaliação da eficiência de remoção das lagoas de pré-tratamento deve ser centrada nas concentrações de entrada e saída do nitrogênio amoniacal, visto que este parâmetro é o único cujas concentrações no chorume bruto são restritivas para encaminhar para as Estações de Tratamento Interna e Externa.

Os resultados das concentrações de nitrogênio amoniacal no chorume bruto e no pré-tratado foram compilados na Tabela 2 que apresenta a estatística descritiva para os parâmetros avaliados. Os dados referem-se às análises realizadas entre janeiro e dezembro de 2021.

Tabela 2 - Estatística descritiva para o parâmetro nitrogênio amoniacal do chorume na entrada e saída das lagoas de pré-tratamento e eficiência de remoção. Período monitoramento: março 2020 a julho 2022.

Estatística	Nitrogênio amoniacal ENTRADA	Nitrogênio amoniacal SAÍDA	Eficiência de remoção (%)
Número de dados	29	29	29
Média	2703	1512	42
Mínimo	1555	602	0
Máximo	4100	2000	79
Desvio padrão	561	353	17
Percentil 10%	1869	1183	26
Percentil 25%	2535	1347	33
Percentil 50%	2775	1543	41
Percentil 75%	3065	1735	52
Percentil 90%	3259	1972	58

FONTE: O autor, 2023. Observação: Os dados de nitrogênio amoniacal estão apresentados em mg/L. Número de dados e desvio padrão são adimensionais.

A totalidade dos dados compreendeu 29 amostras analisadas na entrada das lagoas de pré-tratamento e a mesma quantidade de amostras na saída.

No período avaliado, as concentrações de nitrogênio amoniacal variaram entre:

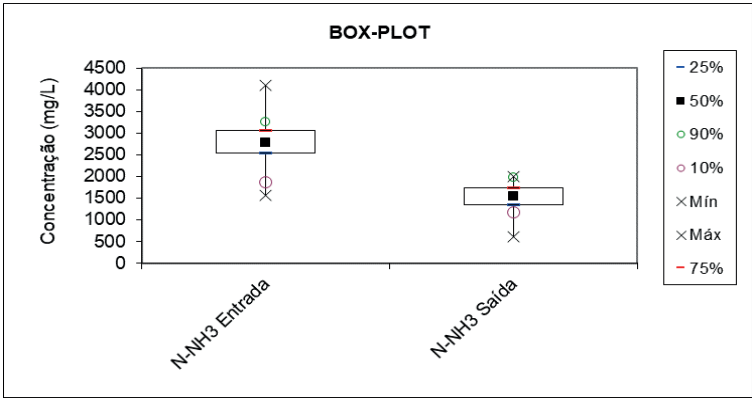
- Entrada do sistema de pré-tratamento: de 1.555 mg/L a 4.100 mg/L
- Saída do sistema de pré-tratamento: de 602 mg/L a 2.000 mg/L

A variação da eficiência de remoção do nitrogênio amoniacal ficou entre 0 e 79%, sendo que o período em que houve resultado de eficiência de 0% foi durante as chuvas, quando a concentração dos poluentes do chorume pode ser muito reduzida em função de alta pluviometria próxima à data da coleta do chorume bruto.

Nota-se também que, apesar da variação das concentrações de nitrogênio amoniacal na entrada e na saída, a faixa de oscilação dos resultados em cada uma das situações é diferente, sendo que a faixa dos dados de saída está nitidamente abaixo do que as de concentração de entrada.

As Figuras 7, 8 e 9 apresentam os gráficos boxplot para as concentrações nitrogênio amoniacal do chorume de entrada e saída da envoltória (lagoas de pré- tratamento) e para a eficiência global do sistema.

Figura 7 – Gráfico Boxplot com Resultados de Nitrogênio Amoniacal no Chorume Bruto e Pré-Tratado para o Período Compreendido entre Março/2020 e Julho/2022

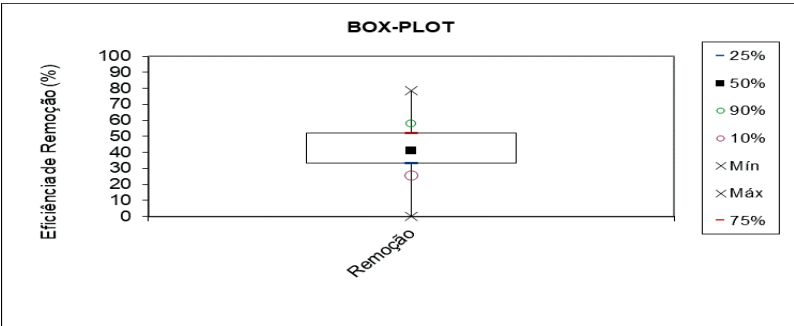


FONTE: O autor, 2023.

O gráfico da Figura 7 – Gráfico Boxplot com Resultados de Nitrogênio Amoniacal no Chorume Bruto e Pré-Tratado para o Período Compreendido entre Março/2020 e Julho/2022 – apresenta a variação dos resultados de N-NH<sub>3</sub> na entrada e na saída do sistema de pré-tratamento, indicando que a maior parte dos dados de entrada se encontra entre 2.535 e 3.065 mg/L e os de saída entre 1.347 e 1735 mg/L.

As diferenças nas concentrações antes e depois do sistema de pré- tratamento são notórias, denotando que o mesmo tem papel fundamental na adequação das concentrações de nitrogênio amoniacal no chorume bruto para permitir seu tratamento nas Estações Interna e Externa.

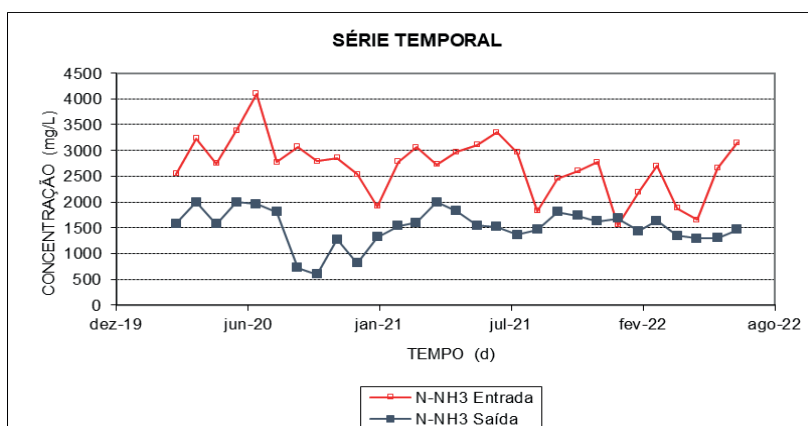
Figura 8 – Gráfico Boxplot com Resultados de Eficiência de Remoção do Nitrogênio Amoniacal no Sistema de Pré-Tratamento para o Período Compreendido entre Março/2020 e Julho/2022.



FONTE: O autor, 2023.

O gráfico da Figura 8 – Gráfico Boxplot com Resultados de Eficiência de Remoção do Nitrogênio Amoniacal no Sistema de Pré-Tratamento para o Período Compreendido entre Março/2020 e Julho/2022 – apresenta a variação dos resultados de eficiência de remoção do N-NH<sub>3</sub> para o sistema de pré-tratamento, indicando que a maior parte dos dados se encontra entre 33 e 52% de eficiência. Estes resultados corroboram com os anteriores e reforçam o papel de minimização da carga poluidora do chorume bruto, antes de sua entrada nas Estações de Tratamento Interna e Externa.

Figura 9 – Gráfico de Série Temporal para o Parâmetro Nitrogênio Amoniacal do Chorume na Entrada e Saída das Lagoas de Pré-Tratamento. Período de Monitoramento: Março de 2020 a Julho de 2022



FONTE: O autor, 2023.

A Figura 9 – Gráfico de Série Temporal para o Parâmetro Nitrogênio Amoniacal do Chorume na Entrada e Saída das Lagoas de Pré-Tratamento. Período de Monitoramento: Março de 2020 a Julho de 2022 – apresenta a série temporal dos resultados de concentração de nitrogênio amoniacal do chorume na entrada e na saída do sistema de pré-tratamento, demonstrando que ao longo de todo o período avaliado houve remoção da carga de nitrogênio amoniacal do efluente. A exceção refere-se ao mês de jan/2022, cuja eficiência foi nula (0%), o que já foi mencionado anteriormente no presente item.

Os resultados preliminares da lagoa de aerção, desenvolvido na Lagoa L5 estão consolidados no Quadro 1 a seguir. Os dados apresentam resultados de duas bateladas que foram acompanhadas de modo sequencial. Após finalizada a primeira batelada, houve esvaziamento de 1/3 do volume da lagoa de aerção e preenchimento com o mesmo volume de chorume bruto antes do início da segunda batelada. A caracterização dos parâmetros desta mistura está apresentada no Quadro 1.

Os resultados apresentados no Quadro 1 – Parâmetros de controle e resultados preliminares do monitoramento do sistema de aeração mostram que:

- Na primeira batelada o nitrogênio amoniacal apresentou concentração média inicial de 2.642,5 mg/L e alcançou, após 28 dias, uma concentração média de 2.037,5 mg/L, o que significa uma eficiência de redução da ordem de 23%.
- Ainda na primeira batelada, a concentração de DQO média inicial, que era de 10.022,5 mg/L, reduziu-se, após 28 dias, para 8.235 mg/L, o que significa uma eficiência de redução da ordem de 18%.
- Na segunda batelada o nitrogênio amoniacal apresentou concentração média inicial de 2.220 mg/L e chegou, após 11 dias, a uma concentração média de 2.145 mg/L, o que significa uma eficiência de redução da ordem de 3,4%.
- Também na segunda batelada, a concentração de DQO média inicial, que era de 9.845 mg/L, reduziu-se, após 11 dias, para 6.853 mg/L, o que significa uma eficiência de redução da ordem de 30,4%.

As diferenças nos percentuais de eficiência observados nas duas bateladas estão associadas principalmente aos tempos de duração das mesmas. A primeira batelada foi de 28 dias e a segunda de 11 dias. Pode-se notar, a partir do resultado da primeira batelada que a remoção do nitrogênio amoniacal ocorre de forma mais significativa a partir do dia 14, o que não pôde ser observado na batelada 2. Isso significa dizer que é provável que o tempo de residência mínimo do efluente na lagoa de aeração tenha que ser de cerca de 20-28 dias, quando as eficiências de remoção atingem patamares maiores do que 20% de remoção.

Como apresentado na Tabela 1, na faixa de pH em que o chorume bruto se encontrava na lagoa 5 (L5), pH 8.5-9, a remoção teórica máxima esperada para o nitrogênio amoniacal através de sua volatilização, seria de 24%. No entanto, a eficiência obtida na L5 foi de 23% em 28 dias, o que significa um resultado muito positivo para o processo. O que significa que atingiu praticamente o máximo que esta operação unitária permitiria.

Com relação à redução da DQO, esta deve estar associada à volatilização dos compostos orgânicos voláteis presentes no chorume bruto.

As oscilações nas eficiências do processo são um indicativo da importância da continuidade da avaliação do mesmo para melhor entendimento sobre seus potenciais e limitações. Além disso, é importante que se avalie o processo em condições diferentes de temperatura, já que este parâmetro também pode influenciar positivamente a remoção do nitrogênio amoniacal do chorume, ou seja, pode

reduzir o tempo necessário para a finalização da batelada. Entretanto, apesar da necessidade de continuar a avaliação, os resultados preliminares, obtidos na lagoa aerada demonstram que esse pode ser um pré- tratamento promissor na adequação das concentrações de nitrogênio amoniacal para posterior tratamento. Além disso, reduções nas concentrações de DQO também contribuem para a redução da carga orgânica enviada para a ETC e Estações Externas de tratamento.

A partir dos resultados apresentados é possível concluir que:

- O chorume bruto gerado no aterro sanitário do CTR-Rio apresenta grande variação nas concentrações dos poluentes mais relevantes para sua caracterização: DQO, DBO, cloreto, condutividade e nitrogênio amoniacal;
- A variabilidade encontrada no chorume bruto do CTR é condizente com as descritas na literatura para chorumes de outras localidades do país;
- Existem restrições de concentração de nitrogênio amoniacal na entrada das Estações Interna e Externa de Tratamento do Chorume, e as concentrações deste poluente no chorume bruto excedem, na maior parte do tempo, estes limites de restrição;
- Foi verificada a eficiência do sistema de pré-tratamento de chorume do CTR-RIO, o qual possui um papel fundamental na redução das concentrações de nitrogênio amoniacal do chorume bruto para que este possa ser tratado nas Estações Interna e Externa de tratamento;
- A análise dos resultados preliminares da lagoa de aeração indica que este processo contribuirá para a melhoria da eficiência das lagoas de pré-tratamento de chorume já existente no CTR. Entretanto, é importante o acompanhamento dos resultados de forma continuada e durante o período do verão para apuração dos parâmetros de controle e eficiência do processo.

Quadro 1 - Parâmetros de controle e resultados preliminares do monitoramento do sistema de aeração.

L 05 - Pré tratamento de chorume bruto									
Data da coleta	Nível	Ensaaios			Eficiência				
		N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	pH	T (°C)	DQO (mg/L)	Dias de acompanhamento	Nível		N-NH <sub>3</sub> (%)
Primeira Batelada									
25/08/2022	1 m	2490	8,36	23,5	7790	6	1 m	NA	NA
25/08/2022	2 m	2620	8,34		12790	6	2 m	NA	NA
25/08/2022	3 m	2670	8,31		10870	6	3 m	NA	NA
25/08/2022	4 m	2790	8,30		8640	6	4 m	NA	NA
31/08/2022	1 m	2480	8,61		8646	11	1 m	0,4%	-11,0%
31/08/2022	2 m	2610	8,59		8177	11	2 m	0,4%	36,1%
31/08/2022	3 m	2760	8,61		6488	11	3 m	-3,4%	40,3%
31/08/2022	4 m	2770	8,69		7928	11	4 m	0,7%	8,2%
05/09/2022	1 m	2150	8,65	23,8	8548	14	1 m	14%	-10%
05/09/2022	2 m	2250	8,54		6343	14	2 m	14%	50%
05/09/2022	3 m	2480	8,62		8315	14	3 m	7%	24%
05/09/2022	4 m	2660	8,64		10116	14	4 m	5%	-17%
08/09/2022	1 m	2080	8,68	23,6	6603	18	1 m	16%	15%
08/09/2022	2 m	2160	8,66		10085	18	2 m	18%	21%
08/09/2022	3 m	2200	8,64		6731	18	3 m	18%	38%
08/09/2022	4 m	2230	8,63		8459	18	4 m	20%	2%
12/09/2022	1 m	2060	8,76	24,4	7687	20	1 m	17%	1%
12/09/2022	2 m	2080	8,76		8726	20	2 m	21%	32%
12/09/2022	3 m	2090	8,75		9699	20	3 m	22%	11%
12/09/2022	4 m	2160	8,72		8295	20	4 m	23%	4%
14/09/2022	1 m	2030	8,79	24,5	9451	25	1 m	18%	-21%
14/09/2022	2 m	2030	8,79		9706	25	2 m	23%	24%
14/09/2022	3 m	2080	8,79		9836	25	3 m	22%	10%
14/09/2022	4 m	2090	8,8		9927	25	4 m	25%	-15%
19/09/2022	1 m	2000	8,81	23,7	8985	28	1 m	20%	-15%
19/09/2022	2 m	2030	8,8		8172	28	2 m	23%	36%
19/09/2022	3 m	2060	8,8		7853	28	3 m	23%	28%
19/09/2022	4 m	2060	8,79		7930	28	4 m	26%	8%
Segunda Batelada: Trocou-se cerca de 1/3 do volume da lagoa de aeração para avaliação de nova batelada.									
22/09/2022	1 m	2200	8,72	24,5	11040	0	1 m	NA	NA
22/09/2022	2 m	2210	8,69		11155	0	2 m	NA	NA
22/09/2022	3 m	2220	8,71		7263	0	3 m	NA	NA
22/09/2022	4 m	2250	8,74		9923	0	4 m	NA	NA
27/09/2022	1 m	1980	8,73	24,9	8711	5	1 m	10%	21%
27/09/2022	2 m	2010	8,67		7864	5	2 m	0%	30%
27/09/2022	3 m	2170	8,72		9086	5	3 m	2%	-25%
27/09/2022	4 m	2190	8,73		9578	5	4 m	3%	3%
04/10/2022	1 m	2110	8,63	24,8	6563	11	1 m	4%	41%
04/10/2022	2 m	2140	8,74		7128	11	2 m	3%	36%
04/10/2022	3 m	2160	8,66		6439	11	3 m	3%	11%
04/10/2022	4 m	2170	8,78		7281	11	4 m	4%	27%

FONTE: O autor, 2023.

## CONCLUSÕES

As lagoas de pré-tratamento recebem diferentes chorumes gerados pelos maciços (pelas células dos resíduos) e pôde-se notar quatro principais funções. Dito de outra forma, podem-se sublinhar quatro pilares das lagoas de pré-tratamento: Volatilização; Sedimentação; Equalização e a Biodegradação. A partir dos resultados é possível concluir:

- O chorume bruto gerado no aterro sanitário apresenta grande variação nas concentrações dos poluentes mais relevantes para sua caracterização: DQO, DBO, cloreto, condutividade e nitrogênio amoniacal;
- A variabilidade encontrada no chorume bruto é condizente com as descritas na literatura para chorumes de outras localidades do país;
- Existem restrições de concentração de nitrogênio amoniacal na entrada das Estações Interna e Externa de Tratamento do Chorume, e as concentrações deste poluente no chorume bruto excedem, na maior parte do tempo, estes limites de restrição;
- Foi verificada a eficiência do sistema de pré-tratamento de chorume, o qual possui um papel fundamental na redução das concentrações de nitrogênio amoniacal do chorume bruto para que este possa ser tratado nas Estações Interna e Externa de tratamento;
- A análise dos resultados preliminares da lagoa de aeração indica que este processo contribuirá para a melhoria da eficiência das lagoas de pré-tratamento de chorume já existente no CTR. Entretanto, é importante o acompanhamento dos resultados de forma continuada e durante o período do verão para apuração dos parâmetros de controle e eficiência do processo.

Em síntese, ficou claro e evidenciado, em termos qualitativos, a função de pré tratamento das lagoas, que não por outro motivo são designadas lagoas de pré tratamento.

As lagoas de pré-tratamento, como o nome sugere, são a primeira etapa do tratamento (ou pré-tratamento, como se usa designar) do chorume gerado da empresa. Os quatro pilares citados no texto são demandas atendidas nas lagoas de pré-tratamento: volatilização, sedimentação, equalização e biodegradação.

## REFERÊNCIAS

BASSANI, F. Monitoramento do lixiviado do aterro controlado de Maringá- Paraná e avaliação da tratabilidade com coagulantes naturais, radiação ultravioleta (UV) e ozônio. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá.

BILA, D. M; MONTALVÃO, A. F, SILVA, A. C; DEZOTTI, M. Ozonation of a landfill leachate: evaluation of toxicity removal and biodegradability improvement, Journal of Hazardous Materials, V 117 (2–3), p. 235-242, 2005.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. COORDENADOR. Resíduos Sólidos: Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Ênfase na Proteção de Corpos D'Água: Prevenção, Geração e Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários - PROSAB 5. Rio de Janeiro, ABES, 2006.

FERREIRA, J.A. et al. Tratamento Combinado de Lixiviados de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos com Esgoto Sanitário. IN: Gomes. L.P. COORDENADORA. Resíduos Sólidos: Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras - PROSAB 5. Rio de Janeiro, ABES, 2009.

LANGE, L. C.; Amaral, M.C.S. Geração e Características de Lixiviado. IN: Gomes. L.P. COORDENADORA. Resíduos Sólidos: Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras - PROSAB 5. Rio de Janeiro, ABES, 2009.

NASCENTES, A.L. Tratamento combinado de lixiviado (Tese). 2013. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

TCHOBANOGLOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S.A. Integrated solid waste management – engineering principles and management issues. New York: McGraw-Hill International Editions, 1993.



## TR A B A L H O 4

# ACESSO À INFORMAÇÃO SOBRE O DESCARTE DE MEDICAMENTOS ENTRE PROFISSIONAIS E USUÁRIOS DA ATENÇÃO PRIMÁRIA EM CEILÂNDIA, DISTRITO FEDERAL

Danielle Cristina Sá de Paiva

Gabriel Alvino Martins

Dayani Galato

Izabel Cristina Rodrigues da Silva

Micheline Marie Milward de Azevedo Meiners

Vanessa Resende Nogueira Cruvinel

**RESUMO:** O descarte inadequado de medicamentos representa risco à saúde pública e ao meio ambiente, sendo um desafio para os serviços de atenção primária. Este estudo analisou o acesso à informação sobre o descarte de resíduos da saúde entre profissionais e usuários da atenção primária em Unidades Básicas de Saúde de Ceilândia, Distrito Federal. Trata-se de um estudo transversal de abordagem quantitativa realizada com 758 usuários e 200 profissionais. A coleta de dados ocorreu por meio de entrevistas semiestruturadas, conduzidas presencialmente. Apenas 69,5% dos profissionais e 35,0% dos usuários afirmaram ter recebido informações sobre o descarte. A UBS foi a principal fonte de informação mencionada. Os achados apontam para a necessidade de fortalecer ações educativas e ampliar os meios de comunicação sobre o descarte correto de medicamentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Descarte de medicamentos; Resíduos de saúde; Atenção primária; Educação em saúde; Informação em saúde.

## INTRODUÇÃO

O descarte adequado de medicamentos é um tema de grande relevância para a saúde pública e para a preservação ambiental. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, preconiza a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos resíduos sólidos da saúde, incluindo a logística reversa, que estabelece a obrigatoriedade de retorno dos medicamentos descartados à sistemas de coleta apropriados [1].

Nos últimos dez anos, o aumento na comercialização de medicamentos tem contribuído para ampliar o acesso da população a medicamentos. Entretanto, o descarte adequado dos resíduos gerados ainda recebe pouca atenção, o que pode resultar em impactos negativos tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana [2]. De acordo com dados do Conselho Federal de Farmácia (CFF), aproximadamente 14 mil toneladas de medicamentos vencem anualmente sem terem sido consumidos. Uma parcela significativa desse volume é descartada de maneira incorreta, sem seguir as orientações adequadas de descarte [3].

Diante desse cenário, o acesso à informação sobre o descarte correto de medicamentos torna-se um elemento fundamental para a promoção de práticas seguras e sustentáveis. Tanto usuários quanto profissionais da atenção primária desempenham papéis importantes nesse processo, seja como agentes de orientação, seja como responsáveis pelo descarte correto dos medicamentos. Compreender como essas informações são disseminadas no contexto dos serviços de saúde é essencial para subsidiar políticas públicas mais eficazes e estratégias educativas direcionadas.

## OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo analisar o acesso à informação sobre o descarte de medicamentos entre profissionais e usuários da atenção primária, com ênfase na identificação das fontes de informação mencionadas pelos participantes e na comparação entre os dois grupos.

## METODOLOGIA

Este é um estudo de abordagem quantitativa. A coleta de dados se dará por meio de um questionário semiestruturado anteriormente validado. As entrevistas foram realizadas em Unidades Básicas de Saúde (UBS) da Região Administrativa de Ceilândia, no Distrito Federal entre os meses janeiro e junho do ano de 2025.

O público-alvo do estudo foi composto por usuários e profissionais da atenção primária à saúde da Região Administrativa da Ceilândia, região mais populosa do Distrito Federal. Para os usuários, os critérios de inclusão foram: ter idade igual ou superior a 18 anos e estar disponível no dia e horário agendado para a entrevista presencial. Quanto aos profissionais de saúde, os critérios de inclusão foram: ter 18 anos ou mais, ser servidor da Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal (SES/DF) e atuar em alguma das UBS sorteadas para a pesquisa. O critério de exclusão aplicado a ambos os grupos foi a desistência de responder à entrevista durante sua realização.

Para a definição da amostra de UBS considerou-se que há 18 Unidades Básicas de Saúde na Ceilândia - DF. Foram sorteadas 4 unidades para participar do estudo, sendo uma de cada região da Ceilândia (Norte, Sul, Leste e Oeste). Para a estimativa do número de usuários, considerou-se que cerca de 5.400 pessoas são atendidas diariamente na atenção primária da Ceilândia - DF e 952 profissionais de saúde atuam neste nível de atenção. Considerando o nível de confiança de 95% e frequência esperada de 50%, 359 usuários e 274 profissionais deveriam participar do estudo.

As entrevistas foram aplicadas por membros da equipe do projeto, os quais passaram por treinamento e calibração prévios, a fim de assegurar a padronização na coleta dos dados.

Os dados quantitativos foram analisados com o auxílio do software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Faculdade de Ciência e Tecnologia em Saúde (FTCTS) da Universidade de Brasília, sob o parecer nº 6.700.765, e a participação dos entrevistados ocorreu mediante assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Participaram da etapa quantitativa do estudo 200 profissionais de saúde (73% da amostra mínima) e 758 usuários e da atenção primária à saúde atingindo mais de duas vezes o valor mínimo da amostra (Tabela 1).

Tabela 1: Acesso à informação do descarte de medicamentos por parte dos profissionais e usuários da Unidade Básica de Saúde

		Público				P
		Usuários		Profissionais		
		N	%	N	%	
Já teve informação	Sim	265	35,0%	139	69,5%	<0,001*
	Não	493	65,0%	61	30,5%	

\*. A estatística qui-quadrado é significativa no nível ,05.

Fonte: Autoria própria.

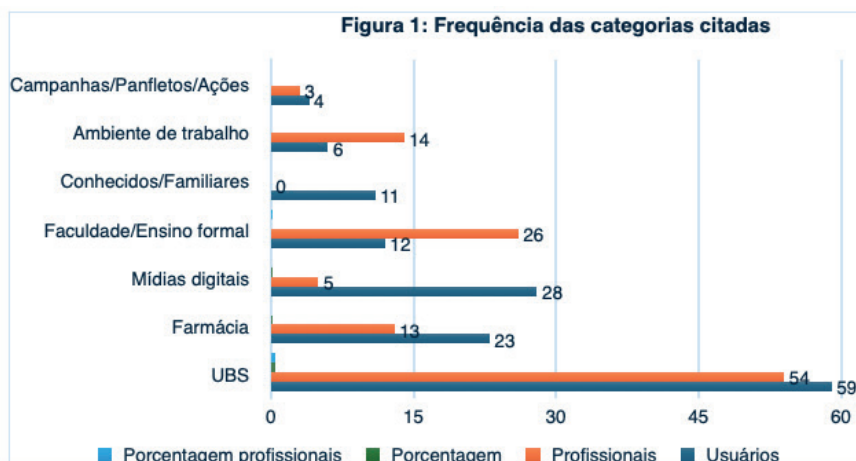
Entre os participantes, 139 (69,5%) dos profissionais e 265 (35,0%) usuários declararam já ter recebido alguma informação sobre o descarte de medicamentos. A associação entre o tipo de público e o recebimento de informação foi testada por meio do teste qui-quadrado de Pearson, cujo resultado foi estatisticamente significativo ( $\chi^2 = 77,412$ ; gl = 1;  $p < 0,001$ ).

Por meio da codificação e categorização das unidades de registro, emergiram seis categorias temáticas, representando diferentes contextos e fontes de aprendizado relatados pelos participantes.

- I **Unidade Básica de Saúde (UBS):** Esta categoria representa os profissionais que indicaram a UBS como principal local onde receberam informações sobre o descarte de medicamentos. Trata-se do espaço mais frequentemente citado. Os códigos identificados incluem: “UBS”, “Unidade Básica de Saúde”, “posto de saúde” e “na UBS”.
- I **Faculdade / Ensino formal:** Essa categoria refere-se às respostas que apontam a formação acadêmica como fonte de informação sobre o descarte de medicamentos. Foram registradas mais de vinte ocorrências, incluindo menções a cursos técnicos, de graduação e projetos universitários. Os códigos associados são: “faculdade”, “curso técnico”, “projeto da faculdade” e “curso”.
- I **Ambiente de trabalho:** Inclui os relatos que mencionam o exercício profissional como momento de aprendizado sobre o descarte, fora dos contextos formais de ensino. Os códigos compreendem: “trabalho”, “ambiente hospitalar” e “Secretaria de Saúde”.
- I **Farmácia:** Nesta categoria foram agrupadas as respostas que indicam a farmácia como local de orientação sobre o descarte adequado de medicamentos. O código incluído é: “farmácia”.

- I **Mídias digitais e tradicionais:** Reúne os profissionais que declararam ter recebido informações por meio de canais de comunicação, como internet, redes sociais e televisão. Os códigos identificados são: “internet”, “rede social” e “TV”.
- I **Campanhas e ações coletivas:** Esta categoria inclui as respostas que citam campanhas institucionais ou comunitárias como fontes de informação. Os códigos utilizados foram: “campanha” e “pontos de coleta”.
- I **Conhecidos/Familiares:** Essa categoria abrange conhecimento transmitido por pessoas próximas, como familiares, amigos ou profissionais de saúde. Destaca o papel da rede interpessoal na comunicação de práticas corretas. Os códigos utilizados foram: “filha”, “esposa”, “irmão”, “familiares”, “amigos”, “colega”, “alguém comentou” e “diálogos casuais”.

Figura 1: Frequência das categorias citadas pelos profissionais da saúde e usuários da atenção primária.



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados evidenciam uma discrepância significativa no acesso à informação sobre o descarte de medicamentos entre os dois grupos. Essa diferença estatisticamente significativa indica que, embora os profissionais de saúde estejam mais expostos a informações técnicas e institucionais, ainda há uma lacuna expressiva na disseminação desse conhecimento à população usuária da atenção primária. A análise descritiva complementa esse achado ao revelar que a Unidade Básica de Saúde (UBS) é o principal espaço de aprendizado para os profissionais, seguida por contextos formais de ensino, ambientes de trabalho e, em menor escala, mídias e campanhas coletivas. A baixa menção a canais de comunicação por parte dos usuários sugere que estratégias informativas mais acessíveis e diversificadas precisam ser fortalecidas.

Os resultados deste estudo mostram uma porcentagem ligeiramente maior de participantes que receberam informações sobre o descarte de medicamentos, em comparação a outro estudo também realizado no Distrito Federal. Enquanto nosso levantamento identificou que 65% dos usuários relataram **não** ter recebido orientação sobre o tema, Ramos et al. observaram que 80,7% dos participantes nunca haviam recebido esse tipo de informação [4]. Essa diferença pode estar relacionada ao fato de nossa pesquisa ter sido conduzida diretamente com usuários da atenção primária, no ambiente das Unidades Básicas de Saúde (UBS), o que pode ter favorecido um maior acesso à informação. No entanto, ressalta-se que a maioria dos usuários ainda não foi adequadamente informada sobre o descarte correto de medicamentos, evidenciando uma importante lacuna a ser enfrentada por meio de políticas públicas e estratégias de educação em saúde.

## CONCLUSÃO

O presente estudo mostrou que o acesso à informação sobre o descarte de resíduos da saúde entre profissionais e usuários da atenção primária é bem limitado. Os resultados quantitativos evidenciaram uma diferença significativa entre os dois grupos. Essa diferença já era esperada, considerando que os profissionais de saúde, devido à formação acadêmica e à prática profissional na área, tendem a ter maior acesso e conhecimento sobre o tema. No entanto, ressalta-se que a maioria desses profissionais indicou a UBS – seu próprio ambiente de trabalho – como principal fonte de informação, e não o espaço de formação acadêmica, o que pode apontar para lacunas no ensino formal relacionadas ao descarte adequado de medicamentos.

Observou-se que apenas 35,0% dos usuários relataram ter recebido informações sobre o descarte correto de medicamentos, evidenciando um número reduzido de indivíduos alcançados por essas orientações. Além disso, constatou-se uma escassez de meios informativos diversificados, com predominância da Unidade Básica de Saúde (UBS) como principal canal de comunicação. Outras fontes, como mídias, campanhas públicas, farmácias e instituições de ensino, foram mencionadas de forma esporádica, o que revela fragilidades na estratégia de comunicação voltada à população. Esses achados indicam que, embora as UBS exerçam um papel central na disseminação de informações sobre o descarte de medicamentos, o alcance dessa comunicação ainda é limitado, especialmente entre os usuários dos serviços.

As implicações deste estudo reforçam a importância de integrar a temática do descarte de resíduos da saúde às rotinas educativas e assistenciais das UBS, bem como ampliar a utilização de canais de comunicação comunitária e digital para atingir um público mais amplo. Investir na capacitação de profissionais, na produção de materiais educativos acessíveis e na articulação de ações intersetoriais pode contribuir significativamente para a redução dos impactos ambientais e sanitários decorrentes do descarte inadequado de medicamentos.

## REFERÊNCIAS

- [1] Brasil. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União. 2010 ago 3;seção 1.
- [2] Constantino VM, Bezerra ACF, Miranda ES, Silveira CC, Nascimento AM. Estoque e descarte de medicamentos no domicílio: uma revisão sistemática. Cien Saude Colet. 2020;25(2):585–94.
- [3] Conselho Federal de Farmácia. Descarte de medicamentos pode ter logística reversa obrigatória [Internet]. Brasília: CFF; 2019 [citado 2025 jul 28]. Disponível em: <https://crf-rj.org.br/noticias/3647-descarte-de-medicamentos-pode-ter-logistica-reversa-obrigatoria.html>.
- [4] Ramos HMP, Cruvinel VRP, Meiners MMMA, Queiroz CA, Galato D. Descarte de medicamentos: uma reflexão sobre os possíveis riscos sanitários e ambientais. *Ambiente & Sociedade*. 2017;20(4):149-74. doi:10.1590/1809-4422asoc0295r1v2042017.



## TRABALHO 5

# ALOCAÇÃO ESTRATÉGICA E AMPLIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DOS PONTOS DE COLETA SELETIVA NO MUNICÍPIO DE NOVA IGUAÇU-RJ

Rebeca do Nascimento de Jesus

Diego Macedo Veneu

Felipe Sombra dos Santos

**RESUMO:** A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) é um dos principais desafios ambientais nas cidades brasileiras. Este trabalho teve como objetivo propor locais estratégicos para instalação de ecopontos em Nova Iguaçu (RJ), a partir de uma análise espacial multicriterial que integrou variáveis como densidade populacional e cobertura territorial, visando fortalecer a sustentabilidade da gestão de resíduos. A metodologia incluiu revisão bibliográfica, análise documental, observação em campo e uso do software QGIS. A sobreposição dos dados à malha urbana indicou baixa efetividade da coleta seletiva, que abrange apenas 0,14% do potencial reciclável. Assim, foram propostos sete novos ecopontos em áreas com descarte irregular, considerando densidade populacional e presença de equipamentos públicos. Tal proposta tem potencial de contribuir para a educação ambiental, a justiça espacial e a eficiência da gestão de resíduos sólidos urbanos.

**PALAVRAS-CHAVES:** Resíduos Sólidos Urbanos, Coleta Seletiva, Ecopontos, Nova Iguaçu e Geoprocessamento.

## INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) representa um dos principais desafios ambientais nas cidades brasileiras, agravado pelo aumento do consumo e pelas limitações na universalização dos serviços de saneamento (ABRELPE, 2022). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabeleceu diretrizes para o gerenciamento adequado dos resíduos, destacando a responsabilidade compartilhada entre os setores públicos e privado, e a inclusão de catadores no sistema formal (Lavnitck et al., 2018).

Embora tenha apresentado avanços significativos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) ainda enfrenta entraves para sua plena implementação, sobretudo no que se refere à consolidação de instrumentos como a logística reversa, os mecanismos de créditos de reciclagem e o engajamento efetivo do setor privado. Nesse contexto, os Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) surgem como estratégia relevante para o descarte de resíduos passíveis de serem reciclados, contribuindo com a redução da poluição ambiental (OICS, 2019; Viña, 2023).

Os PEVs e Locais de Entrega Voluntária (LEVs) são estruturas fundamentais para a gestão de resíduos recicláveis e de logística reversa, com atuação conjunta do setor público e privado, variando entre instalações de grande porte tecnicamente planejados (PEVs) e dispositivos menores em locais monitorados (LEVs). A eficácia dessas estruturas depende da acessibilidade, visibilidade e envolvimento da comunidade, como demonstrado por experiências internacionais bem-sucedidas. No Brasil, entretanto, ainda enfrenta-se desafios relacionados à cobertura, gestão e conscientização, embora haja potencial de ampliação por meio de políticas públicas integradas, iniciativas privadas e educação ambiental contínua.

A eficácia dos PEVs está diretamente relacionada à sua localização estratégica, acessibilidade e à conscientização da população sobre sua importância (Severino et al., 2024). Modelos que utilizam Sistemas de Informações Geográficas (SIG), auxiliam na definição otimizada desses pontos, alinhando-os às diretrizes da PNRS e promovendo a participação social (De Oliveira & Paschoalin Filho, 2016). No entanto, ações voltadas à melhoria da RSU ainda são pouco difundidas entre os municípios, devido à ausência de políticas públicas específicas e ao planejamento urbano limitado, mesmo quando há incentivos promovidos pelas administrações municipais (Reijonen et al., 2021).

O município de Nova Iguaçu, localizado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, possui uma população estimada em 843.046 habitantes (IBGE, 2024). A atual cidade passa por um processo de adensamento urbano acelerado, especialmente em sua região central. Esse crescimento populacional e urbano intenso levanta preocupações quanto à capacidade do município e do Estado de atender às demandas por infraestrutura básica e serviços essenciais.

## OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é propor locais estratégicos para instalação de pontos de coleta seletiva (ecopontos), com base em uma análise espacial multicriterial, integrando fatores como densidade populacional e cobertura territorial, visando fortalecer a sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos no município de Nova Iguaçu, no Rio de Janeiro.

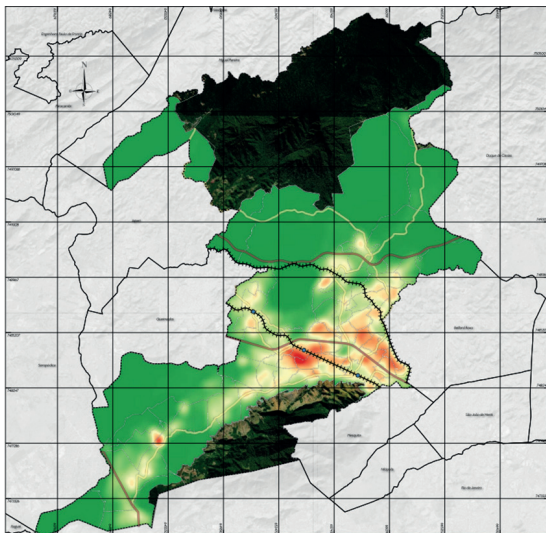
## METODOLOGIA

A metodologia adotada para a obtenção dos dados referentes à localização dos ecopontos, bem como às quantidades de resíduos sólidos urbanos (RSU) e resíduos recicláveis no município de Nova Iguaçu-RJ, fundamentou-se em revisão bibliográfica, análise documental e observação direta em campo.

### Caracterização da Área de Estudos

O município de Nova Iguaçu, localizado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, possui uma população estimada de 843.046 habitantes (IBGE, 2024) e uma área territorial de aproximadamente 520,58 km<sup>2</sup>, resultando em uma densidade demográfica de 1.509,60 hab.km<sup>-2</sup> (Censo de 2022). No entanto, essa densidade não é homogênea ao longo do território. De acordo com o mapa do Plano Diretor do Município, conforme a Figura 1, há uma forte concentração populacional nas regiões centrais, especialmente nas Unidades Regionais de Governo (URGs) do Centro, Comendador Soares, Posse e Austin, onde os níveis de urbanização e infraestrutura são mais consolidados. Por outro lado, as URGs mais periféricas, como Tinguá e Cabuçu, apresentam menor densidade e maiores áreas de preservação ambiental ou ocupações dispersas, evidenciando um padrão concêntrico e desigual de ocupação do solo.

**Figura 1** – Mapa ilustrando a densidade populacional no Plano Diretor de Nova Iguaçu



Fonte: Prefeitura de Nova Iguaçu-RJ, 2023.

A prefeitura de Nova Iguaçu é responsável pela coleta regular de resíduos sólidos urbanos. Segundo dados do Sistema Nacional de Saneamento Básico (SNIS), no ano de 2020 aproximadamente 99,31% da população urbana foram atendidos com esse serviço, correspondendo ao volume de estimado de 921,45 toneladas por dia (t.d<sup>-1</sup>) que foram destinados a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Nova Iguaçu (CTR-NI).

## Procedimento Metodológico

A avaliação quantitativa envolve o mapeamento dos PEVs com apoio da Prefeitura e com uso de ferramentas de geoprocessamento, através do software **QGIS**. Após o mapeamento, foi realizada a análise de cobertura e a priorização de expansão com base em critérios socioeconômicos, extraídos do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) de Nova Iguaçu, instituído pelo Decreto Municipal nº 12.131, de 17 de novembro de 2020.

Além disso, foi realizada a análise gravimétrica, que determina a composição do lixo pela massa de cada tipo de material dos PEVs na gestão de resíduos. Essa análise considerou, como indicadores principais, a proporção de recicláveis presentes nos resíduos sólidos urbanos (RSU), o que possibilita compreender o potencial de reaproveitamento dos materiais, bem como os padrões de descarte e as falhas na infraestrutura existente, elementos que permitem identificar pontos críticos e direcionar ações de melhoria na gestão dos resíduos.

A eficiência da coleta seletiva foi avaliada considerando a adesão da população e o reaproveitamento dos resíduos. Já a eficiência operacional foi analisada a partir da localização dos PEVs e da frequência de coleta, garantindo funcionalidade e acessibilidade ao sistema.

## Mapeamento dos PEVs

Atualmente, o município de Nova Iguaçu conta com cinco Ecopontos em funcionamento, distribuídos em diferentes regiões da cidade. Dentre esses, dois são de gestão municipal. Os demais locais são de iniciativa privada, conforme podem ser observados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Ecopontos existentes no Município de Nova Iguaçu-RJ.

PEV	ENDEREÇO	RESÍDUOS
Austin	Rua Fluminense, 78 - Austin	Papel/papelão, plástico/pet, metal, vidro, óleo de cozinha, bitucas de cigarro, lâmpadas e pneus.
APA Tinguazinho (Área Rural)	CIEP Municipalizado 216 – Prefeito Juarez Antunes – Rua Emilia Diniz, S/N, Corumbá.	Papel/papelão, plástico/pet, metal e vidro.
Light Recicla	Rua Joaquim Soares Neto, 1372 – Nova América.	Plástico, papel, metal, vidro e óleo vegetal
SESC Nova Iguaçu	Rua Dom Adriano Hipólito, 10 - Moquetá.	Plástico, papel, metal e vidro
Shopping Nova Iguaçu	Avenida Abílio Augusto Távora, 1111 - Luz	Plástico, papel, metal, vidro, óleo de cozinha, pilhas e baterias, cápsulas de café

**Fonte:** Nova Iguaçu, 2010.

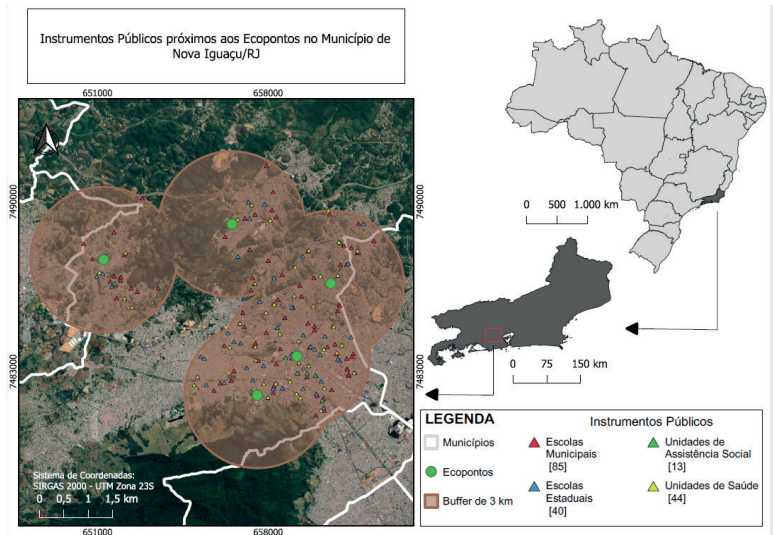
Com base nos endereços da Tabela 1, dos endereços acima, foi possível utilizar um Sistema de Informação Geográfica (SIG), visando apoiar o planejamento e a gestão de resíduos sólidos urbanos.

Essa análise permite verificar o quantitativo de residências que estão situadas dentro da área de atendimento direta de cada Ecoponto e identificar as zonas com possíveis *déficits* de cobertura desse tipo de serviço.

## RESULTADOS

Com base na análise espacial conduzida por meio do software QGIS, foi elaborado um mapa temático (Figura 2), que representa a delimitação do território municipal, com a localização dos ecopontos atualmente existentes e a definição de buffers de 3,0 km ao redor desses equipamentos, indicativos de suas áreas potenciais de influência direta. A sobreposição dos buffers com a malha urbana permitiu verificar a distribuição de instrumentos públicos essenciais, como escolas municipais e estaduais, unidades de saúde e de assistência social, revelando zonas com maior ou menor cobertura desses serviços.

**Figura 2** - Análise espacial da cobertura dos Ecopontos existentes em Nova Iguaçu-RJ.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025), a partir da análise realizada no software QGIS.

A Tabela 2 possibilitou quantificar e avaliar a densidade dos equipamentos por região administrativa, revelando que o Centro apresenta população estimada de 45.000 habitantes, elevada oferta de serviços públicos e está totalmente inserido no buffer de influência dos ecopontos. Já Austin, que concentra a maior população (60.000 habitantes) e o maior número de escolas municipais (10), não está inserida no buffer, evidenciando um déficit de cobertura. Por sua vez, Comendador Soares, com população estimada de 38.000 habitantes, encontra-se apenas parcialmente contemplada pelos ecopontos.

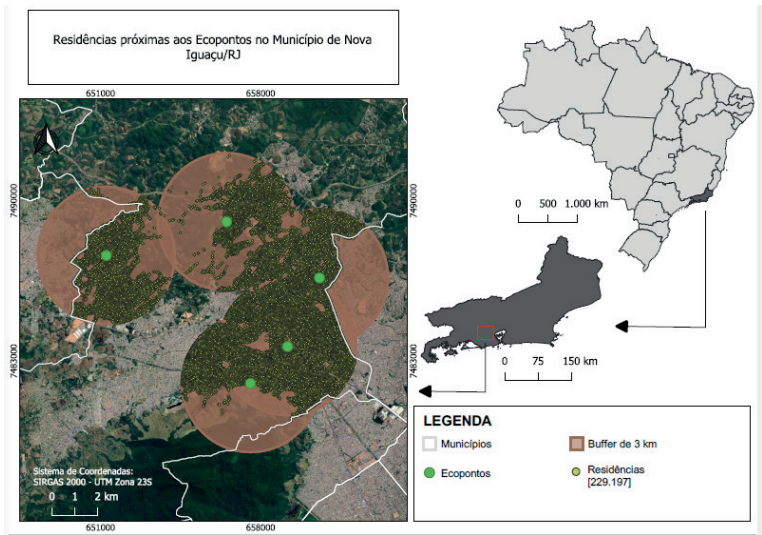
**Tabela 2** - Distribuição e densidade de serviços públicos essenciais por região administrativa em Nova Iguaçu-RJ, em relação à área de influência dos Ecopontos existentes.

Região Administrativa	População Estimada	Escolas Municipais	Escolas Estaduais	Unidades de Saúde	Unidades de Assistência	Buffer inserido nos Ecopontos
Centro	45.000	8	3	6	2	Sim
Austin	60.000	10	4	5	3	Não
Comendador Soares	38.000	5	2	3	1	Parcialmente

**Fonte:** Elaboração Própria, 2025.

No segundo mapa (Figura 3), verificou-se que setores com elevada concentração de domicílios encontram-se fora da área de influência dos ecopontos existentes, indicando zonas de baixa acessibilidade ao serviço e revelando lacunas no atendimento da coleta seletiva.

**Figura 3 -** Residências próximas aos EcoPontos no Município de Nova Iguaçu-RJ



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025), pela análise realizada no software QGIS.

A Tabela 3 apresenta um comparativo entre o crescimento populacional e a geração de resíduos potencialmente recicláveis. Observou-se aumento no número de domicílios (de 221.846 para 281.672) e elevação da geração per capita de resíduos (de 0,82 para 1,09 kg/hab/dia), resultando em potencial de 8.845,92 t/mês de recicláveis.

**Tabela 3 –** Parâmetros de Dimensionamento da Coleta Seletiva

Parâmetros	Quantitativo		Unidade	Observações
	2017	2022		
População Residente	798.647	785.867	Habitantes	Estimativa IBGE
Habitantes por Domicílio	3,60	2,79	Habitantes. domicílio <sup>-1</sup>	Estimativa IBGE
Quantidade Total de Domicílios	221.846	281.672	Domicílios	Estimativa IBGE
Estimativas de Domicílios Atendidos	887,38	1.040	Domicílios	0,4% do total de domicílios

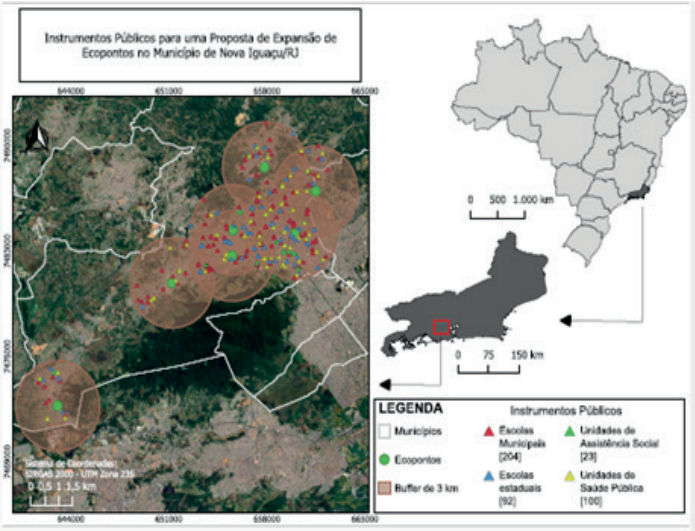
Frequência de Atendimento da Coleta Seletiva	4	4	dias.mês <sup>-1</sup>	Coleta realizada 1 vez por semana
Coleta Domiciliar Total	19.576,00	27.643,50	t.mês <sup>-1</sup>	Considerada a geração média no ano
Geração Per Capita por Habitantes	0,82	1,09	kg.habitante <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup>	-
Geração Diária Por Domicílio	2,94	3,54	kg.domicílio <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup>	-
Geração Mensal por Domicílio	88,24	106,32	kg.domicílio <sup>-1</sup> .mês <sup>-1</sup>	-
Percentual de Resíduos Potencialmente Recicláveis por Domicílio	32	32	%	Análise Gravimétrica
Média Mensal de Resíduos Potencialmente Recicláveis por Domicílio	28,24	34,02	kg recicláveis.domicílio <sup>-1</sup> .mês <sup>-1</sup>	-
Perspectiva de Coleta de Resíduos Potencialmente Recicláveis	6.264,32	8.845,92	t.mês <sup>-1</sup>	-

**Fonte:** Elaboração Própria.

Entretanto, os dados oficiais revelaram que apenas 11,98 t/mês foram efetivamente coletados em 2022, correspondendo a 0,14% do potencial total, com cobertura de apenas 0,4% dos domicílios.

Foram identificados sete locais com recorrência de descarte irregular de resíduos, os quais foram considerados potenciais para a instalação de novos ecopontos. A análise espacial multicriterial (Figura 4) resultou na proposta de expansão da rede, assegurando representatividade em todas as URGs.

**Figura 4** – Proposta de Expansão de Ecopontos para o Município de Nova Iguaçu-RJ.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025), a partir da análise realizada no software QGIS.

A Tabela 3 mostra que o cenário proposto ampliaria significativamente a presença de instrumentos públicos próximos aos ecopontos, passando de 85 para 204 escolas municipais, de 40 para 92 escolas estaduais, de 44 para 100 unidades de saúde e de 13 para 23 unidades de assistência.

**Tabela 3** – Comparativo do Cenário Real com o Cenário Proposto.

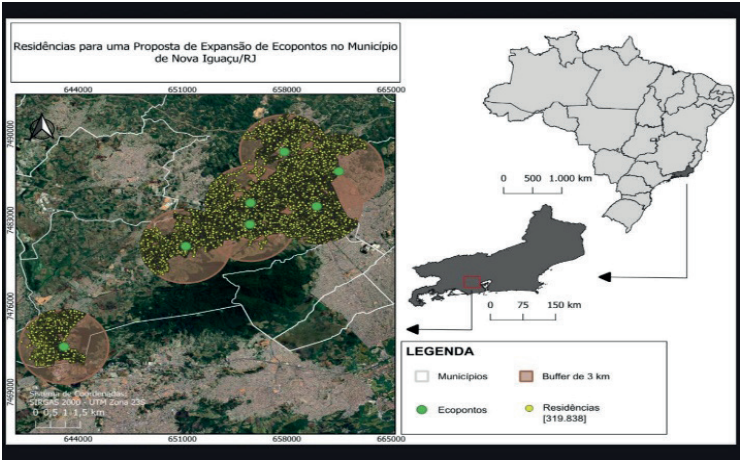
Instrumento Público	Cenário Estimada	
	Real / Existente	Proposta
Escolas Municipais	85	204
Escolas Estaduais	40	92
Unidades de Saúde	44	100
Unidades de Assistência	13	23

**Fonte:** Elaboração Própria.

A comparação entre os dois cenários ressalta a importância de integrar critérios territoriais, sociais e ambientais no planejamento da coleta seletiva, superando o modelo concentrado atual e promovendo uma lógica de justiça espacial e acesso equitativo aos serviços públicos.

A Figura 5 mostra uma proposta de expansão de Ecopontos no município de Nova Iguaçu (RJ), com foco na distribuição espacial das residências (total de 319.838 habitações) e a área de influência (buffer de 3,0 km) ao redor de cada Ecoponto proposto, a utilização de ferramentas de geoprocessamento, como o QGIS, auxiliou na identificação de habitações atendidas por essa proposta.

**Figura 5** – Habitações Atendidas com a Proposta de Expansão de Ecopontos no Município de Nova Iguaçu/RJ.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2025), pela análise realizada no software QGIS.

Por fim, a estimativa de receita mensal com a comercialização dos recicláveis alcança aproximadamente R\$ 3,7 milhões, destacando o potencial econômico da ampliação da coleta seletiva no município (Tabela 4).

**Tabela 4** – Estimativa do Volume Mensal de Materiais Recicláveis e Receita Potencial Associada.

Material	Proporção (%)	Quantidade (ton)	Valor Médio (R\$.ton <sup>-1</sup> )	Receita Estimada (R\$.mês <sup>-1</sup> )
Papel/papelão	28%	2.476,86	R\$ 500,00	R\$1.238.428,80
Plásticos Diversos	22%	1.946,10	R\$ 800,00	R\$1.556.881,92
Metais (ferro e alumínio)	8%	707,67	R\$ 1.100,00	R\$778.440,96
Vidro	10%	884,59	R\$ 100,00	R\$88.459,20
Outro	4%	353,84	R\$ 150,00	R\$53.075,52
<b>Total:</b>				R\$3.715.286,40

**Fonte:** Elaboração Própria.

Parte dessa receita pode ser direcionada às cooperativas de catadores, fortalecendo a inclusão socioeconômica e a cadeia de reciclagem. Além disso, a redução do volume de resíduos enviados a aterros gera economia aos cofres públicos, considerando o custo médio de R\$ 32,81 por tonelada de aterramento (PGIRS-NI, 2020).

Adicionalmente, o aumento nos índices de recuperação de recicláveis contribui para melhorar a pontuação do ICMS Ecológico, ampliando os repasses financeiros ao município. De forma crítica, esses resultados evidenciam que a expansão da coleta seletiva gera benefícios integrados de ordem econômica, social e ambiental, consolidando-se como estratégia essencial para a gestão sustentável de resíduos.

Nesse contexto, os resultados também se alinham aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, especialmente ao ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), ao ODS 12 (Consumo e produção responsáveis) e ao ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima), reforçando a importância da coleta seletiva como instrumento para promover cidades mais inclusivas, reduzir impactos ambientais e contribuir para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa associadas ao descarte inadequado de resíduos.

## CONCLUSÕES

A análise realizada demonstrou que a proposta de expansão da rede de Ecopontos em Nova Iguaçu/RJ pode representar um avanço importante para a equidade territorial e para a eficiência da gestão de resíduos sólidos urbanos. O cenário atual apresenta cobertura restrita, deixando lacunas significativas, sobretudo em áreas periféricas que concentram elevada densidade populacional e serviços públicos.

Apesar do grande potencial de geração de recicláveis, a coleta seletiva ainda apresenta baixa efetividade, atendendo a uma parcela mínima da população. Essa limitação reforça a necessidade de melhorias estruturais e de ações educativas que incentivem a participação da comunidade, fortaleçam as cooperativas de catadores e ampliem os canais de destinação adequada de resíduos.

A instalação estratégica de novos Ecopontos, principalmente em locais com descarte irregular, surge como medida prioritária. Essa iniciativa amplia a cobertura territorial, reduz os impactos ambientais da disposição inadequada e melhora a eficiência da gestão municipal.

Além disso, a valorização dos materiais recicláveis representa uma oportunidade de receita estimada em cerca de R\$ 3,7 milhões por mês, parte da qual pode ser direcionada às cooperativas, promovendo inclusão socioeconômica e fortalecendo

a economia circular. A redução do volume de resíduos enviados aos aterros gera economia direta aos cofres públicos, prolonga a vida útil dessas estruturas e pode aumentar os repasses do ICMS Ecológico. O cenário proposto foi construído com critérios técnicos e geoespaciais, utilizando ferramentas como o QGIS, que permitiram identificar sete áreas prioritárias para novos Ecopontos.

Ademais, ações contínuas de educação ambiental são essenciais. Nesse contexto, os resultados também se alinham aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, especialmente ao ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), ao ODS 12 (Consumo e produção responsáveis) e ao ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima). A expansão da coleta seletiva reforça a importância dessa prática como instrumento para promover cidades mais inclusivas, reduzir os impactos ambientais e contribuir para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa associadas ao descarte inadequado de resíduos.

## REFERENCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2022. São Paulo: ABRELPE, 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br>. Acesso em: 22 jun. 2025.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo: CEMPRE, 2023. Disponível em: <https://cempre.org.br>. Acesso em: 25 jun. 2025.

DE OLIVEIRA, R. B., & PASCHOALIN FILHO, J. A. (2016). Mapa interativo para a localização de pontos de entrega voluntária de resíduos recicláveis na cidade de São Paulo. Revista Exacta, 14(2), 163–172. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v14n2.6169>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Base de informações do Censo Demográfico 2010: resultados do universo por setor censitário – Nova Iguaçu/RJ. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Arquivos digitais (malha e dados tabulares). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/>. Acesso em: 21 jun. 2025.

LAVNITCKI, L.; BAUM, C.A.; BECEGATO, V.A. 2018. Política Nacional dos Resíduos Sólidos: abordagem da problemática no Brasil e a situação na região sul. Ambiente & Educação, v. 23, n. 3, p. 379-401. DOI: 10.14295/ambeduc.v23i3.7783.

NOVA IGUAÇU (Município). Decreto nº 12.131, de 10 de novembro de 2020. Institui o Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos – PGIRS do Município de Nova Iguaçu-RJ. Diário Oficial do Município de Nova Iguaçu, Nova Iguaçu, RJ, 18 nov. 2020.

OICS - Observatório de Inovação para Cidades Sustentáveis. (s.d.). Pontos de Entrega Voluntária (PEV) de Resíduos. Disponível em: [https://oics.cgее.org.br/solucoes/pontos-de-entrega-voluntaria-pev-de-residuos\\_5ed02088c4d8c6461bb4ea39](https://oics.cgее.org.br/solucoes/pontos-de-entrega-voluntaria-pev-de-residuos_5ed02088c4d8c6461bb4ea39)

REIJONEN, J., BJÖRKSTRAND, R., RIIPINEN, T., QUE, Z., METSÄ-KORTELAINEN, S., & SALMI, M. (2021). Cross-testing laser powder bed fusion production machines and powders: Variability in mechanical properties of heat-treated 316L stainless steel. *Materials & Design*, 204, 109684. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109684>

SEVERINO, D. J. T.; GOMES, V.; DA MOTTA, O. J. R.; GOMES, A.; GOMES, G.; GOMES, D.; GOMES L. H.; BARBOSA, R.S.; SOUZA, E.V. Ponto de entrega voluntária como coleta seletiva: Educação ambiental, ecologia profunda e (BIO)ética para todos os seres. I Seven International Education Congress, 2024.

VINÃ, F. S.; KIPPER, L. M.; MORAIS, J. A. R. Contribuição dos pontos de entrega voluntária como instrumento para o fortalecimento da gestão municipal e práticas de coleta seletiva: uma análise bibliométrica. *Exacta*, 2023, ed. 4, v. 21, p. 970-992.



## TRABALHO 6

# ANÁLISE DO IMPACTO DAS TAXAS DE SANEAMENTO BÁSICO URBANO NA QUALIDADE DE UM CORPO HÍDRICO DO MUNICÍPIO DE BARBACENA-MG

Maria Alice dos Santos Alves

Antonia Samylla Oliveira Almeida

Cláudia Dias de Sá

Eduardo Sales Machado Borges

Thayná Gonçalves Machado

**RESUMO:** O presente estudo tem como objetivo avaliar o impacto das taxas de saneamento básico sobre a qualidade da água do Córrego da Benta, localizado na área urbana do município de Barbacena-MG. O município apresenta cobertura deficiente em relação à coleta e ao tratamento de esgoto, estimada em 50,82%, sendo que apenas 31,31% do volume coletado é submetido a tratamento adequado antes de ser descartado nos corpos hídricos. Essa situação compromete significativamente a qualidade ambiental, representando um risco à saúde pública. A pesquisa foi conduzida entre abril de 2024 e março de 2025, com o monitoramento de nove parâmetros necessários para o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA), conforme metodologia adotada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Os dados obtidos indicaram que as águas do Córrego da Benta apresentaram qualidade classificada como “ruim” durante todo o período de estudo. Refletindo a precariedade do saneamento e a urgência de políticas públicas eficazes.

**PALAVRAS CHAVES:** Saneamento, qualidade da água, IQA, corpos hídricos urbanos.

## INTRODUÇÃO

Uma das principais condições que afetam a qualidade das águas fluviais é a ação antrópica sobre esses recursos. O crescimento urbano desordenado, aliado à ausência de infraestrutura adequada para o gerenciamento de resíduos sólidos e efluentes, resulta no descarte inapropriado de poluentes diretamente nos corpos

hídricos, causando sérios impactos ao meio ambiente (Santana, Pessôa e Cavalcanti, 2023). Além disso, o desmatamento de áreas de mata ciliar, motivado pela ocupação irregular e por conflitos territoriais relacionados à expansão urbana, contribui significativamente para a degradação desses ecossistemas (Santana, Pessôa e Cavalcanti, 2023).

A elevada taxa de contaminação dos corpos d'água representa um grave problema de saúde pública. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), cerca de 15 mil mortes e 350 mil internações ocorrem anualmente no Brasil devido à precariedade do saneamento básico. Muitas dessas ocorrências são causadas por microrganismos patogênicos presentes em águas contaminadas, que podem infectar humanos e animais por meio das vias oral e fecal (Lemos, 2020).

Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de políticas públicas eficazes voltadas ao gerenciamento adequado dos recursos hídricos. De acordo com o Art. 9º da Lei nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, as águas no território brasileiro devem ser enquadradas em classes conforme seus usos preponderantes, com o objetivo de compatibilizar a qualidade da água com os usos mais exigentes (ANA, 2023). Essa classificação orienta ações de controle, preservação e recuperação da qualidade das águas, promovendo o uso sustentável desses recursos (ANA, 2023).

A bacia hidrográfica do Rio das Mortes, situada no estado de Minas Gerais e na qual o Córrego da Benta está inserido, apresenta cobertura de coleta de esgoto estimada em 50,82%. No entanto, apenas 31,31% deste volume é submetido a tratamento adequado, o que equivale a menos de 17% do total de esgoto gerado na região. Essa defasagem compromete gravemente a qualidade ambiental do corpo hídrico, refletindo negativamente na biodiversidade aquática e na saúde da população (INFOSANBAS, 2020).

Adicionalmente, a degradação da qualidade da água compromete os usos múltiplos previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos, que incluem, entre outros, o abastecimento público, a recreação, a irrigação agrícola e a preservação da vida aquática. A classificação dos corpos hídricos em classes de uso, conforme estabelecido pela legislação, visa justamente assegurar que a qualidade da água seja compatível com essas finalidades. Portanto, a avaliação da qualidade das águas do Córrego da Benta, considerando sua inserção em área urbana e seu papel como afluente do Rio das Mortes, torna-se fundamental para compreender os impactos ambientais e sociais decorrentes da precariedade do saneamento básico na região.

Em suma, este estudo propõe avaliar, por meio do Índice de Qualidade da Água (IQA), a classe de enquadramento do Córrego da Benta conforme a legislação vigente do estado de Minas Gerais, bem como analisar os impactos das taxas de saneamento do município sobre esse corpo hídrico urbano, afluente do Rio das Mortes.

## OBJETIVOS

### Objetivo Geral

Avaliar o impacto das baixas taxas de saneamento básico no córrego da Benta localizado no município de Barbacena em Minas Gerais em conformidade com a resolução do IGAM.

### Objetivos Específicos

- I Identificar a faixa de enquadramento da qualidade da água do córrego da Benta;
- I Avaliar a qualidade de suas águas e o potencial impacto nos usos múltiplos previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

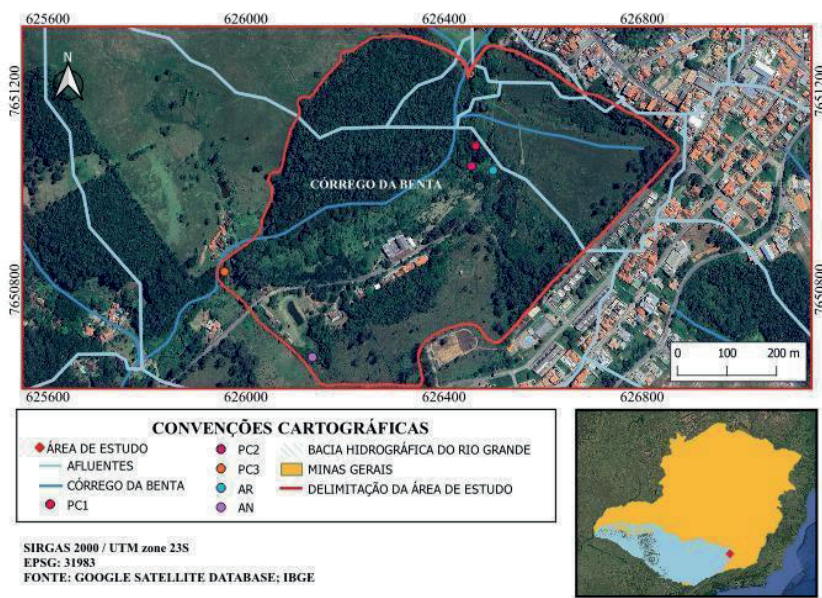
### Área de estudo

O corpo hídrico analisado está localizado na zona periurbana do município de Barbacena, Minas Gerais, e integra a sub-bacia hidrográfica do Rio das Mortes, afluente do Rio Grande. Popularmente conhecido como Córrego da Benta ou Córrego do Despejo, esse curso d'água é caracterizado pelo acúmulo de resíduos sólidos e pela gestão inadequada de seus recursos hídricos (Rocha, 2014).

Geograficamente, o córrego encontra-se na Reserva Ambiental e Cultural do município de Barbacena, nas coordenadas 21°14'21,42" S e 43°46'58,17" W, conforme apresentado na Figura 1. A área é gerida por diferentes instituições públicas e culturais, como a Superintendência Regional de Saúde de Barbacena, a Universidade Estadual de Minas Gerais (UEMG – Unidade Barbacena), a escola de música popular BITUCA e o Grupo de Teatro Ponto de Partida. A reserva possui 21,7 hectares, dos quais 9,44 hectares encontram-se em processo de recuperação ambiental (IEF, 2020).

O estudo foi conduzido em três pontos amostrais ao longo do curso d'água, denominados como ponto de coleta 1 (PC1), ponto de coleta 2 (PC2) e ponto de coleta 3 (PC3). Vale destacar, que o córrego possui duas nascentes importantes, que corroboram com as vazões e diluições do corpo, uma situa-se entre os pontos 1 e 2 e a segunda entre os pontos 2 e 3.

**Figura 1.** Localização da área de estudo



**Fonte:** De autoria própria, QGIS 3.34.15, 2025.

As coletas foram efetuadas na terceira semana de cada mês, mais especificamente nas manhãs de quarta-feira, sendo esta operação realizada no período de 12 meses, de abril de 2024 a março de 2025. Para a realização do cálculo do Índice de Qualidade das Águas (IQA), nove parâmetros foram aferidos, sendo eles: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), nitrato, fósforo, temperatura, turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), sólidos (fixos, totais e voláteis) e análise microbiológica (*Escherichia coli*).

Para a coleta das amostras de água, foram utilizados frascos apropriados para cada tipo de análise, garantindo a integridade das amostras. Para a análise de DBO, empregaram-se frascos de vidro âmbar (esmerilhados), para os parâmetros fósforo e nitrato, utilizaram-se frascos plásticos específicos, livres de qualquer contaminação, de resíduos de detergente; as análises físico-químicas foram coletados em garrafas plásticas específicas e para os frascos de análise microbiológica, estes foram autoclavados, assegurando a desinfecção de qualquer agente contaminante.

Análises como pH, temperatura e OD foram medidos em campo, enquanto DBO, sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos, fósforo, nitrato e turbidez foram quantificados em laboratório.

Tabela 1. Métodos utilizados nas análises

Parâmetros	Unidade	Método de aferição	Fonte
pH	-	phmetro de bolso da marca AKSO, modelo AK90.	APHA, 2012
Temperatura	°C	Oxímetro da marca YSI, modelo Prossolo.	APHA, 2012
Turbidez	UNT	Turbidímetro, marca HACH, modelo 2100 AN	APHA, 2012
Microbiológica (Escherichia coli)	NMP/100ml	Método Colilert	APHA, 2012
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/L	Oxímetro da marca YSI, modelo Prossolo.	APHA, 2012
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	mg/L O2	Método titulométrico	Silva, (2001)
Nitrato	mg/L	Método Mackereth	Mackereth, (1978)
Fosfato	mg/L	Método do ortofosfato	Silva, (2001)
Sólidos	mg/L	Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis e Sólidos Totais Fixos.	Silva, (2001)

Fonte: De autoria própria, 2025.

## Índices de qualidade da água bruta

Conforme a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2013), a avaliação da qualidade da água bruta para abastecimento público é baseada em três grupos de parâmetros.

- I **Substâncias tóxicas:** como metais pesados (cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio, níquel) e compostos orgânicos (tri-halo-metanos, mutagenicidade);
- I **Parâmetros organolépticos:** que afetam odor, sabor ou cor da água, como fenóis, ferro, manganês, alumínio, cobre e zinco;
- I **Parâmetros do Índice de Qualidade da Água (IQA):** temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, resíduos totais e turbidez.

Neste estudo, o enfoque foi dado ao Índice de Qualidade da Água (IQA), por ser amplamente utilizado em monitoramentos ambientais e adotado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) para enquadramento de corpos hídricos.

Segundo a CETESB (2013), o índice de qualidade da água bruta é calculado nos pontos de amostragem dos rios e reservatórios que são utilizados para o abastecimento público. Portanto, o IQA é calculado a partir do produtório ponderado das qualidades de água que corresponde aos nove parâmetros que compreendem o índice. Conforme o mostrado na fórmula abaixo:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

**IQA:** Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

**qi:** qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e;

**wi:** peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

em que: **n** = número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

Se algum dos valores das variáveis não foi contabilizado, o cálculo IQA será inviabilizado. Seguindo o cálculo mostrado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, variando em uma escala de 0 a 100, como mostrado na tabela 2.

**Tabela 2 .** Classificação do IQA, conforme disposto pelo IGAM

Categoria	Ponderação
Ótima	$90 < IQA \leq 100$
Boa	$70 < IQA \leq 90$
Regular	$50 < IQA \leq 70$
Ruim	$25 < IQA \leq 50$
Péssima	$0 < IQA \leq 20$

**Fonte:** De elaboração própria a partir de dados emitidos pelo IGAM.

Para o cálculo e a análise dos dados, foi utilizado o software QualiGraf, que automatiza o processamento do IQA com base nos parâmetros aferidos em campo e em laboratório. O modelo matemático do programa segue os critérios do IGAM, sendo, portanto, compatível com os padrões legais e ambientais do estado de Minas Gerais, onde está inserido o corpo hídrico analisado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O monitoramento da qualidade da água do Córrego da Benta foi realizado em três pontos distintos, ao longo de doze meses, entre abril de 2024 e março de 2025. A Tabela 2 apresenta a variação do Índice de Qualidade da Água (IQA), com base nos nove parâmetros definidos pelo IGAM.

Tabela 2. Variação do IQA ao longo dos meses, para os três pontos analisados.

Mês/Ano	PC1	PC2	PC3
abril/24	42	49	60
maio/24	37	41	47
junho/24	40	44	54
julho/24	40	45	51
agosto/24	36	43	40
setembro/24	34	46	40
outubro/24	26	42	39
novembro/24	23	30	38
dezembro/24	41	43	44
janeiro/25	43	44	46
fevereiro/25	37	42	44
março/25	40	42	54

Fonte: Do autor, 2025.

Portanto, observa-se que a maioria dos meses, entre os três pontos de coleta, apresentaram índices classificados como “ruins” ( $25 < IQA \leq 50$ ), conforme o mostrado na tabela 2.

O PC1 apresentou os piores índices de qualidade da água ao longo do período analisado, com destaque para os meses de novembro e dezembro de 2024, ambos com IQA igual a 23, o que se enquadra como “péssimo”. Esse resultado pode ser atribuído à alta carga de esgoto doméstico, agravada pela baixa vazão típica do período seco. A ausência de cobertura de saneamento básico na região urbana por onde o córrego passa reforça essa hipótese.

No PC2, o IQA oscilou entre 30 e 49, permanecendo na maior parte do tempo na categoria “ruim”. Nos meses de maior precipitação, como maio e outubro, o índice se aproximou da faixa “regular”, possivelmente devido à diluição provocada pelas chuvas ou pela contribuição hídrica da nascente entre os pontos 1 e 2.

O terceiro ponto foi o que apresentou os melhores resultados relativos, com IQAs variando entre 38 e 60. O valor mais alto foi registrado em maio de 2024 (60), enquadrando-se como “regular”. Esse comportamento pode estar relacionado

à autodepuração do corpo hídrico e à contribuição das duas nascentes situadas entre os pontos de coleta. Apesar de Silva (2023), mencionar que as nascentes que contribuem com o Córrego da Benta, apresentaram baixos níveis de preservação, sendo uma destas classificadas uma como classe D, ou seja, um baixo nível de preservação de suas matas ciliares, e a segunda como classe E, um péssimo nível, nota-se o impacto positivo relevante destas contribuições na melhoria da qualidade da água do córrego da Benta.

A sazonalidade foi um fator determinante no presente estudo. Observou-se uma tendência de queda nos valores de IQA entre setembro e dezembro, especialmente no PC1, coincidindo com o período seco. Isso reforça a vulnerabilidade do córrego frente à escassez hídrica, intensificando os efeitos de poluentes acumulados, principalmente se considerar as áreas com déficit de cobertura de saneamento básico. Alves (2024) também verificou esta tendência em estudo semelhante, destacando concentrações elevadas de matéria orgânica no ponto inicial do córrego e ressaltando o aumento dos valores de IQA ao longo destes mesmos três pontos, relatando que o ponto 1, indica elevadas concentrações de matéria orgânica.

De acordo com Amâncio et al. (2018), o Rio das Mortes, na altura de Conceição da Barra de Minas, apresenta qualidade entre média e ruim, especialmente em períodos de baixa precipitação. Considerando que o Córrego da Benta é um afluente direto, seus baixos índices de IQA certamente influenciam negativamente a qualidade do rio principal.

Em suma, estes resultados confirmam a relação direta entre a ausência de infraestrutura de saneamento básico e a deterioração da qualidade da água. Assim o Córrego da Benta ao passar pelas regiões urbanas de Barbacena MG, que apresentam baixa cobertura de coleta e tratamento de esgoto com menos de 17% (INFOSAMBAS, 2020), torna-se receptor direto de efluentes domésticos e resíduos sólidos, comprometendo o ecossistema aquático, e a saúde de comunidades que realizam usos múltiplos deste corpo hídrico, especialmente atividades como abastecimento de água para consumo humano, irrigação de cultivos e dessedentação animal.

Logo, os dados coletados só reforçam ainda mais as necessidades de intervenções públicas, como ampliação da rede coletora de esgotos e ações de educação ambiental, gerando à comunidade mais consciência sobre o descarte correto de resíduos líquidos e sólidos.

## CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos entre os meses de abril de 2024 a março de 2025, demonstrou que a qualidade da água do Córrego da Benta é significativamente comprometida pela baixa cobertura de saneamento básico no município de Barbacena, cuja taxa de esgoto tratado é inferior a 17%. O ponto de coleta inicial (PC1) foi o mais afetado, refletindo a influência direta do lançamento de efluentes domésticos não tratados.

A variação sazonal, com destaque para os períodos de estiagem, agravou ainda mais a qualidade da água, evidenciando a vulnerabilidade do corpo hídrico à seca e à ausência de intervenções ambientais.

Destarte, conclui-se que são urgentes as ações públicas de ampliação da estrutura de esgotamento sanitário do município de Barbacena, além da promoção de programas de educação ambiental e monitoramento contínuo da qualidade da água. O uso do Índice de Qualidade da Água (IQA), conforme os parâmetros do IGAM, demonstrou-se uma ferramenta eficaz para o diagnóstico ambiental e para subsidiar políticas públicas voltadas à preservação dos recursos hídricos urbanos.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Classificação dos corpos de água e enquadramento. Brasília, DF: ANA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/qualidade-da-agua/enquadramento>. Acesso em: 29 maio 2025.

ALVES, Maria Alice dos Santos; COSTA, Débora Braga da; LUNA, Carlos Eduardo; BORGES, Eduardo Sales Machado; ALMEIDA, Antonia Samylla Oliveira. Análise quali-quantitativa da água do córrego da Benta em Barbacena-MG, utilizando diferentes metodologias do IQA. In: CONFERÊNCIA NACIONAL DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA – CONEAS, 2024, Espírito Santo. Anais [...]. Espírito Santo: CONEAS, 2024.

AMÂNCIO, Diego Vipa; COELHO, Gilberto; MARQUES, Rosângela de Paula Francisca Vitor; VIOLA, Marcelo Ribeiro; MELLO, Carlos Rogério de. Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Capivari e Mortes, Minas Gerais. *Scientia Agraria*, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 75–86, 2018.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Índice da Qualidade da Água (IQA). São Paulo: CETESB, 2013. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/02.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2025.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS (IEF). IEF realiza cercamento de duas importantes nascentes em Barbacena. Belo Horizonte: IEF, 2019. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/noticias/2813-ief-realiza-cercamento-de-duas-importantes-nascentes-em-barbacena>. Acesso em: 11 jul. 2024.

INFOSANBAS. Esgotamento sanitário – Barbacena, MG. [S. l.]: INFOSANBAS, 2020. Disponível em: <https://infosanbas.org.br/municipio/barbacena-mg/#esgotamento-sanitario>. Acesso em: 8 jun. 2025.

LEMONS, Simone. Doenças relacionadas à água ou de transmissão hídrica. Jornal da USP, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/dados-da-onu-mostram-que-15-mil-pessoas-morrem-anualmente-por-doencas-ligadas-a-falta-de-saneamento/#:~:text=A%20Organiza%C3%A7%C3%A3o%20Mundial%20da%20Sa%C3%BAde,%C3%A0%20precariedade%20do%20saneamento%C3%A1sico>. Acesso em: 17 abr. 2025.

ROCHA, Wagner. O caso do córrego da Benta. Asas de Barbacena, Barbacena, 2014. Disponível em: <http://www.asasdebarbacena.com.br/?lr=1>. Acesso em: 8 fev. 2025.

SANTANA, Eduarda Roberta Silva de; PESSÔA, Giovanna Thaís Mendes; CAVALCANTI, Maria Clara Leão. Impactos da contaminação em rios urbanos. Recife: Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA, 2023.

SILVA, Lenira Maria da. Mapeamento e análise de impactos ambientais em nascentes localizadas em área periurbana do município de Barbacena – MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 12., 2023. Anais [...]. [S. l.]: IF Sudeste MG, 2023.



## TRABALHO 7

# ANÁLISE DO MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA COMUNIDADE DA ROCINHA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Larissa Rocha Abadias

Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira

**RESUMO:** O manejo e a disposição adequada dos resíduos sólidos representam um dos grandes desafios atuais, sobretudo em áreas urbanas vulneráveis, como a comunidade da Rocinha, no Rio de Janeiro. O aumento contínuo da geração de resíduos, somado à gestão inadequada e à falta de áreas para descarte, compromete a sustentabilidade ambiental e a saúde pública. A precariedade da infraestrutura urbana e a insuficiência dos serviços de coleta contribuem para o acúmulo irregular de lixo, agravando os riscos sanitários e ambientais. Além disso, a ausência de programas estruturados de reciclagem e educação ambiental, junto à atuação limitada do poder público, intensifica a problemática local, apesar de algumas ações da sociedade civil. Este estudo aplica a matriz *SWOT* para analisar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças no manejo de resíduos na Rocinha, buscando subsidiar estratégias mais eficazes e sustentáveis para o desenvolvimento da comunidade.

**PALAVRAS-CHAVES:** Resíduos; Sustentabilidade; Favelas.

## INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios enfrentados pela sociedade contemporânea refere-se ao manejo da geração excessiva e à disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. A preocupação global com a gestão desses resíduos tem se intensificado diante do crescimento contínuo da produção, do manejo inadequado e da escassez de áreas destinadas à disposição final, fatores que comprometem a sustentabilidade ambiental (JACOBI et al., 2011). Paralelamente, observa-se, nos últimos anos, uma transformação significativa na composição e nas características dos resíduos, com aumento de sua periculosidade, o que impõe novos desafios para o gerenciamento eficaz e seguro desses materiais (OMS, 2010; EPA, 2010).

Os resíduos sólidos urbanos, gerados pelas diversas atividades humanas, apresentam riscos diretos e indiretos à saúde pública, constituindo-se em um importante vetor epidemiológico. A proliferação de agentes transmissores de doenças encontra no habitat proporcionado pelo lixo condições ideais para seu desenvolvimento, agravando o panorama sanitário das localidades. Além disso, a contaminação ambiental decorrente da disposição inadequada dos resíduos afeta a qualidade do ar, das águas superficiais e subterrâneas, assim como do solo, acarretando impactos ambientais, sociais e econômicos significativos (SIQUEIRA et al., 2009).

Essas problemáticas são ainda mais agudas em contextos de vulnerabilidade socioespacial, como na Rocinha (Figura 1), maior comunidade do Rio de Janeiro. Nessa localidade, a gestão dos resíduos sólidos enfrenta severas limitações, decorrentes da precariedade da infraestrutura urbana e da ausência de serviços públicos eficientes de coleta e destinação adequada. A acumulação irregular de resíduos nas vias públicas e áreas comunitárias potencializa os riscos ambientais e sanitários, favorecendo a proliferação de vetores e a degradação ambiental local. A falta de um sistema estruturado de saneamento básico, aliado à insuficiência na gestão dos resíduos, revela um cenário de grave comprometimento da saúde pública e da qualidade ambiental da comunidade.

Figura 01: Vista Panorâmica da comunidade da Rocinha, localizada na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro.



Fonte: Autor, 2024.

O manejo dos resíduos sólidos na Rocinha enfrenta desafios significativos. Embora a coleta de lixo seja realizada pela prefeitura, a difícil acessibilidade às áreas mais elevadas da comunidade compromete a regularidade e abrangência da remoção dos resíduos. Como consequência, observa-se o acúmulo de lixo em locais inadequados, que frequentemente são descartados em encostas ou lançados em cursos d'água, conforme ilustrado na figura 02. Essa combinação entre a insuficiência na coleta e a falta de conscientização acerca do descarte correto contribui para a formação de um quadro crítico de saúde pública.

Figura 02: Despejo inadequado de resíduos na comunidade



Fonte: Autor, 2023.

A ausência de um programa estruturado de reciclagem e de ações contínuas de educação ambiental agrava ainda mais essa problemática. Grande parte dos materiais passíveis de reaproveitamento é descartada de forma inadequada, contribuindo para a poluição ambiental. Além disso, o acúmulo de resíduos não recolhidos cria condições propícias à proliferação de pragas urbanas, como roedores e insetos, vetores de diversas enfermidades, o que intensifica a vulnerabilidade sanitária da população local.

Outro ponto crítico diz respeito às chuvas sazonais intensas que acometem a comunidade, especialmente durante o período do verão, quando o volume pluviométrico se eleva significativamente.

Essas chuvas, associadas à topografia acidentada e à urbanização precária, contribuem para a intensificação dos episódios de alagamento e deslizamentos de terra. Tal realidade se agrava ainda mais com a presença de resíduos sólidos (conforme ilustrado na figura 3), que obstruem as redes de transporte de águas residuárias, as bocas de lobo, as caixas de ralo e os principais canais da favela, comprometendo a capacidade de escoamento das águas pluviais. Como consequência, o sistema de drenagem torna-se ineficiente, provocando o transbordamento das vias, a formação de grandes bolsões de água e o acúmulo de lixo flutuante.

Este cenário não apenas causa danos materiais e prejuízos à mobilidade urbana, mas também representa um grave risco à saúde pública, ao favorecer a proliferação de vetores de doenças e a contaminação da água. A interação entre os eventos climáticos extremos e a má gestão dos resíduos sólidos reforça a vulnerabilidade socioambiental da comunidade, exigindo ações estruturantes que aliem infraestrutura adequada e educação ambiental.

Figura 3: Trabalhadores fazendo a retirada dos resíduos no canal de drenagem após forte chuva.



Fonte: Autora, 2023.

Embora existam iniciativas pontuais promovidas por organizações não governamentais e grupos comunitários, que buscam amenizar o problema por meio da promoção da coleta seletiva e de campanhas de conscientização ambiental, a falta de suporte governamental e a insuficiência de infraestrutura adequada limitam a eficácia e o alcance dessas ações.

## OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo empregar a matriz *SWOT* como ferramenta metodológica para conduzir uma análise crítica e estratégica do manejo de resíduos sólidos na comunidade da Rocinha, visando identificar seus pontos fortes, oportunidades, fraquezas e ameaças. Através dessa abordagem, busca-se diagnosticar os fatores internos que favorecem ou impedem a implementação de soluções eficazes para a gestão dos resíduos, assim como avaliar os elementos externos que impactam o contexto do manejo desses resíduos.

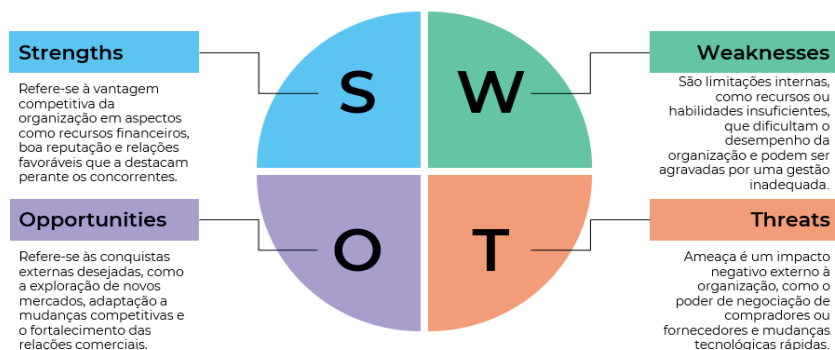
## METODOLOGIA

A matriz *SWOT* é uma ferramenta amplamente utilizada para a análise estratégica, permitindo identificar os pontos fortes (*Strengths*), pontos fracos (*Weaknesses*), oportunidades (*Opportunities*) e ameaças (*Threats*) relacionadas a um determinado contexto organizacional ou ambiental (GÜREL; TAT, 2017). Essa abordagem possibilita uma compreensão abrangente do ambiente interno e externo, facilitando a tomada de decisão e a formulação de estratégias eficazes.

Segundo Helms e Nixon (2010), a *SWOT* auxilia na identificação dos fatores internos que podem ser controlados e potencializados, bem como dos fatores externos que representam riscos ou possibilidades que devem ser monitorados. Isso torna a ferramenta especialmente útil em contextos complexos, onde múltiplas variáveis influenciam o desempenho de sistemas ou projetos.

De acordo com Ahmed et al. (2004), as definições de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças no contexto de organizações empresariais são apresentadas conforme ilustrado na figura 4:

Figura 4: Definições da SWOT.



Fonte: Adaptado de Ahmed et al. (2004)

Ao contrário de uma organização empresarial, a favela configura-se como uma comunidade marcada por múltiplas dimensões sociais, culturais e econômicas. Nesse sentido, ao analisar seus pontos fortes, fragilidades, oportunidades e ameaças, é fundamental que o enfoque principal esteja voltado para a promoção do bem-estar coletivo e o acesso a serviços essenciais, em vez de metas relacionadas à maximização de resultados financeiros.

Neste trabalho, a opção pela utilização da análise *SWOT* fundamenta-se em sua capacidade de organizar cenários complexos e facilitar o desenvolvimento de um planejamento estratégico eficaz. Ao possibilitar a identificação dos principais pontos fortes e fragilidades, bem como das oportunidades e ameaças, essa ferramenta oferece suporte essencial para a elaboração de estratégias voltadas à superação dos obstáculos e à implementação de soluções sustentáveis no manejo de resíduos sólidos na Rocinha. Além disso, a metodologia favorece a integração das percepções tanto da comunidade local quanto de agentes externos, promovendo uma análise colaborativa que direciona as ações de forma mais assertiva.

Logo, a metodologia foi adaptada com o propósito de identificar e propor estratégias específicas que atenda a particularidade e demanda do manejo de resíduos, permitindo assim uma abordagem mais contextualizada e eficaz para as realidades das favelas.

## RESULTADOS

A seguir, é apresentada a tabela 1, que aplica a matriz *SWOT* (Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças) ao manejo de resíduos sólidos na Rocinha, no contexto da gestão ambiental urbana.

A análise busca identificar elementos estratégicos que possam subsidiar ações e políticas públicas mais eficazes e inclusivas, considerando as particularidades sociais, territoriais e estruturais da comunidade. Essa abordagem visa contribuir para a melhoria das condições de saneamento básico e da qualidade de vida dos moradores.

<b>Forças</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• A proximidade com áreas urbanas que já possuem sistemas consolidados de manejo de resíduos;</li><li>• Potencial das escolas como centros de conscientização ambiental que favorecem o desenvolvimento de práticas sustentáveis e a mudança de comportamento na comunidade;</li><li>• Forte engajamento comunitário.</li></ul>
<b>Fraquezas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Falta de conscientização da população, responsável pelo descarte inadequado de resíduos em vias públicas e encostas, contribuindo para o acúmulo de lixo e a proliferação de doenças, afetando a saúde pública e o ambiente;</li><li>• Resistência à mudança de hábitos;</li><li>• Vias que dificultam o acesso dos caminhões às áreas mais internas da comunidade, comprometendo a frequência e a abrangência da coleta de lixo;</li><li>• O crescimento populacional acelerado, aliado à infraestrutura deficiente e à fragmentação das políticas públicas.</li></ul>
<b>Oportunidades</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• A criação de projetos interdisciplinares que integrem questões ambientais ao currículo escolar, mediante parcerias com instituições de ensino externas, também são oportunidades estratégicas para melhorar o manejo de resíduos e promover a sustentabilidade;</li><li>• Parcerias com universidades e ONGs para o desenvolvimento de soluções sustentáveis.</li></ul>
<b>Ameaças</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• A contaminação do solo e da água, causada pelo descarte inadequado de resíduos, representa uma ameaça significativa à saúde pública e ao meio ambiente;</li><li>• A falta de incentivos para as escolas limita a efetividade das ações de conscientização e educação ambiental, impactando os esforços para promover mudanças duradouras;</li><li>• Falta de investimentos.</li></ul>

Tabela 1: Aplicação da SWOT para o Manejo de Resíduos Sólidos na Rocinha.

Na sequência, são apresentadas as diretrizes da matriz SWOT e como elas podem ser aplicadas para maximizar os impactos positivos e mitigar os negativos:

**1. Explorar as oportunidades para fortalecer e ampliar as capacidades existentes.**

A implementação de ecopontos comunitários possui potencial para incentivar a reciclagem e o descarte adequado de resíduos, contribuindo de maneira significativa para a redução dos impactos ambientais. Além disso, a integração de conteúdos ambientais no currículo escolar configura uma estratégia eficaz para engajar a comunidade local, especialmente crianças, capacitando-as a atuar como multiplicadoras dessas práticas sustentáveis. A geração de empregos também representa uma oportunidade relevante, uma vez que pode envolver a população em iniciativas locais, promovendo a criação de postos de trabalho e impulsionando o desenvolvimento socioeconômico regional.

**2. Empregar as fortalezas para neutralizar ou mitigar os impactos das ameaças.**

As forças locais devem ser mobilizadas de forma estratégica para atenuar ameaças e elevar a qualidade de vida regional. As escolas podem atuar na implementação de ecopontos comunitários e na promoção de práticas de reciclagem, complementadas

por programas educativos sobre os impactos do descarte inadequado em solo e recursos hídricos. Tais ações contribuem para a redução gradual do depósito irregular de resíduos, minimizando a poluição ambiental e os impactos negativos nas infraestruturas de águas residuais, que provocam alagamentos e inundações.

### **3. Utilizar as oportunidades para converter vulnerabilidades em pontos fortes ou mitigar sua severidade.**

A comunidade pode transformar suas fragilidades em vantagens estratégicas por meio da implementação de programas de conscientização ambiental e da criação de um Centro de Reciclagem em cooperação intermunicipal. Tais iniciativas potencializam a gestão integrada de resíduos sólidos, ampliam a participação social, geram empregos e renda, e promovem a sustentabilidade ambiental.

### **4. Minimizar as vulnerabilidades para neutralizar ou atenuar os impactos das ameaças.**

A insuficiente conscientização pública, aliada à baixa frequência na coleta de resíduos sólidos, resulta no descarte inadequado em áreas urbanas, contribuindo para o acúmulo de resíduos e a disseminação de doenças, com impactos negativos à saúde pública e ao meio ambiente. A implementação de campanhas educativas e a promoção de práticas corretas de descarte são essenciais para mitigar esses efeitos, reduzindo obstruções nos sistemas de águas residuais e riscos de contaminação do solo e da água. Ademais, a adoção de estratégias contínuas de sensibilização e incentivos, bem como a instalação de infraestrutura adequada, como lixeiras em pontos estratégicos e melhorias no acesso para coleta, são fundamentais para consolidar mudanças comportamentais e aprimorar a gestão dos resíduos sólidos urbanos.

## **CONCLUSÕES**

As condições sanitárias observadas no território estudado refletem as profundas desigualdades estruturais enfrentadas pelas comunidades periféricas brasileiras, evidenciando um déficit de infraestrutura agravado pelo crescimento urbano desordenado. Esses fatores geram impactos significativos na saúde pública, no meio ambiente e na qualidade de vida local, sobretudo no que se refere à gestão inadequada dos resíduos sólidos.

Dada a localização estratégica da comunidade, cuja influência repercute diretamente no funcionamento e no bem-estar de diversas regiões urbanas adjacentes, a integração da Rocinha no sistema urbano deve ser prioridade nas agendas públicas, reconhecendo seu potencial como agente transformador. Investimentos em educação ambiental e a promoção de uma cultura sustentável, especialmente nas escolas locais, são fundamentais para a formação de novas gerações conscientes dos impactos ambientais do descarte irregular de resíduos, bem como de seus direitos e responsabilidades ambientais.

A utilização da metodologia *SWOT* na análise deste contexto evidenciou que soluções técnicas associadas a investimentos em infraestrutura, educação, pesquisa e engajamento comunitário são essenciais para uma gestão sustentável dos resíduos sólidos e a melhoria do saneamento na comunidade. Entretanto, ressalta-se a necessidade de revisitar periodicamente essa análise, dada a dinâmica social e política, para garantir que as estratégias adotadas permaneçam eficazes e alinhadas às realidades locais.

Assim, a promoção de políticas públicas inclusivas, aliadas à valorização do capital humano e intelectual da comunidade, constitui um caminho indispensável para a superação dos desafios relacionados aos resíduos sólidos, contribuindo para a sustentabilidade ambiental, a equidade social e a melhoria da qualidade de vida na Rocinha e em toda a cidade do Rio de Janeiro.

## REFERÊNCIAS

AHMED, Abdel Moneim; ZAIRI, Mohamed; ALMARRI, K. S. *SWOT analysis for Air China performance and its experience with quality. Benchmarking: An International Journal*, v. 13, n. 1/2, p. 160-173, 2006.

GÜREL, E.; TAT, M. *SWOT Analysis: A Theoretical Review. Journal of International Social Research*, v. 10, n. 51, p. 994–1006, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.17719/jisr.2017.1832>. Acesso em: 30 jun. 2025.

HELMS, M. M.; NIXON, J. Exploring SWOT analysis – where are we now? A review of academic research from the last decade. *Journal of Strategy and Management*, v. 3, n. 3, p. 215–251, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/17554251011064>. Acesso em: 30 jun. 2025.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. *Estudos avançados*, v.25, nº71, p 135-158, 2011

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS), 2010.

SIQUEIRA, M.M.; MORAES, M.S. Saúde Coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo. *Ciência e saúde coletiva* vol.14 nº6 Rio de Janeiro. Dezembro, 2009. Parte inferior do formulário



## TR A B A L H O 8

# ANÁLISE DOS PLANOS MUNICIPAIS DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA REGIÃO ADMINISTRATIVA DE BARRETOS/SP

Aline Costa da Silva

Adriana Maria Nolasco

Cínthia Mara Vital Bonaretto

Clauciana Schmidt Bueno de Moraes

Stela Luiza de Mattos Ansanelli

**RESUMO:** A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010, estabelece os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) como instrumento central, obrigatório em todos os municípios. Este estudo analisou os PMGIRS da região administrativa de Barretos/SP, considerando princípios, objetivos, diretrizes, conteúdo mínimo, indicadores e efetividade da implementação. Foi elaborada uma matriz comparativa entre a legislação e os planos municipais. Os resultados apontaram deficiências em indicadores de desempenho, fiscalização, capacitação técnica e sustentabilidade econômico-financeira, comprometendo a efetividade da política. Como contribuição prática, sugerem-se consórcios intermunicipais, indicadores objetivos, inclusão de catadores e cooperativas, capacitação contínua e uso de inovações tecnológicas. Conclui-se que, apesar de representarem avanço institucional, os PMGIRS dependem de maior articulação, planejamento financeiro e engajamento social para uma gestão de resíduos eficiente e sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos Urbanos; Política Nacional de Resíduos Sólidos; Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos; Políticas Públicas; Região Administrativa de Barretos.

## INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento econômico, o crescimento populacional e o consequente incremento do consumo, a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) aumentou drasticamente, assim como os impactos ambientais negativos associados ao seu gerenciamento. A ausência de coleta regular e de destinação adequada dos resíduos sólidos gerou uma série de problemas ambientais e de saúde pública, tanto pela disseminação de doenças e seus vetores, quanto pela poluição do solo, água e ar.

Em face desse cenário, as questões relacionadas aos resíduos sólidos passaram a ser pauta de políticas públicas em âmbito nacional e, por essa razão, após duas décadas de discussões no Congresso Nacional, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), por meio da Lei nº 12.305, de agosto de 2010.

A PNRS tem por objetivo uma gestão dos resíduos sólidos pautada na não geração, na redução, no reaproveitamento, na reciclagem e na disposição final adequada dos rejeitos em aterros sanitários. Ainda, preconiza a necessidade de extinção dos lixões, a realização de coleta seletiva, a compostagem, o incentivo às cooperativas de catadores de materiais recicláveis provenientes dos resíduos sólidos urbanos, a educação ambiental, bem como a inovação, a pesquisa e uma fiscalização ambiental mais efetiva.

Para tanto, a PNRS propôs a criação de sistemas de gestão integrados, com a participação do governo federal, dos governos estaduais e municipais, além dos geradores de resíduos e da sociedade civil como um todo, para que, em conjunto, busquem-se ações e soluções pautadas no desenvolvimento sustentável, considerando as dimensões políticas, econômicas, ambientais, culturais, sociais e o controle social. Igualmente estabeleceu o princípio da responsabilidade compartilhada, de modo que todos os agentes envolvidos no ciclo de vida de um produto (inclusive o consumidor) sejam responsáveis pelos resíduos gerados, compondo uma cadeia de responsabilidades que abrange setor público, privado e sociedade civil.

Caracteristicamente descentralizada, a PNRS fixa diretrizes gerais que devem ser observadas por todos os entes federativos, e prevê a transferência de responsabilidades de níveis maiores para menores. Assim, os entes devem cooperar vertical e horizontalmente, em busca dos objetivos dessa política.

Os planos de gestão de resíduos são os principais instrumentos da PNRS para orientar a atuação dos gestores públicos quanto ao manejo adequado desses materiais, as responsabilidades e os responsáveis pelas ações propostas. A PNRS apresenta, para os municípios, a alternativa de desenvolver e implementar um plano individual, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), ou um plano coletivo, o Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

(PRGIRS). Ainda, estabelece o conteúdo mínimo obrigatório para esses planos, além da necessidade de observância das diretrizes, princípios e objetivos da PNRS. Inclusive, para que haja adesão dos municípios, a PNRS vincula a existência do PMGIRS/PRGIRS ao acesso a recursos financeiros da União para infraestrutura voltada aos resíduos sólidos.

Embora a PNRS esteja em vigor há 15 anos, ainda enfrentamos muitos desafios para sua implementação, sendo um dos principais a falta de elaboração e implantação do PMGIRS/PRGIRS, especialmente pelas prefeituras de municípios de pequeno e médio porte. E, mesmo quando existentes, esses planos tendem a apresentar uma série de deficiências, não atendendo, muitas vezes, nem aos requisitos mínimos determinados pela lei.

Em face da importância do PMGIRS, enquanto instrumento para implementação efetiva da PNRS, este estudo tratou da análise dos planos dos municípios da região administrativa de Barretos, verificando o atendimento às exigências da lei. A partir dessa análise, foi elaborada uma matriz comparativa, que possibilitou identificar a existência de deficiências nos PMGIRS dos municípios estudados. Identificar essas deficiências nos PMGIRS gera subsídios não só para melhoria dos planos dos municípios analisados, no momento da sua revisão, mas também para outros municípios em situação semelhante.

A análise crítica desses planos pode subsidiar ajustes na formulação de políticas públicas, orientar gestores municipais e apontar caminhos para uma implementação mais efetiva na região, o que reforça a relevância prática do presente estudo.

## A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída pela Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 após mais de 20 anos de tramitação no Congresso Nacional, sendo posteriormente regulamentada pelo Decreto do Governo Federal nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010 que foi revogada pelo Decreto Federal nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022.

Segundo Barroso (2013) a PNRS veio atender aos dispositivos da Constituição Federal acerca do meio ambiente e sustentabilidade:

Promulgada em 2 de agosto de 2010, a Política nacional de Resíduos Sólidos veio atender as especificações da Constituição Federal, promulgada em 1988, pois tais especificações não são abordadas somente no que tange ao tema específico sobre os encaminhamentos referentes ao equilíbrio ambiental que garanta a sustentabilidade, mas também no que concerne a abordagem de uma gestão compartilhada e democrática, conforme pressupõe a carta magna de modo geral em todo o seu texto (BARROSO, 2013).

Além de constituir um importante marco regulatório, a referida lei, trouxe ainda obrigações de se efetuar a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos, bem como um compromisso do setor público, privado e da sociedade acerca do tema (SANTIAGO, 2021).

Enquanto o gerenciamento de resíduos sólidos pressupõe as ações operacionais, desde o acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte até a destinação final ambientalmente adequada, seja reutilizando ou reciclando, seja por meio distribuição em aterros; a gestão contempla a estratégia global que envolve a definição de políticas públicas, diretrizes, metas, ações, responsabilidades/responsáveis, recursos e métodos de monitoramento, análise e promoção da participação popular, definidos a partir de um diagnóstico e organizados em um plano estratégico voltado a garantir o manejo adequado e sustentável dos resíduos, minimizando os impactos ambientais, sociais e econômicos negativos (BRASIL, 2010).

A gestão, nos termos da PNRS, envolve, portanto, as ações que devem ser direcionadas para encontrar soluções adequadas para os resíduos sólidos, levando em consideração a política, a economia, o meio ambiente, a cultura e a dimensão social, por meio de controle social e pautada ainda em desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

De acordo com Araújo e Juras (2011), a longa tramitação do projeto de lei que deu origem à PNRS ocorreu devido à dimensão e complexidade do tema que envolve vários setores da economia, bem como os debates que foram necessários adentrar, o que resultou em sucessivas alterações do texto da lei até se chegar a uma versão final.

Assim, a Política Nacional de Resíduos Sólidos é definida pelo art. 4º da lei como:

“(...)conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos” (BRASIL, 2010).

Ou seja, a PNRS fixa diretrizes, objetivos e indica instrumentos para que seja possível colocar em prática a gestão integrada e o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos. Também prevê a cooperação de todos os entes federativos, setor produtivo e sociedade, inseridos em uma cadeia de responsabilidade compartilhada, para o alcance dos objetivos dessa política.

Nos dizeres de Silva Filho e Soler (2013), a PNRS pautou-se em distribuir diretrizes e responsabilidades a todos os entes federativos, sendo que o Governo Federal ficou incumbido de coordenar a política nacional mediante o estabelecimento de regras gerais e ainda a aprovação e implementação de tratados internacionais, enquanto os Estados ficaram com a responsabilidade de regulamentar e elaborar os Planos Estaduais e por fim, para os Municípios e o Distrito Federal, restou a responsabilidade de operacionalizar todo o sistema da PNRS por meio da efetivação dos serviços públicos atinentes aos resíduos sólidos.

A PNRS é permeada de princípios e objetivos que se encontram enumerados no artigo 6º (BRASIL, 2010). Dentre os princípios, há a necessidade de visão sistêmica da PNRS, como meio de se tratar de todas as variáveis que envolve o tema resíduos sólidos, em especial, a ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e, por fim, a saúde pública (BRASIL, 2010). Tal princípio torna evidente o caráter multidimensional do problema e a complexidade dessa política pública.

Pelos objetivos evidencia-se a dimensão social da PNRS, consoante o princípio da visão sistêmica, posto que a lei preceitua a necessidade de conceder incentivos à reciclagem através da integração dos catadores, a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais recicláveis, sendo que incumbe à União, conforme previsto no artigo 43, o papel de criar instrumentos e incentivos, a fim de melhorar as condições de trabalho e as oportunidades de inclusão social e econômica dos catadores de materiais recicláveis (BRASIL, 2010).

E, para que os objetivos e princípios sejam efetivados ou alcançados, a lei criou mecanismos denominados de instrumentos, previstos no artigo 8º (BRASIL, 2010). Assim, são de fundamental importância para efetivar a PNRS, a criação e implementação dos planos de resíduos pelos entes federativos e pelo setor privado, bem como a coleta seletiva, a educação ambiental, a pesquisa científica, como meio de reduzir a geração e destinar corretamente os resíduos.

Por essa razão, a PNRS prevê a possibilidade de se elaborar seis tipos de planos (PLANARES – Plano Nacional de Resíduos Sólidos; os planos estaduais; os planos microrregionais, de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas; os planos intermunicipais; o PMGIS; e o PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos), consoante previsão do artigo 14, com o intuito de serem observadas as peculiaridades de cada local, tais como os resíduos que são gerados, quais podem ser reaproveitados ou não, dentre outras particularidades. No entanto, tais planos devem observar os conteúdos mínimos previstos no TRABALHO II da PNRS (BRASIL, 2010).

Quanto aos prazos, a PNRS estabeleceu a princípio o período de quatro anos a contar de promulgação da lei para adequação aos preceitos trazidos. Contudo, em 2020, os prazos foram ampliados pela lei federal nº 14.026 de 15 de julho de 2020, denominado como Novo Marco Legal do Saneamento:

Art. 54. A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deverá ser implantada até 31 de dezembro de 2020, exceto para os Municípios que até essa data tenham elaborado plano intermunicipal de resíduos sólidos ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira, nos termos do art. 29 da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para os quais ficam definidos os seguintes prazos:

I - até 2 de agosto de 2021, para capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais;

II - até 2 de agosto de 2022, para Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com países limítrofes;

III - até 2 de agosto de 2023, para Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010;

IV - até 2 de agosto de 2024, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010.

§ 1º (VETADO).

§ 2º Nos casos em que a disposição de rejeitos em aterros sanitários for economicamente inviável, poderão ser adotadas outras soluções, observadas normas técnicas e operacionais estabelecidas pelo órgão competente, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais (BRASIL, 2020).

Posteriormente, foi publicado o decreto n. 10.936/2022, regulamentando a lei n. 12.305/2010 em alguns aspectos, como a coleta seletiva, a responsabilidade compartilhada sobre o ciclo de vida dos produtos, a logística reversa e resíduos perigosos. Esses novos dispositivos legais buscam configurar maior efetividade à PNRS, haja vista as dificuldades encontradas para a sua efetiva implementação.

Em resumo, evidencia-se que a legislação que trata da PNRS considerou todos os aspectos que envolvem o tema resíduos sólidos, e ainda se preocupou em considerar as particularidades de cada localidade buscando a sua efetivação por meio de instrumentos, metas e prazos.

## **PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), deve contemplar o conteúdo mínimo previsto no art. 19 da lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010): (i) diagnóstico de resíduos e de situação; (ii) identificação de áreas favoráveis para disposição final de rejeitos; (iii) análise da viabilidade de adoção de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros municípios; (iv) identificação dos grandes geradores sujeitos ao PGRS; (v) definição dos procedimentos operacionais a serem adotados pelos serviços de limpeza urbana; (vi) indicadores de desempenho operacional e ambiental dos serviços de limpeza urbana; (vii) regras para o transporte dos resíduos; (viii) definição das responsabilidades de cada ator envolvido na gestão e gerenciamento; (ix) programas de capacitação; (x) programas de educação ambiental; (xi) promoção da participação das cooperativas de catadores; (xii) mecanismos para criação de novos negócios baseados em resíduos sólidos; (xiii) sustentabilidade econômico-financeira com definição dos custos dos serviços; (xiv) metas de redução, reutilização, reciclagem; (xv) formas e limites de participação do poder público na

Logística Reversa; (xvi) meios de controle e fiscalização dos PGRS; (xvii) programa de monitoramento e ações preventivas e corretivas; (xviii) identificação dos passivos ambientais; (xix) periodicidade de revisão do plano.

O referido conteúdo mínimo somente é aplicável aos municípios com população superior a 20 mil habitantes ou possuindo população inferior, se estiverem inseridos em áreas de interesse turístico, ou inseridos parcial ou totalmente em áreas de Unidades de Conservação ou ainda localizados em áreas de influência de empreendimentos de grande impacto ambiental, seja de escala regional ou nacional (BRASIL, 2010). Já para os municípios que não se enquadram nas situações descritas, o PMGIRS pode ser elaborado de forma simplificada. Ainda, existe a possibilidade de o município se inserir voluntariamente em Planos Regionais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PRGIRS).

O conteúdo mínimo é fundamental para garantir o sucesso do plano, pois o efetivo diagnóstico do cenário de resíduos em cada localidade permite a elaboração de metas, programas e ações de acordo com as efetivas necessidades de cada município ou região. Além disso, acerca da importância do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos MORAES (2023) destaca:

A PNRS, institui também, o Plano de Gerenciamento de Resíduos, como instrumento de gestão, que deve ser elaborado, implantado e monitorado, considerando todas as etapas de gerenciamento dos resíduos, desde sua geração até a destinação final. Esse documento traz inúmeros benefícios para a instituição que o elabora e aplica. No âmbito social, o plano promove a geração de emprego às pessoas que trabalham com a reciclagem e o reaproveitamento de materiais. Do ponto de vista ambiental, o plano permite identificar os riscos ambientais e à saúde humana, garantindo a minimização dos impactos ambientais oriundos do gerenciamento inadequado dos resíduos. Além disso, ele também proporciona diversos benefícios econômicos, uma vez que permite a comercialização dos materiais recicláveis com valor agregado, e diminuição de desperdício (MORAES, 2023).

Por outro lado, a lei federal impõe também a efetiva participação da população na elaboração do plano, tanto para fins de informações, quanto para ciência do que cobrar no futuro dos gestores públicos, na qualidade de fiscais dos serviços de manejo de resíduos sólidos, contribuindo para melhorias dos serviços (BARROSO, 2013).

Contudo, apesar da obrigatoriedade de elaboração dos PMGIRS, observa-se ainda uma importante lacuna nessa área. No estado de São Paulo, por exemplo, constatou-se que 8% dos municípios não possuem nenhum tipo de plano de gestão de resíduos (nem PMGIRS, nem PRGIRS). Em uma pesquisa realizada por Moraes (2021), 225 municípios paulistas responderam a um questionário sobre gestão de resíduos sólidos, dos quais 184 declararam que possuem PMGIRS, cinco possuem PRGIRS; 18 estão elaborando o plano; e 18 não possuem plano.

Esse cenário se torna mais crítico, quando se analisa a efetiva implementação desses planos. A referida pesquisa apurou a aplicabilidade dos planos e levantou que apenas 19,55% dos municípios o aplicam totalmente; 64% aplicam parcialmente,

4% não aplicam; e 12,4% declararam não possuir PMGIRS ou PRGIRS. Esses dados revelam fragilidades nesse instrumento da PNRS e demonstram a necessidade de se aprofundar nessa temática.

### ÁREA DE ESTUDO: REGIÃO ADMINISTRATIVA DE BARRETOS

A região administrativa de Barretos está localizada na região norte e nordeste do Estado de São Paulo, foi criada pelos Decretos nº 20.530 de 10 de fevereiro de 1983 e 22.970 de 29 de novembro de 1984 e é composta por 19 municípios: Altair, Barretos, Bebedouro, Cajobi, Colina, Colômbia, Embaúba, Guaíra, Guaraci, Jaborandi, Monte Azul Paulista, Olímpia, Pirangi, Severínia, Taiaçu, Taiúva, Terra Roxa, Viradouro e Vista Alegre do Alto

Segundo dados da Secretaria Estadual de Planejamento (SEPLAN, 2020), a Região Administrativa de Barretos abrange uma área de 8.343,27 km<sup>2</sup>, o que representa 3,36% do território paulista.

Tabela 1 – Municípios da região administrativa de Barretos

Municípios	Área Territorial (km²) - 2022	População residente (pessoas) - 2022	Densidade demográfica (hab./km) - 2022
Altair	313,007	3.451	11,03
Barretos	1.566,16	122.485	78,21
Bebedouro	683,192	76,373	111,79
Cajobi	176,929	9.133	51,62
Colina	422,303	18.486	43,77
Colômbia	728,648	6629	9,1
Embaúba	83,129	2.323	27,94
Guaíra	1.258,465	39.279	31,21
Guaraci	641,501	10.350	16,13
Monte Azul Paulista	263,462	18.151	68,89
Olímpia	802,555	55.074	68,62
Pirangi	215,809	10.885	50,44
Severínia	140,460	14.576	103,77
Taiaçu	107,059	5.677	53,03
Taiuva	132,459	6.548	49,43
Terra Roxa	221,541	7.904	35,68
Viradouro	217,726	17.414	79,98
Vista Alegre do Alto	95,429	8.109	84,97

Fonte: Adaptado do IBGE (2023)

De acordo com a Agência Desenvolve/SP, a agroindústria é o setor econômico predominante na região com produtos provenientes da cana-de-açúcar, laranja e carne bovina. Prevalece ainda o turismo em decorrência da tradição de rodeios, exposições e festas folclóricas e rurais.

A região se constitui também referência nacional em serviços de saúde devido a atuação do Hospital do Câncer de Barretos, recebendo pacientes de todo o Brasil.

No tocante à divisão hidrográfica o Estado de São Paulo promoveu a divisão de seu território em 22 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs) de acordo com as respectivas bacias hidrográficas, cujo critério de divisão considera os aspectos hidrológicos, ambientais, socioeconômicos e administrativos.

## **ANÁLISE DOS PLANOS MUNICIPAIS EM COMPARAÇÃO COM A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

O levantamento dos municípios que possuem PMGIRS foi mediante pesquisas nos sites das prefeituras e câmaras municipais, bem como através do site da SEMIL - Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo, sendo que todos estavam disponibilizados em conformidade com os links demonstrados no Quadro 1.

Foi possível constatar que dentre os 19 municípios da região, o total de 16 elaboraram os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos: Barretos, Bebedouro, Cajobi, Colina, Colômbia, Embaúba, Guaíra, Monte Azul Paulista, Olímpia, Pirangi, Severínia, Taiaçu, Taiúva, Terra Roxa, Viradouro e Vista Alegre do Alto. Verificou-se que os municípios de Altair e Guaraci não possuem PMGIRS; e não foi possível localizar o plano do município de Jaborandi.

Em face disso, foi possível constatar que os Planos foram elaborados nos seguintes anos:

Quadro 2 – Anos em que foram elaborados os PMGIRS da região administrativa de Barretos

2012	2013	2014	2015	2016	2018	2019	2021	2022
Barretos	Colina	Pirangi	Embaúba	Monte Azul Paulista	Cajobi	Bebedouro	Severínia	Taiacu
	Guaira		Olimpia			Colômbia		
	Terra Roxa					Taiúva		
						Viradouro		
						Vista Alegre do Alto		

Fonte: Elaborado pelas autoras

Após o levantamento dos planos municipais, foi realizada a comparação do seu conteúdo com os princípios previstos no artigo 6º, com os objetivos elencados no artigo 7º e com o conteúdo mínimo previsto no artigo 19 da PNRS, a lei nº 12.305/2010, com a finalidade de avaliar se houve o cumprimento dos supracitados dispositivos legais.

Para tanto, foi elaborado um quadro (Quadro 3) de indicadores com base em cada inciso dos artigos 6º, 7º e 19 da PNRS:

Quadro 5 – Relação de indicadores

Dispositivo	Tema dos indicadores (lei n. 12.305/2010)
Princípios (artigo 6º)	1. Prevenção e precaução
	2. Poluidor-pagador e protetor-recebedor
	3. Visão sistêmica
	4. Desenvolvimento sustentável
	5. Ecoeficiência
	6. Cooperação entre esferas do Poder Público
	7. Responsabilidade compartilhada
	8. Reconhecimento do resíduo como bem econômico
	9. Respeito às diversidades locais e regionais
	10. Direito à informação e controle social
	11. Razoabilidade e proporcionalidade

<b>Objetivos (artigo 7º)</b>	1. Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental
	2. Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos
	3. Estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços
	4. Adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais
	5. Redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos
	6. Incentivo à indústria da reciclagem
	7. Gestão integrada de resíduos sólidos
	8. Articulação entre as diferentes esferas do poder público e o setor empresarial
	9. Capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos
	10. Regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos
	11. Prioridade para produtos reciclados e recicláveis nas aquisições e contratações governamentais.
	12. Integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis
	13. Estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto
	14. Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial
	15. Estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável
<b>Conteúdo Mínimo (artigo 19)</b>	1. Diagnóstico dos resíduos
	2. Identificação das áreas para disposição final
	3. Implantação de soluções consorciadas
	4. Identificação dos resíduos e geradores
	5. Procedimentos operacionais e especificações mínimas
	6. Indicadores de desempenho
	7. Regras de transporte e gerenciamento
	8. Definição de responsabilidades
	9. Programas de capacitação técnica
	10. Programas de educação ambiental
	11. Participação de grupos interessados (cooperativas, associações)
	12. Mecanismos de criação de negócios
	13. Sistema de cálculo de custos
	14. Metas de redução e reciclagem
	15. Participação do Poder Público
	16. Meios de controle e fiscalização
	17. Ações preventivas e corretivas
	18. Identificação de passivos ambientais
	19. Periodicidade de revisão

Fonte: Elaborado pelas autoras

Cada um dos indicadores foi avaliado em cada plano municipal segundo três critérios, conforme indicado no Quadro 4:

Quadro 4 – Critérios de Avaliação

<b>Critério</b>	<b>Avaliação</b>	<b>Análise</b>
<b>Atendimento</b>	Atende	O plano atende ao indicador avaliado quando aborda todos os tópicos necessários sobre o assunto.
	Atende parcialmente	O plano atende parcialmente o indicador analisado quando cita que tal item é uma necessidade no município, porém não fornece elementos de colocar em prática o item analisado.
	Não atende	O plano não atende quando não cita em seu conteúdo o indicador analisado.

Fonte: Elaborado pelas autoras

Com base em tais informações foi possível proceder a análise, primeiramente identificando a estrutura de cada plano, os conteúdos, as metas e indicadores e a implementação, para então passar à análise com os dispositivos da PNRS. Ressalta-se, ainda, como limitação metodológica, a dificuldade de acesso a alguns planos municipais, bem como a heterogeneidade de formato e atualização dos documentos, fatores que podem ter influenciado a profundidade da análise realizada.

## DIAGNÓSTICO GERAL

A partir dos levantamentos individuais, foi realizado um diagnóstico geral, considerando o cumprimento dos princípios da PNRS pelos 16 municípios da região administrativa de Barretos, levando em consideração se cada um dos incisos dos artigos 6º, 7º e 19 da PNRS foi atendido, não atendido, ou atendido parcialmente.

O Quadro 5 representa os resultados da análise quanto ao atendimento aos princípios da PNRS, sendo, portanto, considerados os onze incisos do artigo 6º, cada qual representado por um número, conforme se segue:

Quadro 5 – Diagnóstico geral dos municípios da região administrativa de Barretos quanto ao cumprimento dos princípios da PNRS

Municípios	Indicadores de princípios (incisos do artigo 6º)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Barretos</b>	A.	A.P.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.P.
<b>Bebedouro</b>	A.	N.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.
<b>Cajobi</b>	A.P.	A.P.	A.	A.	A.P.	A.	A.P.	A.	A.	A.	A.P.
<b>Colina</b>	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	N.	N.	A.P.
<b>Colômbia</b>	A.	N.	A.	A.	A.	A.	A.P.	A.	N.	A.	A.
<b>Embaúba</b>	A.	A.	A.	A.	A.P.	A.	A.P.	A.	A.	A.P.	A.
<b>Guaíra</b>	A.	A.P.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.
<b>Monte Azul Paulista</b>	A.	A.P.	A.	A.	A.P.	A.	A.	A.	A.	N.	A.P.
<b>Olímpia</b>	A.	A.P.	A.	A.P.	A.P.	A.	A.	A.	A.	A.P.	A.P.
<b>Pirangi</b>	A.	A.P.	A.	A.	A.P.	A.	A.	A.	A.	A.	A.
<b>Severínia</b>	A.	A.	A.	A.	A.P.	A.	A.	A.	A.	A.	A.P.
<b>Taiacu</b>	A.	N.	A.	A.	N.	A.P.	N.	A.	A.	N.	A.P.
<b>Taiuva</b>	A.	N.	A.	A.	A.P.	A.	N.	A.	A.	A.	A.
<b>Terra Roxa</b>	A.	A.P.	A.	A.	A.P.	A.P.	A.	A.	A.	A.	A.
<b>Viradouro</b>	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	N.	A.
<b>Vista Alegre do Alto</b>	A.	N.	A.	A.	A.P.	A.	N.	A.	A.	A.	A.

Legenda: A. = Atende; A.P. = Atende Parcialmente; e N. = Não atende.

**Fonte:** Elaborado pelas autoras

Com isso, verificou-se que nenhum município atende integralmente aos princípios da PNRS. Destacam-se com maior percentual de atendimento os princípios: 3. Visão sistêmica e 8. Reconhecimento dos resíduos como um bem econômico, ambos atendidos pela totalidade de municípios. E, com percentual de atendimento de 93,75%, estão os princípios 1. Prevenção e precaução e 4. Desenvolvimento sustentável.

Por outro lado, os indicadores com menor percentual foram: 2. Poluidor-pagador e protetor-recebedor, atendido por 25% dos municípios; e 5. Ecoeficiência, atendido por 37,5% dos municípios. O município de Taiacu foi que teve mais ocorrências de não atendimento aos indicadores analisados, notadamente quanto a: 2. Poluidor-pagador e protetor-recebedor; 5. Ecoeficiência; 7. Responsabilidade compartilhada; e 10. Direito à informação e controle social.

Procedeu-se de maneira semelhante à análise dos indicadores de objetivos, ou seja, foi feito um diagnóstico geral com os 16 municípios, sendo que cada inciso do artigo 7º da PNRS foi representado por um número, nas respectivas colunas do Quadro 6:

Quadro 6 – Diagnóstico geral dos municípios quanto ao atendimento dos objetivos da PNRS

Municípios	Indicadores de objetivos (incisos do artigo 7º)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Barretos</b>	A.	A.	A.P.	A.P.	A.	A.	A.	A.	A.P.	A.	A.P.	A.	N.	A.	N.
<b>Bebedouro</b>	A.	A.	A.P.	A.P.	A.	A.	A.	A.P.	A.P.	A.	N.	N.	N.	A.P.	N.
<b>Cajobi</b>	A.	A.	A.	A.P.	A.	A.	A.	A.	A.P.	A.P.	N.	A.	N.	A.	N.
<b>Colina</b>	A.	A.	A.P.	A.	A.	A.	A.	A.	N.	A.	N.	A.P.	N.	A.P.	N.
<b>Colômbia</b>	A.	A.	A.	A.P.	N.	A.P.	A.	A.P.	A.P.	A.P.	N.	A.P.	A.P.	A.P.	N.
<b>Embaúba</b>	A.	A.	A.P.	N.	A.P.	A.P.	A.	A.P.	A.P.	A.P.	N.	A.P.	N.	N.	N.
<b>Guaíra</b>	A.	A.	A.	A.P.	N.	A.	A.	A.	A.	A.	N.	A.	N.	A.P.	N.
<b>Monte Azul Paulista</b>	A.	A.	A.P.	N.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	N.	A.P.	N.	A.P.	N.
<b>Olímpia</b>	A.	A.	A.P.	A.P.	A.	A.P.	A.	A.P.	A.	A.	N.	A.	N.	A.P.	N.
<b>Pirangi</b>	A.	A.	A.	A.	N.	A.	A.	A.P.	N.	A.	N.	A.	N.	A.	N.
<b>Severínia</b>	A.	A.	A.P.	N.	A.P.	A.	A.	A.P.	A.	A.P.	A.P.	A.P.	N.	A.	N.
<b>Taiaçu</b>	A.	A.P.	N.	A.	A.P.	A.	A.	A.	A.P.	A.	N.	A.	N.	N.	N.
<b>Taiuva</b>	A.	A.	A.P.	N.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	N.	A.	N.	N.	N.
<b>Terra Roxa</b>	A.	A.	A.	A.P.	N.	A.	A.	A.	A.	A.	N.	A.	N.	N.	N.
<b>Viradouro</b>	A.	A.P.	N.	N.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	N.	A.	N.	N.	N.
<b>Vista Alegre do Alto</b>	A.	A.	A.	N.	A.	A.	A.	A.	A.P.	A.	N.	N.	N.	A.	N.

Legenda: A. = Atende; A.P. = Atende Parcialmente; e N. = Não atende.

Fonte: Elaborado pelas autoras

Constatou-se que foram atendidos por todos os municípios os indicadores referentes aos objetivos: 1. Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; e 7. Gestão integrada de resíduos. Em contraponto, não foi atendido por nenhum município o indicador 15. Estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável. Tal objetivo remete a mudanças na produção e no consumo, implicando maior complexidade. Todavia, para o efetivo cumprimento da PNRS, é de fundamental importância que ocorra a redução da geração de resíduos, o que está diretamente ligado à questão do incentivo ao consumo sustentável.

Apresentaram um percentual de não atendimento bastante elevado (93,75% e 87,5%, respectivamente), os objetivos: 13. Estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto; e 11. Prioridade para produtos reciclados e recicláveis nas aquisições e contratações governamentais. Os municípios que atenderam esses indicadores o fizeram somente de modo parcial. Isso demonstra deficiências do poder público em implantar ações mais sustentáveis em sua gestão.

Por fim, em relação ao conteúdo mínimo da PNRS, foi realizado um diagnóstico geral com os 19 indicadores que demonstram o conteúdo mínimo, atendidos ou não pelos 16 municípios estudados, conforme demonstrado no Quadro 7:

Quadro 7 – Diagnóstico geral do atendimento ao conteúdo mínimo da PNRS pelos Municípios

Municípios	Indicadores de conteúdo mínimo (artigo 19)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Barretos	A.P	N.	A.P.	N.	A.P.	N.	N.	A.P	N.	A.P	A.P	N.	N.	N.	N.	A.P	N.	N.	A.P
Bebedouro	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.
Cajobi	A.	A.P	A.P.	A.P	A.	N.	A.P	A.	A.P	A.P	A.	N.	A.P	A.	A.P	N.	A.P	N.	A.P
Colina	A.P	A.	A.P	A.	A.P	A.P	A.P	A.	A.P	A.P	A.P	N.	A.	A.P	A.P	A.P	A.P	A.P	A.
Colômbia	A.P	A.	A.P	A.P	A.P	N.	N.	A.P	A.P	A.	A.	N.	N.	A.P	A.	N.	N.	A.P	N.
Embaúba	A.	A.P	A.P	A.P	A.	A.	A.P	A.	A.P	A.P	A.P	A.P	A.	A.	A.P	A.P	A.P	A.	A.
Guaiara	A.P	A.	N.	A.P	A.P	N.	N.	A.P	N.	A.	A.	N.	A.P	A.P	N.	N.	N.	N.	N.
Monte Azul Paulista	A.	A.P	N.	A.P	A.	N.	N.	A.	A.P	A.	A.P	N.	N.	A.P	A.	A.	A.P	A.P	A.
Olimpia	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.P	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.
Pirangi	A.	A.	N.	A.P	A.	A.	A.	A.	A.P	A.	A.	N.	A.P	A.	A.	A.	A.	A.	A.
Severínia	A.	A.	A.	A.	A.	N.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.
Taiacu	A.P	A.	A.P	A.P	A.P	A.	A.P	A.	A.P	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.P	N.
Taiuva	A.	A.	N.	A.P	A.	N.	A.P	A.	A.	A.	N.	N.	N.	N.	N.	A.	N.	N.	A.
Terra Roxa	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.P	A.	A.	A.	A.	N.	N.
Viradouro	A.	A.	A.P	A.	A.	A.	A.P	A.	N.	A.P	N.	A.	A.	A.P	A.P	A.	A.	A.P	N.
Vista Alegre do Alto	A.	A.	A.	A.P	A.	A.	N.	A.P	N.	A.P	N.	A.	A.	A.P	A.	A.	A.	N.	N.

Legenda: A. = Atende; A.P. = Atende Parcialmente; e N. = Não atende.

Fonte: Elaborado pelas autoras

Constatou-se que nenhum desses indicadores foi integralmente atendido por todos os municípios. Os indicadores com maior percentual de atendimento (75%) referem-se a: 2. Identificação de áreas para disposição final; e 8. Definição de responsabilidades. Já o indicador com menor porcentagem de atendimento (28,5%) foi o que se refere a 7. Regras de transporte e gerenciamento. Também apresentaram baixo atendimento integral (31,25%): 3. Implantação de soluções consorciadas; 9. Programas de capacitação técnica; e 18. Identificação de passivos ambientais.

No tocante à criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos (indicador 12), verificou-se que 50% dos municípios não trazem tais mecanismos em seus planos.

Destaca-se também o indicador 6. Indicadores de desempenho, que não foi atendido por 43,75% e foi atendido integralmente somente por 50% dos municípios. Ressalta-se a importância de definir tais indicadores como forma de avaliação e monitoramento dos serviços prestados.

Sobre a necessidade de demonstrar um sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos (indicador 13), também se identificou uma deficiência, o que pode comprometer a viabilidade dos serviços com a garantia da sustentabilidade econômico-financeira.

No que tange ao controle e fiscalização (indicador 16), muitos municípios não formularam meios para tal verificação em seus planos municipais, o que pode ter implicações para a ocorrência de descarte inadequado de resíduos, sem um trabalho de fiscalização efetivo.

Verificou-se ainda uma deficiência em definir as ações preventivas e corretivas, inclusive monitoramento dos serviços prestados (indicador 17), item atendido integralmente por metade dos planos analisados. Tais ações são fundamentais para garantir a continuidade e regularidade dos serviços.

De maneira geral, verificou-se que cerca de metade dos indicadores de conteúdo mínimo (51,31%) foram atendidos integralmente pelos planos municipais; 28,61% foram atendidos de forma parcial; e 20% não foram atendidos. Observa-se, portanto, que uma parte significativa do conteúdo mínima não foi abrangida pelos planos analisados ou está sendo feita de forma incompleta. Esse diagnóstico revela que, embora a PNRS indique os itens que devem ser observados, os municípios ainda encontram dificuldades em contemplar o que é exigido.

## DISCUSSÃO

A análise dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) da região administrativa de Barretos confirma o que outros estudos já apontaram em diferentes regiões do Brasil: a existência de avanços formais na elaboração dos planos, mas grandes limitações na sua efetiva implementação (SANTIAGO, 2016; MORAES, 2021; PACE, 2022). Embora a maioria dos municípios possua PMGIRS aprovados, verificou-se que diversos indicadores previstos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) ainda não são contemplados de maneira adequada.

Entre os pontos mais críticos, destacam-se a ausência de indicadores de desempenho para monitoramento dos serviços, a falta de mecanismos de fiscalização, a carência de programas de capacitação técnica e a indefinição de regras claras de transporte e gerenciamento. Tais lacunas comprometem a operacionalização das ações e fragilizam a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços, em desacordo com as exigências da Lei nº 14.026/2020. Essa constatação é semelhante ao diagnóstico apresentado por SANTIAGO (2021), ao ressaltar que a ausência de cobrança específica pelo manejo de resíduos limita a aplicação do princípio do poluidor-pagador e inviabiliza a qualidade e a continuidade dos serviços.

Outro aspecto relevante é a baixa adesão aos objetivos mais avançados da PNRS, como a avaliação do ciclo de vida dos produtos, a rotulagem ambiental e o estímulo ao consumo sustentável. Tais metas, já identificadas como de difícil aplicação por PARAVIDINO (2018) e PACE (2022), exigem maior integração entre políticas ambientais, de desenvolvimento econômico e de consumo, o que ultrapassa a capacidade administrativa dos municípios, sobretudo os de pequeno porte. Ainda assim, são elementos fundamentais para a transição a modelos circulares de produção e consumo, condição essencial para reduzir a geração de resíduos na fonte.

Frente a esse cenário, alguns caminhos práticos podem ser propostos para potencializar a efetividade dos PMGIRS da região:

1. **Consórcios intermunicipais** – a adoção de soluções compartilhadas pode reduzir custos, otimizar recursos e garantir infraestrutura regional para disposição final adequada, em consonância com o que prevê a PNRS (BRASIL, 2010).
2. **Definição de indicadores objetivos** – indicadores como percentual de coleta seletiva, volume reciclado per capita e custo per capita do serviço são ferramentas simples que possibilitam o acompanhamento da efetividade da política e a transparência junto à população (MORAES et al., 2023).
3. **Capacitação técnica continuada** – programas de formação para gestores e equipes técnicas fortalecem a capacidade local de planejar, executar e revisar os planos, minimizando a dependência de consultorias externas.
4. **Integração de catadores e cooperativas** – a valorização dos resíduos como bem econômico, princípio fundamental da PNRS, passa necessariamente pela inclusão social e econômica desses atores, ampliando tanto a eficiência da coleta seletiva quanto a geração de renda (BRASIL, 2010).
5. **Inovação e parcerias** – Iniciativas como contratos de logística reversa, incentivos fiscais à indústria da reciclagem e uso de tecnologias digitais para rastreamento da coleta podem aproximar o poder público do setor privado, promovendo maior eficiência e controle.

Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo não apenas evidenciam as fragilidades dos PMGIRS analisados, mas também oferecem subsídios para a revisão e aprimoramento desses instrumentos, em especial nos municípios de pequeno porte. A experiência da região de Barretos demonstra que, embora a PNRS constitua um marco regulatório robusto, sua concretização depende de maior articulação institucional, planejamento financeiro e engajamento social.

## CONCLUSÃO

A análise dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) da região administrativa de Barretos/SP permitiu identificar avanços formais, mas também inúmeras lacunas que comprometem a efetividade da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Constatou-se que, embora a maioria dos municípios possua planos elaborados e aprovados, diversos indicadores previstos na legislação não foram contemplados, especialmente aqueles relacionados ao monitoramento, à sustentabilidade econômico-financeira, à capacitação técnica e à implementação de práticas mais avançadas, como a avaliação do ciclo de vida dos produtos e o estímulo ao consumo sustentável.

Essas fragilidades revelam que a simples existência dos PMGIRS não garante a sua efetividade. É necessário que os municípios avancem na definição de metas claras, na criação de mecanismos de fiscalização, na implementação de indicadores de desempenho e na inclusão de ações de caráter inovador e sustentável. Tais medidas podem não apenas ampliar a conformidade com a PNRS, mas também gerar benefícios sociais, ambientais e econômicos de longo prazo.

Do ponto de vista prático, os resultados deste estudo oferecem subsídios para que gestores municipais revisem seus planos e adotem estratégias mais eficazes, como a formação de consórcios intermunicipais, o fortalecimento das cooperativas de catadores, a busca por parcerias público-privadas e a adoção de tecnologias digitais de gestão. Além disso, evidenciam a necessidade de políticas de capacitação técnica continuada e de mecanismos que assegurem a sustentabilidade financeira da prestação dos serviços.

Conclui-se, portanto, que os PMGIRS da região de Barretos, apesar de representarem um avanço institucional, ainda carecem de ajustes para se tornarem instrumentos efetivos de gestão. Superar essas limitações exige maior articulação institucional, investimentos adequados e engajamento social. Nesse sentido, este estudo contribui não apenas para a compreensão da realidade regional, mas também como referência para outros municípios brasileiros que enfrentam desafios semelhantes na implementação da PNRS.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 12 jan. 2022.

\_\_\_\_\_. **Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências.** Brasília, DF: Presidência da República, [2020]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 28 jul. 2023.

\_\_\_\_\_. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos 2019**. Brasília: SNIS, 2020. Disponível em: [http://snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico\\_RS2019.pdf](http://snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico_RS2019.pdf). Acesso em: 24 jul. 2023.

BARROSO, Luiz Fernando de Lemos. **Contribuições ao plano de resíduos sólidos do Estado de São Paulo**. 2013. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. doi:10.11606/T.18.2013.tde-27052015-163113. Acesso em: 27 novembro 2023.

MORAES, Clauciana Schmidt Bueno de. **Pesquisa sobre o Gerenciamento dos Resíduos Sólidos nos Municípios do Estado de São Paulo, Brasil**. Universidade Estadual Paulista. Programa Município VerdeAzul. Comitê de Integração de Resíduos Sólidos. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo. UNESP – PMVA/ CIRS/ SIMA. Rio Claro/SP, 2021.

MORAES, C. S. B.; MAIA, J. V. F.; PINTO, W. L. H.; JULIÃO, D. P.; BONARETTO, C. M. V.; MARTIRES, G. M. B. M.; CAMOLEZI, J. Z. **Análise Comparativa e Aplicabilidade das Normas e Legislações Correlatas à Lei 12.305/10 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. Revista de Gestão e Secretariado, [S. l.], v. 14, n. 10, p. 16360–16387, 2023. DOI: 10.7769/gesec.v14i10.2877. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/2877>. Acesso em: 17 abril. 2024.

PACE, Kellen Grace Romanini. **Análise da destinação final dos resíduos sólidos urbanos nos municípios da região metropolitana de Curitiba sob a ótica da política nacional de resíduos sólidos**. Dissertação (mestrado – Universidade Federal do Paraná, Setor de tecnologia, Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial). 2022.

PARAVIDINO, Gislaini Souza Magdalena. **A questão socioambiental dos resíduos sólidos urbanos no Município de Paraíba do Sul/RJ e as interfaces com a política nacional de resíduos sólidos**. Dissertação (mestrado acadêmico – Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de ciências humanas. Programa de Pós-graduação em Geografia, 2018.

SANTIAGO, Cristine Diniz. **Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: Desafios na implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos na Bacia Hidrográfica Tietê Jacaré – SP**. 2016. 174f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

\_\_\_\_\_. **Governança da Gestão de Resíduos Sólidos Brasileira: Caminhos para a Efetivação da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2021. 339f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Divisão Hidrográfica**. <https://sigrh.sp.gov.br/divisaohidrografica>. Acesso em 02 de dezembro de 2024.

TEIXEIRA, Jeanne Christine Mendes. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos (PMGIRS): atores, processos, instituições, representações e resultados**. 2017. 156f. Tese (Doutorado em Administração) - Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.



## TR A B A L H O 9

# ANÁLISE ESPACIAL DO ACESSO À REDE GERAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DEMAIS FORMAS DE FORNECIMENTO EM DOMICÍLIOS PARTICULARES PERMANENTES OCUPADOS COM BASE NOS SETORES CENSITÁRIOS DE 2022 EM CABO FRIO E MUNICÍPIOS LIMÍTROFES, ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Clara Correia Vieira

Aline Pereira

Débora Ferraz

João Pedro Marins Barbosa Joaquim

Yasmin Moreira Sturião

**RESUMO:** O acesso à água é um direito humano fundamental para garantir saúde e qualidade de vida. Esta pesquisa analisou, com base nos dados do Censo 2022, o acesso à rede geral de abastecimento de água nos municípios de Cabo Frio e seus limítrofes, evidenciando desigualdades entre áreas urbanas, periféricas e rurais. Utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG), os dados foram processados nos softwares RStudio e ArcMap para a criação de mapas temáticos. Os resultados revelam que as áreas urbanas contam com maior cobertura da rede regular, enquanto zonas periféricas e rurais enfrentam “apagões” no abastecimento, ou sequer são atendidas. Municípios como Casimiro de Abreu, com vastas zonas rurais, e regiões turísticas como Cabo Frio, Búzios e Arraial do Cabo apresentam alta dependência de fontes alternativas, revelando falhas na infraestrutura de abastecimento. A pesquisa reforça a urgência de políticas públicas que garantam acesso universal e igualitário à água.

**PALAVRAS-CHAVE:** abastecimento de água, dados censitários, análise espacial, região dos lagos.

## INTRODUÇÃO

O abastecimento de água é essencial para se ter qualidade de vida, uma vez que atua na prevenção de doenças e na promoção da higiene e do bem-estar. A Assembleia Geral das Nações Unidas do Direito Humano à água e ao saneamento, em julho de 2010, estabeleceu como direito a todo ser humano ter acesso à água segura, aceitável e acessível. Esse reconhecimento foi essencial para que houvesse mais igualdade na distribuição de água em lugares que antes não eram atendidos, e para que a pauta sobre quem possui ou não acesso à água surgisse à tona, contribuindo para a garantia desse direito.

Elinor Ostrom, em sua obra “Governing the Commons” (1990), propôs uma abordagem inovadora para a gestão de recursos naturais compartilhados, como a água, desafiando a ideia da “tragédia dos comuns” que se refere a uma situação em que indivíduos, ao buscarem potencializar os seus próprios interesses em um recurso compartilhado, acabam por esgotá-lo ou prejudicá-lo, afetando negativamente a todos. Essa teoria, popularizada pelo ecologista Garrett Hardin em 1968 no ensaio “The Tragedy of the Commons”, descreve um dilema entre o benefício individual e o bem comum, especialmente em relação à água.

Ostrom, por meio de estudos empíricos, demonstrou que comunidades podem criar regras e instituições eficazes para gerir recursos comuns de forma sustentável, sem depender exclusivamente do Estado ou do mercado. Segundo Elinor Ostrom, essas comunidades são capazes de se auto-organizar e gerir recursos compartilhados, como a água, de forma sustentável e eficaz, sem depender exclusivamente da intervenção estatal ou das empresas privadas.

Henri Lefebvre (1968) definiu o direito à cidade como o direito de todos os habitantes de participar, apropriar-se e transformar os espaços urbanos. Não incluindo somente o acesso físico à cidade, mas também o acesso igualitário aos bens e serviços como, por exemplo, o de água tratada. Juntos, o direito de acessar água potável e o direito à cidade, contribuem para o desenvolvimento da população e o acesso à água é a expressão concreta e parte essencial do direito à cidade, pois sem eles, não há cidadania urbana plena.

No contexto da cidade de Cabo Frio e dos municípios limítrofes: Armação dos Búzios; Arraial do Cabo; Cabo Frio; Casimiro de Abreu; e São Pedro da Aldeia, a falta de acesso regular à água potável pode ser vista como uma falha na gestão de um bem comum essencial à vida humana. Apesar da região estar localizada próxima a corpos hídricos e inserida em um contexto de variedade ambiental e de diversos ecossistemas de grande importância, diversas áreas urbanas e periféricas enfrentam problemas no abastecimento, racionamentos frequentes e a necessidade de recorrer a formas alternativas de acesso, como caminhões-pipa, cisternas ou ligações irregulares.

Para melhor compreender a dinâmica espacial de acesso à distribuição de água regular e a outros meios pela população, a análise espacial surge como uma excelente alternativa ao desempenhar um papel essencial na compreensão da distribuição e das dinâmicas dos fenômenos geográficos, especialmente quando associada ao uso de dados censitários. Ao integrar essas informações em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), é possível identificar padrões, desigualdades territoriais, áreas de vulnerabilidade social e orientar a formulação de políticas públicas mais eficazes.

Os dados censitários são informações estatísticas coletadas por meio de uma pesquisa realizada em grande escala, chamada censo, que é realizada visando obter um resultado que integre uma população em determinado território, em um certo momento. Esses dados podem abranger diversas características e aspectos, como a população total, renda, ocupação, condições de moradia, abastecimento de água, entre outros. Sem informações confiáveis sobre população, renda, educação e habitação, o planejamento urbano torna-se baseado em suposições, comprometendo a eficácia das ações públicas (Rolnik, R. 2015). Esses dados permitem uma análise aprofundada das desigualdades sociais e territoriais, que estão diretamente ligadas com o abastecimento de água na região. Através desses dados, pode-se analisar a disparidade das rendas entre diferentes regiões, mesmo que muito próximas, o acesso desigual a saneamento básico e abastecimento de água e as condições precárias de moradia e, então, mostram a qualidade de vida dessa população.

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise espacial da infraestrutura de abastecimento de água nos domicílios particulares permanentes ocupados do município de Cabo Frio e de seus municípios limítrofes, com base nos dados do Censo Demográfico de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A partir da delimitação dos setores censitários, busca-se mapear a distribuição espacial dos moradores de domicílios particulares permanentemente ocupados que utilizam a rede geral de distribuição de água em contraste com aqueles que também estão em domicílios particulares permanentemente ocupados e recorrem a outras formas de abastecimento.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

A área de estudo abrange o município de Cabo Frio e seus municípios limítrofes: Armação dos Búzios; Arraial do Cabo; Cabo Frio; Casimiro de Abreu, e São Pedro da Aldeia, todos localizados no estado do Rio de Janeiro (Figura 1).

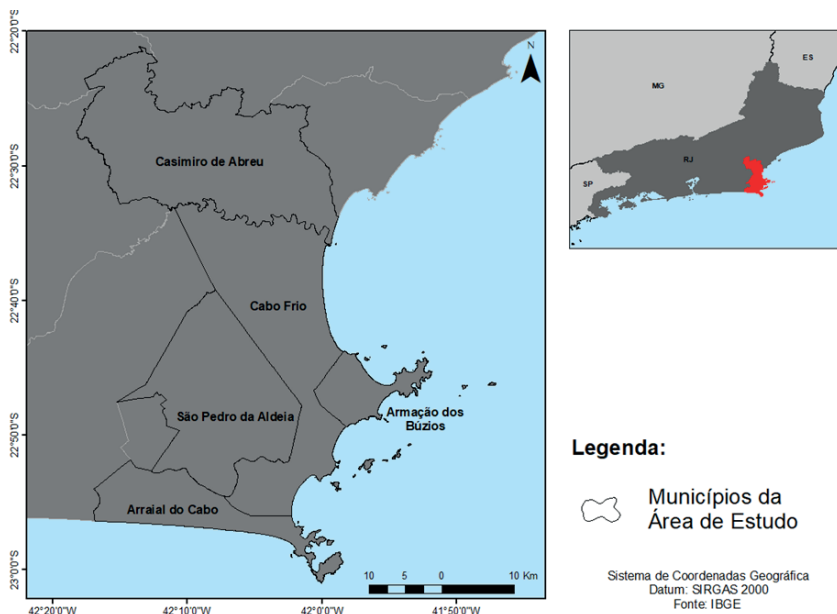


Figura 1- Mapa da localização da área de estudo. Fonte: elaborado pelos autores

A cidade de Cabo Frio é a maior da região dos lagos em termos de área e habitação, com uma área territorial de 413,449 km<sup>2</sup>, possui 238.166 pessoas, dessa maneira a densidade demográfica de Cabo Frio é de 576,04 hab/km<sup>2</sup> (IBGE 2022,2024). Cabo Frio possui um distrito: Tamoios.

O município de Arraial do Cabo possui uma área total de 152,305 km<sup>2</sup>. Com uma população total de 30.986 hab (IBGE 2022), sua densidade demográfica é de 203,71 hab/km<sup>2</sup>. Arraial do Cabo possui 4 distritos, sendo: Figueira, Monte Alto, Caiçara e Pernambuco.

O município de São Pedro da Aldeia tem uma área territorial de 358,66 km<sup>2</sup>, com uma população de 104.029 (IBGE 2022) e com uma densidade demográfica de 312,5 hab./km<sup>2</sup>.

O município de Casimiro de Abreu possui uma área territorial de 461 km<sup>2</sup>. Com uma população de 46.110 (IBGE 2022), sua densidade demográfica é 99,61 hab/km<sup>2</sup>. Possui três distritos: Barra de São João, Professor Souza e Rio Dourado.

A região dos Lagos apresenta características naturais marcantes, influenciando profundamente não apenas o meio ambiente, mas também a distribuição dos corpos hídricos. O clima predominante é o tropical úmido, com baixos índices de ocorrência,

entre 750 mm e 900 mm de chuva por ano, e evaporação elevada, superando a quantidade anual. Essa combinação acaba favorecendo a hipersalinidade da Lagoa, tornando-a uma das maiores lagunas hipersalinas em estado permanente do mundo. A vegetação é composta por mosaicos de restinga, manguezais, campos de dunas e remanescentes de Mata Atlântica, além de espécies adaptadas à aridez, como cactos e bromélias, especialmente presentes nas restingas de Massambaba e Cabo Frio (Barbiéri, 1984).

A Lagoa de Juturnaíba abastece os municípios da área de estudo por meio da PROLAGOS e da Águas de Juturnaíba, em sua estação de tratamento localizada em São Vicente de Paula no município de Araruama. A represa que ali foi construída é a maior fonte de captação de água para uso humano e abastece cerca de 1,2 milhões de pessoas, incluindo a população flutuante, conhecida como os turistas na alta temporada. A superfície da lagoa era de 5,56 km<sup>2</sup> e após a construção da represa, o tamanho passou a ser de 43 km<sup>2</sup>, possibilitando assim, um maior tratamento do volume d'água (RODRIGUESIA, 2009; DOS SANTOS et al, 2016).

A Região Hidrográfica da Laguna de Araruama e da cidade de Cabo Frio cobre uma superfície aproximada de 572 km<sup>2</sup>. Reúne a lagoa de Araruama e sua bacia contribuinte, as restingas de Massambaba e Cabo Frio, e um pequeno trecho ao norte do Canal de Itajuru que termina na praia das Conchas onde está conectada ao Oceano Atlântico. A região hidrográfica limita-se a oeste com as bacias das lagoas de Jacarepiá e Saquarema, ao norte e noroeste com as bacias dos rios São João e Una, que são afluentes da Laguna de Araruama Cabo de Búzios e a leste e sul com o Oceano Atlântico. Apesar de existirem alguns rios perenes, como o Rio das Moças e o Rio Mataruna em Araruama, a maioria dos cursos d'água que drenam a bacia é intermitente, e pequenas sub-bacias abastecidas de modo desigual para o abastecimento hídrico. O transporte de água doce é pequeno, intensificando a salinidade e singularidade desse sistema lagunar. Por fim, destaca-se a representação de Juturnaíba, responsável pelo fornecimento de água potável para a região é fundamental para o atendimento da população local e turística. A região abarca integralmente apenas o município de Arraial do Cabo e parcelas dos municípios de Cabo Frio, São Pedro da Aldeia, Iguaba Grande, Araruama, Saquarema e Rio Bonito. (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA LAGOS SÃO JOÃO, 2025).

## Análise Espacial

A Figura 2 apresenta um fluxograma que ilustra de forma sequencial e organizada as etapas metodológicas adotadas neste estudo. Esse esquema visa proporcionar uma visão geral do percurso seguido na condução da pesquisa, desde a coleta e análise dos dados, até a elaboração dos resultados.

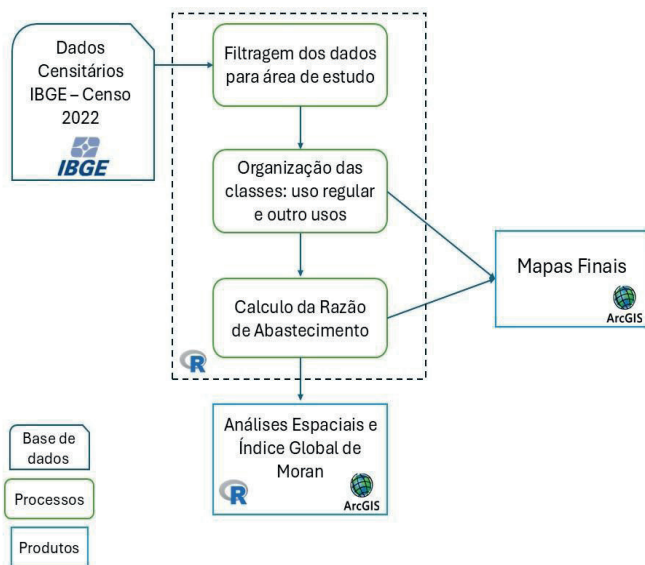


Figura 2 - Fluxograma metodológico. Fonte: elaborado pelos autores.

Na presente pesquisa, foram utilizados os dados do Censo Demográfico de 2022, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), considerando os resultados agregados por setores censitários dos municípios que compõem a área de estudo. A variável selecionada para representar a classe “abastecimento regular” corresponde à quantidade de moradores em domicílios particulares permanentes ocupados que utilizam a rede geral de distribuição de água. Para a construção da classe “outros tipos de abastecimento”, foram somadas as variáveis que informam a quantidade de moradores em domicílios que utilizam, respectivamente: poço profundo ou artesiano; poço raso, freático ou cacimba; fonte, nascente ou mina; carro-pipa; água da chuva armazenada; rios, açudes, córregos, lagos ou igarapés; e outras formas de abastecimento de água.

Para manipular a base de dados a fim de filtrar os setores censitários dos municípios de interesse, utilizou-se o software estatístico RStudio 2021.09.0+351, com a aplicação da biblioteca “tidyverse”. Para a filtragem, realizou-se uma modificação da variável de setor censitário, construindo uma coluna chamada município contendo os 7 primeiros dígitos. Com isso, filtrou-se os municípios de acordo com a sua identificação (Tabela 01).

Tabela 01: Código dos municípios com base no IBGE

Municípios	Código dos Municípios (IBGE)
Cabo Frio	3300704
Casimiro de Abreu	3301306
Arraial do Cabo	3300258
São Pedro da Aldeia	3305208
Armação de Búzios	3300233

Fonte: elaborada pelos autores

Após a filtragem, calculou-se a razão de abastecimento, dividindo o valor do “abastecimento regular” pelo valor de “outros tipos de abastecimento”. A nível de interpretação, quando o valor da razão for maior que 1, tem-se mais “abastecimento regular”, quando menor que 1, existem mais “outros tipos de abastecimento” e quando igual a 0, não há abastecimento regular. Após realização desses cálculos e análise estatística, os dados foram exportados para o Microsoft Excel para construção dos mapas.

Com a tabela em formato Excel, contendo os dados dos setores censitários organizados em três colunas principais: uso regular, outros usos e razão de abastecimento, ela foi importada para o software ArcMap 10.4, onde, por meio da ferramenta “Join”, os dados foram associados ao shapefile dos setores censitários da área de estudo. Em seguida, foram elaborados três mapas coropléticos, sendo o primeiro representando a distribuição do uso regular, o segundo relacionado aos outros tipos de uso e o terceiro referente à razão de abastecimento. Essa etapa teve como objetivo espacializar essas variáveis e possibilitar uma análise detalhada de sua distribuição espacial.

Por fim, para avaliar a autocorrelação espacial, utilizou-se o Índice de Moran Global que quando maior que 0 representa um padrão de agrupamento (valores semelhantes estão próximos), quando menor que 0 elucida um padrão de dispersão (valores diferentes estão próximo) e quando próximo a 0 demonstra um padrão aleatório. Foi considerado um nível de significância de 5% para testar a hipótese de autocorrelação entre as variáveis.

## RESULTADOS

Após a análise dos dados, a atual pesquisa incluiu 1635 setores censitários. A Figura 3 demonstra a análise espacial referente ao “abastecimento regular” de água. Não foi observada evidência estatística que exista uma autocorrelação espacial

( $p$ -valor = 0,3668), entretanto, de forma descritiva, notou-se que há maior quantidade de abastecimento regular nos setores censitários próximos aos centros. Pode-se notar este fato ao observar o município de Cabo Frio, onde há predominância nas áreas perto da Praia do Forte e na área limite com São Pedro da Aldeia.

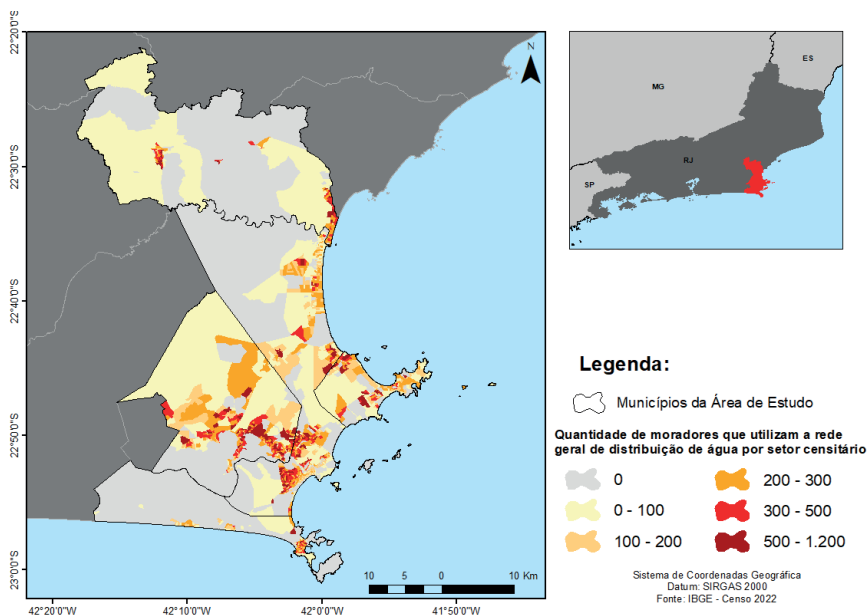


Figura 3 - Mapa da quantidade de moradores que utilizam a rede regular de abastecimento por setor censitário. Fonte: elaborado pelos autores

O mapa acima revela uma disparidade no acesso à infraestrutura de distribuição de água entre diferentes regiões do estado, com algumas áreas mais desenvolvidas apresentando maior cobertura, como o município de São Pedro da Aldeia, onde a concentração é difusa, e o município de Cabo Frio, predominantemente nas áreas próximas da Praia do Forte, enquanto outras têm uma rede menos abrangente, como o caso de Casimiro de Abreu e Arraial do Cabo. Isso reflete desigualdades em termos de planejamento urbano e acesso a serviços públicos.

Todos os municípios apresentam uma alta concentração de moradores utilizando a rede de água nas áreas urbanas, refletindo a densidade populacional e o nível de infraestrutura nesses locais. Cores como laranja (200-300) e vermelho claro (300-500) são comuns nas áreas mais centrais e densamente povoadas. A cobertura da rede de água nas áreas periféricas e rurais é mais fraca em todos os municípios, com muitas áreas sendo representadas por amarelo claro (0-100) e amarelo (100-200). Isso sugere que há uma disparidade no acesso à água, com as regiões mais afastadas ainda carecendo de infraestrutura adequada.

Em municípios como Arraial do Cabo, Casimiro de Abreu nota-se que há uma pequena e irrisória concentração de moradores que utilizam a rede geral de distribuição de água, indicando a inexistência de infraestrutura. Por serem cidades onde há uma predominância de áreas rurais e periféricas, há um menor nível de desenvolvimento urbano e estratégico para alocar uma infraestrutura que comporte o acesso da população a uma rede de abastecimento regular.

Portanto revela-se um padrão comum de alta utilização da rede de água nas áreas urbanas e desafios significativos nas regiões periféricas e rurais. A expansão da infraestrutura de água e uma gestão eficaz da demanda, especialmente em municípios turísticos, são essenciais para garantir o acesso equitativo à água tratada para toda a população.

O mapa da quantidade de moradores que utilizam outras formas de acesso à água por setor censitário pode ser observado na Figura 4. Notou-se evidência estatística forte ( $p$ -valor  $<0,001$ ) de que há autocorrelação espacial negativa desta variável entre os setores censitários dos municípios avaliados. Com isso, setores censitários vizinhos tendem a ter quantidade de moradores utilizando outras formas de acesso à água menos semelhante do que seria esperado ao acaso, ou seja, há um padrão de dispersão nos valores.

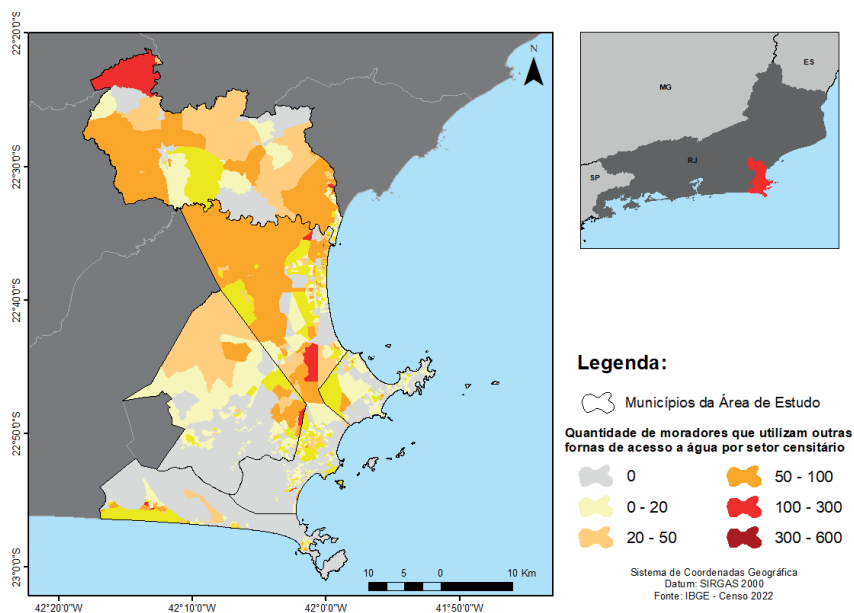


Figura 4 - Mapa da quantidade de moradores que utilizam outras formas de acesso à água por setor censitário. Fonte: elaborado pelos autores

A partir de uma análise geoespacial, pode-se concluir que os dados no mapa acima revelam disparidades significativas no acesso à água potável, especialmente entre áreas urbanas e rurais. Enquanto as áreas urbanizadas desses municípios apresentam uma infraestrutura de abastecimento de água mais eficiente, e não carecem de recorrer a meios alternativos para ter acesso regular, as zonas periféricas e rurais dependem predominantemente de fontes alternativas, para suprir suas necessidades. Isso é particularmente evidente em Casimiro de Abreu, onde grandes extensões de áreas rurais carecem de acesso direto à rede pública de água, e em municípios turísticos como Cabo Frio e Búzios, onde a pressão sazonal causada pelo aumento populacional durante a alta temporada agrava a escassez de água.

A dependência de fontes alternativas é um reflexo da insuficiência da infraestrutura de água nessas regiões, o que destaca a necessidade urgente de expansão da rede de distribuição de água para áreas periféricas e rurais, com o objetivo de garantir acesso equitativo ao recurso. Em particular, os municípios da Região dos Lagos devem focar na ampliação dessa infraestrutura e na gestão eficiente dos recursos hídricos, levando em consideração a grande disponibilidade hídrica e a necessidade de atender à população residente, assegurando a universalização do acesso à água tratada

Na Figura 5 apresentada abaixo, pode-se notar importantes dados sobre a distribuição do acesso universal ao abastecimento de água nos municípios trabalhados. O estudo focaliza essa relação entre os municípios que possuem acesso à rede regular e as que dependem de outras fontes de água, conforme a classificação indicada pela legenda do mapa. Observou-se forte evidência estatística ( $p$ -valor < 0,001) de que há autocorrelação espacial negativa. Dessa forma, setores censitários vizinhos tendem a ter valores de razão entre a quantidade de moradores que utilizam a rede regular de abastecimento e os que utilizam outras formas de acesso à água menos semelhante do que seria esperado ao acaso, ou seja, há um padrão de dispersão nos valores. A análise espacial dos setores censitários de Cabo Frio feita abaixo, elucida uma disparidade socioespacial no acesso à rede de abastecimento de água, reforçando a ideia de que a crise não é apenas de infraestrutura técnica, mas também política e das instituições que fornecem água para a região.

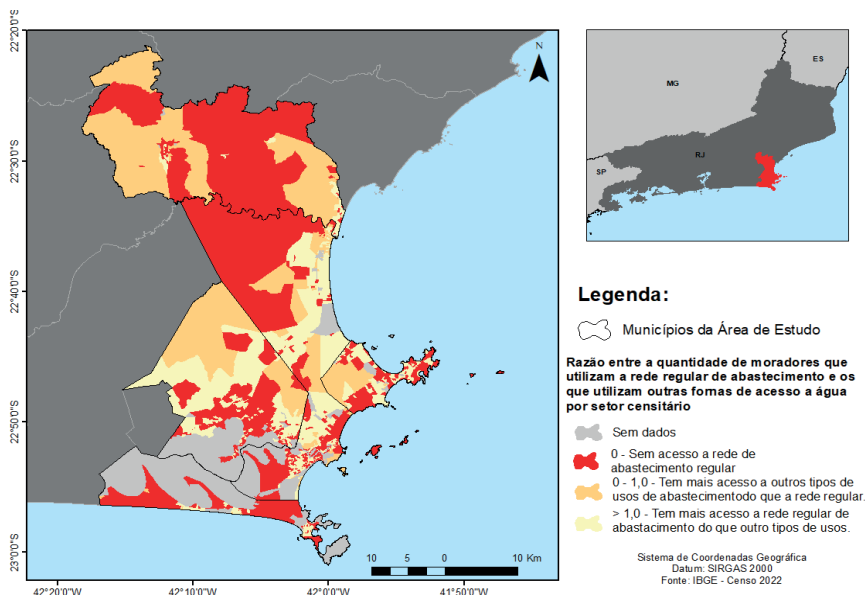


Figura 5 - Mapa da razão entre a quantidade de moradores que utilizam a rede regular de abastecimento e os que utilizam outras formas de acesso à água por setor censitário. Fonte: elaborado pelos autores

Em Cabo Frio, existe uma predominância da cor vermelha e laranja, indicando que a população tem acesso a fontes não regulares de abastecimento, mostrando essa dependência em fontes alternativas. E apenas uma pequena parcela de regiões que possuem um acesso à rede regular, geralmente, expressa no mapa, em áreas mais próximas do litoral. Essa variação sugere que o município possui uma infraestrutura menor do que a cidade demanda, e que ela não é igualmente distribuída entre as áreas centrais e marginais.

Casimiro de Abreu, acompanha a linha vermelha de Cabo Frio, apresentando uma distribuição heterogênea no que tange ao acesso à rede regular de abastecimento. Grande parte do município ainda depende de uma de fontes alternativas para o abastecimento de água. Em contraponto, algumas áreas apresentam acesso à rede regular de abastecimento, o que evidencia a presença da infraestrutura em determinados setores da cidade, ainda que com uma cobertura bastante desigual.

No município de São Pedro da Aldeia a dinâmica com áreas de acesso é distribuída mais homogeneamente. Sugerindo que, uma parte significativa da população tem acesso a fontes alternativas de abastecimento, e outra porção considerável também conta com a rede regular de abastecimento de água. Essa dinâmica homogênea

reflete nas disparidades regionais dentro do próprio município, onde a infraestrutura deveria ser melhor nas áreas centrais, mas ainda é bastante insuficiente em regiões periféricas.

Em Armação dos Búzios, por sua vez, apresenta uma distribuição mais acentuada de áreas sem acesso à rede regular, o que deflagra mais uma vez uma dependência maior de fontes alternativas de abastecimento. A predominância de áreas em vermelho, mostra a limitação no abastecimento, especialmente em áreas mais periféricas ou de difícil acesso, sugerindo que haja desafios geográficos e de logística não encontrados pelas administrações, que não conseguem expandir essa infraestrutura e abastecer a sua população.

Por fim, em Arraial do Cabo, é marcada por uma ausência dos dados, o que dificulta e compromete uma análise detalhada e precisa da distribuição do acesso ao abastecimento de água. Nas áreas onde há dados disponíveis, predomina o não acesso à rede regular, expondo que boa parte da população de Arraial depende de fontes alternativas. A ausência de dados pode ser comparada com a ineficácia nas coletas e no tratamento de dados, possibilitando uma visualização clara da realidade do abastecimento da cidade.

Os resultados obtidos a partir da análise da distribuição de acesso ao abastecimento de águas nos municípios limítrofes de Cabo Frio: Casimiro de Abreu, Cabo Frio, São Pedro da Aldeia, Armação dos Búzios e Arraial do Cabo. A partir dessa análise, pode-se observar a disparidade significativa entre as áreas com acesso à rede regular de abastecimento e aquelas que dependem de fontes alternativas, dependência essa que pode impactar a qualidade de vida e a saúde pública dos moradores. Embora existam regiões como São Pedro da Aldeia com uma estrutura consolidada, o mapa sugere que ainda há espaço e uma necessidade grande de ampliação, de modo a assegurar um acesso a um abastecimento regular de qualidade.

A falta de dados completos em algumas áreas, especialmente em Arraial do Cabo, destaca a necessidade de aprimorar a coleta de informações sobre a distribuição e o acesso ao abastecimento de água, a fim de subsidiar políticas públicas eficazes para a universalização do acesso a uma rede regular de abastecimento.

## CONCLUSÃO

O acesso à água no município de Cabo Frio e nos municípios limítrofes se dá de diversas maneiras, sendo por abastecimento regular ou não. A presente pesquisa possibilitou uma análise espacial mais aprofundada sobre essa distribuição, evidenciando a grande disparidade no acesso à água nos municípios limítrofes de Cabo Frio, com áreas urbanas favorecidas por uma infraestrutura de abastecimento mais robusta, enquanto as zonas periféricas e rurais continuam a depender de

fontes alternativas. A análise espacial, associada aos dados censitários, foi crucial para identificar as áreas mais vulneráveis e desprovidas de infraestrutura adequada, e para mapear a concentração desses moradores no abastecimento, sendo ele regular ou não.

A Partir disso, mostra-se a necessidade de expansão da rede de abastecimento de água para garantir acesso universal e equitativo, especialmente nas regiões rurais e periféricas, é urgente. Além disso, os municípios turísticos como Cabo Frio e Búzios devem considerar a gestão sazonal de recursos hídricos, dado o aumento populacional temporário. A falta de dados em áreas como Arraial do Cabo destaca a importância de aprimorar a coleta e o monitoramento de informações sobre o acesso à água, para apoiar políticas públicas mais eficazes e garantir o direito humano ao abastecimento de água.

## BIBLIOGRAFIA

ÁGUA – Prolagos. *Prolagos*. Disponível em: <https://www.prolagos.com.br/agua/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

BARBIÉRI, E. Cabo Frio e Iguaba Grande: dois microclimas distintos a um curto intervalo espacial. In: Lacerda, L. D.; Araujo, D. S. D.; Cerqueira, R. & Turcq, B. (eds.). Restingas: origem, estruturas, processos. CEUFF, Niterói. 1984.

BARRACO GEOGRÁFICO. Geomorfologia da Região dos Lagos – RJ. *Blog Barraco Geográfico*, 2012. Disponível em: <https://barracogeografico.wordpress.com>. Acesso em: 25 jul. 2025.

CENTRO DE DIVERSIDADE VEGETAL DE CABO FRIO. Mapeamento da vegetação e da paisagem do município de Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia*, 2009.

COMITÊ DA BACIA LAGOS SÃO JOÃO. *Flora e vegetação da Região dos Lagos – RJ*. Disponível em: <http://cbhlsj.org.br>. Acesso em: 25 jul. 2025.

DOS SANTOS, A.; COSTA, E.; SEABRA, V. Uso e cobertura da terra e diversidade de ambientes da Região dos Lagos – RJ. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 11., 2016.

HARDIN, Garrett. The tragedy of the commons. *Science*, v. 162, n. 3859, p. 1243–1248, 1968. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1724745>. Acesso em: 22 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Censo Demográfico 2022: população e domicílios: primeiros resultados*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br>. Acesso em: 22 jul. 2025.

OSTROM, Elinor. *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

ROLNIK, Raquel. *Guerra dos lugares: a colonização da terra e da moradia na era das finanças*. São Paulo: Boitempo, 2015.



## TRABALHO 10

# AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO CICLO DE VIDA AMBIENTAL DE PLÁSTICOS PET E PLA: FOCO NOS IMPACTOS RELACIONADOS À GERAÇÃO DE MACROPLÁSTICOS E MICROPLÁSTICOS

Bruno Freitas de Souza Placido

Bettina Susanne Hoffmann

Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco

Thiago Santiago Gomes

**RESUMO:** A fragmentação de plásticos ao longo do tempo forma macro e microplásticos que persistem no ambiente, afetando fauna, ciclos biogeoquímicos e potencialmente a saúde humana. Este estudo comparou o ciclo de vida (ACV) do PET e PLA, considerando produção, importação e destinação no Brasil. O PET apresentou maior geração de macroplásticos, principalmente em cenários de disposição inadequada, devido ao maior volume consumido e vazamentos no fim de vida. O PLA teve menor geração de macroplásticos, sobretudo quando destinado à compostagem industrial. Ambos os polímeros contribuíram para microplásticos pelo transporte rodoviário, com maiores valores para o PLA pela maior dependência desse modal. A substituição parcial do transporte marítimo e rodoviário por modais mais sustentáveis reduziu vazamentos de microplásticos e impactos como acidificação terrestre (redução de 17,79% PET e 12,18% PLA) e aquecimento global (2,76% PET e 2,97% PLA), mostrando benefícios potenciais dessas mudanças logísticas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Avaliação do Ciclo de Vida; PET; PLA; Macroplásticos; Microplásticos;

## INTRODUÇÃO

O plástico desempenha um papel inquestionável na sociedade moderna, devido à sua versatilidade, durabilidade e baixo peso específico. Esse material tem contribuído para a democratização do consumo e reduzido o peso de muitos objetos (WALKER E ROTHMAN, 2020).

Entre os vários tipos de plásticos de origem fóssil, o poli (tereftalato de etileno) (PET) se destaca como um dos principais polímeros usados atualmente. Ele é amplamente empregado em produtos plásticos do cotidiano, especialmente em itens descartáveis, como embalagens e garrafas de água (CHEN *et al.*, 2020).

A produção de plásticos no mundo foi de 400,3 Mt em 2022, sendo mais de 90% dessa quantidade relacionada à produção de plásticos de base fóssil, ou seja, derivado do petróleo. Além disso, 32% dessa quantidade é proveniente da China, sendo a América Central e do Sul responsável por apenas 4% de toda a produção mundial (PLASTICSEUROPE, 2023).

Em 2023, conforme o perfil da ABIPLAST, o polietileno tereftalato (PET) representou 6,9% do total das principais resinas consumidas no Brasil. O polietileno (PE) destacou-se como o tipo de plástico mais consumido, com as seguintes porcentagens: o Polietileno de Alta Densidade (PEAD) contabilizou 13,9%, o Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) alcançou 7,6%, e o Polietileno de Baixa Densidade Linear (PEBDL) foi responsável por 15,3%. Dessa forma, o total de consumo de polietileno atingiu 36,8%.

Apesar do pequeno volume consumido, o PET foi o tipo de plástico com maior índice de reciclagem pós-consumo (53,6%) em 2022. De acordo com a ABIPET (2024), foram 359 mil toneladas de PET pós-consumo em 2021, o que corresponde a 56,4% das embalagens descartadas pelos consumidores, e que 69% desse material é proveniente da atuação de sucateiros e 15% de cooperativas, tendo grande relevância social no Brasil.

De acordo com BARBOZA *et al.* (2019), a poluição plástica em ambientes marinhos afeta desde seres invertebrados a vertebrados, e o número de registros de animais ameaçados pelo plástico marinho, como aves e mamíferos marinhos, tartarugas, peixes e invertebrados, aumentou ao longo dos últimos anos, sendo a presença desses resíduos nos ambientes marinhos um dos maiores problemas ambientais do nosso tempo.

RHODES *et al.* (2018) apontam algumas consequências ambientais da poluição plástica: emaranhamento ou entrelaçamento, que ocorre quando muitas criaturas marinhas ficam cercadas ou enredadas pelos detritos plásticos e acabam sufocando ou se afogando, relacionada a macroplásticos; decomposição do material, que pode descarregar uma série de poluentes secundários, que incluem compostos orgânicos voláteis (COV), tais como benzeno e tolueno, ora como componentes gasosos, ora como componentes de lixiviado.

Após a degradação dos plásticos, ocorre a formação de microplásticos, que são materiais com menos de 5 mm, que interagem com a biota marinha, sendo os efeitos na saúde humana ainda desconhecidos (MERCÊS *et al.*, 2021). KHALID *et al.* (2020) citam que os microplásticos possuem a capacidade de sorção de vários poluentes, e que por suas características hidrofóbicas, em ambientes aquáticos, pode facilitar a atração de poluentes orgânicos, aumentando sua toxicidade.

Para mitigar os impactos ambientais causados pelos plásticos de origem fóssil, estudos vêm sendo realizados em busca de substitutos biodegradáveis, de origem renovável. Esses materiais podem decompor-se em materiais de menor tamanho e, no caso dos biodegradáveis, através de mecanismos microbianos, misturar-se inofensivamente em solo e água (ATIWESH *et al.*, 2021). Até o presente momento, os bioplásticos mais amplamente produzidos incluem o ácido polilático (PLA), o polihidroxialcanoato (PHA), o succinato de polibutileno (PBS), plásticos à base de amido e plásticos à base de celulose. Com exceção do PLA, os demais biopolímeros enfrentam uma ou várias questões fundamentais que limitam de maneira significativa sua aplicação extensiva, tais como métodos de processamento diversos, propriedades inerentes insatisfatórias e lenta industrialização, entre outros (YU *et al.*, 2023).

O Poli (ácido láctico) (PLA) é uma das alternativas mais promissoras para substituir determinadas aplicações do PET, um dos polímeros mais utilizados no segmento de embalagens. De acordo com RAJESHKUMAR *et al.* (2021), o PLA pode ser produzido a partir de fontes renováveis como trigo, milho, arroz, batata-doce, entre outros. Dentre as vantagens desse polímero, destaca-se o baixo consumo de energia. Os autores ainda citam que existem limitações comerciais devido a algumas fragilidades, como baixa tenacidade e sua natureza hidrofílica, mas quando misturado com fibras naturais, suas propriedades térmicas, cristalização, degradabilidade e propriedades mecânicas, por exemplo, são otimizadas, tornando o produto competitivo e disponível para uso por diferentes indústrias.

A participação de mercado dos plásticos “*bio-based*” está em ascensão, com uma previsão de crescimento de 2,15 milhões de toneladas em 2020 para 2,43 milhões de toneladas em 2024, representando um aumento de 13% (SPIERLING *et al.*, 2020).

Segundo MTIBE *et al.* (2021), os polímeros biodegradáveis são facilmente degradados por microrganismos devido à presença de grupos funcionais em suas cadeias alifáticas, como carbonilas, hidroxilas, ésteres e hidroxíácidos, que os tornam mais suscetíveis à atividade enzimática. Contudo, é essencial considerar que a eficiência dessa degradação depende de diversos fatores, como o tipo de microrganismos presentes no ambiente, as condições ambientais (como temperatura, umidade, pH, luz e disponibilidade de oxigênio) e as características próprias do polímero, como massa molar e cristalinidade.

Para a tomada de decisão entre o desempenho ambiental de um produto ou outro, KOUSEMAKER *et al.* (2021) cita que a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é reconhecida como uma metodologia para estimar e quantificar o impacto ambiental de produtos, sistemas e serviços, através da análise detalhada dos balanços de massa e energia.

De acordo com a definição da ABNT NBR ISO 14.040:2006, “A ACV enfoca os aspectos ambientais e os impactos ambientais potenciais”, como por exemplo, o uso de recursos e as consequências de liberações para o meio ambiente, ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, desde a aquisição das matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final, sendo isso considerado, do berço ao túmulo”.

Os impactos ambientais, fundamentados nos dados do inventário do ciclo de vida, são quantificados e associados a categorias específicas de impacto (ou “áreas de preocupação ambiental”). A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) compreende: i) a escolha das categorias de impacto, indicadores e modelos de caracterização; ii) a atribuição dos resultados do inventário do ciclo de vida às categorias de impacto selecionadas (classificação); e iii) o cálculo dos indicadores de categoria, onde os resultados do inventário dentro de cada categoria são quantitativamente convertidos por meio de fatores de caracterização (caracterização) (BISHOP, 2021).

SALIERI *et al.* (2021) sinaliza que diversos estudos foram realizados em relação à ACV de plásticos, porém os microplásticos só tem sido considerados em poucos estudos. O autor ainda cita que a ausência de dados de inventário de geração de microplásticos no ciclo de vida e da determinação de um fator de caracterização (FC) é um limitador para avaliar de forma mais ampla os impactos ambientais da liberação de microplásticos por meio do ACV.

O objetivo deste trabalho é avaliar quantitativamente o desempenho ambiental dos polímeros PET e PLA, desde a sua produção até o fim de vida em diferentes cenários de descarte, como aterro sanitário, reciclagem, incineração e disposição irregular, focando no potencial de geração de macroplásticos e microplásticos no ciclo de vida. Para realizar essa avaliação, foi empregada a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), considerando as variações nos processos de produção e importação. Além disso, busca-se analisar os impactos ambientais associados à ecotoxicidade, pegada hídrica e de carbono.

## OBJETIVO

### Objetivo Geral

O objetivo geral desse estudo é avaliar comparativamente o desempenho ambiental de embalagens de Poli (tereftalato de etileno) (PET) e de Poli (ácido láctico) (PLA), incluindo os impactos ambientais provocados por emissão de macroplásticos e microplásticos no meio ambiente, além da avaliação de 12 categorias de impacto ambiental, em uma abordagem do berço ao túmulo: aquecimento global, acidificação

terrestre, eutrofização em água doce, eutrofização marinha, ecotoxicidade em água doce, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre, uso da terra, escassez de recursos fósseis, escassez de recursos minerais, vazamento de microplásticos e vazamento de macroplásticos.

## Objetivos Específicos

- Levantar dados secundários para modelar os processos de produção do PET de origem fóssil e o PLA, considerando todo o ciclo de vida até o pós-consumo em uma realidade brasileira.
- Propor cenários de final de vida “business as usual” e “best case”, considerando a disposição final proveniente de PET e PLA e os cenários de descarte no Brasil.
- Identificar vazamentos de macro e microplásticos para o oceano, relacionados ao ciclo de vida do PET e do PLA nos dois cenários.
- Identificar fatores de caracterização e metodologias de cálculo propostas na literatura para a avaliação do impacto ambiental gerado por macro e microplásticos das resinas estudadas neste trabalho;
- Avaliar comparativamente os resultados do ACV considerando quatro cenários, que variam em relação aos polímeros, os vazamentos de macro e microplástico e o tipo de destinação dos resíduos.

## METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste estudo tem como objetivo principal realizar uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) comparativa entre os polímeros poli(tereftalato de etileno) (PET) e poli(ácido láctico) (PLA), seguindo as diretrizes normativas ISO 14040 e ISO 14044. Essa abordagem metodológica envolve as quatro etapas clássicas da ACV: definição de objetivo e escopo, elaboração do inventário, avaliação dos impactos ambientais e interpretação dos resultados. Toda a modelagem foi executada no software SimaPro (versão 9.4.0.3), utilizando dados de inventário secundários extraídos do banco Ecoinvent 3.8 e complementados com informações atualizadas da literatura científica especializada e outras fontes secundárias.

Para contemplar a realidade do mercado nacional, foram modelados quatro cenários distintos, dois para cada polímero: (1) PET em cenário “business as usual”, (2) PET em cenário “best case”, (3) PLA em cenário “business as usual” e (4) PLA em cenário “best case”. Esses cenários consideram diferentes rotas de produção, importação e destinação final, sempre no contexto brasileiro. Assim, foi possível analisar o desempenho ambiental de cada polímero sob diferentes condições de gestão de resíduos e infraestrutura de transporte.

A construção dos cenários foi precedida por uma revisão bibliográfica exploratória abrangente. Foram utilizados o Portal CAPES, Science Direct e Google Acadêmico, com as palavras-chave PET, PLA, produção, ACV e LCA. A triagem inicial resultou em 27 artigos publicados entre 2009 e 2024, reduzidos para 21 após o recorte para os últimos dez anos. Para assegurar a qualidade dos dados, restringiu-se a análise aos artigos publicados em revistas com fator de impacto superior à média dos estudos inicialmente identificados (7,73). Esse filtro resultou na seleção final de 10 artigos, dos quais 8 apresentaram estudos de ACV aplicados de acordo com as normas ISO.

Os artigos selecionados são provenientes de diversos países, como Estados Unidos, Irlanda, China, Holanda, Itália e Tailândia, destacando-se a relevância de fatores locais como tipo de cultivo agrícola e infraestrutura de exportação. Essa diversidade geográfica é essencial, visto que a produção de PLA e PET varia significativamente conforme as matérias-primas disponíveis e as rotas logísticas adotadas. Por exemplo, a NatureWorks (EUA) e a Total Corbion (Tailândia) são líderes globais na produção de PLA, utilizando milho e cana-de-açúcar, respectivamente. Tentativas de contato foram feitas para obtenção de dados primários, mas as respostas foram limitadas, restringindo-se aos dados públicos.

Com base na origem das resinas, adotou-se como premissa para o PLA a importação dos EUA, considerando o milho cultivado em Nebraska, enquanto para o PET considerou-se a importação da China, principal fornecedora do Brasil segundo a ABIPLAST (2023). O processo produtivo do PET envolve múltiplas etapas: síntese de PTA a partir de paraxileno, produção de MEG via óxido de etileno, polimerização, extrusão e moldagem. Já para o PLA, Moretti et al. (2021) descrevem as fases desde o cultivo do milho até a produção de ácido láctico, lactídeo e, finalmente, a resina PLA.

As rotas de importação foram definidas considerando a realidade logística: o PET sai da província de Zhejiang, na China, através do Porto de Xangai, enquanto o PLA parte de Blair, Nebraska, via Porto de Chicago. Ambos seguem via transporte ferroviário até os portos, transporte marítimo até o Porto de Santos (SP) e, por fim, rodoviário até as indústrias de transformação localizadas majoritariamente em São Paulo.

Para o fim de vida, foram considerados dois cenários: o “business as usual”, baseado em dados da WWF (2019) e ABREMA (2023), e o “best case”, alinhado com as metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos 2040. No cenário atual, grande parte dos resíduos de PET é encaminhada a aterros sanitários (51,53%), com apenas 9,57% reciclados. Para o PLA, a reciclagem ainda é incipiente no Brasil, sendo o aterro a principal rota. Já o cenário “best case” projeta melhorias como aumento da reciclagem para 20% do PET e PLA e inclusão da compostagem industrial para o PLA, refletindo o potencial de recuperação da fração orgânica.

A definição da unidade funcional (UF) adotou a produção de um copo descartável de 473 ml (16 oz), considerando os pesos médios de 16,3 g de PLA e 18 g de PET, baseados em dados do estudo de Americas (2009). O fluxo de referência foi ajustado proporcionalmente para cada etapa da cadeia. Os inventários de ciclo de vida (ICV) detalharam entradas de massa e energia. Para o PLA, foram utilizadas as referências de Rezvani et al. (2021) e Benavides et al. (2020), enquanto para o PET os dados vieram de Tamburini et al. (2021).

As distâncias logísticas foram levantadas com base no Sea Distances e Google Maps, considerando trajetos conservadores: Porto de Xangai a Santos (13.541 milhas náuticas) e Porto de Chicago a Santos (6.606 milhas náuticas). Para o transporte terrestre, consideraram-se distâncias como Nebraska–NatureWorks (231 milhas), Zhejiang–Xangai (210 km) e Porto de Santos–fábricas do ABC Paulista (66,3 km).

Por fim, ressalta-se que foram incluídos fatores como pegada de carbono, pegada hídrica e toxicidade, mas sem considerar o sequestro de carbono biogênico do milho, dado que o CO<sub>2</sub> é novamente emitido no fim de vida do PLA. Essa abordagem do “berço ao túmulo” assegura uma visão abrangente do desempenho ambiental de cada polímero, oferecendo subsídios para políticas públicas, planejamento logístico e tomada de decisão empresarial rumo a cadeias de valor mais sustentáveis.

## RESULTADOS

Para o inventário de vazamentos de macro e microplásticos associados aos ciclos de vida dos polímeros PET e PLA, foi considerada a metodologia Plastic Leak Project (PLP). Foram calculados os vazamentos considerando três categorias principais: (i) vazamentos de macroplásticos provenientes de resíduos plásticos, estimados com base na massa de resíduos, taxa de perda nacional, taxa de lançamento para oceanos/água doce e taxa de redistribuição oceânica, utilizando dados nacionais; (ii) vazamentos de microplásticos devido ao desgaste de pneus durante o transporte rodoviário, estimados a partir das distâncias percorridas, perdas específicas por tipo de veículo e participação polimérica na banda de rodagem; e (iii) vazamentos de microplásticos resultantes da produção de pellets, calculados considerando taxa média de perda acumulada de 0,01% e redistribuição fluvial/oceânica.

Os resultados mostraram que os vazamentos estimados de macroplásticos foram de 0,00080 kg (PET) e 0,00072 kg (PLA) no cenário business as usual e 0,00016 kg (PET) e 0,00014 kg (PLA) no best case; os vazamentos de microplásticos devido à abrasão de pneus foram de 0,00037 kg para PET e 0,00242 kg para PLA; e os vazamentos de microplásticos pela produção de pellets foram de 0,000000211 kg para PET e 0,000000191 kg para PLA. Este inventário servirá como base para análises integradas de Avaliação de Ciclo de Vida com enfoque em impactos de macro e microplásticos em sistemas de produção de biopolímeros e polímeros fósseis.

Para a avaliação dos impactos ambientais do ciclo de vida analisado, foi adotada a metodologia ReCiPe 2016 Midpoint, por ser uma das mais atualizadas e amplamente reconhecidas na comunidade científica e industrial. O ReCiPe integra midpoints, que representam categorias intermediárias como mudança climática, acidificação e eutrofização, e endpoints, que traduzem os danos finais sobre saúde humana, ecossistemas e recursos naturais, permitindo análises abrangentes e de fácil comunicação para tomadores de decisão e público não técnico. O método abrange diversas categorias de impacto ambiental, incluindo mudanças climáticas, uso de recursos fósseis e minerais, toxicidade humana, ecotoxicidade, alterações no uso do solo e perdas de biodiversidade, estando alinhado a inventários e bancos de dados atualizados.

Além disso, oferece flexibilidade ao adotar diferentes perspectivas culturais: hierárquica, individualista e igualitária. A perspectiva hierárquica foi utilizada neste estudo, por refletir o consenso científico e políticas ambientais globais, adotando prazos médios a longos e nível moderado de incerteza, sendo considerada uma visão equilibrada. Em comparação, métodos como o CML limitam-se a midpoints e são menos atualizados, o Eco-Scarcity possui forte caráter regionalizado suíço, e o IMPACT 2002+ apresenta menor integração com bases modernas, justificando a escolha pelo ReCiPe.

Foram analisadas dez categorias de impacto: aquecimento global, acidificação terrestre, eutrofização em água doce, eutrofização marinha, ecotoxicidade em água doce, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre, uso da terra, escassez de recursos fósseis e minerais, além de duas categorias adicionais – Microplastic Leakage e Macroplastic Leakage –, desenvolvidas com base na metodologia Plastic Leak Project (PLP). Assim, foi possível realizar uma análise comparativa completa entre os quatro cenários modelados, gerando subsídios robustos para decisões de gestão ambiental e desenvolvimento de produtos com menor impacto ao longo do ciclo de vida.

A partir do inventário de ciclo de vida construído e da modelagem no SIMAPRO, foram obtidos os resultados apresentados no Gráfico e Tabela:

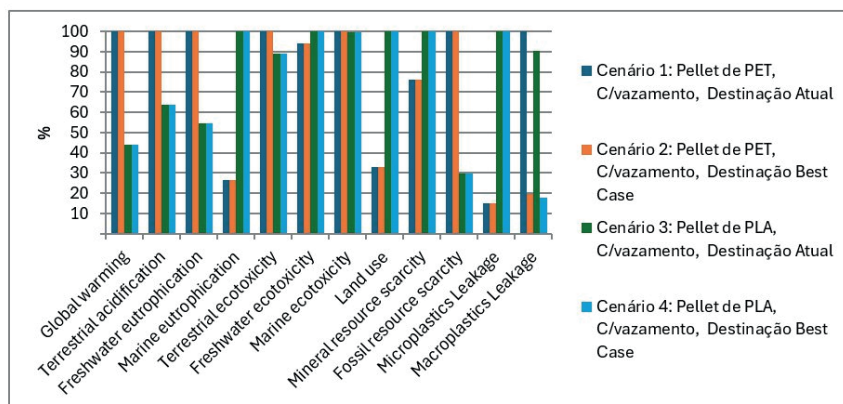


Gráfico 1 - Resultados da Análise Comparativa da ACV

Tabela 1 - Resultados por Categoria de Impacto Ambiental

Categoria de Impacto	Unidade	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Aquecimento Global	kg CO2 eq	0,145	0,145	0,0639	0,0639
Acidificação Terrestre	kg SO2 eq	0,000489	0,000489	0,000312	0,000312
Eutrofização em Água Doce	Kg P eq	0,0000413	0,0000413	0,0000226	2,26E-05
Eutrofização Marinha	Kg N eq	0,00000351	0,00000351	0,0000132	0,0000132
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4-DCB	0,303	0,303	0,269	0,269
Ecotoxicidade em Água Doce	kg 1,4-DCB	0,00252	0,00252	0,00268	0,00268
Ecotoxicidade Marinha	kg 1,4-DCB	0,00344	0,00344	0,00343	0,00343
Uso da Terra	m²a crop eq	0,0027	0,0027	0,00818	0,00818
Escassez de Recursos Minerais	kg Cu eq	0,000191	0,000191	0,000251	0,000251
Escassez de Recursos Fósseis	kg oil eq	0,0647	0,0647	0,0192	0,0192
Vazamento de Microplásticos	kg	0,000366	0,000366	0,00242	0,00242
Vazamento de Macroplásticos	kg	0,000796	0,000157	0,000721	0,000142

Não foram observadas diferenças significativas entre os cenários 1 e 2, bem como entre os cenários 3 e 4, nas categorias de impacto ambiental avaliadas, exceto nas categorias relacionadas ao vazamento de micro e macroplásticos. Essa ausência de variação se deve à baixa sensibilidade das alterações propostas nos padrões de destinação final dos resíduos, as quais não foram suficientes para gerar mudanças relevantes nos resultados obtidos.

## Pegada de Carbono (Aquecimento Global)

A ACV demonstrou que a produção de PET gera maior pegada de carbono (0,145 kg CO<sub>2</sub>eq/unidade funcional) em comparação ao PLA (0,0639 kg CO<sub>2</sub>eq). No PET, predominam emissões de CO<sub>2</sub> fóssil e CH<sub>4</sub>, associadas à extração de petróleo e produção de etileno e xileno. No PLA, as emissões de N<sub>2</sub>O têm destaque devido ao uso de fertilizantes nitrogenados no cultivo agrícola, além da queima de gás natural em motores durante o armazenamento.

## Acidificação Terrestre

O PET apresentou maior impacto para acidificação terrestre (0,000489 kg SO<sub>2</sub>eq/unidade funcional) do que o PLA (0,000312 kg SO<sub>2</sub>eq). No PET, as emissões de SO<sub>2</sub> provêm principalmente do transporte marítimo dos pellets, enquanto no PLA decorrem da queima de óleo combustível pesado em fornos e geradores usados na fermentação alcoólica e polimerização.

## Eutrofização em Água Doce e Marinha

Para eutrofização em água doce, o PET gerou maior impacto (0,0000413 kg P eq) do que o PLA (0,0000226 kg P eq), principalmente por emissões de fosfato no tratamento de estéril de carvão betuminoso. Já na eutrofização marinha, o PLA foi mais impactante (0,0000132 kg P eq), devido às emissões de nitrato oriundas do cultivo de milho, enquanto o PET apresentou menor contribuição (0,00000351 kg P eq).

## Ecotoxicidade Terrestre, em Água Doce e Marinha

Na ecotoxicidade terrestre, o PET teve maior impacto (0,303 kg 1,4 DCB) em comparação ao PLA (0,269 kg 1,4 DCB), com emissões de cobre, níquel e zinco relacionadas à geração de calor em processos industriais. Para ecotoxicidade em água doce e marinha, o PLA apresentou impacto levemente superior, principalmente pela emissão de cobre e zinco oriunda da fundição de cobre utilizada na produção de fertilizantes para o milho, enquanto no PET esses metais derivam de processos industriais de polimerização e produção dos monômeros.

## Uso de Terra

O PLA apresentou impacto significativamente maior no uso de terras (0,00818 m<sup>2</sup>a crop eq) que o PET (0,0027 m<sup>2</sup>a crop eq). Isso se deve ao cultivo de milho para produção do PLA, que demanda grandes áreas agrícolas, frequentemente resultantes da conversão de florestas, enquanto no PET o impacto decorre principalmente da extração terrestre de petróleo e gás.

## Escassez de Recursos Minerais e Fósseis

O PET foi responsável por praticamente 100% do impacto em escassez de recursos fósseis devido ao uso de petróleo e gás natural, enquanto o PLA apresentou maior impacto em recursos minerais, com destaque para cobre, níquel e ferro, utilizados em processos químicos e correção de pH durante a produção do PLA.

## Vazamento de Micro e Macroplásticos

Para microplásticos, o PLA apresentou maior vazamento (0,00242 kg) comparado ao PET (0,000366 kg), devido à maior distância percorrida por transporte rodoviário (abrasão de pneus). Já o vazamento de macroplásticos foi mais alto no PET (0,000796 kg) em cenários de destinação inadequada, mas reduziu significativamente em ambos os polímeros com a adoção de práticas de gestão de resíduos mais sustentáveis.

## ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Foi identificado que, em um cenário hipotético no qual a produção dos polímeros PLA e PET ocorresse em território nacional, especificamente no estado de São Paulo, em substituição à atual dependência de importações oriundas dos Estados Unidos (para o PLA) e da China (para o PET), haveria uma redução significativa nos impactos ambientais associados ao transporte. A principal diferença estaria na eliminação da necessidade de longas rotas internacionais, que atualmente utilizam modais marítimo, ferroviário e rodoviário ao longo do ciclo de vida desses materiais.

Para isso, realizou-se uma análise de sensibilidade, na qual o transporte marítimo foi excluído do ciclo de vida dos dois polímeros, simulando-se um cenário de produção nacional. Como resultado, observou-se uma redução em todas as categorias de impacto ambiental, conforme apresentado na Tabela 2, com exceção das categorias de vazamento de micro e macroplásticos que permaneceram constantes, uma vez que as fontes geradoras desses materiais consideradas neste trabalho de acordo com a metodologia PLP está baseada na abrasão de pneus no modal rodoviário.

Tabela 2 - Análise de Sensibilidade

Categoria de Impacto	Unidade	Cenário 1 e 2 (PET)	% Redução PET	Cenário 3 e 4 (PLA)	% Redução PLA
Aquecimento Global	kg CO2 eq	0,141	-2,76%	0,062	-2,97%
Acidificação Terrestre	kg SO2 eq	0,000402	-17,79%	0,000274	-12,18%
Eutrofização em Água Doce	kg P eq	0,0000407	-1,45%	0,0000223	-1,33%
Eutrofização Marinha	kg N eq	0,0000035	-0,28%	0,0000132	-0,28%
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4-DCB eq	0,291	-3,96%	0,264	-1,86%
Ecotoxicidade em Água Doce	kg 1,4-DCB eq	0,00249	-1,19%	0,00266	-0,75%
Ecotoxicidade Marinha	kg 1,4-DCB eq	0,00339	-1,45%	0,00341	-0,58%
Uso da Terra	m² crop eq	0,00264	-2,22%	0,00816	-1,59%
Escassez de Recursos Minerais	kg Cu eq	0,000183	-4,19%	0,000247	-1,59%
Escassez de Recursos Fósseis	kg oil eq	0,0635	-1,85%	0,0187	-2,60%

Observou-se uma redução significativa nos impactos associados à acidificação terrestre, com diminuição de 17,79% para o ciclo de vida do PET e 12,18% para o ciclo de vida do PLA. Essa redução está relacionada às emissões de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), provenientes principalmente da queima de combustíveis em embarcações marítimas, identificadas como a principal fonte de contribuição para essa categoria de impacto.

A redução dos vazamentos de microplásticos associados ao transporte rodoviário constitui um desafio significativo, especialmente no ciclo de vida do PLA, que inclui o transporte rodoviário entre as áreas de cultivo de milho em Nebraska e a unidade produtiva da NatureWorks. Nesse contexto, a substituição do modal rodoviário pelo ferroviário poderia resultar em uma redução expressiva de até 84,85% na geração de microplásticos, considerando especificamente esse impacto. Tal redução ocorre porque grande parte da poluição por microplásticos está relacionada à abrasão dos pneus de caminhões, que representa uma das principais fontes desse contaminante. No caso de biopolímeros produzidos nacionalmente, torna-se praticamente inviável eliminar essa fonte de vazamentos, uma vez que as plantações agrícolas se encontram, em geral, distantes dos centros urbanos e das unidades fabris, demandando transporte rodoviário para o escoamento da produção.

Adicionalmente, um novo arranjo logístico que priorize modais menos impactantes apresenta potencial para mitigar outros impactos ambientais, como o aquecimento global, ao reduzir as emissões de gases de efeito estufa associadas

ao transporte marítimo de longa distância. Dessa forma, a produção nacional de polímeros se destaca como uma alternativa estratégica não apenas sob os aspectos logístico e econômico, mas também como uma medida eficaz para a redução de impactos ambientais relevantes ao longo de todo o ciclo de vida dos materiais.

Embora as taxas de biodegradabilidade dos polímeros PLA e PET não tenham sido incorporadas diretamente nos cálculos de vazamento de macro e microplásticos neste estudo, esse fator representa uma variável relevante que merece destaque e consideração em análises futuras.

A biodegradação do PLA (ácido polilático) em ambientes naturais está fortemente condicionada por fatores como temperatura, umidade, presença de oxigênio e estrutura físico-química do material. De acordo com EMADIAN *et al.* (2017), a cristalinidade elevada do polímero, aliada a uma estrutura química complexa e de cadeias longas, dificulta a ação de microrganismos e enzimas responsáveis pela degradação, já que essas características limitam a penetração de água e o acesso das enzimas ao interior da matriz polimérica.

## CONCLUSÃO

De modo geral, os Cenários 1 e 2, que representam o uso de pellets de PET, registram os maiores valores em sete categorias: aquecimento global, acidificação terrestre, eutrofização em água doce, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade marinha, escassez de recursos fósseis e vazamento de macroplásticos, considerando os cenários de descarte de resíduos atuais. Esses dados indicam que o uso de PET está mais associado a impactos climáticos, de poluição e à dependência de combustíveis fósseis.

Por outro lado, os Cenários 3 e 4, referentes ao uso de pellets de PLA, têm os maiores impactos em cinco categorias. Esses cenários apresentam os maiores valores em eutrofização marinha, ecotoxicidade em água doce, uso do solo, escassez de recursos minerais e vazamento de microplásticos. Os cenários de PLA apresentam melhores resultados nas categorias relacionadas a emissões de gases de efeito estufa, acidificação terrestre, ecotoxicidade terrestre e marinha, eutrofização em água doce e escassez de recursos fósseis.

Em resumo, embora o PLA apresente vantagens claras em relação a emissões e poluição do solo e da água, ele não está isento de impactos relevantes, especialmente no que diz respeito ao uso de recursos naturais e geração de resíduos plásticos em formas menos perceptíveis. A escolha entre os materiais deve, portanto, considerar não apenas um critério isolado, mas uma análise completa do ciclo de vida e dos impactos ambientais envolvidos.

A análise do vazamento de micro e macroplásticos ao longo dos diferentes cenários modelados evidencia a complexidade envolvida na gestão ambiental de polímeros como o PET e o PLA. No caso dos microplásticos, observou-se que a principal fonte de emissão está associada à abrasão de pneus durante o transporte rodoviário, o que torna a distância percorrida um fator determinante nos resultados. Assim, o PLA apresentou valores significativamente mais elevados devido ao seu maior percurso logístico, ainda que, na etapa de produção dos pellets, tenha apresentado ligeira vantagem sobre o PET em função da menor quantidade de material necessária por unidade funcional.

No tocante aos macroplásticos, ficou evidente a forte influência da eficácia dos sistemas de gestão de resíduos sobre os resultados obtidos. Os cenários baseados em práticas de descarte ambientalmente mais adequadas (Cenários 2 e 4) apresentaram reduções expressivas no vazamento de macroplásticos, demonstrando que melhorias na infraestrutura de coleta, tratamento e destinação de resíduos podem desempenhar um papel decisivo na mitigação desse impacto ambiental. O pior desempenho foi observado no Cenário 1, representando a realidade atual do PET, enquanto o melhor desempenho ocorreu no Cenário 4, que alia o uso do PLA a práticas mais sustentáveis de gestão de resíduos.

Dessa forma, conclui-se que, embora o tipo de polímero influencie os impactos ambientais relacionados ao vazamento de plásticos, o problema da poluição plástica só poderá ser efetivamente mitigado por meio de um conjunto de estratégias integradas, que combinem redução na fonte, substituição inteligente de materiais, gestão de resíduos eficiente, tecnologias de remoção e políticas públicas robustas, orientadas pelo princípio da economia circular.

Independentemente do tipo de polímero, os microplásticos podem causar efeitos físicos nocivos aos organismos, como obstrução do trato digestivo, sensação de falsa saciedade e danos celulares, especialmente em espécies aquáticas e organismos de pequeno porte que ingerem essas partículas, reforçando a importância de serem controladas as fontes de vazamento desses materiais para o meio ambiente.

Além disso, os microplásticos possuem elevada capacidade de adsorver poluentes orgânicos persistentes (POPs), como pesticidas e hidrocarbonetos, atuando como vetores de contaminação química em organismos aquáticos (CASTRO-CASTELLON *et al.*, 2022). Dessa forma, embora o PLA apresente características que indicam menor periculosidade ambiental em comparação ao PET, sobretudo em relação à persistência, à bioacumulação e à interação com contaminantes, é fundamental ressaltar que essas observações ainda são preliminares. A escassez de dados consolidados, sobretudo sobre o comportamento do PLA em ambientes diversos e não controlados, exige mais pesquisas experimentais, análises ecotoxicológicas e estudos de longo prazo. Apenas com uma base científica mais robusta será possível realizar uma avaliação precisa dos impactos reais desses microplásticos no ambiente e na saúde dos ecossistemas.

## REFERÊNCIAS

ABREMA E PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2023. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/download-panorama-2023/>. Acessado em 17 de agosto de 2024.

BISHOP, GEORGE, ET AL. "Environmental Performance Comparison of Bioplastics and Petrochemical Plastics: A Review of Life Cycle Assessment (LCA) Methodological Decisions". Resources, Conservation and Recycling, vol. 168, maio de 2021, p. 105451. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105451>.

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14.040:2006. Gestão ambiental – Análise de ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2006.

CASTRO-CASTELLON, ANA T., ET AL. "Ecotoxicity of Microplastics to Freshwater Biota: Considering Exposure and Hazard across Trophic Levels". Science of The Total Environment, vol. 816, abril de 2022, p. 151638. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151638>.

PEANO, L., KOUNINA, A., MAGAUD, V., CHALUMEAU, S., ZGOLA, M., BOUCHER, J., 2020. Plastic Leak Project. Methodological Guidelines. Quantis and EA. [quantis-intl.com/plastic-leakproject-guidelines](https://quantis-intl.com/plastic-leakproject-guidelines).

REZVANI GHOMI, ERFAN REZVANI, ET AL. "The Life Cycle Assessment for Polylactic Acid (PLA) to Make It a Low-Carbon Material". Polymers, vol. 13, no 11, junho de 2021, p. 1854. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.3390/polym13111854>.

TAMBURINI, ELENA, ET AL. "Plastic (PET) vs Bioplastic (PLA) or Refillable Aluminium Bottles – What Is the Most Sustainable Choice for Drinking Water? A Life-Cycle (LCA) Analysis". Environmental Research, vol. 196, maio de 2021, p. 110974. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110974>.

WALKER, S., E R. ROTHMAN. "Life Cycle Assessment of Bio-Based and Fossil-Based Plastic: A Review". Journal of Cleaner Production, vol. 261, julho de 2020, p. 121158. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121158>.

WWF - Fundo Mundial para a Natureza, Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização, 2019.



## T R A B A L H O 1 1

# AVALIAÇÃO DE RESÍDUO DE PEDREIRA COMO REMINERALIZADOR DE SOLOS: CARACTERIZAÇÃO E LIBERAÇÃO DE MACRONUTRIENTES

Lucas da Silva Ribeiro

Mário Jorge Mello Abrahim Fernandes

**RESUMO:** Neste trabalho foi avaliado um resíduo proveniente de uma mineradora frente as especificações de natureza física e requisitos mínimos estabelecidos na Instrução Normativa nº 5 do MAPA para remineralizadores, além do potencial de dissolução dos macronutrientes P, K, Ca e Mg contidos neste através do emprego de soluções extratoras. Através da caracterização tecnológica foi observado que a maior parte da massa do resíduo permaneceu na fração farelo (52,99%) e pó (47,01%). O resíduo de pedreira apresentou teores de CaO, MgO e K<sub>2</sub>O de 6,85; 5,73 e 1,94%, respectivamente. Uma parcela de SiO<sub>2</sub> (11,90%) livre foi observada no resíduo. As soluções extratoras mais eficientes em termos de dissolução dos macronutrientes em ordem foram: mehlich-1 > ácido cítrico > água deionizada. Os melhores resultados de dissolução proporcionaram somente uma solubilização de aproximadamente 21,76% de P, 6,75% de Ca, 7,59% de K e 10,34% de Mg do total destes macronutrientes contidos na matriz sólida deste resíduo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Remineralizador, Resíduo Sólido, Liberação, Extratores.

## INTRODUÇÃO

Muitos resíduos sólidos provenientes do setor de mineração que são considerados como subprodutos do processo de extração e beneficiamento de minerais estão sendo utilizados como fontes de macro e micronutrientes em algumas culturas na agricultura. Embora muitas vezes considerados rejeitos, esses resíduos contêm minerais que, quando tratados e processados corretamente, podem, em alguns casos, enriquecer o solo de maneira eficaz. Estes resíduos podem ser considerados como fontes alternativas à utilização de fertilizantes, e são chamados de remineralizadores de solos (Brasil, 2024).

No Brasil, isso é motivado pela alta demanda de importação de fertilizantes que interferem no agronegócio brasileiro, acabando por tornar o produto nacional menos competitivo no mercado. Além disso, em países onde há predominância de clima tropical e, consequentemente, solos intemperizados, fertilizantes caracterizados pela alta solubilidade apresentam baixa eficiência devido ao célere fenômeno da lixiviação. Portanto, os remineralizadores surgem como um novo insumo para o meio agrícola, servindo como fonte alternativa/ complementar e possivelmente menos onerosa se comparada com fertilizantes.

Além disso, os remineralizadores são materiais que devido a sua origem mineral, e redução do tamanho de partícula, apresentam teores de macro e micronutrientes essenciais ao solo capazes de alterar as suas características físico-químicas aumentando assim a sua fertilidade. Para isto, a amostra deve ser submetida a uma série de procedimentos descritos pela Instrução Normativa nº 5 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a fim de garantir as especificações mínimas (Brasil, 2016).

A inserção deste tipo de material no mercado também traz consigo o potencial econômico para os cultivos orgânicos, pois são considerados recursos naturais e trata-se de uma prática de reuso de resíduos ao invés da adição de químicos. Uma vez que o processo de intemperismo se dá de maneira extremamente lenta em condições naturais, é necessário compreender a dinâmica das reações que afetam as taxas de dissolução mineral (Korchagin et al., 2016). Dentre os fatores que afetam essa reação de solubilização há, por exemplo, a composição química e mineralógica; e, para avaliar esse potencial, diferentes tipos de soluções extratoras são utilizados em estudos experimentais para dissolver os elementos químicos que compõe os resíduos.

Ensaios envolvendo ácidos orgânicos de baixos pesos moleculares para dissolução dos macro e micronutrientes são comuns pois retratam um ambiente de intemperismo ou o meio reacional presente no solo, por exemplo, durante a absorção de nutrientes pelas plantas. Dentre os ácidos mais comuns encontrados no solo estão o cítrico, oxálico e acético (Dakora e Phillips, 2002).

No presente trabalho, a amostra de resíduo foi submetida a ensaios de caracterização como distribuição granulométrica, fluorescência de raios X e difração de raios X. Além disto, a avaliação da liberação dos macronutrientes K, Ca, Mg e P nas diferentes soluções extratoras (água deionizada, ácido cítrico e mehlich-1).

## OBJETIVO

Avaliar a dissolução de macronutrientes contidos numa amostra de resíduo de pedreira visando seu uso como remineralizador de solos. Avaliar os ensaios de caracterização granulométrica da amostra de resíduo, determinação dos teores dos

óxidos que constituem a amostra de resíduo através da análise de fluorescência de raios-X (FRX), identificar as principais fases mineralógicas que constituem a amostra de resíduo através da análise de difração de raios-X (DRX) e quantificar a liberação dos macronutrientes K, Ca, Mg e P contidos na amostra de resíduo através do emprego das soluções extratoras.

## METODOLOGIA

### Obtenção e Preparação da Amostra

A amostra de resíduo de granito utilizada no presente estudo adveio da empresa Pedreira Araguaia Ltda, localizada em Goiás. Seu condicionamento consistiu no uso de bombonas de 25 L e, em sequência, foi encaminhada para o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), no Rio de Janeiro, onde ocorreu os preparativos visando evitar discrepâncias com relação a heterogeneidade da mesma. O processo consistiu na disposição de toda amostra em bandejas de aço inox e levadas a uma estufa para secagem a 60 °C num período de 24 h, seguida pela homogeneização em uma pilha cônica e coleta de subamostras que equivalem a, aproximadamente, 5 kg por meio de uma pilha tronco piramidal.

### Caracterização Tecnológica

Tendo em vista os termos do Anexo I da Instrução Normativa nº 5 do MAPA, uma das subamostras foi submetida a análise granulométrica e posterior pesagem do material retido para determinação da distribuição granulométrica. Este processo contou com o auxílio de um agitador de peneira Ro Tap, adotando a agitação de 1200 rpm num período de 20 minutos; e com o suporte de seis peneiras, cujas aberturas são de 4,80; 2,80; 2,00; 0,85 e 0,30 mm.

A determinação química quantitativa elementar que compõe a amostra de resíduo foi realizada por análise de Fluorescência de Raios X (FRX) em um equipamento *PanAnalytical*, modelo *AXIOS MAX*, utilizando o método *standardless* (análise semiquantitativa) para leitura da amostra. O preparo dessa amostra ocorreu por fusão na diluição de 1 para 10 utilizando como fundente a mistura de boratos ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7 - \text{LiBO}_2$ ) da *Maxxifluxi*. A análise de FRX determinará os valores dos óxidos que fazem parte da soma de bases (CaO, MgO,  $\text{K}_2\text{O}$ ) e do teor de  $\text{K}_2\text{O}$  mínimos para serem considerados como remineralizadores de solo.

O difratograma de raios X foi obtido pelo método do pó em um equipamento *Bruker-D4 Endeavor*, com as seguintes condições de operação: radiação Co K $\alpha$  (35 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de 0,02° 2 $\theta$  por passo com tempo de contagem

de 1 segundo por passo e coletados de 5 a  $80^\circ 2\theta$ . A interpretação qualitativa de espectro foi efetuada por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02 em software *Bruker Diffrac<sup>plus</sup>*. O cálculo para a determinação do teor de  $\text{SiO}_2$  livre (quartzo) presente na amostra foi realizado pelo método de refinamento de espectro multifásico total (Método Rietveld), com software *Bruker AXS Topas*, v. 3.0.

## Ensaios de Dissolução dos Macronutrientes Contidos no Resíduo

Os fatores que afetam a liberação dos macronutrientes contidos no resíduo foram examinados em escala de bancada. Todos os ensaios foram realizados em frascos erlenmeyer de 250 mL, empregando um volume de solução extratora de 100 mL (água deionizada, ácido cítrico  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$  e mehlich – mistura de  $\text{HCl } 0,025 \text{ mol.L}^{-1}$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol.L}^{-1}$ ), velocidade de rotação de 250 rpm em uma plataforma de rotação horizontal (MARCONI MA-420). Para avaliar o comportamento de dissolução dos macroelementos contidos no resíduo, foram definidos alguns parâmetros como: (i) concentração inicial de resíduo (5,0 g); (ii) tamanho de partícula (filler); (iii) tempo de contato ou equilíbrio (0,5 a 24 h); (iv) solução extratora; e (v) temperatura ( $25^\circ\text{C}$ ).

Após cada ensaio realizado, a massa de resíduo foi filtrada através de um kit de filtração (MILLIPORE ESTERIFIL) utilizando uma membrana de acetato de celulose com diâmetro de 47 mm e porosidade de  $0,45 \mu\text{m}$  (UNIFIL) para que a solução extratora seja coletada e enviada para análise da concentração dos macroelementos K, Ca, Mg e P através do método de espectrofotometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), utilizando o equipamento modelo Optima 7300 DV (PerkinElmer). Foram utilizados como controle dos ensaios, brancos contendo somente a solução extratora, com o objetivo de reduzir o efeito de possíveis elementos traço contidos nestas soluções.

## RESULTADOS

### Distribuição Granulométrica

Para a classificação granulométrica, foi realizada a avaliação do resíduo com base no artigo 4º da Instrução Normativa nº 5 para Remineralizadores, que descreve a especificação quanto a natureza física das partículas em filler, pó e farelo (Tabela 1):

**Tabela 1.** Especificações de natureza física dos remineralizadores (Brasil, 2016)

Especificação de Natureza Física	Garantia Granulométrica	
	Peneira	Partículas Passantes (p/p)
Filler	0,30 mm (ABNT nº 50)	100%
Pó	2,00 mm (ABNT nº 10)	100%
	0,84 mm (ABNT nº 20)	70% mínimo
	0,30 mm (ABNT nº 50)	50% mínimo
Farelo	4,80 mm (ABNT nº 4)	100%
	2,80 mm (ABNT nº 7)	80% mínimo
	0,84 mm (ABNT nº 20)	25% máximo

Na Tabela 2 é apresentado a distribuição da massa acumulada das partículas da amostra nas diferentes frações granulométricas. Sendo possível identificar que 43,68% da massa total que compõe o resíduo é farelo (99,55% passante em 4,8 mm; mínimo 80% em 2,8mm; e máximo de 25% em 0,84 mm), e 45% como filler (100% passante em 0,3 mm).

**Tabela 2.** Distribuição da massa acumulada passante nas diferentes frações granulométricas

Tamanho (mm)	Percentual (%)	Massa Acumulada Passante (%)
> 4,8	0,45	99,55
< 4,5 e > 2,80	5,48	94,07
< 2,8 e > 2,00	9,82	84,25
< 2,0 e > 0,84	28,38	55,87
< 0,84 e > 0,30	10,88	44,99
< 0,30	44,99	0
<b>Total</b>	100	

Nesse contexto, a fim de obter uma maior quantidade de partículas passantes na peneira de 0,30 mm e, consequentemente, aumentar a porcentagem da fração classificada como filler, o emprego de processos de cominuição apresenta-se como uma alternativa viável. Isso porque a redução do diâmetro das partículas pode favorecer a liberação dos nutrientes, aumentando então a eficiência do processo.

Segundo Dalmora *et al.* (2020), o tamanho das partículas da rocha está diretamente ligado à sua área de superfície reativa, que tende a aumentar à medida que o diâmetro das partículas diminui. No entanto, a relação entre a taxa de intemperismo e a superfície específica não é necessariamente direta ou proporcional, pois envolve diversos fatores. De modo geral, espera-se que partículas menores possuam uma maior área superficial exposta ao meio, o que favorece a liberação de nutrientes.

## Fluorescência de Raios X

A Tabela 3 mostra os resultados de identificação dos principais óxidos contidos na amostra. Avaliou-se os resultados comparando com os estipulados na Instrução Normativa nº 5 de 2016, em que devem ser respeitados a soma de bases (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O) igual ou superior a 9% (p/p), e teor de Óxido de Potássio (K<sub>2</sub>O) iguais ou superior a 1% (p/p). Além disto, podendo também serem declarados nos remineralizadores se houverem teores mínimos do macronutriente potássio na forma de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 1% (p/p) e outros micronutrientes presentes identificados no resíduo.

**Tabela 3.** Percentuais dos principais óxidos identificados no resíduo

Teor (%)										
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	LOI*
56,6	15,8	8,29	6,85	5,73	0,87	0,22	3,2	1,94	0,15	0,3

\*perda por calcinação

É possível identificar que o resíduo apresentou um teor de K<sub>2</sub>O superior a 1% (1,94%), e, sendo um elemento que desempenha papel vital em vários processos fisiológicos e metabólicos na planta, incluindo fotossíntese, acúmulo de açúcares e crescimento e desenvolvimento geral da planta (Dias, 2022). A soma de bases, em função ao estipulado na norma (9%), apresentou valor superior de 14,52%, mostrando que o resíduo apresenta potencial de corrigir a acidez do solo, liberando macronutrientes como Ca e Mg, e diminuindo a biodisponibilidade do Al e Mn que em condições ácidas aumentariam suas concentrações, e como consequência pontencializariam o efeito fitotóxico nas plantas. Em relação ao teor de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) de 0,22% identificado no resíduo, acabou não se enquadrando no valor mínimo de 1% que poderiam ser declarados na composição dos remineralizadores.

## Difratometria de Raios X

De acordo com a Instrução Normativa nº 5, não serão registrados no MAPA remineralizadores que contiverem quantidade livre de SiO<sub>2</sub> presente no produto com mais de 25% (v/v). De acordo com Filho (Filho, 2009) o quartzo apresenta alta estabilidade e sofre intemperismo de forma lenta. Por esse motivo, não é considerado uma fonte significativa de ácido silícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> ou Si(OH)<sub>4</sub>) disponível. A Tabela 4 apresenta os percentuais das principais fases minerais identificadas no resíduo.

Os minerais que compõem a amostra (Tabela 4) podem ser divididos em minerais carbonatos e silicatos. Para os silicatos o percentual de SiO<sub>2</sub> livre (11,9%) encontra-se abaixo do valor máximo recomendado. O percentual mais significativo foi o de

albita (58,6%) –  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ , um tectosilicato, assim como microclina/ortoclásio –  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ , mas em menor proporção, correspondendo a 2,6% / 5,7%. No grupo filossilicato, foram identificados os minerais muscovita –  $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH},\text{F})_2$ , biotita –  $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe}_{2+})_3(\text{Al},\text{Fe}_{3+})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ , e caulinita –  $\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$ , com 5,2; 4,9 e 0,5%, respectivamente. Por sua vez, no grupo inossilicato, os minerais hornblenda –  $(\text{Na},\text{K})_{0,1}\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Al},\text{Ti})_5(\text{Si}_6\text{Al})_{2,22}(\text{OH},\text{O})_2$ , correspondendo a 3,9% e actinolita –  $\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$  com 3,5%. Os carbonatos identificados foram a calcita –  $\text{CaCO}_3$  e dolomita –  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  com 0,4% e 2,8%, respectivamente.

**Tabela 4.** Percentuais das fases minerais identificadas na amostra

Mineral	(%)
Actinolita	3,5
Albita	58,6
Biotita	4,9
Calcita	0,4
Caulinita	0,5
Dolomita	2,8
Hornblenda	3,9
Microclina	2,6
Muscovita	5,2
Ortoclásio	5,7
Quartzo	11,9
<b>Total</b>	<b>100</b>

Martins *et al.* (2010) destacam que os minerais silicáticos possuem potencial tanto como fontes de nutrientes minerais quanto como condicionadores do solo, devido à presença de macronutrientes como potássio (K) e fósforo (P), além de nutrientes secundários essenciais, como cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si) e enxofre (S). Van Straaten *et al.*, (2010) apontam que esses materiais liberam nutrientes de forma controlada, promovendo a formação de minerais que contribuem para a melhoria da qualidade do solo.

## Dissolução dos Macronutrientes P, K, Ca e Mg F

Na Tabela 5 são apresentados os resultados das liberações dos macronutrientes P, K, Ca, Mg da amostra de resíduo, para as soluções extratoras água deionizada, ácido cítrico, mehlich-1, em intervalos de tempo de 0,5 a 24 h. Os resultados demonstram que soluções extratoras mais ácidas desencadeiam maiores liberações dos macronutrientes.

**Tabela 5.** Concentrações de P, K, Ca e Mg solubilizados a partir do resíduo através dos extratores

Tempo (h)	Água Deionizada				Ácido Cítrico				Mehlich-1			
	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
	.....(mg.L <sup>-1</sup> ).....				.....(mg.L <sup>-1</sup> ).....				.....(mg.L <sup>-1</sup> ).....			
0,5	0,02	3,17	9,44	1,23	13,45	17,45	67,87	8,06	42,65	40,32	159,42	29,06
1	0,02	3,47	10,37	0,93	16,91	19,4	75,62	9,92	43,12	40,82	154,4	31,0
2	0,02	4,85	11,76	1,06	24,63	24,46	93,7	15,73	45,87	43,49	160,2	50,01
12	0,02	7,09	12,38	1,56	36,23	32,1	122,9	44,33	47,89	61,4	98,47	171,7
24	0,02	8,27	16,83	1,64	39,61	38,03	140,6	69,46	47,97	61,0	102,5	178,7

As maiores liberações observadas de K foram obtidas no intervalo de tempo de mistura de 24 h, em concentrações para água deionizada, ácido cítrico e mehlich-1 de 8,27; 38,03 e 61,00 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. A extração observada no tempo de 24 h para a solução extratora mehlich-1 foi de 7,59%, com um teor de 1,94% de K<sub>2</sub>O, resultado superior ao encontrado por Duarte et al., (2021) ao adotar no estudo um resíduo de sienogranito, que apresentou um teor de K<sub>2</sub>O de 6,78% e uma liberação na faixa de 3,0% aproximadamente.

Em função dos macronutrientes Ca e Mg, foram obtidos valores de liberação para o máximo período de solubilização (24h), de 16,83 e 1,64 mg.L<sup>-1</sup> para água deionizada; 140,6 e 69,46 mg.L<sup>-1</sup> para ácido cítrico; 102,5 e 178,7 mg.L<sup>-1</sup> para Mehlich-1, respectivamente. De acordo com Castro e Crusciol, (2015) há materiais que podem ser aplicados afim de corrigir a acidez do solo, onde atuam como componentes neutralizantes aumentando o pH, dentre eles podemos citar os óxidos de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO).

Para Potássio (P), foram obtidos os menores valores de liberação em função dos demais nutrientes analisados. A razão para tal fenômeno pode ser explicada pelo teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> presente no resíduo de apenas 0,22%. Os maiores valores foram alcançados no período de 24h, onde para as soluções extratoras água deionizada, ácido cítrico e mehlich-1 houveram liberações de 0,02; 39,61 e 52,41 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. De acordo com Rodrigues et al. (2021) a fração disponível dos teores de P é estimulado devido a competição do Si e P pelos pontos de sorção nos colóides do solo no caso de minerais que tem como um de seus constituintes o silicato.

## CONCLUSÕES

Mediante aos resultados, pode-se concluir que o resíduo de pedreira alcançou as especificações e requisitos mínimos estabelecidos na Instrução Normativa nº 5 do MAPA para remineralizadores de solo quanto ao critério de soma de bases

(CaO, MgO, K<sub>2</sub>O) e teor de óxido de potássio (K<sub>2</sub>O), assim como o teor de quartzo (SiO<sub>2</sub>), apresentando especificação quanto a natureza física entre farelo e pó. As principais fases minerais que constituem o resíduo foram albita, quartzo, ortoclásio, muscovita e biotita. As soluções extratoras mais eficientes em termos de dissolução dos macronutrientes em ordem foram: mehlisch-1 > ácido cítrico > água deionizada. Os melhores resultados de dissolução proporcionaram uma solubilização de aproximadamente 21,76% de P, 6,75% de Ca, 7,59% de K e 10,34% de Mg do total destes macronutrientes contidos na matriz sólida deste resíduo. A partir destes, e de acordo com a Instrução Normativa nº 5 do MAPA para remineralizadores, o próximo passo é realizar os ensaios agrônômicos para constatar as eficiências de liberações desses nutrientes em culturas.

## REFERÊNCIAS

Brasil (2024). Da Mineração à Mesa: entenda como insumos minerais e seus resíduos podem gerar soluções sustentáveis para o solo. Ministério de Minas e Energias. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/da-mineracao-a-mesa-entenda-como-insumos-minerais-e-seus-residuos-podem-gerar-solucoes-sustentaveis-para-o-solo>

Brasil. (2016). Remineralizadores e Substratos para plantas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf/view>

Castro, G. S. A.; Crusciol, C. A. C. (2015). Effects of surface application of dolomitic limestone and calcium-magnesium silicate on soybean and maize in rotation with green manure in a tropical region. *Bragantia*, 74(3), 311–321. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0346>

Dakora, F. D.; Phillips, D. A. (2002). Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. *Plant and Soil*, v. 245. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1020809400075>

Dalmora, A. C.; Ramos, C. G.; Plata, L. G.; da Costa, M. L.; Kautzmann, R. M.; Oliveira, L. F. S. (2020). Understanding the mobility of potential nutrients in rock mining by-products: An opportunity for more sustainable agriculture and mining. *Science of The Total Environment*, 710, 136240. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.136240>

Dias, R. C. (2022). Potencial e Eficiência da Utilização de Rochas Silicáticas como Fonte de Potássio na Agricultura. Instituto de Agronomia, Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://rima.ufrjr.br/jspui/handle/20.500.14407/20268>

Duarte, E. B.; Nascimento, A. P. S.; Gandine, S. M. S.; Carvalho, J. R.; Burak, D. L.; Neves, M. A. (2021). Liberação de potássio e sódio a partir de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais. *Pesquisas em Geociências*, 48(1). Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.101373>

Filho, O. F. L. (2009). História e Uso do Silicato de Sódio na Agricultura. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/696871>

Korchagin, J.; Trois Abreu, C.; Dalacorte, L.; Tonini, V.; Muller, R.; Caner, L.; Bortoluzzi, E. C. (2016). Atributos químicos de solos agrícolas submetidos à aplicação de pó-de-basalto hidrotermalizado e efeitos na produção vegetal. *Gemas, Joias e Mineração: Pesquisas Aplicadas no Rio Grande do Sul*, Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4652.8886>.

Martins, E. S.; Resende, A. V.; Oliveira, C. G.; Neto, A. E. F.; Peter, V. S. (2010). Agrominerais para o Brasil. Centro de Tecnologia Mineral. Disponível em: <https://www.gov.br/cetem/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/projetos-financiados-por-agencias-e-ou-recursos-publicos/encerrados/agrominerais-para-biocombustiveis-2009-2010/agrominerais-para-o-brasil/novolivro/cap1.pdf>

Rodrigues, M.; Nanni, M. R.; Silveira, C. A.P.; Cezar, E.; Santos, G.L.A.A.; Furlanetto, R.H.; Oliveira, K. M.; Reis, A.S. (2021). Mining Co-products as Sources of Multi-nutrients for Cultivation of *Brachiaria ruziziensis*. *Natural Resources Research*, 30(1), 849–865. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11053-020-09745-w>

Straaten, P. Van. (2010). Rochas e minerais como fertilizantes alternativos na agricultura: uma experiência internacional. In: *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, Cap.13, p.235-264. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/927>



## BITUCAS À BEIRA-MAR: UM ALERTA SOBRE A POLUIÇÃO POR BITUCAS DE CIGARRO NA PRAIA DO CANTO, ARMAÇÃO DOS BÚZIOS (RJ), BRASIL

Maria Luiza da Rocha Lima

Vanessa Trindade Bittar

**RESUMO:** Este estudo analisou a distribuição espacial e temporal de bitucas de cigarro descartadas na Praia do Canto, em Armação dos Búzios (RJ), entre março e julho de 2025. Foram monitoradas duas áreas com distintos níveis de urbanização: o canto direito, mais movimentado, e o canto esquerdo, inserido no Parque Estadual da Costa do Sol (PECS). Ao todo, foram coletadas 5.252 bitucas, sendo 75% no setor mais urbano, evidenciando a relação entre atividade antrópica *in situ* e poluição costeira. O canto esquerdo apresentou menor volume, mas maior proporção de filtros degradados, sugerindo influência mais intensa de marés e ventos. Embora os dados sejam preliminares, pois a pesquisa está em andamento, os resultados indicam a urgência de ações educativas, fiscalização e políticas públicas voltadas à prevenção e ao manejo adequado de resíduos em ambientes costeiros, especialmente em áreas protegidas e cidades com vocação turística.

**PALAVRAS-CHAVES:** Lixo Marinho. Contaminação. Monitoramento Ambiental. Limpeza de Praia. Parque Estadual Costa do Sol.

### INTRODUÇÃO

Os oceanos regulam o clima e os ciclos naturais, mas sofrem crescente aumento do lixo marinho, especialmente em áreas costeiras afetadas por turismo e pesca (Turra *et al.*, 2020). As bitucas de cigarro são o resíduo mais coletado em limpezas costeiras (Ocean Conservancy, 2024), com alto potencial de dispersão devido ao tamanho e leveza (Silva *et al.*, 2018 apud Póvoa *et al.*, 2024). Compostas por acetato de celulose e contaminadas por substâncias tóxicas, podem poluir até 1.000 litros de água por unidade. Estima-se o descarte de mais de 4 trilhões de bitucas por ano no mundo (WHO, 2022). No Brasil, a forte dependência do turismo e o extenso litoral reforçam a urgência de ações sustentáveis de gestão (Brasil, 2010).

## OBJETIVO

Analisar a distribuição espacial e temporal de bitucas de cigarro descartadas inadequadamente em dois pontos da Praia do Canto, em Armação dos Búzios (RJ), visando compreender a magnitude do problema e fornecer subsídios para a proposição de soluções eficazes de gestão e mitigação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo está sendo conduzido na Praia do Canto, em Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil, a qual possui 1,5 km de extensão, próxima à famosa Rua das Pedras (Prefeitura de Armação dos Búzios, 2025) – área urbana onde há o principal ponto turístico da cidade.

Para o monitoramento das bitucas de cigarro, foram selecionadas duas zonas com características distintas: o canto direito, marcado por intensa atividade turística e comercial, píer de embarcações e pouca vegetação; e o canto esquerdo, inserido no Parque Estadual da Costa do Sol (Instituto Estadual do Meio Ambiente, 2025), com presença de restinga preservada e menor interferência antrópica (Figura 1).

**Figura 1** - Vista aérea da Praia do Canto, em Armação dos Búzios (RJ), Brasil, com destaque para as áreas de coleta delimitadas em vermelho, representando transectos de 100 × 10 metros (Adaptado de Google Earth, 2025).

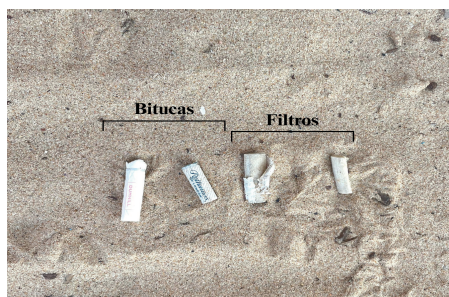


A metodologia seguiu adaptações de Asensio-Montesino *et al.* (2021), Araújo *et al.* (2022) e Silva *et al.* (2023), ajustadas à realidade local. As coletas foram mensais, de março a julho de 2025, sempre pela manhã e próximas à maré baixa e período de lua cheia. Os transectos mediam 100 × 10 m (Figura 1) e foram percorridos por dois pesquisadores com EPIs (Equipamento de Proteção Individual). A coleta foi

manual, durando em média 37 minutos no setor direito e 20 no esquerdo. Foram recolhidas todas as bitucas visíveis ou semienterradas e, posteriormente, armazenadas em potes reutilizados.

Araújo *et al.* (2022) classificou os resíduos em quatro níveis de degradação: 1 - com resíduos de tabaco, filtro e revestimento de papel preservados; 2 - sem resíduos de tabaco, com filtro e revestimento de papel preservados, e identificação do fabricante; 3 - sem resíduos de tabaco, com filtro e revestimento de papel consideravelmente desgastado e descolorido, sem identificação do fabricante; e 4 - apenas as fibras do filtro plano e compacto, sem revestimento de papel. Após a coleta, para fins analíticos, adaptou-se esses quatro níveis em dois: os níveis 1 e 2 foram agrupados como “bitucas” e os níveis 3 e 4 como “filtros” (Figura 2).

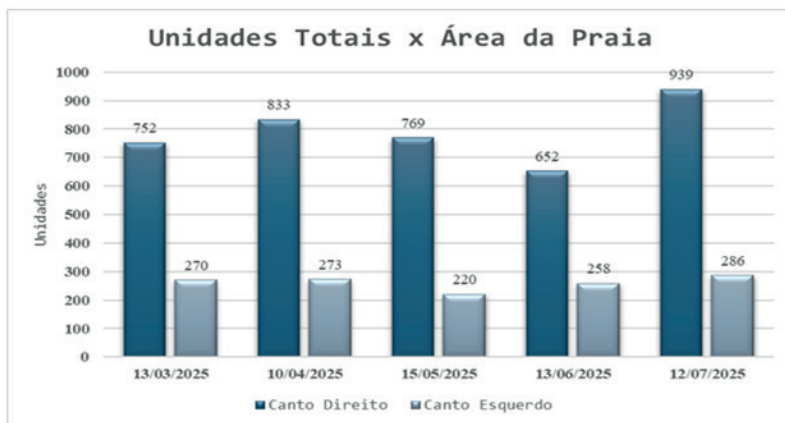
**Figura 2** - Fotografia de bitucas encontradas na praia do Canto, Armação dos Búzios (RJ), demonstrando os quatro níveis de degradação (adaptado de Araújo *et al.*; 2022), sendo os dois primeiros níveis agrupados no grupo “bitucas” e os dois últimos em “filtros”.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as cinco campanhas de coleta, foram recolhidas 5.252 bitucas de cigarro, sendo 3.945 (75%) no canto direito da Praia do Canto e 1.307 (25%) no canto esquerdo, o que pode refletir o maior fluxo de pessoas e o grau de urbanização da zona direita (Gráfico 1). Ressalta-se que os dados apresentados são preliminares, uma vez que a pesquisa está em andamento.

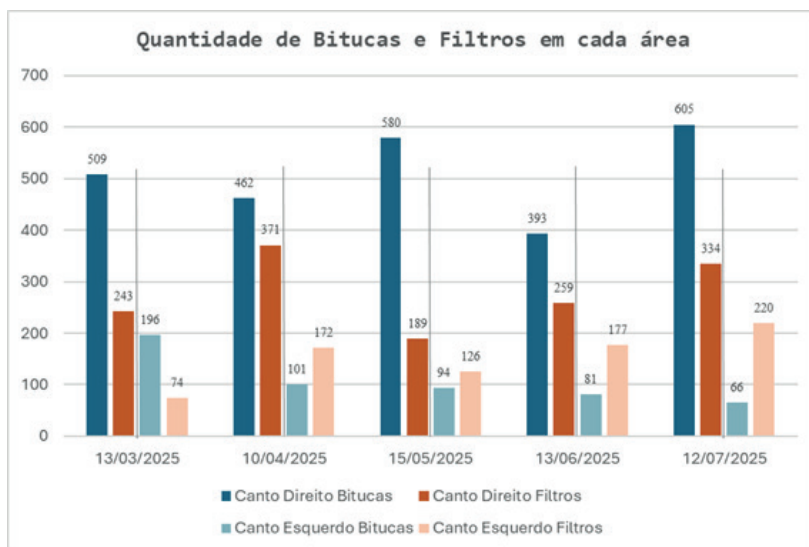
**Gráfico 1** – Quantidade total de bitucas de cigarro coletadas em cada área da Praia do Canto, em Armação dos Búzios (RJ), Brasil, entre março e julho de 2025.



A análise temporal revelou que, em todos os meses avaliados, a área do canto direito apresentou maior quantidade de resíduos. Ao categorizar os resíduos em “bitucas” e “filtros” (Gráfico 2), observou-se que, no canto direito, as bitucas foram mais abundantes do que os filtros ao longo de toda a série amostral. Isso pode estar relacionado ao pisoteamento e soterramento das bitucas pela intensa movimentação de banhistas, dificultando sua visibilidade até que sejam expostas novamente pelas marés.

No canto esquerdo, por outro lado, os filtros superaram as bitucas em quase todos os meses, com exceção do primeiro (Gráfico 2). Essa área pode ser mais vulnerável à influência das marés e dos ventos de leste, que sopram do mar em direção à faixa de areia, contribuindo tanto para o acúmulo quanto para a remoção de resíduos no ambiente. O menor fluxo de pessoas nesta zona também pode explicar a menor quantidade total de resíduos registrados. Além disso, sua baixa densidade facilita o transporte dos resíduos de cigarro pela água ou pelo vento para outras áreas (Williams & Simmons, 1999 apud ARAÚJO *et al.*, 2022, p. 48927).

**Gráfico 2** – Quantidade de bitucas e filtros coletados na Praia do Canto, em Armação dos Búzios (RJ), Brasil, entre março e julho de 2025.



## CONCLUSÕES

O monitoramento realizado na Praia do Canto, em Armação dos Búzios (RJ), Brasil, identificou elevada concentração de bitucas de cigarro, especialmente nas áreas mais urbanizadas, evidenciando a influência direta da atividade humana. Os resultados ressaltam a necessidade de intensificar ações educativas, ampliar a periodicidade do monitoramento e implementar políticas públicas voltadas à redução do descarte inadequado de resíduos em zonas costeiras, com ênfase na responsabilidade pela proteção ambiental da faixa de areia inserida no Parque Estadual da Costa do Sol.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. C. B. et al. Diferentes faces das bitucas de cigarro, o lixo de praia mais abundante no mundo. *Environmental Science and Pollution Research*, p. 48926–48936, fev. 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19134-w>.
- ASENSIO-MONTESINOS, F. et al. Abundância e distribuição de bitucas de cigarro em ambientes costeiros: exemplos do sul da Espanha. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 9, n. 129, jan. 2021. <https://doi.org/10.3390/jmse902129>.
- BRASIL. Ministério do Turismo. *Turismo de Sol e Praia: Orientações Básicas*. 2. ed. Brasília: Ministério do Turismo, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/turismo/pt-br/centrais-de-conteudo/-/publicacoes/segmentacao-do-turismo/turismo-de-sol-e-praia-orientacoes-basicas.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2025.

OCEAN CONSERVANCY. *Relatório Anual da Limpeza Costeira Internacional 2024*. Washington, D.C.: Ocean Conservancy, 2024. Disponível em: [https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2024/09/ICCAAnnualReport2024\\_Digital.pdf](https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2024/09/ICCAAnnualReport2024_Digital.pdf). Acesso em: 22 jul. 2025.

PÓVOA, A. A. et al. Lixo marinho em praias arenosas do Oceano Atlântico: estado atual do conhecimento por meio de análise cienciométrica e proposta de discussão para aprimoramento da gestão costeira. *Ocean and Coastal Research*, v. 72, p. 1–17, 2024. <https://doi.org/10.1590/2675-2824072.23181>.

PREFEITURA DE ARMAÇÃO DOS BÚZIOS. Praia do Canto. Disponível em: <https://turismo.buzios.rj.gov.br/praias/praiado-canto/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (INEA). Rio de Janeiro. *Parque Estadual da Costa do Sol*. Disponível em: <https://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/conheca-as-unidades-de-conservacao/parque-estadual-da-costa-do-sol/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

SILVA, N. F.; ARAÚJO, M. C. B.; SILVA-CAVALCANTI, J. S. Distribuição espaço-temporal da contaminação por bitucas de cigarro em praias urbanas com diferentes níveis de uso. *Waste Management*, v. 168, p. 179–188, jun. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.05.035>.

TURRA, A. et al. *Lixo nos mares: do entendimento à solução*. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2020. 113 p. Disponível em: [https://www.porummarlimpo.org.br/assets/docs/lixo\\_nos\\_mares\\_ebook\\_low.pdf](https://www.porummarlimpo.org.br/assets/docs/lixo_nos_mares_ebook_low.pdf). Acesso em: 08 out. 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Tabaco: envenenando o nosso planeta*. Genebra: Organização Mundial da Saúde, 2022. ISBN: 978-92-4-005128-7. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240051287>. Acesso em: 22 jul. 2025.



T R A B A L H O 13

# CARACTERIZAÇÃO DE MICROPLÁSTICOS EM AMOSTRAS DE ÁGUA ENGARRAFADA POR TÉCNICAS ANALÍTICAS

Dilma dos Santos Lacerda

Fernando Altino Medeiros Rodrigues

Maria Inês Bruno Tavares

**RESUMO:** O crescente uso de embalagens plásticas, especialmente as fabricadas em poli(tereftalato de etileno) (PET), tem levantado preocupações quanto à contaminação por microplásticos em produtos de consumo, como a água engarrafada. Este estudo teve como objetivo identificar e caracterizar a presença de microplásticos em amostras de água comercializadas no município do Rio de Janeiro, utilizando técnicas analíticas como espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e espectroscopia de dispersão de energia (EDS) acoplada a microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados indicaram a presença de fragmentos compatíveis com polímeros sintéticos, principalmente o PET, nas três regiões analisadas das amostras. A caracterização elementar revelou elementos químicos como carbono, oxigênio, silício, ferro e sódio indicando que o material polimérico é proveniente do processo de filtração e envase da água. O resultado desse estudo contribui para a compreensão dos riscos associados à liberação de microplásticos em produtos de uso diário e destaca a necessidade de regulamentações mais rigorosas e estratégias sustentáveis de gestão de resíduos sólidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microplásticos; Caracterização; Resíduos Sólidos; Água Engarrafada; Contaminação.

## INTRODUÇÃO

O plástico é um material sintético composto por longas cadeias de moléculas conhecidas como polímeros, formadas por unidades menores chamadas monômeros. O primeiro plástico totalmente sintético foi desenvolvido em 1907, quando o químico Leo Hendrik Baekeland criou a baquelite a partir de uma reação entre fenol e formaldeído (CALLAPEZ, 2007).

Com o avanço da indústria petroquímica, os plásticos passaram a ser produzidos em larga escala a partir de recursos fósseis, como o petróleo e o gás natural. Esses compostos são submetidos a processos químicos, como a polimerização, que permite a formação de diferentes tipos de plásticos com propriedades específicas. Após essa etapa, os polímeros são moldados em diversos formatos por meio de técnicas como extrusão, injeção, sopro, entre outras.

Dentre os principais tipos de plásticos utilizados atualmente, destacam-se o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o poliestireno (PS), o policarbonato (PC) e a poliamida (PA), amplamente aplicados em setores como o automotivo, médico, aeronáutico e de bens de consumo. A alta durabilidade, versatilidade, estabilidade química e baixo custo tornaram o plástico indispensável na sociedade moderna, especialmente após a década de 1950, quando seu uso se intensificou globalmente (PLASTICS EUROPE, 2009).

Entretanto, o crescente consumo e o descarte inadequado de resíduos plásticos têm gerado sérios impactos ambientais e de saúde pública, especialmente quando associados a materiais amplamente utilizados, como o poli (tereftalato de etileno) (PET). Embalagens plásticas, em especial as de água mineral, representam fonte potencial de liberação de partículas microscópicas que podem contaminar o produto e, consequentemente, serem ingeridas pelo consumidor (MARTINS; RODRIGUES; TAVARES, 2024).

Os microplásticos são partículas com menos de 5 mm, que não são completamente eliminadas nos sistemas convencionais de tratamento de água. A exposição humana a essas partículas pode ocorrer por meio do consumo de alimentos contaminados, como peixes e mariscos, pelo uso de produtos cosméticos e até pela inalação de partículas presentes no ar (PINHATTI, 2022).

Esses contaminantes emergentes podem ser classificados em duas categorias: microplásticos primários, que já são fabricados em tamanho reduzido — como por exemplo: microesferas de cosméticos ou pellets industriais, e em microplásticos secundários, formados pela degradação de resíduos plásticos maiores devido à ação de intempéries, oxidação e radiação solar (STRUNGARU et al., 2018).

A poluição por microplásticos têm se tornado uma crescente preocupação ambiental e de saúde pública, especialmente quando associada a materiais amplamente utilizados, como o poli (tereftalato de etileno) (PET). Embalagens plásticas, em especial as de água mineral, representam fonte potencial de liberação de partículas microscópicas que podem contaminar o produto e, consequentemente, serem ingeridas pelo consumidor.

Estudos recentes demonstram a onipresença dos microplásticos em ambientes aquáticos e em produtos de consumo. Um levantamento conduzido pela Orb Media, em parceria com a pesquisadora Sherri Mason da Universidade Estadual de Nova York, revelou que uma única garrafa de água pode conter dezenas a milhares de partículas plásticas invisíveis a olho nu, como nylon, polietileno e polipropileno.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo analisar amostras de águas engarrafadas comercializadas no município do Rio de Janeiro, buscando identificar a presença de partículas de microplásticos, contribuindo assim para a discussão sobre os impactos desse tipo de resíduo na saúde humana e no meio ambiente.

A pesquisa busca contribuir para o aprofundamento do conhecimento científico sobre a presença de microplásticos em produtos de consumo e fornecer subsídios para a formulação de políticas públicas voltadas à proteção da saúde humana e à segurança ambiental.

## OBJETIVO

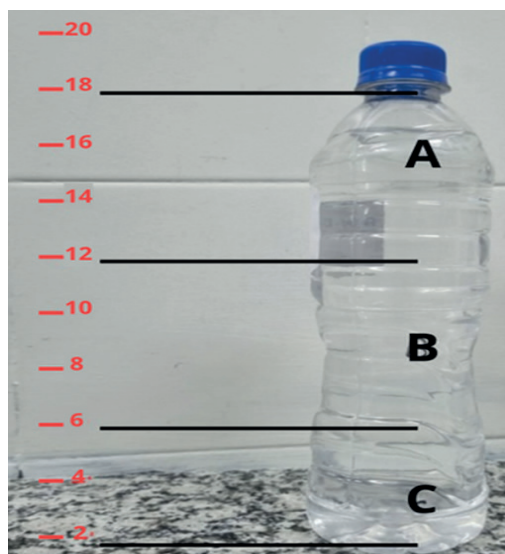
Este trabalho tem como objetivo identificar e caracterizar microplásticos presentes em amostras de água engarrafada, comercializadas na cidade do Rio de Janeiro. Para isso, são empregadas técnicas analíticas avançadas, como espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), espectroscopia de dispersão de energia (EDS), acoplado a microscopia eletrônica de varredura (MEV).

## METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, foi selecionada uma embalagem de 500 ml de água mineral engarrafada, adquirida no município do Rio de Janeiro. O recipiente é fabricado em poli(tereftalato de etileno) (PET). Após a aquisição, a garrafa foi encaminhada ao laboratório, onde teve sua marca comercial removida e passou a ser identificada por numeração de 1 a 5, a fim de garantir a imparcialidade das análises.

De acordo com a Figura 1 – Divisão de cada região de coleta da água – ilustra a embalagem segmentada em três regiões distintas: superior (ponto A), intermediária (ponto B) e inferior (ponto C), de onde foram coletadas amostras para preparo e posterior análise.

Figura 1 – Pontos de coleta das amostras.



Fonte – O Autor, 2025.

Para evitar contaminações, utilizou-se pipeta de vidro durante a manipulação das amostras. Em seguida, os fragmentos coletados foram acondicionados em stubs contendo placas de alumínio e armazenados em dessecador por um período 72 horas até a completa secagem.

As análises das amostras foram conduzidas utilizando espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de dispersão de energia (EDS).

## RESULTADOS

A espectroscopia por dispersão de energia (EDS), acoplada à microscopia eletrônica de varredura (MEV), é uma técnica analítica utilizada para identificar a composição elementar de materiais. No contexto da detecção de microplásticos em amostras de água engarrafada, a EDS foi empregada para analisar os elementos químicos presentes nas amostras de água engarrafa, conforme apresentado na figura 2 a seguir.

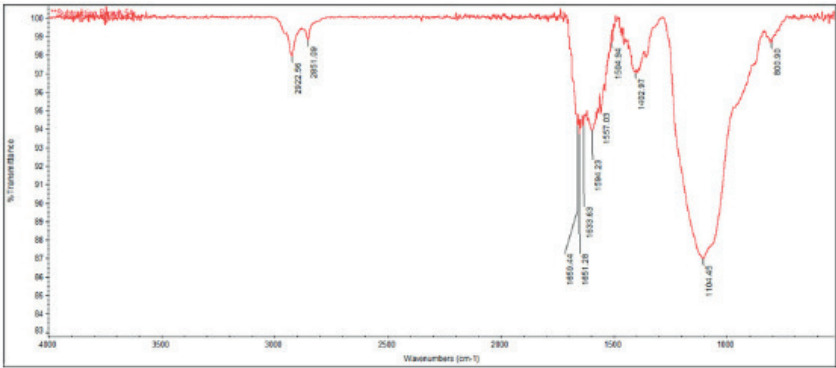
Figura 2 – Elementos químicos presentes nas amostras de água.

6 <b>C</b> Carbono	8 <b>O</b> Oxigênio	11 <b>Na</b> Sódio
14 <b>Si</b> Silício	26 <b>Fe</b> Ferro	

A análise por EDS confirmou a presença de elementos típicos de materiais poliméricos. Essa técnica se mostra eficaz na identificação e caracterização química de partículas em amostras de água engarrafada, contribuindo para estudos de poluição ambiental e avaliação de riscos à saúde.

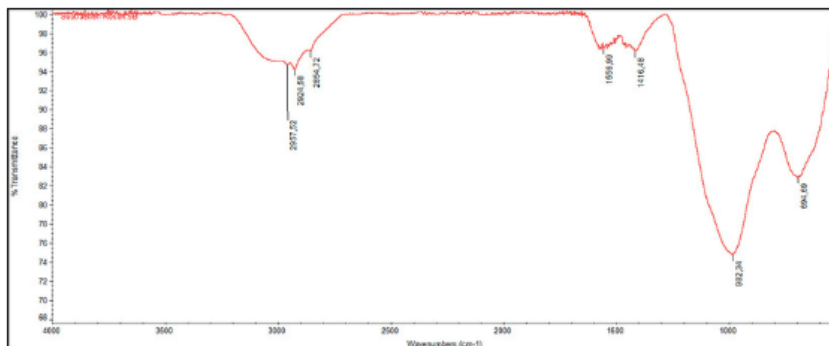
Para identificar o tipo de microplástico nas amostras de água, realizamos as análises por FTIR -Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier. As figuras 3 a 5 mostram os espectros FTIR das secções A, B e C, respetivamente, todos indicando os picos relevantes de material polimérico. Estes podem ser provenientes do Poli(Tereftalato de Etileno), PET.

Figura 3 – FTIR - Superior (ponto A).



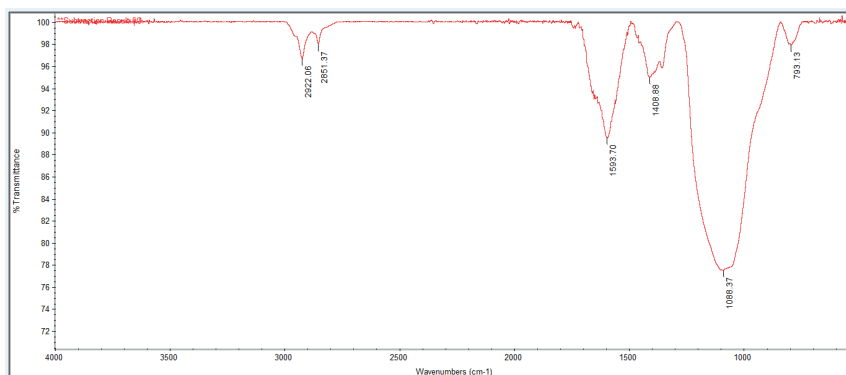
Fonte – O Autor, 2025.

Figura 4 – FTIR - Intermediária (ponto B).



Fonte – O Autor, 2025.

Figura 5 – FTIR - Inferior (ponto C).



Fonte – O Autor, 2025.

Os espectros FTIR de todas as secções amostradas são muito semelhantes, indicando uma composição química consistente em toda a garrafa. Foram observadas bandas de absorção características a  $2922\text{ cm}^{-1}$  e  $2851\text{ cm}^{-1}$ , correspondentes a vibrações de alongamento assimétricas e simétricas de ligações C–H alifáticas, respectivamente. As bandas em  $1659\text{ cm}^{-1}$  e  $1594\text{ cm}^{-1}$  estão associadas ao alongamento C=C de anéis aromáticos e podem refletir grupos carboxílicos ou ésteres conjugados. A absorção em  $1402\text{ cm}^{-1}$  é atribuída a vibrações de flexão  $\text{CH}_2$ , enquanto a banda em  $1104\text{ cm}^{-1}$  é normalmente atribuída ao alongamento C–O de ligações ésteres. Por último, a absorção perto de  $800\text{ cm}^{-1}$  é característica da flexão C–H aromática fora do plano (Tabela 1).

Tabela 1 – Banda de Absorção de Padrão de PET

Nº ▼	Região (cm <sup>-1</sup> ) ▼	Atribuição principal ▼
1	2922 – 2851	Ligação C–H - Grupos alifáticos tipo CH <sub>2</sub> ou CH <sub>3</sub> vibração axial no plano
2	1659 – 1594	C=O - normalmente é grupo éster
3	1402	CH - vibração de CH angular fora do plano
4	1104	C–O - aromático
5	800	Aromático

Com base nas bandas FTIR observadas, há fortes evidências de que o PET presente na amostra sofreu degradação. A banda típica de alongamento de carbonila dos grupos éster, normalmente observada no PET virgem em torno de 1715–1740 cm<sup>-1</sup>, está ausente ou significativamente alterada. Em contrapartida, novas bandas de absorção aparecem em 1659 cm<sup>-1</sup> e 1594 cm<sup>-1</sup>, que não são características do PET não degradado.

Essas bandas podem ser atribuídas a vibrações de alongamento C=C ou a grupos carboxílicos conjugados, sugerindo a formação de estruturas insaturadas ou oxidadas como resultado da cisão da cadeia. A presença de bandas a 2922 cm<sup>-1</sup> e 2851 cm<sup>-1</sup>, correspondentes ao alongamento alifático C–H, e a 1402 cm<sup>-1</sup> e 1104 cm<sup>-1</sup>, relacionadas com a flexão CH<sub>2</sub> e o alongamento C–O, respetivamente, confirma a retenção da estrutura do polímero. Além disso, a banda de absorção perto de 800 cm<sup>-1</sup>, associada à flexão fora do plano das ligações C-H aromáticas, reforça ainda mais a identificação do material como PET degradado.

No entanto, as características espectrais indicam que o polímero foi submetido a processos de degradação, tais como hidrólise, oxidação térmica ou fotooxidação, levando a alterações estruturais, à formação de novos grupos funcionais e à degradação parcial da arquitetura macromolecular original.

O conjunto dessas bandas é compatível com a presença de poli(tereftalato de etileno) (PET), material amplamente utilizado na fabricação de garrafas plásticas.

Esses resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo da presença de microplásticos em produtos de consumo, considerando potenciais riscos ambientais e à saúde humana.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo confirmam a presença de microplásticos, oriundos do poli(tereftalato de etileno) (PET), em amostras de água engarrafada, indicando que a contaminação pode estar relacionada ao processo de filtração, indicando a necessidade de aprimoramento das etapas de tratamento e controle de qualidade na indústria.

Do ponto de vista ambiental, a detecção de microplásticos em produtos amplamente consumidos reforça a urgência de políticas públicas voltadas à redução do uso de plásticos descartáveis e à ampliação dos programas de educação ambiental. Além disso, a presença dessas partículas em produtos alimentares e bebidas amplia o debate sobre os potenciais efeitos danosos à saúde humana, uma vez que ainda são escassos os estudos conclusivos sobre os impactos a longo prazo da ingestão contínua de micro e nanoplásticos.

Neste sentido, este trabalho contribui para a ampliação do conhecimento técnico-científico sobre a temática dos microplásticos em alimentos e bebidas, e destaca a importância da fiscalização, regulamentação e inovação tecnológica no setor de embalagens. Recomenda-se a realização de estudos complementares, com amostragens mais amplas e condições variadas de armazenamento, além da integração entre pesquisadores, indústrias e órgãos reguladores, visando garantir a segurança alimentar e a preservação ambiental.

## REFERÊNCIAS

- CALLAPEZ, Maria Filomena. Plásticos: história, tecnologia e sociedade. Lisboa: Colibri, 2007.
- MARTINS, L.; RODRIGUES, R.; TAVARES, M. I. B. Contaminação por microplásticos em água mineral: uma análise crítica. Revista Brasileira de Polímeros, 2024.
- PINHATTI, F. Impactos dos microplásticos na saúde humana. São Paulo: Editora Acadêmica, 2022.
- PLASTICS EUROPE. Applications and societal benefits of plastics. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 364, p. 1977–1984, 2009. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2873018/>. Acesso em: 22 jul. 2025.
- STRUNGARU, S. A. et al. Microplastics in freshwater ecosystems: occurrence, fate, and effects. Environmental Pollution, v. 238, p. 585–598, 2018.



## TR A B A L H O 1 4

# COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEL DE PHBV COM RESÍDUO DE VARVITO A SER APLICADO COMO EMBALAGEM DE HORTIFRUTIGRANJEIROS

Roberto Carlos Ribeiro

Laura Gomes

**RESUMO:** Muito se discute sobre a necessidade da sustentabilidade, principalmente com relação à produção de embalagens plásticas, um dos maiores poluentes presentes na atualidade. Devido à grande estabilidade do material, os plásticos de modo geral podem levar centenas de anos para se decompor por completo, o que acarreta terríveis consequências para o ecossistema. Como consequência, pesquisas vêm sendo feitas para elaboração de tecnologias que mitiguem o impacto causado pelos resíduos plásticos no meio ambiente. Dentre estas inovações, uma interessante alternativa é o uso de resíduos minerais como enriquecimento no compósito, já que estes, quando em degradação no solo, liberam nutrientes, promovendo a recuperação de áreas degradadas e a melhoria da fertilidade do solo. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de compósito biodegradável para fabricação de embalagens de frutas, utilizando resíduo de varvito na matriz do polímero poli (3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) (PHBV). Para tal, utilizou-se PHBV e resíduo fino da extração do varvito nas concentrações de 2% 4% e 10%, em massa, para produção do compósito. Foram realizadas análise reológica, DSC, FTIR, ensaio de tração e flexão, as quais corroboram a viabilidade de produção de um material biodegradável com resíduo mineral de varvito, em concentrações de 4 a 10%, com aprimoramento na processabilidade e cumprindo o propósito sustentável do projeto, a partir da composição e estrutura do resíduo, que favorece sua degradação em meio favorável a compostagem do material.

## INTRODUÇÃO

Encontrar alternativas sustentáveis para embalagens plásticas é uma tarefa crucial atualmente, pois seu impacto ambiental negativo é significativo. Segundo estudo realizado pelo Fundo Mundial para a Natureza (WWF, 2021), o Brasil é o

4º maior produtor de lixo plástico, reciclando apenas 1%. Segundo as previsões de um estudo realizado pelo Fórum de Davos, haverá, em 2050, mais plástico nos oceanos do que peixes, situação que é reforçada pelo fato que é muito comum que embalagens plásticas sejam utilizadas somente uma única vez e na sequência se tornem resíduo plástico, estes representam quase 6 bilhões de toneladas do lixo produzido entre 1950 a 2015, segundo Reuters Graphics. Portanto, a busca por alternativas sustentáveis é indispensável. Polímeros biodegradáveis surgem como uma solução promissora, oferecendo os mesmos benefícios das embalagens plásticas tradicionais, porém com impacto ambiental reduzido. Esses materiais decompõem-se em  $H_2O$ ,  $CO_2$  e  $O_2$  devido à ação das enzimas microbiológicas. Além da poluição gerada pelo setor polimérico, a lavra e o beneficiamento de rochas ornamentais geram mais de 80% de resíduos e estudos de aplicação desses resíduos devem ser realizados. O varvito é uma rocha sedimentar rica em minerais como quartzo, feldspato e mica, que pode ser incorporado na matriz de polímeros biodegradáveis de embalagens, contribuindo para a fertilização do solo, aumento da retenção de água e fornecimento gradual de nutrientes essenciais quando aplicados em pilhas de compostagem (Catoni, 2011; Ribeiro et al. 2011).

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi utilizar o resíduo do beneficiamento de varvito como carga na matriz do polímero compostável (PHBV) para a produção de embalagens de hortifrutigranjeiras com a finalidade de nutrir as pilhas de compostagem que irão fertilizar os solos.

## METODOLOGIA

Foram utilizados resíduos do beneficiamento de varvito, uma rocha sedimentar, formada pela sucessão repetitiva de lâminas ou camadas, comercializada como ardósia de Trombudo Central, oriundo do Estado de Santa Catarina e foi cedida pela empresa Alto Vale Mineração, os quais foram previamente moídos até obter-se pó, de granulometria de 20  $\mu m$ , a partir do qual foi realizada avaliação química por meio de FRX. A preparação do compósito foi realizada em equipamento de extrusão *Haake Rheomix OS* com 6 perfis de zonas de temperatura variando de 140 a 170 °C, sendo alimentada com o PHBV e o resíduo de varvito.

Foram processados quatro compósitos contendo 0, 2, 4, e 10%, em massa de resíduo de rocha, que foram nomeadas de PHBV00, PHBV02, PHBV04, e PHBV10, respectivamente. Os compósitos foram, então, picotados e prensados a 190°C e resfriados em temperatura ambiente por 10 minutos com pressão de 9 ton. em média, obtendo-se os corpos de prova para os ensaios. A reologia foi realizada em reômetro

da marca *Anton Paar*, com tempo de análise de 30 minutos, a 180 °C. A Difração de raios-x (DRX) foi realizada no equipamento *Bruker-AXS D4 Endeavor*, 4 a 80° (2 $\theta$ ). Os ensaios de mecânicos, flexão de 3 pontos e tração, foram realizados em equipamento da marca EMIC com célula de carga de 100 kgf. As curvas de Calorimetria diferencial de varredura (DSC) foram realizadas no equipamento *Instrument DSC Q100*, de 0 a 140 °C a 2ª curva de aquecimento e 10°C.min<sup>-1</sup> e isoterma de 2 min. Para análise de espectroscopia do infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), as amostras foram examinadas utilizando um espectrofotômetro modelo *Thermo Scientific Nicolet i550*, equipado com acessório de reflectância total atenuada (ATR) onde foram realizadas 64 varreduras, com resolução de 2 cm<sup>-1</sup> na faixa de 4000 a 400 cm<sup>-1</sup>. Os corpos de prova produzidos (0,3g) foram aplicados em pilhas de compostagem na Universidade Federal Rural onde se verificou diariamente a perda de massa.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

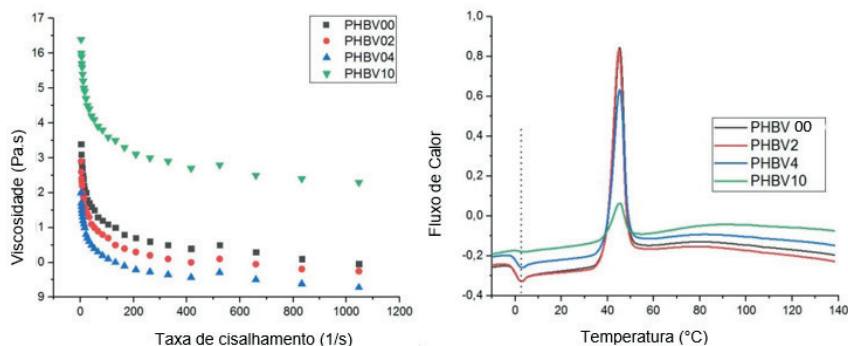
Na Tabela1 estão apresentados os resultados da análise química do resíduo mineral onde pode-se observar teores de 1,1% de CaO e 3,2% de MgO, os quais desempenham um importante papel no suprimento de nutrientes essenciais e correção de deficiências no solo.

**Tabela 1:** FRX do varvito

Elementos Óxidos	%
MnO	0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,19
SO <sub>3</sub>	0,22
TiO <sub>2</sub>	0,94
TiO <sub>2</sub>	1,1
Na <sub>2</sub> O	3
MgO	3,2
K <sub>2</sub> O	3,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,8
SiO <sub>2</sub>	59,5
PPC	4,9

Na Figura 1(A) apresentam-se os resultados da viscosidade em função da taxa de cisalhamento das amostras PHBV00-PHBV10. A inclusão do resíduo mineral reduziu a viscosidade nas amostras com 2 e 4% indicando que nestas condições o resíduo atuou como plastificante. Mas a amostra com maior teor, PHBV10, apresentou aumento drástico da viscosidade indicando a possível aglomeração das partículas

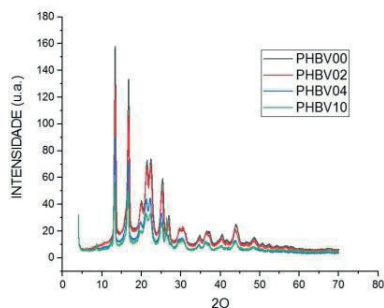
e possível mudança na dispersão da partícula na matriz de modo que a interação partícula-partícula foi maior. Na Figura 1(B) podem se verificar os resultados obtidos por meio do teste de DSC. Verifica-se que não houve variação na temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e na temperatura de cristalização ( $T_c$ ), pois permaneceram na ordem de 2 e 45°C, respectivamente, em todas as amostras. Já a intensidade do pico de cristalização houve redução nas amostras PHBV04 e PHBV10, sendo uma queda muito acentuada na última amostra. Tal comportamento indica que nesse percentual houve mudança na fase cristalina do polímero.



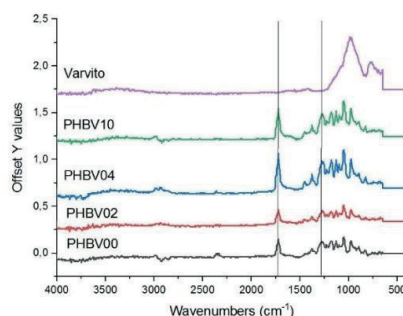
**Figura 1:** Viscosidade em função da taxa de cisalhamento (A) e curvas de DSC do segundo aquecimento das amostras PHBV00-PHBV10 (B)

Na Figura 2 estão apresentados os resultados da difração de raios-X, na qual se pode verificar a partir dos resultados que as composições apresentam menor pico com a inserção do varvito, indicando que o resíduo mineral não atuou como agente nucleante, ou seja, não causou o aumento, mas a redução da cristalinidade, dificultando a formação de estruturas cristalinas no polímero, corroborando o resultado do DSC.

Na Figura 3 está apresentado o resultado do FTIR das amostras e do varvito de modo que se observada a presença dos picos relativos à matriz polimérica (1753, 1283  $\text{cm}^{-1}$ ). Não foi observada a formação de novas bandas em relação às amostras puras, indicando que a interação entre a partícula e polímero não foi química e sim uma interação mecânica e isso facilita a liberação dos nutrientes às pilhas de compostagem, uma vez que estão livres.

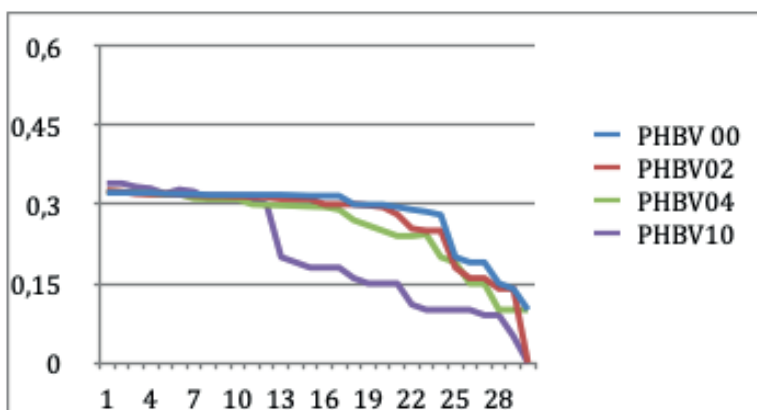


**Figura 2:** DRX do varvito e das amostras PHBV00-PHBV10.



**Figura 3:** FTIR das amostras PHBV00-PHBV10

A Figura 4 apresenta os resultados de biodegradação dos compósitos, em gramas, ao longo do tempo, em dias, onde se pode verificar que o PHBV puro apresenta queda substancial de perda de massa após o 25º dia de ensaio e que à medida que se aumenta a carga de varvito a degradação é mais acelerada, observando-se perda de massa mais substancial já no 17º dia de ensaio. Isso ocorre, pois, as cargas adicionadas apresentam interação física com o polímero e a resistência mecânica é reduzida e com isso, a degradação no solo será mais eficaz. Por isso, que a composição com mais varvito PHBV 10 apresentou curva de degradação em cerca de 13 dias.



**Figura 4:** Perda de massa dos CPs em função do tempo em pilha de compostagem.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos foi possível determinar os parâmetros de processabilidade do material composto de polímero PHBV com resíduo da lavra e beneficiamento do varvito. Segundo a análise química, o resíduo apresenta teores de potássio e magnésio, que podem facilitar a compostagem, verificados pela análise de FTIR a interação física que corrobora a facilidade de liberação dos nutrientes no solo. Em relação à processabilidade do material, as análises indicaram que até 4% de resíduo há melhora da processabilidade. A cristalinidade da matriz polimérica o resíduo de varvito na concentração de 10% foi muito afetada indicado pela queda acentuada do pico de cristalinidade, corroborando a análise reológica. As embalagens possuem, portanto, viabilidade técnica de produção, configurando alto nível de sustentabilidade, pela sua composição biodegradável e compostável, independente da concentração de varvito, pois a interação é física e facilitada, em apenas 13 dias de ensaio amostras com 10% de carga já se decompõem na composteira.

## AGRADECIMENTOS

Ao Cetem, UFRRJ e INT pela infraestrutura, à empresa Alto Vale Mineração e CNPq pela bolsa.

## REFERÊNCIAS

Catoni, S. (2011) **Biossíntese e obtenção de PHB e PHBV plastificados com PEG visando aplicação em liberação controlada de fármacos**, UNIVILLE.

Scarr, S. e Hernandez, M. (2019) **Drowning in plastic**. Reuters, <https://www.reuters.com/graphics/ENVIRONMENT-PLASTIC/0100B275155/index.html> - acessado em: 07/05/2024

Ribeiro, R. C. C., Oliveira, M. G., Arruda, C. M. R, Carrisso, R. C. C e Ribeiro, L., (2011) Processo de formação de compósitos poliméricos utilizando como carga resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de mármore e calcários ornamentais, Patente depositada 221109118311, INPI.



## CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: REVESTIMENTOS E PISOS PARA A INDÚSTRIA CIVIL À BASE DE PEAD E RESÍDUOS DE ROCHA ORNAMENTAL

Roberto Carlos Ribeiro

Daniele Cruz Bastos

Pedro Afonso de Moraes Paes

**RESUMO:** Este trabalho apresenta uma maneira alternativa de lidar com questões ambientais através da utilização de materiais de baixo impacto na construção. Foram desenvolvidas três formulações de PEAD com dois tipos diferentes de resíduos de rocha ornamental (Mármore Bege Bahia e Calcário Cariri), variando-se também o diâmetro da carga e o índice de fluidez do PEAD. Foram processados compósitos com 70/30% de polímero/carga, realizando-se ensaios de porosidade, densidade, dureza e impacto. Os revestimentos desenvolvidos apresentaram resultados satisfatórios de propriedades mecânicas quando comparados ao PEAD sem carga. A formulação A4, composta por PEAD, com MFI de 7 g/10min e diâmetros de BB  $20\ \mu\text{m} < D_2 < 44\ \mu\text{m}$ , apresentou melhores propriedades, sendo a mais indicada para a aplicação sugerida. O desenvolvimento de um produto acabado permitirá sua ampla aplicação em engenharia civil

**PALAVRAS-CHAVE:** Mármore Bege Bahia, calcário do Rio Grande do Norte, resíduos de rochas ornamentais.

### INTRODUÇÃO

As primeiras construções foram desenvolvidas apenas para proteger a vida humana contra condições externas como chuva, vento ou animais, utilizando materiais efêmeros, incluindo galhos e peles de animais. Hoje em dia, os participantes da indústria da construção estão prestando atenção específica aos fatores ambientais para minimizar o impacto ambiental (Barros *et al.*, 2020; J-Garcia *et al.*, 2023).

Existem diferentes trabalhos de pesquisa focados no design de novos materiais de construção, com destaque especial para a nanotecnologia, a utilização de misturas

minerais, assim como outros compostos como vidro, plástico, materiais biológicos, madeira e até algumas formulações que incluem argila e outras adições como cascas de café, buscando o aumento dos indicadores de sustentabilidade e confiabilidade, redução de custos e melhor desempenho nas características mecânicas e físicas (Bamigboye *et al.*, 2019; Barros *et al.*, 2020; J-Garcia *et al.*, 2023, Jaramillo *et al.*, 2023).

No trabalho desenvolvido por C-Michalak *et al.* (2022) investigou-se o efeito da substituição de uma parte da resina epóxi e agente de cura por pó de calcário residual. Um revestimento epóxi usado como revestimento de piso foram examinadas, com as seguintes propriedades sendo testadas: viscosidade, dureza, resistência à tração, resistência à flexão, resistência à tração e microestrutura do revestimento e substrato de concreto. Os resultados fornecem evidências promissoras para o uso de resíduos de pó de calcário como aditivo ao revestimento epóxi. O revestimento epóxi modificado apresentou por uma boa adesão ao substrato, e não possui dureza inferior. A redução da resistência à tração e à flexão não foi vista como um problema.

## OBJETIVOS

O objetivo desde trabalho foi a produção de compósitos de matriz polimérica utilizando diferentes resíduos de rocha ornamental para possível aplicação na indústria de construção civil.

## METODOLOGIA

### Origem dos materiais

Neste trabalho foi utilizado polietileno de alta densidade - PEAD (Braskem) e resíduos oriundos do beneficiamento de rochas ornamentais (Mármore Bege Bahia – BB e Calcário Ornamental do Rio Grande do Norte - CRN), descritos na Tabela 1.

**Tabela 1:** Nomenclatura das amostras de PEAD e resíduos de rochas (Bege Bahia – BB e calcário do Rio Grande do Norte – CRN extrusadas.

Sigla	Componentes da amostra	% m/m	PEAD MFI (g/10min)	Diâmetro das cargas (µm)
A1	PEAD/BB	70/30	25	D1<20
A2	PEAD/CRN	70/30	25	D2<20
A3	PEAD/BB	70/30	7	20<D1<44
A4	PEAD/CRN	70/30	7	20<D2<44
A5	PEAD/BB	70/30	25	20<D1<44
A6	PEAD/CRN	70/30	25	20<D2<44

## Processamento

As amostras foram processadas em extrusora dupla-rosca (Teck Tril, modelo DCT 20-40), com zonas de temperaturas variando de 190 a 250 °C desde a alimentação até a saída da matriz e rotação de 30 rpm. Após a extrusão dos materiais, eles foram triturados e acondicionado em dessecador para posterior preparação dos corpos-de-prova para as caracterizações.

## Caracterização dos corpos de prova

Foram realizados ensaios de dureza Shore, impacto Izod e avaliação em microscopia eletrônica de varredura (MEV) após o rompimento dos corpos de prova.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

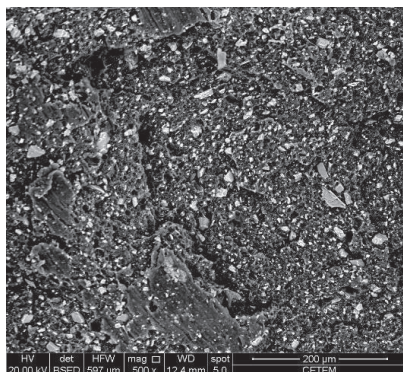
Os resultados do ensaio de dureza estão apresentados na Tabela 2 e confirmam uma boa homogeneidade da distribuição de cargas na matriz (Chagas *et al.*, 2022). Comparando-se a dureza do PEAD virgem (MFI 18g/10min), que é de 50,6 Shore D (Koffi *et al.*, 2021), todos as formulações obtiveram valores maiores de dureza com a adição de carga inorgânica. O maior valor de dureza foi encontrado para a amostra A4 (PEAD, MFI: 7 g/10min/ CRN, 20  $\mu\text{m}$  <  $D_2$  < 44  $\mu\text{m}$ ).

**Tabela 2:** Resultado do ensaio de dureza das formulações extrusadas.

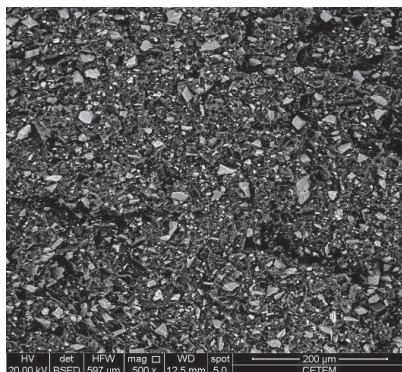
Amostra	Densidade g.cm <sup>-3</sup>	Dureza (Shore D)	Impacto Izod (KJ/m <sup>2</sup> )
A1	1,068±0,047	57,40±1,14	2,615±0,328
A2	1,143±0,022	59,00±1,00	2,640±0,140
A3	1,145±0,022	59,00±1,00	3,025±0,259
<b>A4</b>	<b>1,104±0,018</b>	<b>59,80±0,45</b>	<b>3,625±0,087</b>
A5	1,035±0,026	57,80±0,84	2,975±0,145
A6	1,175±0,009	58,60±0,55	2,840±0,398

Os resultados microscopia eletrônica de varredura após o rompimento dos corpos de prova encontram-se nas Figuras 1 A1-A6. Na propriedade de impacto, o efeito do diâmetro foi mais evidenciado. A amostra A4, composta por PEAD, com MFI de 7 g/10min e diâmetros de BB 20  $\mu\text{m}$  <  $D_2$  < 44  $\mu\text{m}$ , apresentou maior resistência ao impacto.

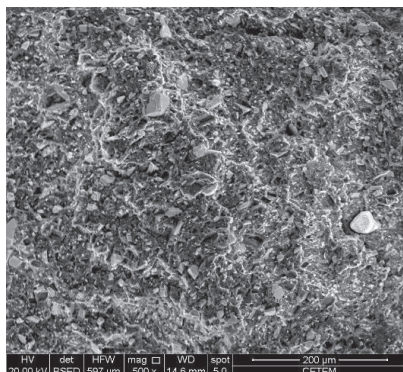
As imagens de microscopia eletrônica corroboram os demais resultados mostrando uma boa aderência das partículas inorgânicas à matriz de PEAD.



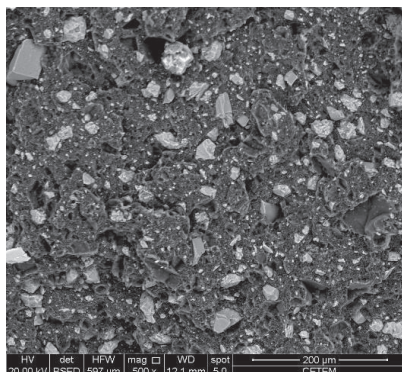
A1



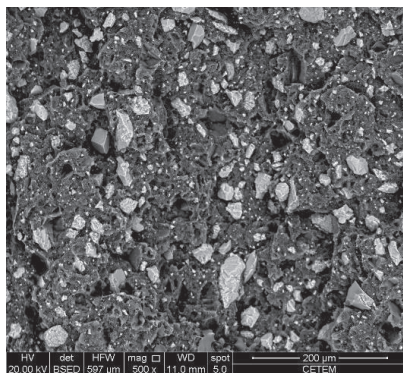
A2



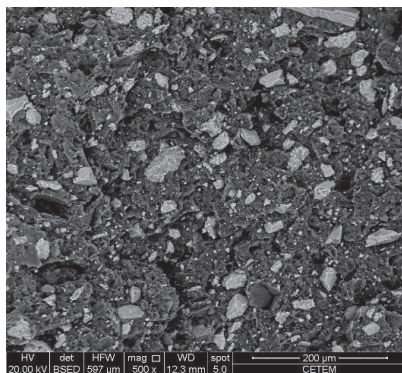
A3



A4



A5



A6

Figura 1: MEV das formulações

## CONCLUSÕES

Os revestimentos desenvolvidos apresentaram resultados satisfatórios de propriedades mecânicas quando comparados ao PEAD sem carga. A formulação A4, composta por PEAD, com MFI de 7 g/10min e diâmetros de BB  $20\text{ }\mu\text{m} < D_2 < 44\text{ }\mu\text{m}$ , apresentou melhores propriedades, sendo a mais indicada para a aplicação sugerida. O desenvolvimento de um produto acabado permitirá sua ampla aplicação em engenharia civil.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à Faperj pelo auxílio financeiro.

## REFERÊNCIAS

BAMIGBOYE, G., DAVIES, I., NWANKO, C., MICHAELS, T., ADEYEMI, G., OZUOR, O. Innovation in Construction Materials-A Review, IOP Conference Series: **Materials Science and Engineering**, v.640, p.012070, 2019.

CHAGAS G.N., BARROS, M.M., LEÃO, A.G., TAPANES, N.L.C.O., RIBEIRO, R.C.C., BASTOS, D.C. A hybrid green composite for automotive industry. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 32(2), e2022017, 2022.

EZZAHRAE M.F., NACER A., LATIFA E., ABDELLAH Z., MOHAMED I., MUSTAPHA J. Thermal and mechanical properties of a high-density polyethylene (HDPE) composite reinforced with wood flour. **Materials Today: Proceedings**, v. 72, p. 3602–3608, 2023.

JARAMILLO, H.Y., VERA-MORA, M.L., GOMEZ-CAMPERO, J.A. Creation of handmade bricks with coffee husks and clay, implementing the compressed earth block method. a sustainable alternative for rural communities. **Journal of Positive Psychology & Wellbeing**, v.7(1), p.853–861, 2023.

JIMENEZ-GARCÍA, E.J., ARELLANO-VAZQUEZ, D.A., TITOTTO, S., VILCHIS-NESTOR, A.R., MAYORGA, M., ROMERO-SALAZAR, L., ARTEAGA-ARCOS, J.C. A low environmental impact admixture for the elaboration of unfired clay building bricks. **Construction and Building Materials**, v.407(1), p.133470, 2023.

BARROS, M.M., de OLIVEIRA, M.F.L., RIBEIRO, R.C.C., BASTOS, D.C., OLIVEIRA, M.G. Ecological bricks from dimension stone waste and polyester resin. **Construction and Building Materials**, v.232, p.117252, 2020.

KOFFI A., KOFFI D., TOUBAL L. Mechanical properties and drop-weight impact performance of injection-molded HDPE/birch fiber composites. *Polymer Testing*, v. 93, p. 106956, 2021.

C-MICHALAK, A., CZARNECKI, S., SADOWSKI, L., KRÓLICKA A. Recycling of waste limestone powders for the cleaner production of epoxy coatings: Fundamental understanding of the mechanical and microstructural Properties. **Journal of Cleaner Production**, v. 372, p. 133828, 2022.

SANTOS R.S., DA SILVEIRA P.H.P.M., BASTOS B.C., DA CONCEIÇÃO M.N., RIBERO R.C.C., BASTOS D.C. Development of Environmentally Ecofriendly Composites Based on Polypropylene/ Bahia Beige Waste: Effect of Reinforcement Content on Physical, Mechanical, Chemical, and Microstructural Properties. **Recent Progress in Materials**, v. 5 (3), p. 1-17, 2023



## DERIVA DE MICROPLÁSTICOS LEVES ORIUNDOS DOS EMISSÁRIOS DE IPANEMA E ICARAÍ NA BAÍA DE GUANABARA E ZONA COSTEIRA ADJACENTE

Anna A. C. Rosman

Paulo Cesar C. Rosman

Renato Carreira

**RESUMO:** O objetivo central desse estudo foi analisar a dispersão de microplásticos leves oriundos de emissários submarinos na Baía de Guanabara (BG) e zona costeira adjacente por meio de modelagem computacional. Foram escolhidos dois emissários para análise, o de Ipanema, localizado na zona costeira adjacente à baía, e o de Icaraí, localizado dentro da baía, próximo à embocadura. A modelagem foi realizada com apoio do Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental (SisBaHiA<sup>®</sup>), considerando três meses de verão. Através dos resultados, verifica-se que, nos meses de verão, a maior parte da pluma do emissário de Ipanema (ESEI) é transportada para o oceano, porém uma parcela fica aprisionada em algumas regiões dentro da BG. Já a pluma do emissário de Icaraí (ESlca) tende a oscilar na direção Norte-Sul, de acordo com a maré, e é levada para fora da BG em caso de ventos mais intensos. Os microplásticos oriundos do ESlca também ficam aprisionados nas mesmas regiões que os do ESEI.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microplásticos, Modelagem, Dispersão, Emissários

### INTRODUÇÃO

Em decorrência de seu amplo uso na manufatura de uma variedade de produtos, o plástico se tornou um material onipresente dentre os resíduos sólidos produzidos no mundo (Barnes et al., 2009). Apenas cerca de 9% de todo plástico produzido é reciclado (Geyer et al., 2017), sendo atualmente considerado um dos principais contaminantes ambientais, em especial nos oceanos (Rochman et al., 2013). Os diferentes polímeros usados na fabricação de plásticos apresentam diferentes graus de biodegradação, mas, em geral, esse tempo é de anos, ocasionando o acúmulo de plásticos em diferentes compartimentos ambientais, o que pode ameaçar a saúde humana e ambiental.

Nas últimas décadas, veio à tona a preocupação acerca de pequenas partículas de plástico, menores que 5 mm e muitas vezes invisíveis a olho nu, denominadas de microplásticos. Apenas na camada superficial dos oceanos, estimou-se que há 82 a 358 trilhões de partículas plásticas, pesando de 1.1 a 4.9 milhões de toneladas (Eriksen et al., 2023). O entendimento acerca da distribuição, zonas de acúmulo e destinos dos microplásticos nos oceanos ainda precisa ser ampliado (GESAMP, 2015). Logo, a utilização de modelagem hidrodinâmica computacional pode servir como uma ferramenta de análise que permite visualizar o transporte de partículas, assim como as zonas de acúmulo e deposição no espaço e no tempo. Com esse conhecimento em mãos, tem-se mais confiança para realizar previsões, e as ações de coleta e medição de concentrações podem ser mais bem direcionadas. O uso da modelagem para estudar o transporte de resíduos no ambiente marinho é um campo científico em crescimento, e é apontado como uma prioridade de pesquisa no caso dos microplásticos (GESAMP, 2015).

Isto posto, o presente trabalho faz uso da modelagem para analisar o transporte de microplásticos leves na Baía de Guanabara (BG) e zona costeira adjacente. Os microplásticos considerados leves são aqueles com flutuabilidade por terem densidade inferior à densidade da água do corpo receptor. A BG é considerada uma das baías mais importantes do Brasil, e é também uma das mais degradadas pelos impactos antrópicos relacionados à alta densidade demográfica e saneamento inadequado. Ela é uma importante via marítima, além de ser valiosa para atividades de pesca e turismo. Para mais, ainda estão localizadas em suas margens dois portos comerciais, uma refinaria de petróleo, estaleiros, marinas e dois aeroportos. Não obstante, ela ainda suporta um ecossistema consideravelmente biodiverso, possuindo então grande importância ambiental e ecológica.

Dessa forma, considerou-se dois emissários submarinos de esgoto como fontes de lançamento de microplásticos nesse estudo: o de Ipanema, localizado fora da BG, e o de Icaraí, localizado dentro da BG. O lançamento de águas residuais em corpos d'água representa uma das vias de entrada de microplásticos nos oceanos (Browne et al., 2011). Microplásticos podem ser encontrados no esgoto bruto devido ao uso de produtos cosméticos que possuem microesferas de plástico em sua composição, que acabam entrando nas redes de esgoto, além de roupas produzidas com tecidos sintéticos, cujas fibras se desprendem no processo de lavagem. Mesmo com estações de tratamento, uma parcela relevante de microplásticos é capaz de escapar e ir parar eventualmente no mar.

Alguns estudos sobre microplásticos já foram realizados na BG, mas com enfoque em medições de concentrações. Portanto, a associação da hidrodinâmica para analisar a dispersão dos microplásticos na baía é uma área que precisa ser estudada, podendo trazer informações relevantes para auxiliar futuras pesquisas e ações de remediação.

## OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é analisar o transporte e a dispersão de microplásticos leves oriundos do ESEI – Emissário Submarino de Esgotos de Ipanema e do ESICA – Emissário Submarino de Icaraí, na Baía de Guanabara e zona costeira adjacente com suporte de modelagem hidrodinâmica computacional. Os objetivos específicos são:

Aplicar modelos de transporte Lagrangeano com o uso do SisBaHiA® – Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental, utilizando os emissários submarinos de Ipanema e Icaraí como fontes emissoras de partículas.

Verificar se a BG age como corpo receptor ou emissor de partículas de microplásticos leves, considerando o ESEI como uma fonte externa à baía, e o ESICA como uma fonte dentro da baía.

Identificar as regiões com maior probabilidade de acúmulo de microplásticos leves na BG, considerando apenas as partículas emitidas pelos emissários em questão.

## METODOLOGIA

A análise da dispersão de microplásticos na BG e zona costeira adjacente foi feita com auxílio de modelagem computacional através do Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental (SisBaHiA® - [www.sisbahia.coppe.ufrj.br](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br)). Trata-se de um sistema profissional de modelos computacionais registrado em nome UFRJ, com suporte do COPPE - Instituto Aberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e da Fundação Coppetec, órgão gestor de convênios e contratos de pesquisa do COPPE/UFRJ. Desde 1987, o sistema vem sendo continuamente otimizado e ampliado através de diversos trabalhos, teses e projetos de pesquisa<sup>1</sup>.

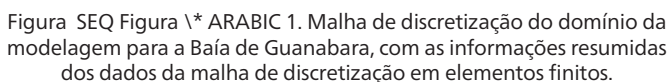
Para as análises em questão, foi necessário fazer um modelo hidrodinâmico tridimensional e três modelos de transporte Lagrangeano. Em todos os modelos, adotaram-se vazões permanentes de 7,0 m<sup>3</sup>/s para o ESEI e de 1,5 m<sup>3</sup>/s para o ESICA, que são equivalentes a valores médios diários, segundo informes das companhias de saneamento que os operavam quando esse estudo foi realizado, respectivamente a CEDAE e a Águas de Niterói.

## Área de Interesse e Modelagem Digital do Terreno

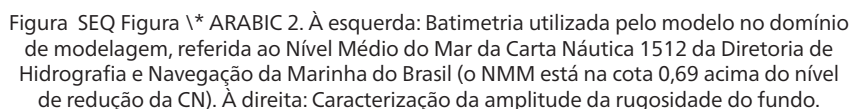
Como ilustra a Figura 1, a área de estudo engloba toda a extensão da BG, incluindo trechos estuarinos de diversos rios, e uma parte da zona costeira adjacente. No mapa, a parte em branco contendo a malha representa o domínio de modelagem, para o qual foi feita a discretização e caracterização do terreno com dados de

<sup>1</sup> Amplos detalhes técnicos sobre o funcionamento do SisBaHiA®, incluindo tópicos sobre formulação matemática e numérica dos modelos, estão disponíveis em [www.sisbahia.coppe.ufrj.br](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br).

DERIVA DE MICROPLÁSTICOS LEVES ORIUNDOS DOS EMISSÁRIOS DE IPANEMA E ICARAI NA BAÍA DE GUANABARA E ZONA COSTEIRA ADJACENTE



TRABALHO 16



## Modelo Hidrodinâmico

Modelos hidrodinâmicos calculam a circulação hidrodinâmica 3D e a promediada na vertical (2DH). Os modelos de escoamentos naturais em geometrias complexas são representados via discretização espacial com elementos finitos quadráticos e transformação sigma na vertical. Neste trabalho, utilizou-se um modelo 3D para calcular o campo de velocidades na camada superficial, responsável pelo transporte de microplásticos leves, que tendem a boiar. Usou-se como base o modelo hidrodinâmico desenvolvido e validado por Andrade (2018). Todos os dados de entrada são referentes à estação de verão, do dia 21/12/2016 ao dia 20/03/2017, conforme descritos por Andrade (2018). Maiores detalhes sobre a obtenção de dados - maré, correntes, vazões fluviais e ventos - e parametrização do modelo estão descritos em Andrade (2018).

## Modelo de Transporte Lagrangeano

O modelo de transporte Lagrangeano é utilizado para simulação de transporte advectivo-difusivo com reações cinéticas ou não, para camadas de escoamentos 3D ou 2DH. No caso dos microplásticos, não foi considerada nenhuma reação cinética nem de decaimento, visto que o período de modelagem é de apenas 3 meses.

Dado que os microplásticos leves boiam, considerou-se que eles ocupam uma camada com espessura média de meio metro junto à superfície livre. Por esta razão, o campo de velocidades utilizado para transporte das partículas de microplásticos leves foi obtido do modelo hidrodinâmico 3D, considerando as correntes em uma profundidade de 0,2 m a partir da superfície livre. Tal profundidade corresponde ao valor médio da espessura da camada superficial ocupada pelos microplásticos leves.

No modelo, é lançado um número de partículas na região fonte, em intervalos de tempo regulares, que são advectadas e dispersas pelas correntes turbulentas computadas pelo modelo hidrodinâmico. O volume emitido após cada intervalo de tempo é particionado no número de partículas lançadas.

Como o principal foco deste trabalho é analisar a dispersão das partículas e apresentar a modelagem computacional como metodologia de pesquisa do assunto, os valores de concentrações de microplásticos no esgoto são representativos de valores médios de medições. Porém, pequenas mudanças nos valores de concentração não alterariam significativamente o cálculo da dispersão através da modelagem.

Foram realizados três modelos para os microplásticos leves:

- Os dois emissários atuando como fontes emissoras de microplásticos;
- Apenas o ESEI atuando como fonte externa à BG;
- Apenas o ESIca atuando como fonte interna da BG.

A divisão em três modelos, tendo cada emissário como fonte única, foi feita para melhor analisar a deriva dos microplásticos oriundos de cada emissário em específico. Sendo assim, pode-se observar se a BG age como corpo receptor ou emissor de partículas, visto que o ESEI se encontra fora da Baía, enquanto o ESICA encontra-se dentro.

Como referência para os valores de concentração utilizados nos modelos, foi tomado o relatório de análise da concentração de microplásticos em esgoto bruto da ETE Foz Águas 05 de Deodoro, no Rio de Janeiro, desenvolvido por Martins (2017). Foram detectadas 0,19 g de microplásticos com tamanhos variando de 4,75 mm até 125  $\mu$ m em 40 L de esgoto bruto, resultando em uma concentração equivalente de 4,75 mg/L. Vale ressaltar que esse valor se refere apenas às partículas com densidade inferior à 1,15 g/mL, que é a densidade da solução saturada de NaCl utilizada para fazer a separação por densidade do material. Logo, os microplásticos mais densos não foram considerados. Mais detalhes sobre os critérios de amostragem podem ser vistos em Martins (2017).<sup>2</sup>

Em relação ao tratamento do esgoto lançado pelo ESEI, há apenas um gradeamento grosseiro para reter resíduos sólidos e, em seguida, o esgoto é encaminhado para bombas centrífugas, que agem como um liquidificador e trituram o material sólido presente, segundo informações de técnico da CEDAE. Assim, pode-se concluir que a concentração de microplásticos no efluente do ESEI lançado ao mar pode ser ainda maior do que a concentração original no esgoto bruto. Isto posto, considerou-se no modelo a concentração de microplásticos flutuantes igual a 4,75 mg/L, como registrado no relatório de Martins (2017).

Já o esgoto lançado pelo ESICA recebe tratamento primário quimicamente assistido, realizado pela concessionária Águas de Niterói. Considerando o tratamento existente, adotou-se uma taxa de remoção de cerca de 70% (Sun, 2017) em relação ao dado de Martins (2017), resultando em uma concentração de 1,5 mg/L no efluente final.

Outro fator considerado no modelo é a absorção de partículas em zonas de praia. Isso é realizado através do coeficiente de absorção ( $c_A$ ) em fronteiras terrestres do modelo. O  $c_A$  refere-se à fração de massa que é absorvida no trecho da fronteira atingido, variando, portanto, entre valores de 0 a 1. Nesse trabalho, considerou-se um  $c_A$  de 0,05 para praias e mangues e 0 para costas rochosas e similares. Foi utilizado um valor baixo, pois, uma vez que a partícula tem toda sua massa absorvida, ela não retorna à água. Entretanto, isso não acontece no caso real dos microplásticos, que podem se depositar em praias e eventualmente se desprender, retornando ao mar. Esse efeito pode ser considerado na modelagem, mas não foi incluído nas análises deste artigo.

<sup>2</sup> Com relação às medições, destaca-se que o foco deste trabalho é apresentar a modelagem como metodologia de avaliação, os valores de concentração podem ser relativizados.

## RESULTADOS

A partir dos resultados do modelo, foi possível distinguir regiões de acúmulo e deposição de microplásticos leves, oriundos dos emissários submarinos, na BG e na zona costeira adjacente. É importante ressaltar que os resultados apresentados se referem aos dados de ventos típicos de verão. Através dos resultados, fica evidente que as partículas de microplásticos leves são fortemente influenciadas pelos ventos, uma vez que elas ocupam as camadas superficiais da coluna d'água. Em relação ao ESEI, v. Figura 3, observa-se, no período analisado, que a maior parte do que é lançado direciona-se para o oceano longe da costa. Os resultados são apresentados em mapas de percentual de ocorrência, isto é, o percentual de ocorrência de microplásticos no tempo (por exemplo, se uma área apresenta um percentual de 20%, significa que, em 20% do período de três meses representado no modelo, houve presença de microplásticos naquela área). A região que engloba a praia do Diabo e o Forte de Copacabana apresenta um percentual de ocorrência de microplásticos oriundos do ESEI de 20% a 40% do tempo, sendo mais elevado do que o das outras praias continentais. Isso sugere que ela possa ser um foco de acúmulo de microplásticos leves, que eventualmente se acumulam nas fissuras das rochas e areias das praias. Tal resultado é compreensível, uma vez que se trata de um trecho do litoral projetado ao mar, portanto mais exposto à passagem da pluma do emissário. Ademais, notam-se regiões de acúmulo dentro da Baía, com destaque para a Marina da Glória, Enseada de Botafogo, Canal do Mangue e Canal do Cunha. Para concentrações maiores ou iguais a 2,4 mg/L, equivalente à metade da concentração de saída do ESEI, a Marina da Glória obteve destaque, apresentando percentuais de ocorrência de até 20%, como ilustrado na Figura 4.

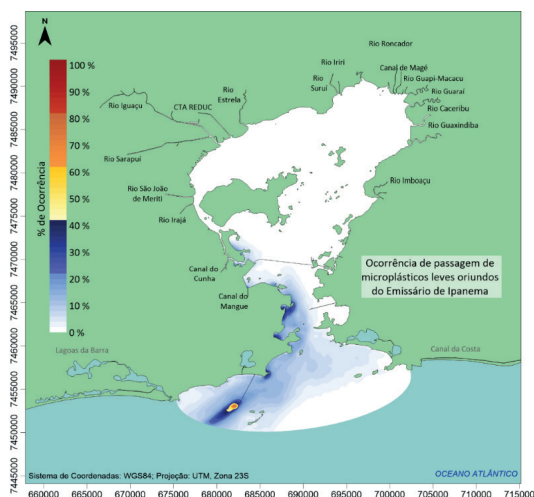


Figura SEQ Figura \\* ARABIC 3. Ocorrência de passagem de microplásticos leves oriundos do ESEI, independente de valores de concentração.

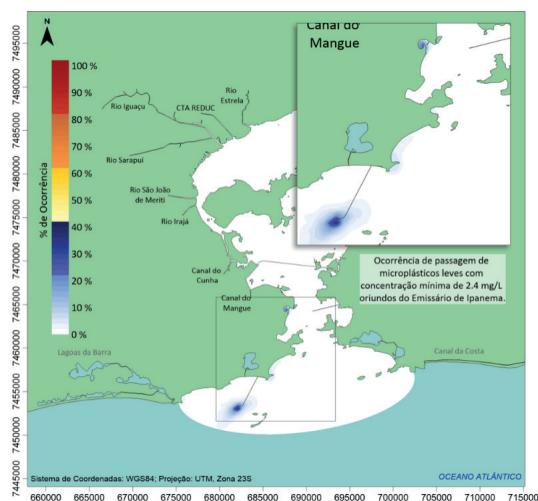


Figura SEQ Figura \\* ARABIC 4. Ocorrência de passagem de microplásticos leves com concentração mínima de 2,4 mg/L oriundos do ESEI, com destaque para as regiões de acúmulo.

Já em relação à pluma oriunda do ESICA, percebe-se que ela é mais influenciada pelas correntes de maré, fazendo com que fique, na maior parte do tempo, na região do canal da BG, oscilando na direção Norte-Sul, como ilustrado na Figura 5. Dependendo das condições de vento, os microplásticos vão se acumulando e são eventualmente transportados para fora da Baía (Figura 7). Assim como no caso do ESEI, a região da Marina da Glória também acumula partículas oriundas do ESICA, com percentuais de ocorrência de 60% a 70% para concentrações mínimas de 0,75 mg/L, equivalente à metade da concentração do efluente lançado, cf. Figura 6. As regiões da enseada de Botafogo, do Canal do Cunha e Canal do Mangue acumulam ainda mais microplásticos oriundos do ESICA do que do ESEI, o que faz sentido devido à maior proximidade. A região que engloba a Praia do Diabo e o Forte de Copacabana também teve destaque.

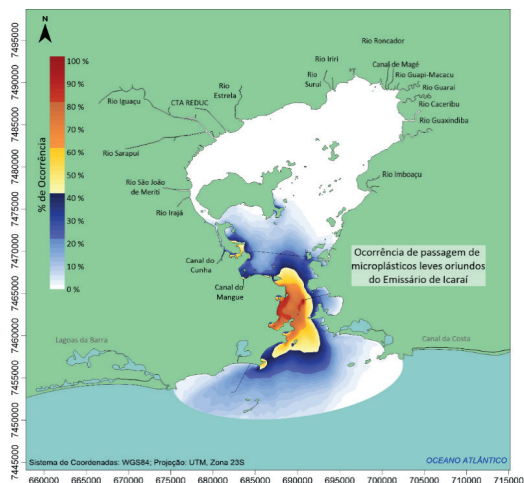


Figura SEQ Figura \\* ARABIC 5. Ocorrência de passagem de microplásticos leves oriundos do ESICA, independente de valores de concentração.

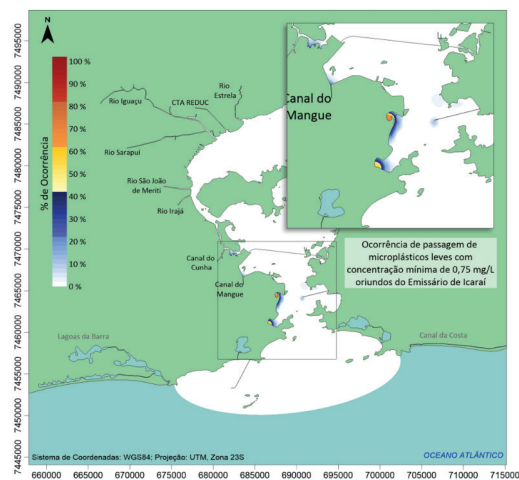


Figura SEQ Figura \\* ARABIC 6. Ocorrência de passagem de microplásticos leves com concentração mínima de 0,75 mg/L oriundos do ESICA, com destaque para as regiões de acúmulo.

A dispersão dos microplásticos leves em diferentes condições de ventos e marés pode ser observada na Figura 7. Observa-se que a concentração na BG varia muito, dependendo das condições, principalmente em relação aos ventos. Ao observar as imagens, fica bem claro como a direção predominante da pluma coincide com a do vento naquele instante. Na maré vazante, a maior parte das partículas é levada para fora da BG, ficando uma parte retida nas zonas de acúmulo já identificadas.

Os resultados em seis instantes estão apresentados na Figura 7 e são referentes à maré de sizígia. Seguem abaixo as informações quanto aos ventos em estação externa à BG, em ângulos azimutais em relação ao Norte verdadeiro:

81°, ~ 6,7 m/s;

107°, ~ 0,7 m/s;

192°, ~ 4,2 m/s;

116°, ~ 4,0 m/s;

64°, ~ 9,4 m/s;

176°, ~ 1,0 m/s.

É notável a absorção de partículas oriundas dos emissários em algumas praias do domínio. Ademais, percebe-se que, mesmo em instantes em que a pluma do ESEI está sendo levada para o oceano, como no quadro 5 da Figura 7, existem partículas oriundas desse emissário aprisionadas nas regiões de acúmulo dentro da BG.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados analisados, observa-se que as partículas oriundas dos emissários não chegam à porção mais ao Norte da BG, dificilmente ultrapassando a Ilha do Governador. Isso não significa que as águas dessa região não devam transportar microplásticos, uma vez que elas recebem as vazões dos rios.

Também puderam ser identificadas cinco regiões críticas, que o modelo apontou como mais relevantes para a presença de microplásticos leves na água. Dessa forma, é de interesse que sejam realizadas coletas preferencialmente nessas regiões, de modo também a validar as informações obtidas através da modelagem. Não necessariamente, essas regiões são as regiões com as maiores concentrações de microplásticos na BG. Os resultados indicam apenas que elas são as regiões que mais recebem os microplásticos leves oriundos dos emissários. São elas:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1. Marina da Glória;   | 4. Canal do Manguê                      |
| 2. Enseada de Botafogo | 5. Praia do Diabo e Forte de Copacabana |
| 3. Canal do Cunha      |   |

Através dos resultados do modelo, pode-se concluir que a BG atua tanto como receptora, quanto como emissora de microplásticos leves. Os resultados mostraram que uma parcela dos microplásticos leves oriundos do ESEI, localizado fora da BG, tende a ficar aprisionada em regiões dentro da baía. Enquanto isso, grande parte da pluma do ESIca, além de se acumular nas mesmas regiões, é transportada para fora da baía.

Vê-se que o uso da modelagem como ferramenta para análise da dispersão de microplásticos tem um grande potencial, ao oferecer uma visualização de sua movimentação nas águas ao longo do tempo. Posto isso, ela pode servir como base para o planejamento de campanhas de campo. Para uma análise ainda mais abrangente, é necessário levar em consideração os microplásticos densos, assim como outras possíveis fontes emissoras, como rios, canais e praias na BG e zona costeira adjacente.

Vale ressaltar, porém, que a análise de microplásticos no ambiente traz muitos desafios que não foram considerados a fundo neste estudo. As partículas de microplástico apresentam uma heterogenicidade muito grande em relação a tamanho, formato, densidade e composição química, o que afeta diretamente seu transporte na coluna d'água (Kaimathuruthy et al., 2025).

Outro empecilho apontado pela literatura recente é a falta de dados observacionais de longa duração e específicos ao local analisado, o que prejudica o realismo das modelagens. Isso cria um ciclo de retroalimentação prejudicial: o desenvolvimento e aprimoramento de modelos são severamente limitados pela escassez de dados, enquanto a dificuldade e o custo da coleta de dados são agravados pela ausência de requisitos claros, orientados por modelos, sobre quais dados são mais úteis. Isso revela um gargalo fundamental no avanço da modelagem do transporte de microplásticos (Kaimathuruthy et al., 2025).

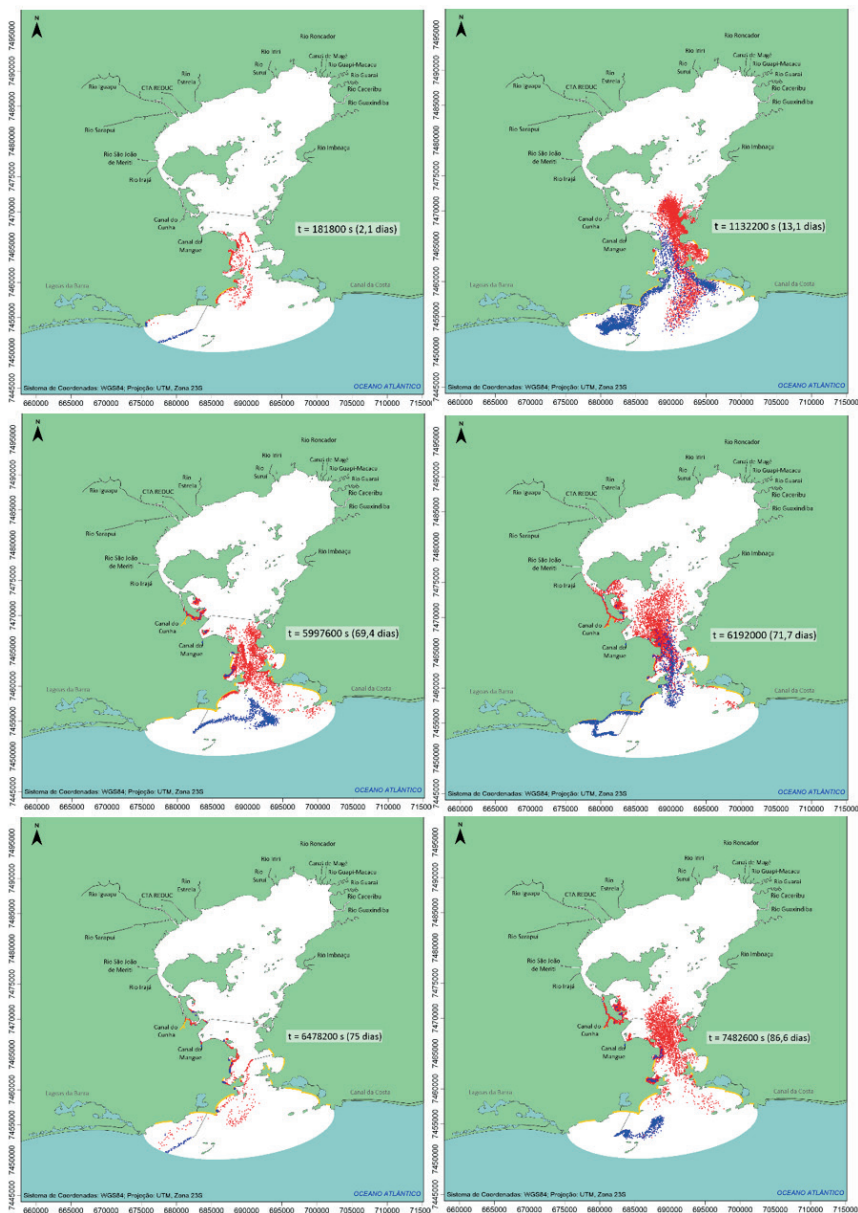


Figura 7. Ocupação das plumas de microplásticos leves oriundos dos dois emissários em diferentes condições de ventos e marés. As partículas vermelhas são oriundas do ESlca, as azuis do ESEI e as amarelas representam as partículas absorvidas em praias e mangues. As figuras estão numeradas pela ordem temporal

## REFERÊNCIAS

- Andrade, V. S. Modelagem da dispersão de microplásticos na Baía de Guanabara e zona costeira adjacente. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018. Disponível em < <http://www.coc.ufrj.br/pt/dissertacoes-de-mestrado/602-msc-pt-2018/9025-veronica-silveira-de-andrade-dissertacao> >
- Barnes, D. K. A.; Galgani, F.; Thompson, R. C.; Barlaz, M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of The Royal Society*, v. 364, n. 1526, p. 1985-1998, 2009.
- Browne, M. A.; Galloway, T. S.; Thompson, R. C. Spatial Patterns of Plastic Debris along Estuarine Shorelines. *Environmental Science & Technology*, 2010.
- Eriksen M, Cowger W, Erdle LM, Coffin S, Villarrubia-Gómez P, Moore CJ, et al. A growing plastic smog, now estimated to be over 170 trillion plastic particles afloat in the world's oceans—Urgent solutions required. *PLoS ONE* 18(3):e0281596, 2023. Disponível em <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281596>>
- GESAMP. Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment. Rep. Stud. GESAMP, v. 90, p. 96, 2015.
- Geyer, R.; Jambeck, J.; Law, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, v. 3, n. 7, 2017.
- Kaimathuruthy, B. J.; Jalón-Rojas, I.; Sous, D. Modelling Microplastic Dynamics in Estuaries: A Comprehensive Review, Challenges and Recommendations. *EGUsphere* [preprint], 2025.
- Martins, M. C. T. Avaliação da presença de microplásticos em efluente gerado por estação de tratamento de esgoto (ETE). Departamento de Química, PUC Rio, 2017.
- Rochman C. M.; Browne, M. A.; Hapler, B. S.; Hentschel, B. T.; Hoh, E.; et al. Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, v. 494, p. 169-171, 2013.
- Sun, J.; Dai, X.; Wang, Q.; van Loosdrecht, M. C. M.; Ni, B.-J. Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water Research*, v. 152, p. 21-37, 2019.



T R A B A L H O 17

# ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA COSMÉTICA: A RECICLAGEM DE EMBALAGENS

Caroline Teixeira Lopes

**RESUMO:** A crescente geração de resíduos sólidos, impulsionada pelo consumo excessivo e uso de plásticos descartáveis, representa um desafio global atual. No setor de cosméticos, embalagens de uso único como as de xampu e condicionador respondem por uma parcela significativa desse problema. Este estudo propõe a reutilização do polietileno de alta densidade (PEAD) dessas embalagens, avaliando suas propriedades mecânicas, térmicas e físico-químicas do material reciclado após um ciclo de reciclagem. A metodologia envolveu a limpeza, secagem, moagem, reciclagem do PEAD e injeção para confecção de corpos de prova, posteriormente submetidos a análises físico-química, térmica e mecânicas. Os resultados indicaram que o PEAD reciclado mantém propriedades similares ao material virgem, com fratura dúctil e boa estabilidade térmica, confirmando sua viabilidade técnica para reutilização.

**PALAVRAS-CHAVES:** Embalagens de cosméticos, Reciclagem, PEAD, Ciclo de processamento.

## INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos urbanos acompanha a humanidade desde suas primeiras organizações sociais, sendo um importante indicador de atividade humana (KINDLEIN; COUTINHO, 2014). Com a Revolução Industrial e o surgimento de novos materiais, como o plástico, houve um salto significativo na produção de resíduos (ONU, 2024). O crescimento populacional e o aumento do consumo ampliaram ainda mais a geração de resíduos, exigindo soluções para o descarte adequado (SOUZA; RIBEIRO, 2022). Em resposta a esses desafios, a Agenda 2030 estabeleceu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com destaque para o ODS 11, 12 e 13, voltados para cidades sustentáveis, consumo responsável e ação climática (ONU, 2015). No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010)

busca promover práticas sustentáveis, embora sua implementação enfrente desafios significativos, como o elevado consumo de plásticos descartáveis e de uso único (AWOYERA; ADESINA, 2020; CONCEIÇÃO et al., 2019). O Panorama Global do Manejo de Resíduos (2024) aponta que o mundo gerou 2,1 bilhões de toneladas de resíduos em 2023, com previsão de 3,8 bilhões até 2050, sendo 33% descartados inadequadamente. No Brasil, 80,96 milhões de toneladas foram geradas em 2023, com 26,72 milhões descartadas de forma incorreta (ABRELPE, 2024).

Atualmente, aproximadamente 40% de todo o plástico produzido tem vida útil de até um ano. Dentro desse quantitativo estão as embalagens de cosméticos, que produção anual de 120 bilhões de unidades, principalmente, para uso único (THE UPCYCLED BEAUTY COMPANY, 2024). No Brasil, as embalagens de xampu e condicionador são as mais utilizadas, presentes em 81% da “cesta básica de beleza” de homens e mulheres (PLAN BEAUTY, 2022). Neste trabalho propõe-se a reciclagem de PEAD proveniente de embalagens de xampu e condicionador, demonstrando seu potencial para promover a sustentabilidade a longo prazo.

## OBJETIVO

Investigar os efeitos da exposição de embalagens plásticas de shampoo e condicionador a UM ciclo de reciclagem, avaliando suas propriedades mecânicas, térmicas e físico-químicas e possibilidade de aplicação posterior.

## METODOLOGIA

Foram utilizadas embalagens de xampu e condicionador, cujos rótulos e tampas foram previamente removidos. Em seguida, as embalagens foram cortadas para facilitar a limpeza, especialmente das superfícies internas. Após a higienização, procedeu-se à secagem em estufa a 80 °C por 1 hora. Foi estabelecido então que o esquema de processos e análises, como mostrado na Figura 1.

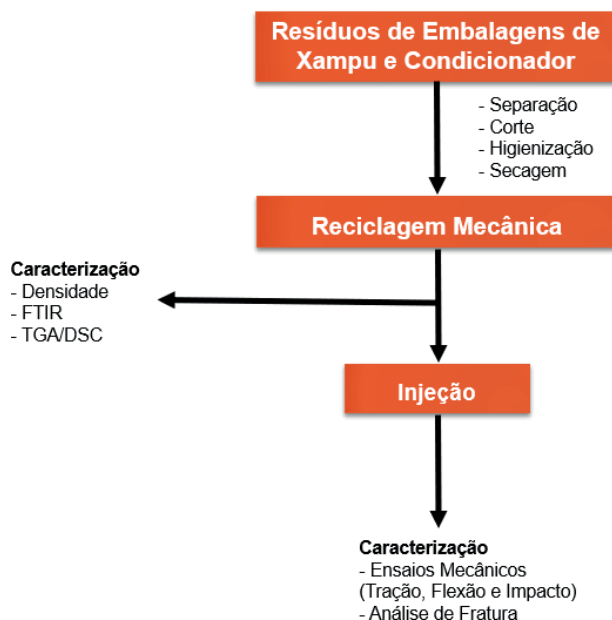


Figura 1: Metodologia aplicada

Após definição da metodologia, o material passou pelo processo de reciclagem para que em seguida fossem realizadas as análises estabelecidas. O processo de reciclagem é apresentado na Figura 2.



Figura 2: Esquema de reciclagem da embalagem de cosméticos

Posterior ao processo de reciclagem o material foi injetado para obtenção dos corpos de prova, estes foram utilizados posteriormente para caracterização dos parâmetros mecânicos do material. Os corpos de prova utilizados são apresentados na Figura 3.

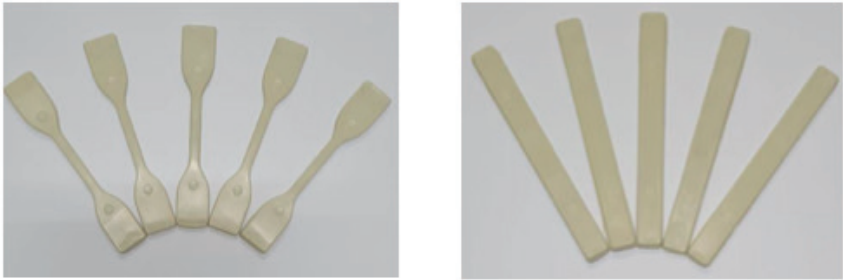


Figura 3: Corpos de prova de tração e flexão obtido após o processo de reciclagem das embalagens

RESULTADOS

A partir da metodologia adotada, os resultados obtidos por meio de Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Termogravimetria (TGA) demonstram que, após o primeiro ciclo de reciclagem, o PEAD reciclado mantém parâmetros similares ao material virgem, conforme evidenciado nas Figuras 4 e 5, e nas Tabelas 1 e 2 (SILVA et al,2023; NOVOA, 2014; MAQUINÉ, 2022).

Figura 4: Espectro de FTIR do PEAD após o 1º ciclo de reciclagem

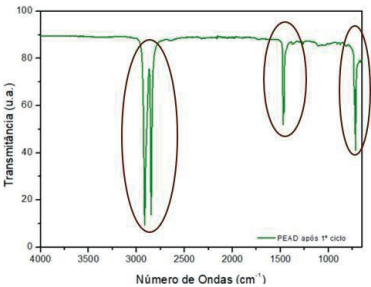


Tabela 1: Principais vibrações na região do FTIR observados no PEAD

Número de Ondas (cm <sup>-1</sup> )	Tipo de Ligação	Tipo de Vibração	Referência
2914-2846	C=O	Alongamento simétrico e assimétrico	Silva et al. (2023), Novoa (2014)
1473	CH <sub>2</sub>	Estiramento de deformação	Novoa (2014), Maquiné (2022)
1375-1014	C-C	Deformação vibracional	Lima (2022), López et al. (2017)
718	C-H	Torção	Vale (2023), Maquiné (2022)

Figura 5: Curva de TGA e DTG do PEAD reciclado

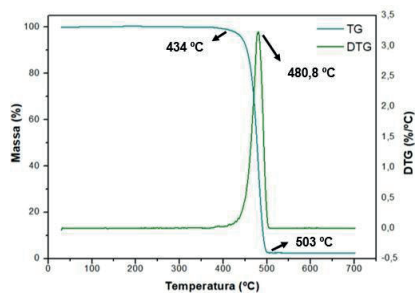


Tabela 2: Valores de TGA e DTG observados no PEAD

	TGA		DTG
	Temp. (°C)	Massa final (%)	Temp. máx. (°C)
Valores Obtidos	434 - 503	2,4%	480,8
Referência	430 - 500	1,7 %	475,7
	(Novoa, 2014)	(Novoa, 2014)	(Novoa,2014)
	400 - 500	2,3%	476
	(Brandão et al, 2021)	(Brandão et al, 2021)	(Roman et al, 2022)

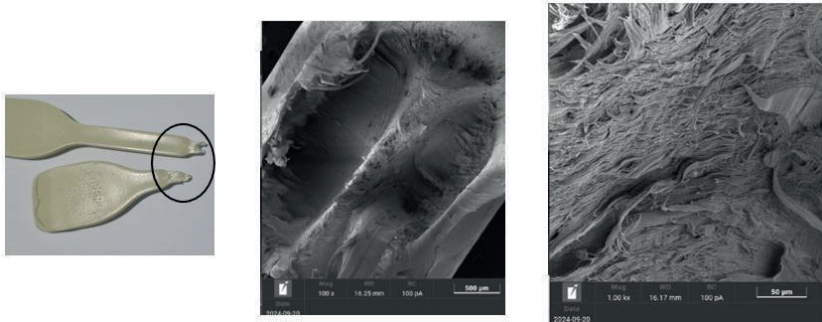
As propriedades mecânicas e a densidade do material reciclado, apresentadas na Tabela 3, também se mostraram próximas às do PEAD virgem (VALE, 2023; CALLISTER, RETHWISCH, 2018).

Figura 6: Propriedades mecânicas e de reciclagem do material reciclado

Material	Resistência à Tração (MPa)	Deformação na Tensão Máximo (%)	Módulo de Elasticidade em Tração (MPa)	Resistência à Flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade em Flexão (MPa)	Resistência ao Impacto (KJ.m <sup>-2</sup> )	Densidade (g.cm <sup>-3</sup> )
PEADr	28,88 ± 2,03	40,12 ± 2,79	157,0 ± 19,07	24,73 ± 3,48	801,04 ± 202,3	16,47 ± 1,86	0,95 ± 0,01
Referência	30 (Lastro, 2025)	< 50 (Lastro, 2025)	100 -1400 (Nitaplas, 2017)	16,05 ± 0,07 (Morais et al, 2023)	1090 (Braskem, 2017)	19,15 ± 0,74 (Morais et al, 2023)	0,96 (Lastro, 2025)

Após realização dos ensaios mecânicos, o corpo de prova utilizado no ensaio de tração foi utilizado para a realização do ensaio de fratura. Foi possível observar um rasgamento fibroso, característica típica de uma fratura dúctil, ligado a uma significativa deformação plástica antes da ruptura.

Figura 7: Fratura do Corpo de Prova (a) olho nu (b) 100x (c) 1000x



Os resultados obtidos indicam a viabilidade de reutilização do polietileno de alta densidade (PEAD) após o primeiro ciclo de reciclagem, sem comprometer propriedades essenciais do material. Mesmo após o processamento, o material manteve características físico-químicas e mecânicas relevantes, o que o torna adequado para novas aplicações, reforçando seu potencial dentro de uma abordagem mais sustentável de uso contínuo de recursos plásticos.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 20 de jan. 2025.

ASTM D570. Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. ASTM Stand. USA, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1520/D0570-98R10E01>. Acesso em 10 mar 2025

ASTM D638. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM Stand. USA, 2014. Disponível em: <https://www.astm.org/d0638-14.html>. Acesso em 10 mar 2025

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. Fundamentos da Ciência e Engenharia dos Materiais. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018

CONCEIÇÃO, M. & PACHECO, J. & DALMAS, F. & ROSINI, A. (2019). O plástico como vilão do meio ambiente. Revista Geociências - UNG-Ser. 18. 50. 10.33947/1981-7428-v18n1-4024.

GASTON, F.; DUPUY, N.; GIRARD-PERIER, N.; MARQUE, S. R. A.; DOREY, S.; Comprehensive investigation on physical and chemical properties of  $\gamma$ -irradiated multilayer PE/EVOH/PE film: A multiscale approach. Applied Research. 2023 <https://doi.org/10.1002/appl.202200065>

ONU, United Nations Environment Programme, International Solid Waste Association United (2024). Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an age of waste – Turning rubbish into a resource. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939>. Acesso: 14 maio 2024

OECD, Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>. Acesso: 14 maio 2024

SILVA, J. J. O.; CERQUEIRA, G. R.; MORELLI, C. L.; ALVES, K. G. B. Thermo-oxidative degradation in polymer blends of HDPE/EVOH/PE-g-AM applied in the automotive industry. Observatorio de la Economía Latinoamericana, v. 21, n. 08, p. 7943-7964, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv21n8-011>. Acesso em: 30 mar. 2025.

TERRANOVA, C., BIAZINI, F. L. (2022). Planares: Analysis and suggestions for improvements. Revista Tecnologia e Sociedade, 18(53). <https://doi.org/10.3895/rts.v18n53.15795>



T R A B A L H O 1 8

# EMPRESAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS NO BRASIL

Fernando Altino Medeiros Rodrigues

Alexander Felix Martins

Camila Spinola Gonçalves Ferreira

Dilma dos Santos Lacerda

Marcelo Augusto Vieira de Souza

Maria Georgina Muniz Washington

Mariana Bessa Ribeiro de Lima

Neilson Martins de Oliveira

**RESUMO:** Este trabalho apresenta um painel de empresas de gerenciamento de resíduos no Brasil. As empresas são organizadas em dois grandes grupos: no primeiro grupo são listadas as empresas que têm o gerenciamento de resíduos como seu CNAE principal. No segundo grupo são elencadas as empresas que têm o gerenciamento de resíduos como o CNAE secundário.

**PALAVRAS-CHAVE:** Empresas de gerenciamento de resíduos; Regiões do Brasil; CNAE.

## INTRODUÇÃO

O trabalho aborda o gerenciamento de resíduos no Brasil. Uma lista das empresas de gerenciamento de resíduos das cinco regiões do Brasil foi elaborada, contendo todas as informações relevantes.

As empresas são organizadas em dois grandes grupos: no primeiro grupo são listadas as empresas que têm o gerenciamento de resíduos como seu CNAE principal. No segundo grupo são elencadas as empresas que têm o gerenciamento de resíduos como o CNAE secundário.

O CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas) é criado e mantido pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em parceria com a Receita Federal do Brasil. Ele é utilizado para padronizar e organizar as atividades econômicas no país, facilitando a coleta, a organização e a análise de dados econômicos.

A Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE visa a estabelecer uma classificação padronizada das atividades econômicas produtivas, fornecendo um conjunto de categorias para uso na coleta e divulgação de estatísticas por tipo de atividade econômica. Essas categorias são agrupadas, o máximo possível, de acordo com a organização dos processos econômicos em unidades e como as estatísticas econômicas os descrevem.

Portanto, o CNAE é usado para agrupar as unidades de produção de acordo com o trabalho que realizam em categorias definidas como segmentos homogêneos, principalmente com base na semelhança de funções produtivas (insumos, tecnologia e processos), bem como nas características dos bens e serviços ou nas finalidades de uso.

O CNAE primário é o responsável pela emissão de notas fiscais e está disponível para consulta pela Receita Federal. Quando são fornecidos serviços relacionados, os outros são considerados secundários e servem como suporte para outras operações comerciais.

## **OBJETIVO**

O objetivo do trabalho baseia-se em alcançar uma visão ampla do mercado de gerenciamento de resíduos na abrangência nacional. Destaca-se, todavia, que o estudo aborda empresas das cinco regiões do Brasil.

## **METODOLOGIA**

Foram utilizados critérios para qualificar as empresas com potencial para serem incluídas no nosso levantamento.

O foco foi centrado nas empresas privadas com situação cadastral ativa e regime tributário convencional, excluindo as cooperativas e as associações.

Entende-se que a faixa de faturamento entre 4,8 e 300 milhões de reais seja um range que abraça as empresas, tanto às de destinação final (aterros, usinas de reciclagem) quanto às empresas de coleta e transporte (destinação terceirizada).

O CNAE permitiu que focássemos nas empresas que realmente realizam um trabalho de coleta, transporte, gerenciamento e destinação de resíduos, como pode ser observado na Figura 1 - CNAE.

A Figura 1 – CNAE - detalha as classes escolhidas e as suas principais atividades relacionadas à gestão de resíduos [1].

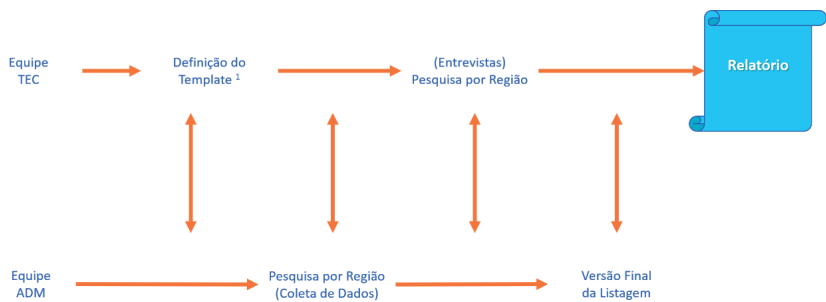
Figura 1 - CNAE

3812-2/00 Coleta de Resíduos Perigosos	3821-1/00 Tratamento e Disposição de Resíduos Não Perigosos
3811-4/00 Coleta de Resíduos Não Perigosos	3822-1/00 Tratamento e Disposição de Resíduos Perigosos
4930-2/03 Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos	3900-5/00 Descontaminação e Outros Serviços de Gestão de Resíduos

Fonte: O autor, 2025.

Conforme ilustrado na Figura 2 – Metodologia - foram criados, de forma estratégica, dois grupos de trabalho: técnico e administrativo, que trabalharam em sintonia.

Figura 2 – Metodologia.



<sup>1</sup> Formatação visando a organizar e padronizar as informações por empresa

Fonte: O autor, 2025.

Coube ao grupo técnico, inicialmente, organizar as informações relevantes a serem selecionadas por empresas de forma padronizada. O grupo administrativo ficou com a tarefa da formatação.

O grupo administrativo, num primeiro plano, se organizou para identificar as empresas e coletar as informações em bancos de dados disponíveis.

Não obstante as tarefas estarem divididas entre os dois grupos, foi previsto, e efetivamente houve, um trabalho integrado.

O estudo foi dividido em dois segmentos: Empresas de Gerenciamento de Resíduos como Atividade Principal e Empresas de Gerenciamento de Resíduos como Atividade Secundária.

O primeiro segmento contemplou as empresas que têm Gerenciamento de Resíduos como CNAE principal. O segundo segmento contemplou as empresas que têm Gerenciamento de Resíduos como CNAE secundário [3].

As empresas do primeiro segmento – atividade principal – têm uma relevância maior no contexto do Gerenciamento de Resíduos. Todavia, entendeu-se que muitas empresas que têm o Gerenciamento de Resíduos como atividade secundária merecem ser consideradas, pois apresentam-se como boas alternativas para muitos casos.

Regiões do Brasil:

- Região Sul - Empresas de Gerenciamento de Resíduos dos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.
- Região Sudeste - Empresas de Gerenciamento de Resíduos dos Estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo.
- Região Norte - Empresas de Gerenciamento de Resíduos dos Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Rondônia.
- Região Nordeste - Empresas de Gerenciamento de Resíduos dos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe.
- Região Centro-Oeste - Empresas de Gerenciamento de Resíduos dos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato grosso do Sul e o Distrito Federal.

## RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS

Fundamentado nos trabalhos de análise crítica realizados pela equipe técnica, sublinham-se, a seguir, uma relação das empresas com potencial de crescimento, baseado no posicionamento de mercado, oportunidades para novos negócios e estrutura financeira, o que não desmerece as outras empresas listadas.

## **REGIÃO SUL - EMPRESAS**

### **MEIOESTE AMBIENTAL LTDA**

A Meioeste é uma empresa com responsabilidade socioambiental que busca soluções em total acordo com as normas da legislação vigente e colaboram na melhoria da qualidade de vida das populações das cidades beneficiadas pelas iniciativas, ao dar destinação adequada ao lixo urbano.

Site: <https://www.meioesteambiental.com.br/index.php>

### **POSITIVA QUALIDADE AMBIENTAL LTDA**

A Positiva realiza serviços de saneamento ambiental, desde limpezas com caminhão auto vácuo até prestação de serviços em condomínios.

Site: <https://www.positiva-rs.com.br/>

### **VIA NORTE COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS EIRELI**

A Via Norte, iniciou suas atividades no ano de 2003, no município de Passo Fundo, região norte do Rio Grande do Sul, focada na coleta e transporte de resíduos de saúde, onde atuou neste segmento até o ano de 2013. No ano de 2010, a partir da identificação de um nicho de mercado, a Via Norte decidiu expandir seus serviços e passou a atuar também na coleta, transporte e destinação final de resíduos orgânicos. Também neste ano, criou a divisão de resíduos industriais.

Site: <https://www.vianorteresiduos.com.br>

### **SERQUIP TRATAMENTOS RESÍDUOS PR LTDA**

Gerenciadora de resíduos industriais e hospitalares no Estado de Minas Gerais, possui mais de 30 caminhões na frota e 6 unidades de tratamento no Estado: Belo Horizonte, Governador Valadares, Montes Claros, Santa Luzia, Ubá, Uberlândia.

Site: <http://serquipmg.com.br/index.html>

### **SERVIOESTE SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA**

Fundada em 1999, na cidade de Chapecó (SC), a Servioeste atua na gestão de resíduos mediante os serviços de coleta, transporte, tratamento e disposição e destinação final de resíduos de saúde, sólidos urbanos e industriais. O grupo Servioeste também atua na gestão de centrais de tratamento de resíduos de portos e aeroportos.

Site: <https://www.servioeste.com.br/>

## COMPOSTEC SOLUÇÕES AGROAMBIENTAIS LTDA

A Compostec Soluções Agroambientais é uma empresa especializada no transporte, destinação e tratamento de resíduos orgânicos agroindustriais, agropecuários e urbanos classe II, segundo a norma ABNT NBR 10004:2004. Realiza o processo de compostagem aeróbica com o uso de micro-organismos eficientes associados a biotecnologias, que resulta num condicionador de solo classe A de uso agrícola. Sua sede foi fundada em 2004, em Toledo – PR.

Site: <http://www.compostec.com.br/>

## CRI COLETA E INDUSTRIALIZAÇÃO DE RESÍDUOS LTDA

O Grupo CRI oferece serviços de Limpeza Urbana, Coleta e Destinação de Resíduos Sólidos desde 1999, atuando em municípios nos três estados do Sul (SC, PR e RS) e um do Nordeste do Brasil (MA), atendendo órgãos públicos e empresas privadas.

Site: <http://www.cricoleta.com.br/home/>

## RECICLA SERVIÇOS GESTÃO AMBIENTAL EIRELI

Início da empresa em 1993, através da Roll-On transportadora, atuando no transporte de resíduos e produtos para o destino final. Em 2005, a partir da necessidade de operações de reciclagem, foram criadas as empresas Servimetals e Reciclatudo. Para atender a demanda, cada vez maior, em 2010 foi inaugurada a empresa Reciclaserviços, trabalhando com mão de obra, locação de equipamentos, consultorias ambientais, remediações de área degradadas e demais serviços ambientais. Em janeiro de 2017 surgiu o GRUPO RECICLA, através da união dessas quatro empresas.

Site: <http://www.gruporecicla.com.br/>

## AMBIENTAL VITARE LTDA

A Ambiental Vitare está situada em Santa Terezinha de Itaipu, a cerca de 20 km do centro de Foz do Iguaçu na região Trinacional. A empresa coleta os subprodutos de origem animal e vegetal praticamente em toda a região oeste do Paraná. Atualmente a Ambiental Vitare é a única empresa licenciada para fazer a coleta de óleo de fritura visando a reutilização ou reciclagem em toda essa região.

Site: <http://www.vitare.ind.br/>

## REGIÃO SUDESTE - EMPRESAS

### ENOB ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA

Selecionada devido ao potencial de crescimento no setor de valorização de resíduos, a ENOB vem crescendo nos últimos anos a partir da coleta e blendagem de resíduos classe II para destinação aos fornos de cimento, os quais utilizam este blend como combustível alternativo. Com as novas diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, tratamentos alternativos à incineração e aterro sanitário estão em alta com tendência contínua de crescimento.

Site: [http://enob.com.br/unidade\\_piracicaba](http://enob.com.br/unidade_piracicaba)

### ECOVITAL CENTRAL DE GERENCIAMENTO AMBIENTAL S.A

Unidade de Tratamento de Resíduos, inaugurada em 2014 a partir da Pesquisa e Desenvolvimento aliados a força do Grupo Queiroz Galvão e da ampla experiência da Vital Engenharia Ambiental. A EcoVital é a maior Usina de Incineração de resíduos industriais perigosos (Classe I), auxiliando a indústria no atendimento das orientações e diretrizes da PNRS.

Site: <https://www.ecovital.eco.br>

### INCA – INCINERAÇÃO E CONTROLE AMBIENTAL LTDA

Além de serem referência no tratamento de resíduos a partir da incineração, a empresa INCA também oferece soluções como Gerenciamento de Resíduos e Consultoria para regularização de documentos ambientais, fornecendo assim o pacote completo para o atendimento ambiental.

Site: <http://www.incaincinerador.com.br>

### INTERAÇÃO RESÍDUOS SP LTDA

O Grupo Interação possui duas unidades ativas, uma no Rio de Janeiro e outra no Estado de São Paulo (Araras). Posicionada como Gerenciadores de Resíduos possuem expertise em atender o segmento da Indústria Alimentícia, com crescimento notável nos últimos anos. Foram realizados investimentos no setor de logística reversa e economia circular com a Planta de Plásticos em Araras: realizam a compra, lavagem, trituração, flake e extrusão do plástico para reinserção no mercado. Com a realização de coleta e transporte de resíduos, a logística torna-se essencial para se destacarem no mercado.

Site: <https://grupo-interacao.com>

## **IR NOVATEC AMBIENTAL EIRELI**

Criada na década de 90, inicialmente atuando no seguimento de transporte e aluguel de equipamentos. Em 2004 ampliou suas atividades para transportes, coleta e disposição final de Resíduos, o que proporcionou a criação da área de negócios ambiental. Com atuação cada vez mais presente na implantação e operação de aterro Sanitário, além de forte presença no seguimento de consultoria, a empresa criou as unidades de negócio Coleta de Lixo Domiciliar, Ambiental, Rental e Engenharia.

Site: <https://www.irnovatec.com.br>

## **RCR REPRESENTAÇÕES E SERVIÇOS LTDA**

Referência no serviço de dedutibilidade fiscal, a RCR vem se posicionando no mercado como Gerenciadora de Resíduos Sólidos, atuando como fornecedor principal para empresas que precisam de mão de obra especializada além da coleta e destinação de resíduos. Possui como CEO André Navarro, atuante nos principais eventos sobre o tema de logística reversa e economia circular.

Site: <https://rcrambiental.com.br>

## **RECOLIX RESÍDUOS INDUSTRIAIS LTDA**

Com mais de 20 anos no mercado de coleta, transporte e destinação de resíduos, a RECOLIX tem crescido nos últimos anos com o aumento do escopo do serviço, se posicionando como Gerenciador de Resíduos. Atualmente a empresa conseguiu autorização da CETESB para armazenamento temporário de resíduos classe I, voltando estrategicamente seu planejamento comercial para atuação nesta frente. A RECOLIX tem investido em tecnologia para melhorar a otimização de sua operação e da área comercial, apesar deste avanço, a renovação da frota é um ponto crucial para chegada ao sucesso.

Site: <https://recolix.com.br>

## **TERA AMBIENTAL LTDA**

Localizada estrategicamente, a TERA AMBIENTAL está entre o interior e a capital, tornando-se a principal destinação para o tratamento de resíduos a partir da compostagem (resíduos sólidos orgânicos) e a partir do tratamento físico-químico (efluentes industriais). Pertencente ao grupo Opersan, a TERA AMBIENTAL possui alto potencial de crescimento, uma vez que as diretrizes da PNRS propõem a destinação alternativa dos resíduos orgânicos ao aterro sanitário.

Site: <https://www.teraambiental.com.br>

## TGA TECH GESTÃO AMBIENTAL – EIRELI

Localizada no interior do Estado de São Paulo (Mogi Guaçu) a TGA TECH atua há mais de 10 anos no mercado como Gerenciador Total de Resíduos, tendo como referência a atuação no segmento de logística (ferroviária) e transportes. Recentemente ganhou concorrências importantes como a Raízen, realizando investimento na frota própria com caminhões tanque de 30 m<sup>3</sup> e caminhões Romeu e Julieta para transporte de resíduos. A empresa apresenta abertura para investimentos tanto de frota quanto de tecnologia operacional.

Site: <http://www.tgatech.com.br>

## REGIÃO NORTE

### RESÍDUOS GERADOS NA ZONA FRANCA DE MANAUS

A Zona Franca de Manaus (ZFM), localizada na Região Norte do Brasil, é um importante Polo Industrial, criado com o objetivo de promover o desenvolvimento econômico da região amazônica e integrar o território nacional. A ZFM abriga uma diversidade de indústrias, incluindo eletrônicos, motocicletas, produtos de informática, eletrodomésticos e produtos de bens de consumo duráveis. No entanto, essa produção em larga escala gera uma quantidade considerável de resíduos industriais que precisam ser gerenciados adequadamente para evitar danos ao meio ambiente e à saúde pública [2].

Destaca-se que o principal gerador de resíduos na Região Norte é a Zona Franca de Manaus. A diversidade de indústrias presentes no local resulta em diferentes tipos de resíduos industriais, que podem ser classificados como:

#### a) Resíduos Sólidos Industriais (RSI)

Esses resíduos são originados durante o processo de produção e incluem:

- Resíduos eletrônicos - Manaus é um dos principais polos de produção de eletroeletrônicos do Brasil, como televisores, computadores e celulares. O descarte de componentes eletrônicos obsoletos, como placas de circuito, baterias e outros dispositivos, gera resíduos perigosos que contêm metais pesados, como mercúrio, chumbo e cádmio, além de plásticos e vidros.
- Sucatas metálicas - Resultantes da produção de motocicletas, eletrodomésticos e bens de consumo, que incluem resíduos de ferro, alumínio, cobre, entre outros metais;

- Plásticos - Provenientes da fabricação de produtos eletrônicos, eletrodomésticos e embalagens, que são amplamente utilizados pela indústria;
- Vidros - Utilizados em telas de eletrônicos e embalagens, gerando resíduos de difícil decomposição.

#### b) Resíduos Perigosos

Esses resíduos podem causar danos ao meio ambiente e à saúde humana se não forem tratados adequadamente. Na Zona Franca de Manaus, destacam-se:

- Solventes e produtos químicos - Utilizados em processos industriais, como na fabricação de eletrônicos, podendo ser inflamáveis e tóxicos;
- Óleos industriais e graxas: Provenientes de maquinários e processos de manutenção das fábricas;
- Tintas e vernizes: Utilizados em acabamentos de produtos e embalagens, também categorizados como perigosos devido aos seus compostos químicos.

#### c) Resíduos Orgânicos e Comuns

Apesar de menor em relação aos resíduos industriais, a ZFM também gera resíduos orgânicos (sobras de alimentos, restos de madeira) e resíduos sólidos urbanos (papéis, plásticos, embalagens descartadas) nas áreas administrativas e refeitórios das indústrias.

O Polo Industrial de Manaus é responsável por mais da metade da riqueza gerada no estado, abrigando mais de 600 empresas classificadas no nível 3 (transição). Essas empresas estão em fase de adaptação para se alinharem às características da Indústria 4.0, com base em variáveis decisivas para essa transformação tecnológica.

Este é um tema de grande importância, especialmente devido à localização da região na Amazônia e à necessidade de equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental. Apesar do aumento dos debates sobre a proteção do meio ambiente e seus ecossistemas, bem como a assinatura de tratados e documentos ambientais internacionais, é amplamente conhecido que, de acordo com a Lei nº 12.305/2012 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a empresa que gera resíduos é responsável por seu descarte final ambientalmente adequado, mesmo que terceirize essa responsabilidade.

Entre os critérios mínimos exigidos pela legislação estão: a descrição do empreendimento ou atividade; o diagnóstico dos resíduos sólidos gerados ou administrados, incluindo sua origem, volume e caracterização, além dos passivos ambientais relacionados aos resíduos gerados e a implementação de ações preventivas e corretivas em caso de gestão inadequada que gere um incidente ou acidente ambiental.

O tratamento desses resíduos sólidos pode ser definido de forma simples como uma sequência ordenada de procedimentos destinados a reduzir tanto a quantidade quanto a periculosidade dos resíduos. Isso pode ocorrer impedindo seu descarte inadequado ou transformando-os em materiais inertes ou biologicamente estáveis. As principais formas de tratamento de resíduos incluem reciclagem, incineração, coprocessamento, compostagem e aterros sanitários. É importante destacar que diversos fatores influenciam a quantidade e a gestão dos resíduos sólidos gerados em uma determinada empresa.

## **REGIÃO NORTE - EMPRESAS**

### **AMAZÔNIA TRANSPORTE E LOGÍSTICA LTD**

A Amazônia Transporte atua no segmento de transporte rodoviário de combustíveis e produtos betuminosos e aquaviário de combustíveis.

Site: <https://amazoniatransporte.com/>

### **CLEAN GESTÃO AMBIENTAL SERVICOS GERAIS EIRELI**

Com 15 anos de atuação a CLEAN é uma empresa especializada em limpeza, tratamento e destinação final de resíduos.

Site: <http://www.cleanga.com.br/>

### **ECOMIX-MOAGEM E TRATAMENTO DE RESÍDUOS EIRELI**

Empresa de incineração de resíduos industriais, varrição, classe 1, produtos recicláveis.

Site: <https://ecomix-moagem-e-tratamento-de-residuos/>

### **MFM SOLUÇÕES AMBIENTAIS E GESTÃO DE RESÍDUOS LTDA**

Empresa voltada para o gerenciamento e destinação final de resíduos sólidos, atuando principalmente em Vilhena, em Cacoal, Ji-Paraná e Rondônia.

Site: <https://mfmambiental.com/mfm/>

### **PRESERVE COLETORA DE RESÍDUOS LTDA**

A PRESERVE atua coletando, transportando, tratando e dando destinação final a resíduos urbanos, industriais ou domésticos, e de serviços de saúde. Sua sede está localizada em Tomé-Açu, mas a empresa realiza atividades em todo o estado do Pará, com crescimento expressivo dos negócios nos últimos anos.

Site: <https://www.preserveresiduos.com.br/>

## REGIÃO NORDESTE - EMPRESAS

### BIOTEC AMBIENTAL LTDA

Desde 1991 desenvolvendo projetos tecnológicos, fizeram da BIOTEC uma empresa atuante no fornecimento de soluções para as indústrias farmacêuticas, biotérios, centros de pesquisas e hospitais. A divisão APC (Air Pollution Control), é especializada em controle de poluição atmosférica, com sistemas através de Precipitadores Eletrostáticos, Filtros de Mangas, Ciclones, Lavador de Gás.

Site: <https://grupofoianesi.com.br/PT-BR/>

### AMBIENTAL SOLUÇÕES LTDA

A Ambiental Soluções oferece serviços de consultoria nas áreas de licenciamento ambiental, florestal e industrial para empreendimentos de diversos ramos de atividade.

Site: <http://www.ambientalsolucoes.com.br/>

### SUPRITECH SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA

Grupo voltado para soluções corporativas com a prestação de serviços de limpeza e conservação, jardinagem, coleta de resíduos, transporte e destinação para unidades de tratamento.

Site: <https://gruposupritech.com.br/>

### SANEAPE SOLUÇÕES AMBIENTAIS EIRELI

Desde 2004, a Saneape atua na área de coleta e transporte de resíduos sólidos, tanto no âmbito público quanto no privado. Estados de atuação: Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraíba e Alagoas.

Site: <http://saneape.com.br/>

### CIANO SOLUÇÕES AMBIENTAIS EIRELI

Localizada em Maceió – AL, a CIANO realiza a prestação de serviços de gestão, coleta, transporte, tratamento e destinação final de resíduos comuns e perigosos voltada para o mercado privado e público. Com logística própria a empresa o tratamento de resíduos como Resíduos comuns (orgânico e rejeitos); Resíduos da construção civil; Resíduos industriais (Classe 1: Sólido); Resíduos industriais (Classe 2: Líquido); Tratamento de lâmpadas fluorescentes; Incineração de documentos; Limpeza de terrenos; Capinagem, poda e supressão de árvores; Coleta e descarte do óleo de caixa separadora (Crunch Oil); Consultoria ambiental.

Site: <http://www.ciano.tecnologia.ws/>

## REGIÃO CENTRO-OESTE

### RESÍDUOS GERADOS NO AGRONEGÓCIO

O agronegócio na Região Centro-Oeste do Brasil, que abrange os Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e o Distrito Federal, é uma das principais atividades econômicas do país.

A vasta produção de soja, milho, algodão, carne bovina e outros produtos agrícolas e pecuários impulsiona a economia local e nacional. No entanto, essa produção em larga escala também gera uma quantidade significativa de resíduos que precisam ser adequadamente gerenciados para minimizar impactos ambientais e promover a sustentabilidade [2].

Os principais tipos de resíduos gerados no setor do agronegócio incluem:

1. Resíduos agrícolas - restos de culturas, como palha, cascas e folhas, que podem ser utilizados para compostagem ou como cobertura do solo;
2. Resíduos pecuários - dejetos animais, como esterco e urina, que podem contaminar solos e corpos d'água se não forem tratados corretamente. O manejo adequado pode resultar em biogás ou fertilizantes orgânicos;
3. Resíduos de agroindústrias - subprodutos e rejeitos de processamento de alimentos, como bagaço de cana, cascas de grãos e resíduos de laticínios. Muitas vezes, esses resíduos podem ser reciclados ou utilizados na produção de energia;
4. Resíduos químicos - restos de agrotóxicos e produtos químicos utilizados na agricultura, que necessitam de destinação especial para evitar contaminação do solo e da água;
5. Resíduos da mecanização - óleos e lubrificantes usados em máquinas agrícolas,
6. que requerem cuidados na sua destinação;
7. Plásticos e embalagens - utilizados na armazenagem e transporte de produtos agrícolas, que representam um desafio significativo de gerenciamento de resíduos.

O Brasil possui o Sistema Campo Limpo, que promove a logística reversa dessas embalagens, mas o controle e adesão ao sistema ainda enfrentam desafios. O sistema mencionado foi desenvolvido pelos agricultores, indústrias fabricantes, canais de distribuição e pelo poder público brasileiro com o objetivo de promover o descarte adequado das embalagens de produtos agrícolas, especialmente aquelas que são nocivas ao meio ambiente.

## REGIÃO CENTRO-OESTE-EMPRESAS

### COLECTA RECICLAGEM E GESTÃO PLENA DE RESÍDUOS S/A

Empresa de gerenciamento de resíduos classe I e II. Realizam compra de recicláveis seja da indústria ou pós consumo.

Site: <https://colecta.eco.br/>.

### ECOBLENDING AMBIENTAL LTDA

Fundada em 2006 para atendimento à Intercement, a ECOBLENDING se posiciona como empresa de soluções ambientais para os serviços de gerenciamento, reaproveitamento, tratamento e destinação ambientalmente adequadas para cada tipo de resíduo industrial. Serviços: Coprocessamento, landfarming, valorização de resíduos, aterro classe I e II, certificação ambiental.

Site: <https://www.ecoblending.com.br>.

### GREEN AMBIENTAL EIRELI

A Green Ambiental trabalha na coleta de resíduos de saúde desde 2010. Hoje atendem todos os municípios da Grande Florianópolis, São José Palhoça, Santo Amaro, Biguaçu, Águas Mornas e Tijucas.

Site: <http://www.greenambiental.com.br/>.

### MORHENA COLETA E ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA.

O Grupo Morhena atua nos setores de limpeza, coleta e logística. Trabalha com a terceirização de multisserviços; com coleta, transporte, tratamento e destinação final de resíduos sólidos; engenharia, logística ambiental e locação de máquinas e equipamentos para limpeza predial e urbana. Fundado em 1979, o grupo possui em seu quadro de profissionais cerca de 3.000 colaboradores, atuando em mais de 260 municípios espalhados em todo Brasil.

Site: <https://morhena.com.br/>.

### OCA AMBIENTAL LTDA

A OCA AMBIENTAL é uma empresa estabelecida no município de Dourados, polo da região Sul do Mato Grosso do Sul, surgiu com o intuito de gerenciar e executar o acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos.

Site: <https://www.ocaambiental.com.br/>.

## SEGER SERVIÇO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SPE LTDA

Foi constituída em 17 de dezembro de 2015 e é a empresa responsável pela coleta, transporte e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e comerciais classe II. Os principais serviços prestados pela SEGER são: Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos Domiciliares e Comerciais Classe II A em 100% da área urbana de Rondonópolis/MT, Coleta e Transporte de Materiais Recicláveis - Coleta Seletiva; Coordenação de UTR - Usina de Triagem de Resíduos; Operação e Manutenção do Aterro Sanitário.

Site: <https://seger.eco/#>

## SOL BRASIL SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA

Empresa de solução ambiental que atua com pequenos e grandes geradores, desde privado a público. Serviços realizados: Limpeza Pública, Construção Civil, Consultoria e Licenciamento Ambiental, Gerenciamento de Resíduos Perigosos, Manufatura Reversa de Eletrônicos, Reciclagem.

Site: <http://solbrasilambiental.com.br/>.

## UNIPAV ENGENHARIA LTDA

Localizada em Corumbatá – MS, a Unipav realiza a prestação de serviços de coleta e transporte de resíduos sólidos, industrial, domiciliares e de saúde, limpeza pública e construção de obras.

Site: <http://www.unipav.com.br/index.html>.

Diante do levantamento realizado das Empresas de Gerenciamento de Resíduos por regiões do Brasil, ressalta-se o protagonismo das empresas da Região Sudeste, uma vez que o maior número de empresas situam-se nessa região do país. Contudo, devido à importância da Indústria do Agronegócio e do estabelecimento da Zona Franca de Manaus nas Regiões, respectivamente, Centro Oeste e Norte do Brasil, as empresas dessas regiões também apresentam destaque no cenário nacional.

## CONCLUSÕES

Este trabalho consolida o estudo que foi realizado para identificar e priorizar as empresas mais interessantes na área de gerenciamento de resíduos nas cinco regiões do Brasil.

A metodologia utilizada permitiu listar, senão todas, a maior parte das empresas que atuam direta ou indiretamente no segmento eleito.

Apesar dos avanços, a gestão de resíduos na Zona Franca de Manaus ainda enfrenta desafios, como a falta de infraestrutura adequada para coleta e reciclagem, além da necessidade de políticas de sustentabilidade mais eficazes. A implementação de práticas que visem à minimização da geração de resíduos sólidos, à reutilização, à reciclagem e à economia circular torna-se cada vez mais essencial para reduzir o impacto ambiental causado pela má gestão e pelo descarte inadequado de resíduos sólidos.

O gerenciamento adequado dos resíduos gerados pelo agronegócio na Região Centro-Oeste é uma questão estratégica tanto para a sustentabilidade ambiental quanto para a competitividade do setor. A implementação de tecnologias de reaproveitamento e a adoção de boas práticas são passos fundamentais para mitigar os impactos negativos e criar uma produção agrícola e pecuária mais sustentável.

No TRABALHO 4 - Considerações Técnicas - algumas empresas foram sublinhadas e contempladas com informações complementares.

Ficou claro que existem inúmeras ótimas empresas na área de gerenciamento de resíduos, mas ainda há muito potencial a ser explorado.

## REFERÊNCIAS

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Resolução ANTT 420, Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos. Ministério dos Transportes. Brasília. 2004. 774 p.
- [2] IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Disponível em: <https://www.ibam.org.br/>. Acesso em: 02 de julho de 2024.
- [3] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: IBGE - CNAE, 2024. [atualizado em junho de 2024, acesso em junho de 2024]. Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/images/concla/documentacao>.



## ESTUDO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PRODUZIDOS PELA DEGRADAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS INDEVIDAMENTE DESCARTADOS

Gustavo Reis Martins

Bruno Mello Da Rocha Corpas Maciel

Endrius Cardoso Corrêa Silva

Jose Guilherme De Oliveira Peixoto

Marcelo Gonçalves Corrêa Filho

Maria Inês Bruno Tavares

**RESUMO:** Este estudo investiga a formação de microplásticos a partir do copolímero biodegradável PBAT, com e sem nanopartículas de óxido de molibdênio, usando relaxometria por RMN. Os materiais foram submetidos a múltiplas extrusões e prensados para formar filmes. As análises por RMN (T1H/T2H), DRX e FTIR mostraram alterações discretas na mobilidade molecular e aumento inicial na cristalinidade, possivelmente por recombinação de cadeias. O óxido de molibdênio reduziu a cristalinidade, indicando interferência na organização molecular. Não houve formação relevante de grupos carbonilados até a 40ª extrusão, sugerindo degradação química inicial. A relaxometria se mostrou promissora para monitorar a degradação e geração de microplásticos em ambientes simulados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microplástico, RMN, Polímeros, Relaxometria

### INTRODUÇÃO

Com o crescimento exponencial da produção global de plásticos, o descarte inadequado deste material também aumenta significativamente. Quando expostos a condições ambientais adversas, como luz solar, intempéries, umidade e variações de temperatura, os materiais poliméricos sofrem alterações físico-químicas em sua estrutura, resultando na fragmentação e subsequente formação de microplásticos.

Microplásticos são partículas com diâmetros inferiores a 5 mm, originadas da deterioração de materiais poliméricos. Polímeros como poliestireno, polipropileno, polietileno, isopor e cloreto de polivinila são predominantes no ambiente marinho e contribuem majoritariamente para a poluição oceânica (AZZARELLO, M. et al., 1987). A acumulação de microplásticos em corpos d'água representa uma grave ameaça ao meio ambiente, pois seu tamanho diminuto e superfície de contato ampliada permitem interações com uma vasta gama de organismos em diferentes níveis tróficos (OLIVATTO, G. P. et al., 2019). A facilidade de dispersão desses microplásticos em ambientes marinhos e sua ingestão por aves resultam em danos severos ao sistema digestivo desses animais.

A relaxometria é uma técnica que mede o tempo de relaxação dos spins nucleares. Após a magnetização da amostra pela aplicação de um campo magnético forte, externo e homogêneo, um pulso de radiofrequência é aplicado, excitando os spins nucleares. Quando o pulso cessa, os spins retornam ao estado relaxado, liberando energia em diferentes constantes de relaxação, dependendo do ambiente circundante. Esta medição é realizada utilizando um equipamento de ressonância magnética nuclear de baixo campo, permitindo a análise da mobilidade - e suas modificações - dentro de um sistema, influenciada pelas propriedades físico-químicas dos materiais inseridos no mesmo (CUCINELLI et al., 2019).

Na área de relaxometria, diversas técnicas podem ser aplicadas, adequando-se ao sistema específico a ser avaliado. Essas técnicas variam conforme o estado físico do material, o objetivo da investigação e os compostos presentes.

A utilização da relaxometria é altamente viável para quantificar as modificações morfológicas em materiais que sofrem degradação e alterações físico-químicas. É uma técnica de fácil manuseio, alta precisão, que fornece respostas rápidas, requer baixa manutenção e não necessita de preparação prévia do material para análise.

## OBJETIVO

Diante disso, nossa proposta é analisar e avaliar a formação de microplásticos provenientes do PBAT (polibutileno adipato-co-tereftalato), um copolímero biodegradável conhecido por suas propriedades semelhantes às do polietileno de baixa densidade (PEBD). Também foi analisado o compósito PBAT+óxido de molibdênio para observar as interferências de uma nanopartícula no processo de degradação dos polímeros e, conseqüentemente, geração de microplásticos. Compreender como esse material se comporta sob a influência de um campo eletromagnético e pulsos de radiofrequência nos permitirá dissertar sobre sua cinética de formação, além de elucidar as características morfológicas específicas desses materiais. Este conhecimento possibilitará uma análise mais eficaz e rápida da formação de microplásticos nos oceanos, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias para mitigar esse grave problema ambiental que afeta a vida marinha.

## METODOLOGIA

O Poli(butileno adipato co-tereftalato) (PBAT) é um copoliéster sintético biodegradável. Analisamos o PBAT modificado com nanopartículas de molibdênio visando aprimorar suas propriedades térmicas e mecânicas. Esta modificação objetiva aumentar a resistência do material a temperaturas elevadas, bem como melhorar sua durabilidade e desempenho mecânico em aplicações práticas.

### EXTRUSÃO

Para simular a degradação termomecânica dos polímeros no oceano e pela incidência da radiação solar, o polímero foi extrusado e peletizado múltiplas vezes. Inicialmente, foram preparadas duas amostras de PBAT puro: uma de 50 gramas, extrusada apenas uma vez, e outra de 100 gramas, extrusada quarenta vezes. Amostras de 5 gramas dos polímeros puros, extrusados e peletizados apenas uma vez, 10 vezes, 20 vezes, 30 vezes e 40 vezes foram reservadas para análises futuras.

Após as quarenta rodadas de extrusão do PEBD, observamos que a perda de material na extrusora e na peletizadora foi maior do que o esperado. Consequentemente, aumentamos a quantidade de polímero para 200 gramas a fim de realizar a extrusão quarenta vezes.

Os valores de temperatura de extrusão e velocidade de rotação da rosca estão descritos a seguir:

#### **Poli(butileno adipato co-tereftalato) (PBAT):**

- Zona 1: 110°C
- Zona 2: 120°C
- Zona 3: 125°C
- Rotação da Rosca: 55 RPM

#### **Poli(butileno adipato co-tereftalato) (PBAT) + Nanopartículas de Molibdênio**

- Zona 1: 110°C
- Zona 2: 120°C
- Zona 3: 125°C
- Rotação da Rosca: 55 RPM

### PRENSAGEM

Parte das amostras obtidas foram prensadas utilizando uma prensa hidráulica com o objetivo de produzir filmes para análises de RMN, DRX e FTIR. Após identificar a formação de bolhas nos filmes, adotamos a prática de aliviar a pressão brevemente na metade do intervalo de tempo, permitindo a degasagem.

Os valores dos parâmetros como temperatura, peso, degasagem e tempo de prensagem estão descritos a seguir:

**Poli(butileno adipato co-tereftalato) (PBAT):**

- Temperatura: 140 °C
- Peso: 3 toneladas
- Degasagem: 7 min e meio
- Tempo: 15 min

**Poli(butileno adipato co-tereftalato) (PBAT) + Nanopartículas de Molibdênio:**

- Temperatura: 140 °C
- Peso: 3 toneladas
- Degasagem: 7 min e meio
- Tempo: 15 min

## RESULTADOS

A partir do material extrusado, peletizado e prensado, os filmes produzidos foram caracterizados para revelar as mudanças decorrentes do processo de degradação termomecânica. Três técnicas de análise foram utilizadas: morfológica, cristalográfica e molecular, com o objetivo de identificar as alterações nas amostras.

### Ressonância Magnética Nuclear no Domínio do Tempo - Relaxometria

A Ressonância Magnética Nuclear é uma técnica espectroscópica importante no estudo de inúmeros compostos químicos, sejam inorgânicos ou orgânicos. A técnica se vale do estudo de diversos núcleos, sendo o de hidrogênio e de carbono os mais analisados, principalmente no estudo de polímeros e microplásticos. A técnica permite elucidar estruturas químicas, modificações que ocorrem na estrutura química, composição e etc e a relaxação nuclear indica a força de interação dos componentes num sistema polimérico. Neste trabalho se utilizará somente a técnica de relaxação nuclear.

A relaxação magnética nuclear é o processo que leva um núcleo atômico com momento magnético diferente de zero, sob ação de um forte campo magnético externo e que se encontra em estados energéticos excitados, de volta ao estado fundamental de equilíbrio. A medida desse fenômeno é chamada de relaxometria.

Há dois mecanismos de relaxação presentes no RMN. Um denominado Spin-rede, com constante de tempo,  $T_1$ , que é conhecido como relaxação longitudinal - na direção z; e o outro Spin-Spin, com constante de tempo  $T_2$ , também chamado

de relação transversal - no plano xy. Neste projeto os tempos de relaxação e as curvas de relaxação foram determinadas para os três polímeros estudados, tendo em vista que o tempo relaxação,  $T_1$ , permite detectar as interações intermoleculares e intramoleculares, sendo sensível a mudanças estruturais, refletindo na variação significativa do valor deste parâmetro e o tempo relaxação  $T_2$ , avalia a dispersão do material e o aumento da sua mobilidade molecular, quando do início do processo de degradação.

O objetivo da análise por RMN é verificar um aumento da rigidez/cristalinidade no início da degradação que é devido a um processo chamado de *annealing*, que consiste na reorganização das cadeias poliméricas em cristais imperfeitos causada pelo fornecimento de energia para o sistema. Em seguida, espera-se observar um aumento na maleabilidade, causado pela quebra das cadeias poliméricas por um processo de degradação mais extenso.

Com o gráfico de  $T_1H$ , e as curvas de domínio da relaxação e os valores dos tempos de relaxação curtos representam polímeros mais maleáveis, enquanto domínios que demoram mais a relaxar representam polímeros mais rígidos.

Já com  $T_2H$ , observa-se o contrário: frações mais maleáveis possuem tempo de relaxação maiores, enquanto frações mais rígidas possuem tempo de relaxação menores.

## Sequência de pulsos utilizada para a determinação

### - $T_1H$ - Inversão Recuperação

A relaxação  $T_1$  corresponde ao processo de estabelecer ou restabelecer a distribuição populacional normal dos estados de spin  $\alpha$  e  $\beta$  no campo magnético. Nesse tipo de relaxação os Spins perdem sua energia ao transferi-la para a vizinhança (rede) como energia térmica, que aquece essa vizinhança. A velocidade deste processo é regida pelo tempo de relaxação spin-rede; e seu inverso, a taxa de relaxação do decaimento.

## Resultados $T_1\rho$ - PBAT

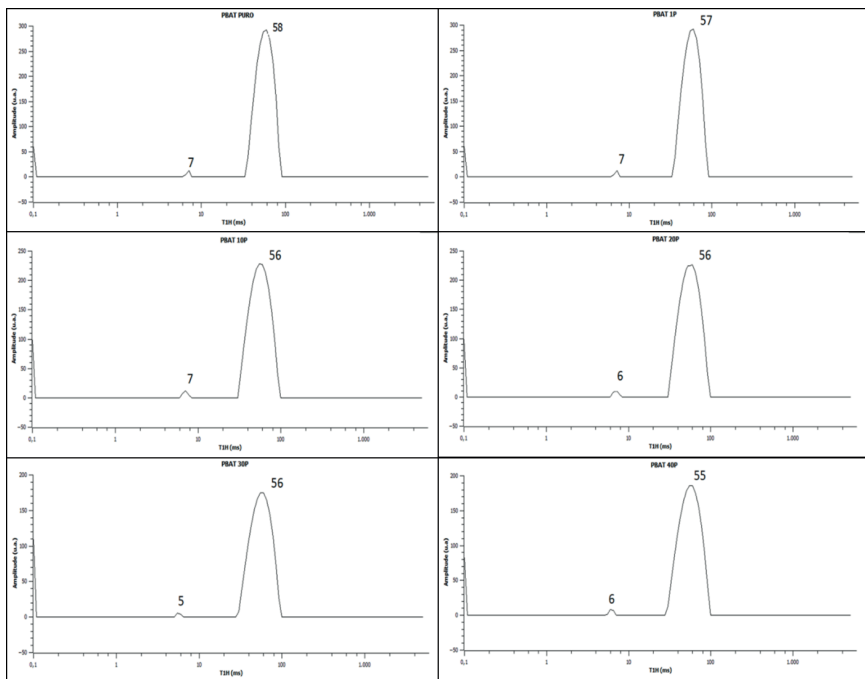


Figura 1: Curvas de domínios de  $T_1\rho$  do filme de PBAT puro, após uma, dez, vinte, trinta e quarenta passagens na extrusora.

Na análise por RMN se observa o tempo médio de relaxação da amostra, que está diretamente relacionado à mobilidade das cadeias. A diminuição do tempo médio de relaxação mostra que as cadeias estão relaxando mais rapidamente, indicando que estão sendo formadas por estruturas mais maleáveis.

Nos gráficos é possível observar dois domínios, o maior, referente às partes mais rígidas da amostra, e o menor, referente à umidade presente na amostra.

Dessa forma, o resultado esperado era uma diminuição do tempo médio de relaxação, indicando a formação de estruturas mais maleáveis. De fato, foi observado uma diminuição desse tempo, porém foi uma diferença de apenas 3 milissegundos, o que não é conclusivo para determinar se houve de fato um aumento da mobilidade das cadeias.

## Resultados T<sub>2</sub>H – PBAT

T2	F SR (%)	F M (%)	F R (%)
PBAT PURO	16,7	70,4	13,1
PBAT 1P	20,3	63,6	17,8
PBAT 10P	21,9	63,4	14,9
PBAT 20P	9,8	81,7	9,2
PBAT 30P	17,5	65,7	15,8
PBAT 40P	18,1	68	14,8

Tabela 1: Determinação de T<sub>2</sub> das Frações SR, M e R do PBAT

Através dos tempos de relaxação T<sub>2</sub>, Tabela 1, é possível observar a mudança das frações semi-rígidas, maleáveis e rígidas do material ao longo das passagens.

Através da Tabela 1 observa-se uma pequena diminuição da fração maleável e um pequeno aumento das frações rígidas e semi-rígidas. Isso pode ser um indício interessante, uma vez que o RMN tem uma sensibilidade maior principalmente no tempo de relaxação 2 para segmentos de cadeia. Dessa forma, se o material está sendo degradado, é possível observar o início da cristalização nesses pequenos segmentos de cadeia.

Assim, essa diminuição da área maleável e aumento da fração rígida pode ser um indício que está ocorrendo o início da degradação e está havendo uma recombinação das cadeias poliméricas, antes de haver a degradação mais intensa, isso ocorre devido à geração de radicais livres, no processo de degradação, permitindo que as cadeias se recombinem.

## Difratometria de Raios X (DRX)

É uma técnica de análise cristalográfica a partir da difração de raios X. Quando raios X são incididos sobre a amostra em um determinado conjunto de ângulos, a rede cristalina do material difrata esses raios em direções específicas. A análise dessa radiação difratada revela o tipo, orientação e forma do cristal. A seguir encontram-se os gráficos de DRX das amostras.

# Resultados DRX - PBAT

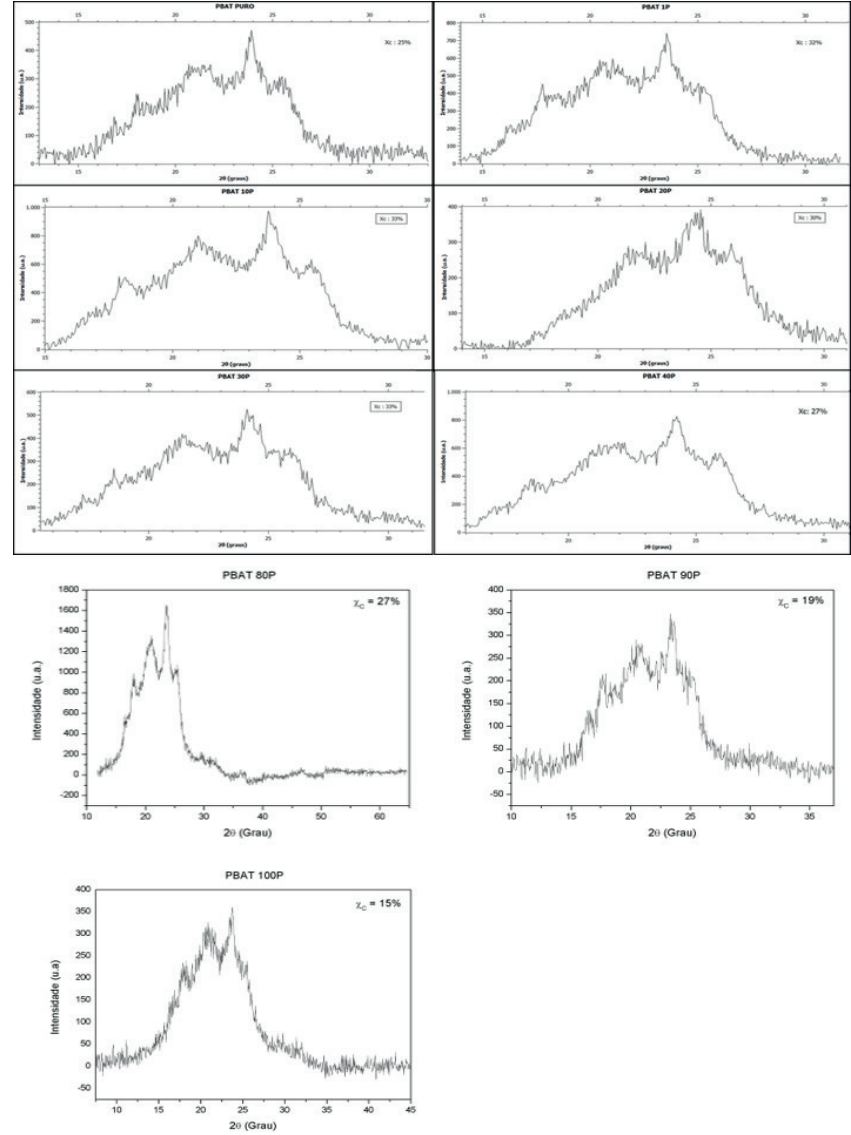


Figura 2: Gráficos de DRX do PBAT com zero, dez, vinte, trinta, quarenta, oitenta, noventa e 100 passagens.

Cristalinidade	
PBAT Puro	25%
PBAT 1P	32%
PBAT 10P	33%
PBAT 20P	30%
PBAT 30P	33%
PBAT 40P	27%
PBAT 80P	27%
PBAT 90P	19%
PBAT 100P	15%

Tabela 2: Grau de cristalinidade

Através do DRX observa-se que há o início da degradação com um aumento do grau de cristalinidade do material.

O resultado esperado é justamente um aumento da cristalinidade do material no começo da degradação e, depois, conforme o material vai se quebrando e sua estrutura vai diminuindo, a cristalinidade diminui.

Porém, esse pequeno aumento de cristalinidade pode ser observado através do cálculo de cristalinidade, com os valores apresentados. Como o trabalho consiste em simular uma degradação termomecânica, o material está recebendo energia, que pode estar causando um alinhamento do mesmo e assim provocando esse aumento de cristalinidade observado.

Resultados DRX – PBAT + Nanopartículas de Óxido de Molibdênio

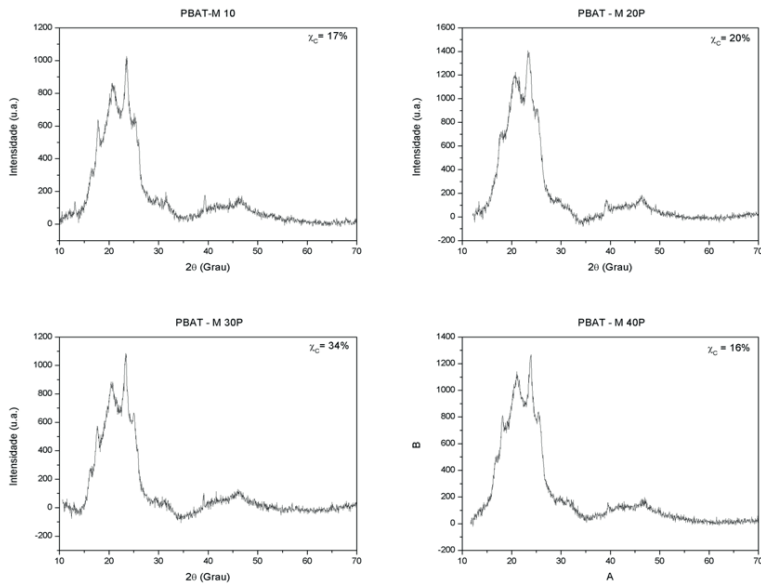


Figura 3 - Difratogramas do sistema de PBAT com óxido de molibdênio, após passagens na extrusora

Foram adicionadas nanopartículas de molibdênio ao PBAT com o objetivo de melhorar sua resistência mecânica e aumentar sua resistência térmica. No entanto, observou-se uma diminuição do grau de cristalinidade, indicando que o molibdênio está influenciando a recombinação das cadeias de PBAT, após a degradação.

A Tabela 3 mostra a determinação do grau de cristalinidade do sistema PBAT/óxido de molibdênio.

Cristalinidade	
PBAT Puro	25%
PBATM 10P	17%
PBAT 20P	20%
PBAT 30P	34%
PBAT 40P	16%

Tabela 3: Grau de cristalinidade

## Cálculo da Cristalinidade

A porcentagem de cristalinidade do polímero foi calculada pela equação

$$C = 100 \frac{\sum_i A_{\text{pico cr}_i}}{\sum_i A_{\text{pico cr}_i} + A_{\text{pico não cr}}} [\%]$$

onde o  $\sum A_{\text{pico cr}}$  é soma da contribuição cristalina de cada pico e  $A_{\text{pico não cr}}$  é a contribuição não cristalina (depois vou para a referência).

## Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

FTIR – A análise por infravermelho com transformada de Fourier é uma técnica espectroscópica que estuda e interação da radiação infravermelha com a amostra. Uma amostra pode absorver/transmitir/refletir parte da radiação e a partir dessa variação de energia podemos identificar componentes de uma amostra.

Átomos que formam as moléculas possuem frequências específicas de vibração, que variam de acordo com a estrutura, composição e o modo de vibração da amostra. Para varrer essa gama de frequência utiliza-se o infravermelho.

A transformada de Fourier permite analisar de forma adequada funções não periódicas.

O objetivo desta análise é identificar se houve a formação de compostos carbonilados, uma vez que a presença de compostos carboxílicos como a cetona e aldeídos indicam o início da degradação, que é formada devido o processo de degradação e o índice de carbonila é o parâmetro normalmente utilizado para se detectar o processo de degradação.

## Resultados FTIR – PBAT

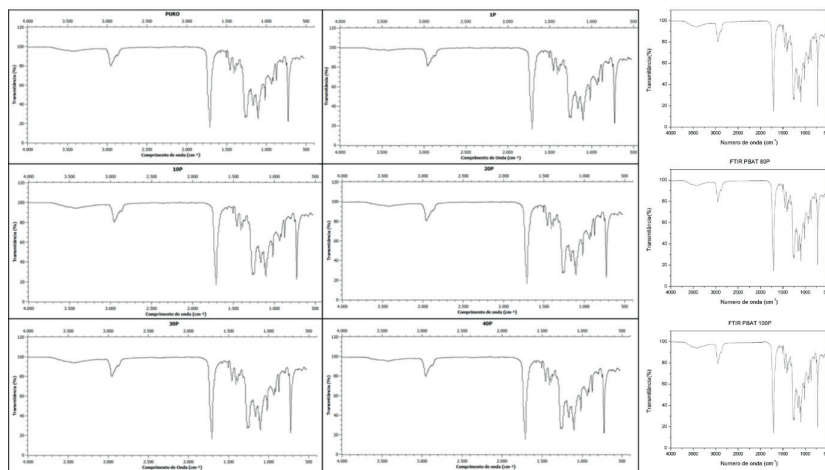


Figura 4: Espectros de FTIR dos filmes de PBAT puro, uma, dez, vinte, trinta, quarenta, oitenta, noventa e cem passagens na extrusora.

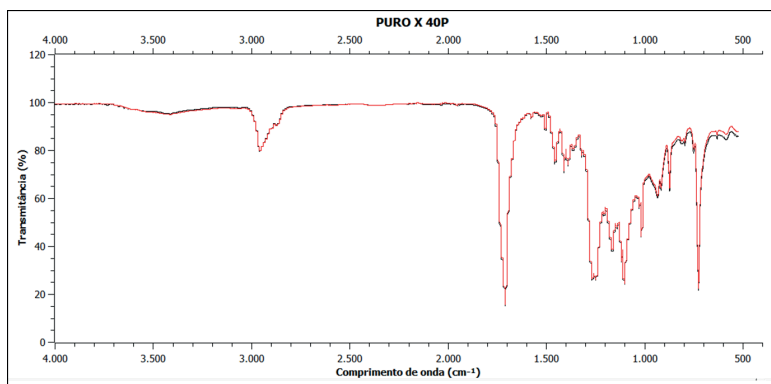


Figura 5: Espectros de FTIR dos filmes de PBAT de 0 a 40 passagens sobrepostos para comparação.

Comparando os espectros de FTIR do polímero puro com os espectros de cada passagem pela extrusora, percebe-se uma mudança muito pequena. A principal mudança esperada era na banda das carbonilas, em torno de  $1700\text{ cm}^{-1}$ . Como não houve diferenças significativas, é pouco provável que tenha tido o início da degradação e/ou o processo de degradação está se iniciando a partir deste número, 40, de passagens na extrusora.

## Resultados FTIR – PBAT + Molibdênio

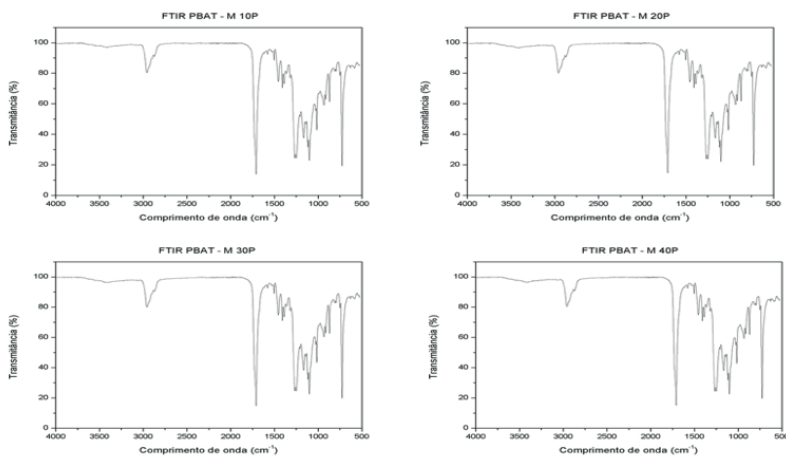


Figura 6 – Espectros de FTIR do sistema de PBAT com óxido de molibdênio, após passagens na extrusora

Os espectros de FTIR estão bem semelhantes, mas a principal característica que se desejava observar, era a banda do grupo carbonila centrado em torno de  $1700\text{ cm}^{-1}$ . Não foram observadas diferenças significativas entre as duas amostras nesta banda. Esperava-se uma diferença tendo em vista que esta é um indicador de degradação. Portanto, pode-se afirmar que seja muito provável que, até este ponto, ainda não foi detectado o início da degradação.

## CONCLUSÕES

Sumarizando os resultados, quanto à relaxometria, no T1H observamos diminuição do tempo de relaxação em 3 milissegundos; no T2H vemos aumento de 7,4% na fração semirrígida, aumento de 1,7% na fração rígida e diminuição de 2,4% na fração maleável. Nos resultados obtidos no DRX, não obtemos picos cristalinos bem definidos, o que nos leva a pensar que talvez a cristalinidade aumente nas primeiras extrusões e depois volte a diminuir, como observado nos valores médios de largura à meia altura (FWHM), que sugerem reorganização parcial das cadeias seguida de perda de ordem estrutural. Não foi possível observar a presença de compostos carboxílicos, sem mudança qualquer no formato das bandas do FTIR, o que indica que a degradação química ainda não está avançada. A presença de óxido de molibdênio parece dificultar a reorganização cristalina do PBAT, como sugerido pela menor cristalinidade média nas amostras com aditivo, embora sua influência

direta nos tempos de relaxação não seja evidente neste ponto. Em conjunto, os dados apontam para um processo de degradação ainda discreto, mais visível na mobilidade molecular do que em transformações químicas detectáveis.

Este estudo contribuiu para a compreensão inicial do comportamento do PBAT frente à degradação termomecânica, com e sem adição de nanopartículas. Observamos que a técnica de relaxometria por RMN é sensível às alterações na mobilidade molecular mesmo em estágios precoces de degradação, enquanto o DRX e o FTIR mostraram-se úteis para complementar essa análise. Como próximos passos, serão avaliadas formulações de PBAT com diferentes combinações de nanopartículas: óxidos de titânio, zinco, molibdênio e suas misturas. O objetivo é entender como cada sistema influencia o processo de degradação e a formação de microplásticos em matrizes poliméricas tanto sintéticas quanto biodegradáveis.

## REFERÊNCIAS

AZZARELLO, Marie Y.; VAN VLEET, Edward S. Marine birds and plastic pollution. **Marine Ecology Progress Series**, v. 37, n. 2/3, p. 295-303, 1987.

CUCINELLI NETO, Roberto Pinto; RODRIGUES, Elton Jorge da Rocha; TAVARES, Maria Inês Bruno. Single-shot measurement of solids and liquids  $T_1$  values by a small-angle flip-flop pulse sequence. **Magnetic Resonance in Chemistry**, v. 57, n. 7, p. 395-403, 2019.

OLIVATTO, Glauca P. et al. Microplastic contamination in surface waters in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Marine pollution bulletin**, v. 139, p. 157-162, 2019.



## TR A B A L H O 20

# FERTILIZANTE DE LIBERAÇÃO CONTROLADA À BASE DE PERLITA CRIOGÊNICA RESIDUAL DA INDÚSTRIA DE SEPARAÇÃO DE GASES

Frederico Valério Nunes

Conny Ceraí Ferreira

**RESUMO:** Mitigar a geração de resíduos é urgente. Em geral, seus destinos são os aterros sanitários, porém muitos dos materiais descartados possuem propriedades que contribuem para desenvolver alternativas sustentáveis e novas tecnologias. Assim, a perlita residual, usado como isolante térmico no contexto industrial, foi aplicada, neste estudo, como base para formulação de um fertilizante de liberação controlada, e caracterizada por Porosimetria, Perda ao Fogo e FRX. Foram produzidos *pellets* de fertilizante tratando a perlita com solução aquosa de ureia, e revestido com composições poliméricas derivadas de celulose e de quitina. O fertilizante foi classificado como de liberação controlada através da aplicação do ensaio de liberação de N de acordo com a Norma EN13266:2001 da UE. A liberação foi avaliada em ensaios independentes com liberação percentual de N de 9,9% e 4,5% em 24h e 36,1% e 38,7% em 28 dias. O trabalho foi patenteado junto ao INPI sob número de registro BR1020250129590.

### Legenda:

INPI - Instituto Nacional de Propriedade Intelectual

FRX - Fluorescência de Raios-X

UE - União Europeia N - Nitrogênio

**PALAVRAS CHAVES:** Perlita, fertilizante especial, fertilizante liberação controlada, resíduo sólido industrial.

## INTRODUÇÃO

A perlita é um pó proveniente de um mineral inerte, que é utilizado no meio industrial da separação de gases como isolante térmico da chamada *Cold Box* (parte criogênica de uma planta de separação de gases). Em eventuais manutenções da *Cold Box*, toda a perlita armazenada entre o casco externo das torres de destilação e as tubulações internas devem ser retiradas. Concluída a retirada da perlita criogênica para a manutenção das instalações, esse material é destinado aos aterros sanitários - naturalmente saturados - onde o resíduo fica à deriva das condições climáticas e, portanto, não reaproveitável. Além do alto custo da reposição da perlita em grande quantidade, esse serviço de descarte é custeado pela própria empresa que o solicita.

Pelo fato da individualidade de cada planta industrial, não é possível apontar uma quantidade fixa de perlita descartada para manutenção. Para efeito de comparação, na planta industrial de separação de gases de Volta Redonda-RJ, considerada uma planta grande no contexto da América Latina, remove-se 15 toneladas de perlita para a eventual manutenção das instalações. Porém plantas consideradas pequenas podem envolver cerca de 1,0 tonelada de perlita.

Paralelamente, a indústria de fertilizantes no Brasil, atualmente, é extremamente dependente do exterior como fornecedor tanto do fertilizante multinutricional como para os componentes de fertilizantes comuns. No cenário nacional - ilustrado na Tabela 2, entre 2021 e 2024, mais de 84% dos fertilizantes NPK do mercado nacional foram importados<sup>9</sup>. Como apresentado na Tabela 1, entre 2020 e 2021, foi registrado um aumento de aproximadamente 7% tanto na produção quanto na venda de fertilizantes NPK. Já no valor da produção e no valor das vendas foi observado um aumento de cerca de 55%<sup>2</sup>.

**Tabela 1:** Produção x Venda de adubos e fertilizantes NPK em 2020 e 2021.

Ano	Posição	Produção		Vendas	
		Quantidade (t)	Valor (1000 R\$)	Quantidade (t)	Valor (1000 R\$)
2020	8	24 248 384	38 446 742	23 602 797	37 460 696
2021		25 933 565	59 079 899	25 457 846	57 889 595

Fonte: 2.

**Tabela 2:** Produção e importação de fertilizantes NPK, em toneladas, de 2021 à 2024.

Ano	Importado		Produzido		Total/ano
	(t)	%	(t)	%	
2021	39 258 338	0,8448344974	7 210 335	0,1551655026	46 468 673
2022	34 606 843	0,8173783499	7 731 987	0,1826216501	42 338 830
2023	39 439 343	0,8500817129	6 955 424	0,1499182871	46 394 767
2024	41 348 204	0,8514067415	7 216 368	0,1485932585	48 564 572
Total	154 652 728	0,8415703634	29 114 114	0,1584296366	183 766 842
%	84,16%		15,84%		

Fonte: 9.

Nesse contexto, não há produto no mercado brasileiro que consiga unir as vantagens da liberação controlada com o selo verde ou organomineral.

Citado o fator ambiental, considerando todas as etapas da confecção do fertilizante como produto, podemos destacar seu alinhamento com os objetivos 09 - Indústria, inovação e infraestrutura - e 12 - Consumo e produção responsável - do desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas - ONU, uma vez que não gera resíduos, reaproveita a perlita criogênica como matéria prima (não havendo, inclusive, a necessidade de seu manejo como resíduo pelas empresas da separação industrial de gases), contribui para o desenvolvimento da infraestrutura industrial e acadêmica, possivelmente diminui as perdas ao longo do processo produtivo agrícola e agrega valor às *commodities*.

**OBJETIVO**

O objetivo geral deste trabalho foi aproveitar a perlita criogênica residual para produção de fertilizante de liberação controlada.

Os objetivos específicos foram:

- Caracterizar a perlita criogênica residual de uma planta de separação de gases localizada na cidade de Volta Redonda/RJ através de Análise Porosimétrica, Perda ao Fogo e Fluorescência de Raios-X (FRX);
- Tratar a perlita residual com fonte de solução aquosa de ureia para obter a base do fertilizante;
- Produzir *pellets* e revesti-los com composições poliméricas biodegradáveis baseadas em derivados de celulose e de quitina.
- Classificar o fertilizante especial obtido de acordo com a norma EN 13266:2001.

## METODOLOGIA

- I Caracterizar a perlita criogênica residual de uma planta de separação de gases localizada na cidade de Volta Redonda/RJ através de Análise Porosimétrica, Perda ao Fogo e Fluorescência de Raios-X (FRX);
- I Tratar a perlita residual com fonte de solução aquosa de ureia para obter a base do fertilizante;
- I Produzir *pellets* e revesti-los com composições poliméricas biodegradáveis baseadas em derivados de celulose e de quitina.
- I Classificar o fertilizante especial obtido de acordo com a norma EN 13266:2001.
- I Tratamento da perlita residual

Preparada uma solução 10% de uréia. Após pesado e misturado 5g de perlita residual e 25g de solução de uréia 10% (de modo que a perlita se manteve não muito úmida), foi levada a mistura para a secagem na estufa à 60°C por 2 horas e 30 min.

### I Peletização

Preparada uma solução de acetato de celulose, foram misturadas a solução de acetato de celulose 10% e a perlita tratada numa proporção de 1:1. Após homogeneizado, foi utilizado um molde de eppendorf para dar formato aos *pellets*. Após o dado tempo para a solução de acetato de celulose manter o *pellet* unido (seja a temperatura ambiente, com secador de cabelo ou outro método), foram retirados, meticulosamente, dos moldes os *pellets*. Após retirados, foram levados à estufa à 70°C por 8 horas.

### I Revestimento

Após levados à cura, foram realizados 3 ciclos de revestimento em cada *pellet*. O revestimento trata-se de composições poliméricas derivadas de quitina e celulose que não pode ser especificada pois está em processo de patenteamento.

Após os 3 ciclos de revestimentos, os *pellets* são levados para curar à 80°C por 12-16h

### I Determinação de Nitrogênio

Separado um béquer para cada *pellet* que participará do ensaio, registradas as massas dos béqueres e as massas iniciais das amostras, adicionou-se 25 g de água destilada em cada béquer. Foi retirada a água restante em cada béquer após 24h de ensaio - que foram enviados para determinação de Nitrogênio total, e colocados novos 25g de água em cada béquer. Repetiu-se o procedimento efetuado após 24h após 7 dias, 21 dias e 28 dias (sendo que neste último não houve o acréscimo de água nos béqueres e as amostras foram levadas à estufa à 80°C por 12 horas para secar). As amostras foram digeridas em solução de ácido sulfúrico acrescida de água oxigenada 30 volumes para disponibilização total de Nitrogênio para quantificação.

## I Determinação de liberação ou resultados

Após todas as etapas do ensaio de liberação concluídas, foi realizado o método de determinação de Nitrogênio total nestas, e nas amostras de referência foi realizada a digestão e posteriormente a determinação de Nitrogênio total - ambos a partir da metodologia Tedesco determinada pelo método Kjeldahl. Com os resultados obtidos, utilizando-se a fórmula disponível no Manual de métodos de análise de solos da Embrapa<sup>8</sup>, edição de 2017, foi determinado o percentual de Nitrogênio inicial médio e seu desvio padrão, assim como as perdas percentuais de Nitrogênio após cada etapa do ensaio de liberação.

Portanto, para as amostras do ensaio, temos a equação (1), sem o fator do extrato de diluição - apenas aplicando a fórmula do Manual da Embrapa:

$$\%N = \frac{(M \times 28 \times V_{ac})}{m} \quad (1)$$

No entanto, para as amostras da digestão, foi necessário implementar o fator do extrato de diluição, resultando na equação (2):

$$\%N = \frac{(M \times 28 \times V_{ac} \times \frac{50}{10})}{m} \quad (2)$$

Onde:  $M_{ac}$  é a molaridade do ácido sulfúrico utilizado (já corrigido pelo fator de correção do preparo do mesmo);

28 é  $2 \times 14$ : n° de prótons ionizáveis do ácido sulfúrico e equivalente grama do Nitrogênio;

$V_{ac}$  é o volume de ácido sulfúrico utilizado seguindo a metodologia Tedesco;

$\frac{50}{10}$  é o fator de extrato realizado ao retirar uma fração da quantidade inicial;

$m$  é a massa da amostra.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### I Caracterização da perlita criogênica

Como foi verificado pela análise porosimétrica, e apresentado na Tabela 3, o volume de microporos encontrado foi de  $0,001396 \text{ cm}^3 / \text{g}$ , indicando que de fato a perlita é um material poroso e que de fato podemos inocular os micro e macronutrientes desejados nos poros desta<sup>5</sup>.

**Tabela 3:** Características físicas da perlita criogênica industrial residual de Volta Redonda-RJ

Área específica ( $m^2/g$ )	Volume dos microporos ( $cm^3/g$ )
0,8450	0,001396

Associada às características físicas deste material, após fazer a análise química da perlita - vide tabela 4 - por FRX, percebemos que esta possui em sua composição Ca (cálcio) e, principalmente, K (potássio)<sup>5</sup> que, apesar de não apresentarem uma expressiva quantidade em um *pellet* único, é um indicativo que seja um excelente material para ser utilizado como substrato para um fertilizante, principalmente considerando que o Brasil - apesar de possuir reservas de potássio em seu território - não o produz em quantidades significativas.

**Tabela 4:** Composição da perlita residual por FRX

Elemento	Resultado
Si	46,901%
K	27,786%
Fe	9,847%
Al	6,587%
Ca	6,211%
Ti	1,424%
Mn	0,875%
Rb	0,110%
Cu	0,078%
Sr	0,069%
Zn	0,064%
Zr	0,050%

Quanto à perda por fogo, como apresentado na tabela 5, demonstra-se que a perlita criogênica residual apresenta uma perda irrisória por fogo, com uma perda percentual média de 2,8 %.

**Tabela 5:** Perda por fogo e perda percentual por fogo da perlita criogênica.

$m_i$ (g)	$m_f$ (g)	$m$ (g) <sub>cadinho</sub>	perda (g)	perda (%)
1,000	0,972	30,959	0,028	0,0876 %
1,000	0,972	28,799	0,028	0,0939 %
1,000	0,972	32,048	0,028	0,0847 %

- Tratamento da perlita residual com solução de uréia
- Produção de *pellets* e revestimento com composições poliméricas biodegradáveis baseadas em derivados de celulose e de quitina.

Após curados, os *pellets* ficam compactos e rígidos, como mostrado na Figura 1.



**Figura 1:** amostras PU-1031 à PU-10310 peletizadas.

O revestimento biodegradável garante que a liberação das partículas - inoculadas nos poros do material - não serão disponibilizadas ao solo de modo abrupto, garantindo maior aproveitamento desses nutrientes. Portanto, quanto mais espesso o revestimento, ou seja, quanto mais camadas aplicadas, maior é esperado o tempo de retenção. Com o revestimento aplicado; como fica visível nas Figuras 2, 3 e 4; os minerais e outros elementos são preservados com a perlita.



**Figura 2:** amostras PU-1031,32,33,34 após o revestimento



**Figura 3:** amostras PU-1035,36,37 após revestimento



**Figura 4:** amostras PU-1037,38,39,310 após revestimento.

- I Classificação do fertilizante especial obtido de acordo com a norma EN 13266:2001 Realizado o preparo e o revestimento dos *pellets*, tivemos dois grupos amostrais. No primeiro grupo de amostras, realizou-se a digestão de 3 amostras, constatando um percentual médio de  $(21,11 \pm 1,49)$  % de Nitrogênio, e verificamos a liberação de  $(36,10 \pm 0,04)$  % da quantidade inicial de Nitrogênio inoculada em 28 dias de ensaio de mais 3 amostras que participaram do ensaio de liberação. No segundo grupo de amostras, realizou-se a digestão de 4 amostras, apontando um percentual médio de  $(20,38 \pm 0,74)$  % de Nitrogênio inoculado. Após o ensaio de liberação de outras 6 amostras, foi constatada a liberação de  $(38,70 \pm 0,45)$  % da quantidade inicial de Nitrogênio<sup>10</sup>. Os dados citados acima encontram-se nas tabelas 6 e 7.

**Tabela 6:** Quantidade de Nitrogênio das amostras do ensaio de digestão.

Amostra	%N
PU 1011	19,52 %
PU 1012	21,11 %
PU 1013	22,70 %
PU 1037	19,64 %
PU 1038	20,19 %
PU 1039	21,40 %
PU 10310	20,29 %

**Tabela 7:** Quantidade de Nitrogênio liberada pelas amostras do ensaio de liberação.

Ensaio	Tempo	%N média Liberada
1	24h	(09,90 ± 0,66) %
	7d	(31,20 ± 0,73) %
	21d	(35,20 ± 0,18) %
	28d	(36,10 ± 0,04) %
2	24h	(04,50 ± 0,29)%
	7d	(27,30 ± 0,70) %
	21d	(37,80 ± 0,18) %
	28d	(39,30 ± 0,04) %

CONCLUSÕES

Como verificado pela caracterização porosimétrica e comprovado pela determinação de Nitrogênio total de digestão, é possível inocular macro e micronutrientes (e outras partículas) nos poros da perlita criogênica residual. Além disso, foi comprovado, também, que o material não sofreu perdas significativas por fogo. Dito isso, de acordo com a norma EN 13266:2001, o fertilizante especial desenvolvido se encaixa na categoria de fertilizantes de liberação lenta, dada a liberação média de menos de 7,5 % de Nitrogênio em 24 horas e menos de 38 % após 28 dias.

REFERÊNCIAS

AHMED, Ismail M.; HAMED, Mostafa M.; METWALLY, Sayed S. Experimental and mathematical modeling of Cr(VI) removal using nano-magnetic Fe3O4-coated perlite from the liquid phase. Chinese Journal of Chemical Engineering, v.28, n.6, p. 1582–1590, 2020. Disponível em: <<https://www.scopus-com.ez24.periodicos.capes.gov.br/record/display.uri?eid=2-s2.0-85084823392&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sot=b&sdt=b&s=ALL%2810.1016%2Fj.cjche.2019.12.027%29&sessionSearchId=b4bd8f8876d7821b50d1858d9088a24d>>. Acesso em: 2 jul. 2025.

CEON, **Extrativa mineral e de transformação - Anuário Estatístico do Brasil - IBGE**, Anuário Estatístico do Brasil - IBGE, disponível em: <<https://anuario.ibge.gov.br/2023/industria/extrativa-mineral-e-de-transformacao.html>>. acesso em: 12 jul. 2025.

HAMID REZA ROOSTA; AZAD, Hossein Sharifi; SEYED HOSSEIN MIRDEHGHAN, Comparison of the growth, fruit quality and physiological characteristics of cucumber fertigated by three different nutrient solutions in soil culture and soilless culture systems, **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, 2025.

JARQUÍN-ROSALES, Domitila; VALLE, José Raymundo Enríquez-del; ALPUCHE-OSORNO, Juan José; et al. Agave angustifolia bulbil growth in different substrates, with doses of fertigation and inoculation with Azospirillum brasilense. *Ciência Rural*, v. 53, n. 3, 2023. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/pWF7gdHSrDghLfmjRH4Dstv/?lang=en>>. Acesso em: 28 mar. 2023.

KHOSHRAFTAR, Zohreh; MASOUMI, Hadiseh ; GHAEMI, Ahad. On the performance of perlite as a mineral adsorbent for heavy metals ions and dye removal from industrial wastewater: A review of the state of the art. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 8, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016423000907#bib44>>. Acesso em: 24 fev. 2024.

NASERI, Elham; DALIR, Neda; MOKHTASSI-BIDGOLI, Ali; et al. Optimizing saffron cormlet production through substrate composition nutrient concentration and irrigation management in soilless cultivation. *Scientific Reports*, v. 15, n. 1, 2025. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-024-81282-5>>. Acesso em: 2 jul. 2025.

PANADDA RUNGRUENG; MONTREE HANKOY; METTAYA KITIWAN; et al. Fabrication and Characterization of Lightweight Aggregates with Expanded Perlite and NPK Nutrient Incorporation. *Open Ceramics*, v. 22, n. 2666-5395, p. 100790–100790, 2025. Disponível em: <[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666539525000574?pes=vor&utm\\_source=scopus&getft\\_integrator=scopus](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666539525000574?pes=vor&utm_source=scopus&getft_integrator=scopus)>. Acesso em: 2 jul. 2025.

TEIXEIRA, Paulo Cesar; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu ; FONTANA, Ademir ; et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>>. Acesso em: 1 jul. 2025.

**ANDA - Recursos**. ANDA. Disponível em: <<https://anda.org.br/recursos/#pesquisa-setorial>>. Acesso em: 12 jul. 2025.

Slow-release fertilizers. Determination of the release of the nutrients. Method for coated fertilizers. <https://www.en-standard.eu/bs-en-13266-2001-slow-release-fertilizers-determination-of-the-release-of-the-nutrients-method-for-coated-fertilizers/>: [s.n.], 2002.



T R A B A L H O 2 1

## **GESTÃO DE MATERIAIS PERIGOSOS SÓLIDOS NO DESCOMISSIONAMENTO DE EMBARCAÇÕES: IMPACTOS AMBIENTAIS E ESTRATÉGIAS DE RECICLAGEM**

**Misael Santini de Freitas**

**Denise de Castro Bertagnolli**

**Eduarda Campos Martins**

**José Mauro Moraes Junior**

**Juliana Rodrigues Lima dos Santos**

**Maria Eduarda Aguiar Mariano**

**Milene França**

**Newton Narciso Pereira**

**RESUMO:** Ao atingirem seu tempo de vida útil, embarcações e plataformas marítimas são encaminhadas para descomissionamento. Os materiais perigosos que fazem parte da estrutura das embarcações emergem como pontos de grande preocupação devido à complexidade de sua natureza química, o que os tornam um grande desafio para a reciclagem naval, para a saúde dos ecossistemas e da vida humana. Neste contexto, o presente trabalho caracteriza os materiais perigosos sólidos em termos de sua ocorrência em embarcações, os impactos ambientais e à saúde oriundos de seu manejo, e práticas emergentes para seu gerenciamento através de uma pesquisa bibliográfica exploratória. Os resultados sugerem a necessidade do atendimento às normatizações de reciclagem para garantir a destinação final ambientalmente adequada desses materiais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Convenção de Hong Kong; amianto; metais tóxicos; retardantes de chama; anti-incrustantes

## INTRODUÇÃO

Ao final de sua vida útil, que varia de 25 a 30 anos, embarcações e plataformas marítimas são encaminhadas para descomissionamento e reciclagem. A maior parte dos resíduos gerados é de sucata ferrosa reciclável, porém existem materiais perigosos que impõem uma série de riscos à saúde humana e aos ecossistemas marinhos e terrestres. Dentre esses materiais, encontram-se resíduos sólidos como amianto, metais tóxicos, retardantes de chama, tintas anti-incrustantes, entre outros (Du *et al.*, 2018).

O manejo seguro e eficiente desses materiais é essencial para mitigar os riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Estudos demonstram que grande parte das atividades de desmantelamento de embarcações ocorrem em regiões de países do Sul Asiático, como Bangladesh, Índia e Paquistão em função de vantagens concernentes à mão de obra barata e falta de regulamentações que controlem adequadamente esses processos (Lin *et al.*, 2022).

Evidencia-se, assim, a necessidade de atendimento a normatizações nacionais e internacionais para a gestão destes resíduos, como, por exemplo, a *Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)* no Brasil e *Convenção Internacional de Hong Kong para a Reciclagem Segura e Ambientalmente Adequada de Navios*, de 2009, que passou a vigorar em 26 de junho de 2025. O texto da Convenção determina que as partes envolvidas comprometem-se a minimizar, mitigar ou eliminar, da melhor forma possível, efeitos adversos sobre a saúde humana e o meio ambiente oriundos do processo de reciclagem naval (IMO, 2009).

Neste contexto, conhecer a natureza desses materiais perigosos e definir práticas seguras de gerenciamento de resíduos é essencial para mitigar e evitar consequências ambientais, como contaminação de solos, água e ar, bem como danos ocupacionais severos à saúde de trabalhadores expostos aos procedimentos perigosos de desmantelamento e às substâncias tóxicas.

## OBJETIVO

Evidenciar os desafios relacionados aos resíduos perigosos sólidos oriundos do processo de desmantelamento de embarcações, por meio da caracterização desses materiais, da identificação de seus principais locais de ocorrência e implicações à saúde e ao meio ambiente, bem como mapear as práticas de gerenciamento desenvolvidas atualmente.

## METODOLOGIA

Dado o caráter emergente da problemática em estudo, optou-se por uma pesquisa exploratória para investigação do tema, uma vez que esse tipo de pesquisa busca explorar temas pouco difundidos e lançar bases para estudos mais descritivos e aprofundados posteriormente (Hernández Sampieri; Collado; Lucio, 2013).

Sendo assim, analisou-se documentos e regulamentações nacionais e internacionais referentes ao tema, como o texto, anexos e resoluções relacionados à *Convenção Internacional de Hong Kong para a Reciclagem Segura e Ambientalmente Adequada de Navios*. Além disso, realizou-se uma busca por artigos com descritores de pesquisa na base de dados ScienceDirect, contendo os nomes dos materiais perigosos em análise e os processos de reciclagem, gerenciamento e destinação final.

Os resultados das buscas foram compilados, analisados e sintetizados para, então, serem apresentados a seguir.

## RESULTADOS

Durante o processo de desmantelamento/reciclagem de embarcações, os trabalhadores ficam sujeitos a diversos riscos ocupacionais em virtude do manejo das estruturas, como procedimentos de corte, manuseio e incineração. Além disso, esses procedimentos são responsáveis por liberar as substâncias tóxicas que podem ser inaladas e levar à contaminação desses trabalhadores.

O primeiro passo para o gerenciamento adequado dos resíduos é que a embarcação contenha um Inventário de Materiais Perigosos (IHM, do inglês *Inventory of Hazardous Materials*), conforme preconizado pela Convenção de Hong Kong aos seus signatários. A Resolução MEPC.379(80) apresenta as orientações para a listagem adequada de materiais perigosos tendo em vista mapear a presença destas substâncias desde o processo de construção da embarcação até seu desmantelamento após o fim de sua vida útil (IMO, 2023). Apesar disso, grande parte das embarcações atualmente encaminhadas para descomissionamento antecede essas regulamentações e, portanto, não possuem um IHM, o que dificulta o trabalho das recicladoras e pode representar um grande risco ao meio ambiente, à segurança ocupacional e à saúde dos trabalhadores.

Após a limpeza e desmonte das estruturas da embarcação, os materiais devem ser separados em duas classes: materiais não perigosos, que serão encaminhados para reciclagem e reutilização, a exemplo da sucata ferrosa, polímeros, itens da casaria, entre outros; e materiais perigosos, que deverão ser acondicionados e temporariamente armazenados, para então serem encaminhados para sua destinação final, que consiste, principalmente, em incineração e depósito em aterros industriais específicos para esse tipo de material.

A seguir são apresentadas algumas considerações voltadas aos resíduos sólidos de materiais perigosos oriundos do processo de reciclagem de uma embarcação.

## Amianto

Amianto, ou asbestos, é uma fibra composta por seis minerais pertencentes aos grupos das serpentinas e dos anfibólios. Seu uso foi amplamente disseminado em embarcações, especialmente, pelo seu desempenho como isolante térmico e em revestimentos, devido à sua elevada resistência química, durabilidade e propriedades isolantes (Girard, 2013).

Em embarcações descomissionadas, o amianto pode ser encontrado em diversos componentes, como revestimentos, cabos, juntas de conexão de tubos, além de estruturas como tetos, pisos e paredes, especialmente nas áreas de alojamento, cozinha e refeitório (Du *et al.*, 2018).

Grande parte das embarcações encaminhadas às instalações de reciclagem contém amianto do tipo amosita, pertencente ao grupo dos anfibólios, amplamente utilizado nas décadas de 1960 e 1970. Esse tipo de amianto é considerado o mais perigoso à saúde humana, em razão de sua morfologia, caracterizada por fibras retilíneas e em forma de agulhas, que podem penetrar com facilidade no sistema respiratório (Girard, 2013).

O uso prolongado de amianto em embarcações oferece consequências significativas tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana. Durante a atividade de reciclagem naval, o manuseio inadequado do material, considerado um dos poluentes atmosféricos mais perigosos, pode liberar fibras extremamente finas no ar, que podem ser facilmente inaladas pelos trabalhadores. Além disso, essas fibras podem se depositar no solo e atingir ambientes marinhos, contribuindo para a contaminação dos oceanos (Du *et al.*, 2018).

A exposição ao amianto pode causar danos severos à saúde a longo prazo, como asbestose (fibrose pulmonar), mesotelioma (câncer no revestimento pleural) e câncer de pulmão. Esses riscos são agravados pelo fato de muitos trabalhadores não utilizarem equipamentos de proteção individual (EPIs) durante as atividades de reciclagem naval (Du *et al.*, 2018).

Em dezembro de 2000, a Organização Marítima Internacional (IMO) aprovou emendas à Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), reconhecendo oficialmente os riscos à saúde representados pelo amianto para tripulações e demais pessoas a bordo. Tais emendas entraram em vigor em 2002, estabelecendo restrições progressivas ao uso do material em embarcações. A partir de 1º de janeiro de 2011, passou a ser proibida a presença de qualquer tipo de amianto em navios cuja construção tenha sido iniciada após essa data (IMO, 2002).

Algumas medidas podem ser adotadas com o objetivo de mitigar os impactos ambientais e à saúde causados pelos resíduos de amianto presentes em embarcações. Antes do início do processo de reciclagem naval, é fundamental que todo amianto seja removido da embarcação de forma segura. Para isso, podem ser implementadas as seguintes práticas (Du *et al.*, 2018):

- contratação de profissionais qualificados e treinados para o manuseio de resíduos perigosos;
- utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs) adequados e instrumentos específicos para manipulação e remoção segura do amianto;
- instalação de salas dedicadas especialmente para armazenamento das ferramentas e EPIs;
- durante os procedimentos para remoção do amianto, recomenda-se umedecer previamente os materiais contendo amianto, especialmente antes do corte, a fim de reduzir a dispersão de fibras no ar;
- os resíduos devem ser acondicionados em embalagens devidamente identificadas e umedecidas, e encaminhados para centros de tratamentos certificados, garantindo sua destinação final adequada e em conformidades com as normas vigentes.

## Retardantes de chama

Uma série de substâncias são utilizadas com a finalidade de conter chamas e evitar incêndios em uma embarcação, e são denominadas retardantes de chamas. Dentre as mais preocupantes, encontram-se as bifenilas policloradas (PCBs, do inglês *polychlorinated biphenyls*) e seus similares bifenilas polibromadas (PBBs) e éter difenilas polibromadas (PBDEs).

As PCBs são misturas de compostos orgânicos contendo a mesma estrutura química básica e propriedades físico-químicas semelhantes, sendo elas alta estabilidade, altos pontos de ebulição, além de atuarem como bons isolantes elétricos e não serem inflamáveis. Podem ser encontradas como líquidos espessos ou como sólido escuro e ceroso (Du *et al.*, 2018). Estas propriedades justificam seu uso extensivo na indústria naval como fluidos isolantes em transformadores e capacitores, mas também em suportes de borracha, plásticos isolantes, cabeamento elétrico, fitas e adesivos, mangueiras e juntas de borracha, dentre outros (IMO, 2023).

Já as PBBs foram produzidas por processos e com finalidades semelhantes às das PCBs como uma alternativa a partir do momento que o uso destas últimas foi proibido. Desse modo, as PBBs possuem propriedades e aplicações similares às PCBs, exceto pelo fato de que, historicamente, sua produção foi limitada. Sendo assim, podem ser encontradas, principalmente, em termoplásticos utilizados em equipamentos eletrônicos, como aparelhos de televisão, conectores elétricos, circuitos e projetores (Pieroni; Leonel; Fillmann, 2017).

Por sua vez, as PBDEs, apesar de uma composição química ligeiramente diferente das PCBs e PBBs, apresentam propriedades muito semelhantes e também foram extensamente aplicadas visando a contenção de chamas e a proteção de equipamentos eletroeletrônicos. Assim como PBBs, as PBDEs foram largamente empregadas no isolamento de fios e plásticos não inflamáveis, bem como na fabricação de espumas de poliuretano e acrilonitrila butadieno estireno (ABS) aplicadas em revestimentos plásticos, além de equipamentos elétricos de uso corriqueiro, como máquinas de lavar e secadoras de roupa (Pieroni; Leonel; Fillmann, 2017; IMO, 2023).

As PCBs, PBBs e PBDEs são considerados Poluentes Orgânicos Persistentes, em função de suas propriedades, como baixa solubilidade em água e alta permeabilidade por meios orgânicos, estes compostos contaminam águas, solos e ar, além de se acumularem no tecido adiposo de animais. Portanto, são bioacumulados e biomagnificados, ou seja, atingem os diferentes níveis tróficos das cadeias alimentares e afetam diversas espécies, incluindo os seres humanos. A estabilidade intrínseca desses materiais e sua resistência à degradação contribui para sua permanência no ambiente e sua disseminação pelos ecossistemas. A acumulação de PCBs, PBBs e PBDEs em organismos está associada a incidência de diversos tipos de câncer, doenças neurodegenerativas, disfunção do sistema endócrino e alterações reprodutivas (Du *et al.*, 2018; Pieroni; Leonel; Fillmann, 2017).

No que concerne aos materiais contendo essas substâncias, além dos procedimentos padrão relacionados ao uso de EPIs, contratação de pessoal qualificado e treinamento adequado, os resíduos sólidos são comumente cortados a frio e incinerados, tomando o devido cuidado de separar os resíduos de retardantes de chamas dos demais tipos de resíduos e jamais deixá-los no local em que foram desmantelados por muito tempo. Suas cinzas, após resfriamento, são armazenadas em sacos plásticos com material absorvente, como serragem, ou em tambores de aço, sendo essencial a devida rotulagem das embalagens com a identificação e características do conteúdo e sinal de aviso de material perigoso. Finalmente, esses resíduos devem ser transportados por empresas certificadas no manuseio de materiais perigosos e encaminhados a aterros industriais (Du *et al.*, 2018; Brasil, 2022).

## Tintas anti-incrustantes e metais tóxicos

Além dos resíduos citados anteriormente, outros resíduos sólidos perigosos são encontrados em embarcações e requerem um gerenciamento adequado. Dentre essas, destacam-se as tintas anti-incrustantes, amplamente aplicadas nos cascos de navios a fim de protegê-los das bioincrustações. No entanto, essas tintas contêm compostos orgânicos e inorgânicos potencialmente tóxicos, como tributilestanho (TBT) e metais tóxicos, que representam riscos significativos à saúde humana e ao meio ambiente.

Os principais metais tóxicos presentes nas tintas anti-incrustantes incluem cádmio, cromo e chumbo. Além desses, o mercúrio também pode ser encontrado em outros equipamentos presentes em embarcações (IMO, 2023). Esses elementos são amplamente reconhecidos por sua elevada toxicidade, além da capacidade de bioacumulação nos organismos e biomagnificação ao longo da cadeia alimentar. Como consequência, podem causar diversos efeitos adversos à saúde humana e provocar impactos significativos ao meio ambiente, especialmente por contaminação de corpos hídricos (Girard, 2013).

Além de tintas, os metais tóxicos podem estar presentes em outros equipamentos em uma embarcação a ser reciclada. O cádmio, por exemplo, pode ser encontrado em baterias, filmes de revestimento e rolamentos; o chumbo é utilizado em motores, geradores e revestimentos; o cromo pode estar presente em revestimentos de filmes; e o mercúrio em detectores de incêndio, baterias recarregáveis e dispositivos elétricos (IMO, 2023).

A exposição prolongada a metais tóxicos pode comprometer gravemente a saúde humana, afetando o sistema nervoso periférico, além de causar disfunções na audição, visão, rins, coração e sistema reprodutivo. Em exposições mais severas ou crônicas, esses metais também estão associados ao desenvolvimento de câncer, podendo inclusive levar à morte (Du *et al.*, 2018).

Dentre os compostos orgânicos, destaca-se o TBT, amplamente empregado em tintas anti-incrustantes devido a sua grande eficiência e durabilidade. Todavia, mesmo em baixas concentrações o TBT apresenta muitos efeitos adversos. O efeito mais estudado é o Imposex, que é o aparecimento de caracteres sexuais masculinos em fêmeas de gastrópodes. Além disso, o consumo de peixes contaminados representa uma ameaça real aos humanos (Sternberg *et al.*, 2009).

Devido à grande toxicidade, a Organização Marítima Internacional determinou a proibição de novas aplicações de tintas anti-incrustantes contendo tributilestanho em embarcações a partir de 2003 e a remoção e substituição de todos os revestimentos de embarcações contendo TBT no mundo todo até 2008 (IMO, 2023).

A fim de proteger a saúde e a segurança e prevenir a poluição ambiental nas instalações de reciclagem de navios, o tributilestanho entra na lista de materiais perigosos. Dessa forma, esse composto precisa estar presente no IHM para que as instalações de reciclagem de navios consigam identificar e gerenciar os resíduos de tintas anti-vegetativas (IMO, 2023).

O gerenciamento desses resíduos exige a adoção de etapas rigorosas, com o objetivo de mitigar os efeitos nocivos ao meio ambiente e à saúde humana. A primeira etapa consiste na remoção das lascas de tinta, conhecidas como *paint chips*,

que devem ser retiradas do casco da embarcação antes do corte da estrutura. Isso deve-se ao fato de que o corte é geralmente realizado com maçaricos (oxi-corte) atingindo elevadas temperaturas fazendo com que os elementos estejam presentes na forma de vapor, partículas metálicas e compostos tóxicos para a atmosfera (Du *et al.*, 2018).

Após a remoção, os resíduos de tinta devem ser enviados para incineração em instalações adequadas. Esse processo deve ocorrer em espaços controlados, com a utilização de ferramentas que evitem a liberação de poluentes atmosféricos, certificando a destruição segura das substâncias perigosas presentes nos resíduos. Esse processo não evita apenas a contaminação do solo e das águas, mas também atende às exigências de regulamentações vigentes (Girard, 2013).

## CONCLUSÕES

Diante da crescente demanda pela reciclagem de ativos marítimos, como embarcações e plataformas, este estudo buscou evidenciar que os materiais perigosos presentes nessas estruturas representam um dos maiores desafios para a sustentabilidade dos processos de reciclagem naval. Sua natureza química e complexa dificulta o manejo adequado, e a falta de transparência sobre sua distribuição e quantidade nos navios reforça a necessidade de se atender às exigências da Convenção de Hong Kong e o primeiro passo para tal é a adoção dos Inventários de Materiais Perigosos em cada embarcação, desde o planejamento para sua construção até sua destinação final após o desmantelamento.

Os impactos ambientais e à saúde associados ao descarte indevido de substâncias tóxicas, como o amianto, as PCBs e os metais tóxicos, reforçam a urgência dessa problemática. A análise da literatura também indicou que, apesar das normativas como as da Convenção de Hong Kong, a aplicação dessas diretrizes ainda enfrenta obstáculos práticos e políticos, especialmente em países em desenvolvimento.

Neste contexto, alinhar as práticas de reciclagem aos princípios da economia azul e de práticas mais sustentáveis torna-se imprescindível para o manejo adequado de embarcações ao fim de sua vida útil. Promover o gerenciamento seguro destes e de outros materiais perigosos é, portanto, não apenas uma questão de conformidade às normativas, mas um compromisso com o futuro dos oceanos e da humanidade e com a construção de cadeias produtivas mais sustentáveis no setor marítimo.

Assim, com o presente estudo caracterizou-se os principais resíduos perigosos sólidos que podem emergir do processo de reciclagem naval em termos de materiais em que são encontrados e os impactos ambientais e à saúde associados a eles. Além disso, foram levantadas práticas de gerenciamento relatadas na literatura atual e recomendadas pelas normativas internacionais, visando orientar processos mais seguros e ambientalmente adequados de descomissionamento.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Manual de Gestão de PCB para equipamentos elétricos: detentores e destinadores**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2022.

DU, Z. *et al.* Hazardous materials analysis and disposal procedures during ship recycling. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 131, p. 158–171, 2018.

GIRARD, J., E. **Princípios de Química Ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. del P. B. **Metodologia de Pesquisa**. 5.ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

IMO. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **MSC/Circ.1045 – Guidelines for maintenance and monitoring of on-board materials containing asbestos**. 2002.

IMO. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **Hong Kong International Convention for the Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships**. 2009.

IMO. INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **Resolution MEPC.379(80)**. 2023.

LIN, L. *et al.* Hazardous waste from the global shipbreaking industry: Historical inventory and future pathways. **Global Environmental Change**. v. 76, p. 102581, 2022.

PIERONI, M. C.; LEONEL, J.; FILLMANN, G. Retardantes de chama bromados: uma revisão. **Química Nova**, v. 40, n. 3, p. 317–326, 2017.

STERNBERG, R. *et al.* Environmental-endocrine control of reproductive maturation in gastropods: Implications for the mechanism of tributyltin-induced imposex in prosobranchs. **Ecotoxicology (London, England)**, v. 19, p. 4–23, 2009.



T R A B A L H O 2 2

## GESTÃO DESCENTRALIZADA DA ÁGUA POTÁVEL EM PEQUENAS CIDADES: TECNOLOGIAS APROPRIADAS E EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

Antônio Cláudio Moura Ferreira de Souza

Pedro Peixoto Gjorup

Vicente Paulo Santos de Oliveira

**RESUMO:** O presente estudo tem como objetivo identificar e analisar tecnologias de baixo custo utilizadas para o tratamento e o abastecimento de água potável em pequenas cidades e regiões em desenvolvimento, bem como avaliar os impactos sociais, sanitários e ambientais decorrentes de sua implementação. Por meio de uma revisão sistemática da literatura científica internacional, foram selecionados e analisados dez estudos que abordam soluções como filtros cerâmicos, biosand filters, desinfecção solar, fitorremediação, biochar de bambu, cloração doméstica e plataformas de monitoramento open-source. Os resultados apontam que tais tecnologias se destacam por sua simplicidade, custo reduzido, possibilidade de produção local e alto potencial de aceitação comunitária. A articulação entre soluções técnicas, participação social e estratégias de educação sanitária mostrou-se essencial para a eficácia e sustentabilidade dos projetos analisados. A discussão é especialmente relevante para o município de Tanguá (RJ), onde parte significativa da população rural enfrenta dificuldades no abastecimento hídrico, evidenciando a necessidade de adoção de soluções apropriadas e replicáveis. Este estudo contribui, assim, para a formulação de políticas públicas e iniciativas locais que visem à universalização do direito à água com equidade e eficiência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tecnologias apropriadas; Abastecimento rural; Tratamento de água.

### INTRODUÇÃO

O acesso à água potável em regiões rurais e em desenvolvimento permanece como um dos principais desafios globais do século XXI, conforme evidenciado pelas metas da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, em especial o Objetivo

de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 6. Em muitas comunidades, sobretudo em pequenas cidades e áreas rurais, a cobertura de serviços de abastecimento de água é parcial, instável ou inexistente, agravando as vulnerabilidades sociais e sanitárias de populações já marcadas pela exclusão territorial e econômica.

Nesse cenário, ganha centralidade a discussão sobre tecnologias de baixo custo, apropriadas ao contexto local, que permitam garantir o direito humano à água potável mesmo diante de limitações financeiras, técnicas e institucionais. Soluções ponto de uso, sistemas descentralizados e o aproveitamento de recursos naturais têm sido explorados em diversas partes do mundo como alternativas eficazes e sustentáveis. Contudo, a adoção dessas tecnologias exige mais do que viabilidade técnica: demanda também aceitabilidade social, simplicidade de operação, gestão comunitária e políticas públicas de apoio.

A literatura científica internacional oferece um conjunto significativo de experiências bem documentadas que reforçam essas premissas. Thompson (2015) e Sombei et al., (2025) destacam filtros cerâmicos, biosand filters e desinfecção solar como soluções eficazes em áreas rurais da África. Chaturvedi e Dave (2012) apontam a combinação de aeração e filtração como alternativa viável para a remoção de ferro da água. Nayar e Patel (2021) e Jungan et al., (2022) demonstram o potencial de plantas aquáticas e biochar de bambu como estratégias naturais de purificação. Wijan et al., (2014), por sua vez, chamam atenção para o papel do monitoramento descentralizado e de baixo custo com uso de tecnologias open source, ampliando o empoderamento comunitário.

No Brasil, o município de Tanguá, localizado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, apresenta um caso emblemático. Embora possua rede pública de abastecimento, diversas localidades rurais e bairros periféricos sofrem com a intermitência e até mesmo a falta de abastecimento de água, contaminação de fontes alternativas e a ausência de soluções públicas eficazes. A realidade local impõe a necessidade de reflexão sobre modelos de abastecimento e tratamento que sejam acessíveis, sustentáveis e adequados às especificidades do território.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo responder à seguinte questão: Quais tecnologias de baixo custo têm sido utilizadas para a gestão e o abastecimento de recursos hídricos em pequenas cidades ou regiões em desenvolvimento, e quais impactos sociais, sanitários e ambientais têm sido relatados em sua implementação? A partir de uma revisão sistemática da literatura internacional e da análise das potencialidades locais, o estudo pretende contribuir para o desenho de estratégias replicáveis que possam apoiar o planejamento hídrico em municípios como Tanguá, com vistas à universalização do direito à água de forma equitativa, participativa e sustentável.

## METODOLOGIA

A fim de atingir o objetivo desta pesquisa, foi realizada uma revisão sistemática com enfoque na abordagem qualitativa, sendo estruturada conforme o protocolo PRISMA - Preferred Reporting items for Systematic Reviews and Meta-Analysis, que consiste em um conjunto de diretrizes utilizadas para assegurar a transparência; a reprodutibilidade, e a padronização na condução e na apresentação de revisões sistemáticas e meta-análises (Moher *et al.*, 2009). Sua aplicação proporciona maior rigor científico, permitindo uma síntese qualitativa e quantitativa mais robusta.

Para essa revisão, o protocolo foi adotado para orientar todas as etapas do estudo, que consistiu em um checklist com 27 itens e um fluxograma com quatro etapas: identificação, seleção, elegibilidade e inclusão (Moher *et al.*, 2009).

### Identificação

A etapa da identificação consistiu na formulação strings de busca padronizada, utilizando operadores booleanos e termos controlados, de forma aplicada nas bases de dados Scopus e Web of Science (WoS). As buscas foram realizadas entre abril e junho de 2025, utilizando os seguintes descritores (Quadro 1): "(“Low-cost technologies”, “appropriate technologies”, “low cost solutions”), (“water resources management”, “water supply”, “drinking water”), (“small towns”, “small cities”, “developing regions”, “rural areas”), com os operadores booleanos “OR” e “AND”.

As strings de busca utilizadas, foram construídas com base em termos recorrentes da literatura sobre políticas de abastecimento de água e tecnologias de baixo custo, buscando assegurar a especificidade da matéria. Os termos foram extraídos de revisões anteriores e adaptados à realidade da pesquisa, cujo foco reside na compreensão do papel do abastecimento hídrico e na indução do desenvolvimento regional em localidades não metropolitanas.

Quadro 1: String de busca usadas nas bases.

Base	Strings de busca
Scopus	(“Low-cost technologies” OR “appropriate technologies” OR “low cost solutions”) AND (“water resources management” OR “water supply” OR “drinking water”) AND (“small towns” OR “small cities” OR “developing regions” OR “rural areas”)
WoS	TS=(“Low-cost technologies” OR “appropriate technologies” OR “low cost solutions”) AND TS= (“water resources management” OR “water supply” OR “drinking water”) AND TS= (“small towns” OR “small cities” OR “developing regions” OR “rural areas”)

Fonte: Autoria própria.

A busca inicial resultou na identificação de 36 artigos, os registros foram exportados em csv., e submetidos a uma triagem, correspondente aos critérios de alinhamento temático estabelecidos previamente. As referências identificadas foram armazenadas e organizadas por meio do software de gerenciamento Zotero.

## Seleção

A fase de seleção consistiu em uma triagem preliminar dos 36 artigos levantados, com o objetivo de selecionar apenas aqueles que apresentassem pertinência direta com a questão problema da pesquisa. Para alcançar os resultados esperados, nas bases de dados foram aplicados os filtros automáticos baseados na ocorrência de termos-chaves, bem como filtros referentes ao tipo de documento – artigo; o filtro de idioma para português e inglês; o filtro temporal não foi utilizado. Por fim, foram excluídos os artigos duplicados.

## Elegibilidade

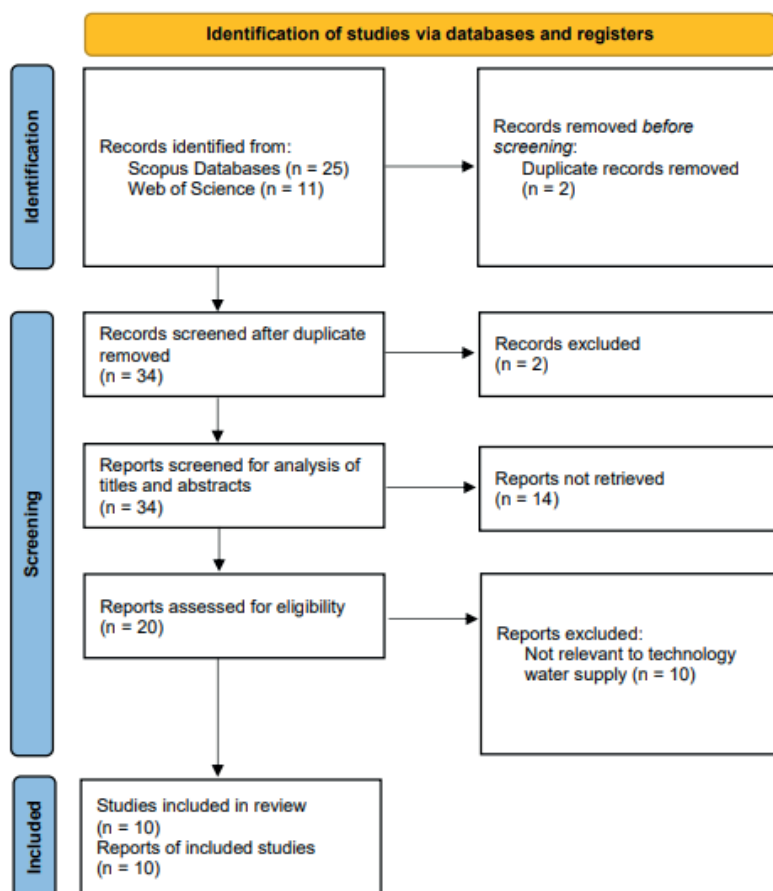
A terceira fase foi conduzida através da leitura dos títulos (topics), resumos (abstracts) e, quando necessário, das palavras-chave (keywords) de cada artigo.

Os critérios de triagem foram definidos a partir da delimitação temática da revisão, considerando-se como potencialmente relevantes os estudos que abordasse pelo menos dois dos seguintes eixos: Tecnologias de baixo custo/Desenvolvimento regional ou local/Aplicações de abastecimento hídrico voltadas para cidades pequenas ou médias, regiões periféricas ou contexto de países emergentes. Com estes critérios, foram identificados os artigos relevantes que se encontraram disponíveis para leitura nas bases de dados.

## INCLUSÃO

O processo de inclusão requereu a leitura integral dos artigos selecionados, a fim de que se identificasse os trabalhos que se adequavam a temática da revisão. Deste modo, a Figura 1 buscou identificar todos os 10 artigos selecionados através de um fluxograma.

Figura 1: PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases and registers only



Fonte: Page MJ, et al. BMJ 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão sistemática consistiu na consolidação dos estudos elegíveis que atendessem integralmente aos critérios estabelecidos, utilizando-se das strings de busca para alcançar o objeto do trabalho. Deste modo, foram identificados 25 artigos na base de dados da Scopus, bem como, 11 artigos na base da Web of Science (WoS). A pesquisa resultou em um montante de 36 artigos, sendo certo que dentre deles foram excluídos 2 artigos duplicados. O total de artigos, após a exclusão das

duplicatas, fora ajustado para 34, dentre estes, apenas 10 se encontravam dentro do escopo do projeto, abordando temas pertinentes com múltiplos enfoques sobre a relação entre tecnologias de baixo custo e o abastecimento hídrico, com destaque para estudos de caso aplicados a cidades de pequeno e médio porte e regiões rurais.

A fim de apresentar a síntese dos dados extraídos, bem como, com o intuito de identificar padrões e ampliar a diversidade metodológica e geográfica dos estudos incluídos, fora realizada a identificação destes, através da Tabela 1. A organização se deu a partir de detalhamento dos seguintes fatores; Título; Periódico; Citação. Após, os artigos foram pormenorizados e seus principais resultados foram elucidados.

Tabela 1: Artigos selecionados.

Nº	Título	Periódico	Citação
	A critical review of water purification technology appropriate for developing contries: Northern Ghana as a case study	Desalination and water treatment	(Thompson, 2015)
	Removal of iron for safe drinking water	Desalination and water treatment	(Chaturvedi; Dave, 2012)
	Appropriate Technologies for environmental hygiene	Proceedings of the royal society of London. Series B, Biological Science	(McGarry, 1980)
	Appropriate sanitation technology for the decade in Africa	The journal of the royal society for the promotion health	(Diamant, 1984)
	The EMWater Project – Promotin efficient wastewater management and reuse in mediterranean contries	Desalination and water treatment	(Petta; Kramer; Al Baz, 2007)
	Challenges for water supply and sanitation in developing countries: Case studies from Zimbabwe	Undestanding and managing urban water in transition	(Nhapi, 2015)
	Rural water quality monitoring and exploring low-cost treatment technology with water hyacinth	Edelweiss applied Science and technology	(Nayar; Patel, 2021)
	Determination of suitable biochar precursor as alternative for enabling access to clean water supply in rural areas	Journal of sustainability Science and management	(Jungan et al., 2022)
	A review of low-cost point-of-use water tratment solutions in resource limited settings	Water	(Sombei et al., 2025)
	Open source mobile water quality testing platform	Journal of water, sanitation and hygiene for development	(Wijnen; Anzalone; Pearce, 2014)

Fonte: Autoria própria.

## **A CRITICAL REVIEW OF WATER PURIFICATION TECHNOLOGY APPROPRIATE FOR DEVELOPING COUNTRIES: NORTHERN GHANA AS A CASE STUDY**

O acesso à água potável permanece um desafio crítico em diversas regiões do mundo, sobretudo em países em desenvolvimento, onde restrições financeiras e déficits de infraestrutura tornam inviável a adoção de tecnologias de tratamento convencionais. Nesse contexto, o estudo de Thompson (2015) se insere como uma contribuição importante ao comparar criticamente diferentes alternativas tecnológicas de baixo custo aplicáveis a comunidades rurais, utilizando o Norte de Gana como cenário representativo de desafios globais.

As principais tecnologias avaliadas no estudo foram; Filtros de areia de fluxo lento: destacados pela robustez e eficiência na remoção de partículas e patógenos, com custo moderado e operação relativamente simples; Desinfecção solar (SODIS), tecnologia extremamente barata e de fácil aplicação, porém condicionada a níveis altos de radiação solar e resistência cultural quanto à percepção de segurança da água tratada; Filtros cerâmicos, reconhecidos pela eficácia contra contaminantes microbiológicos, baixo custo unitário e produção local em algumas regiões, embora apresentem limitações em termos de vazão.

O estudo evidencia que nenhuma solução única atende plenamente aos critérios de eficácia, custo e aceitação em todos os contextos. No entanto, filtros cerâmicos e filtros de areia destacam-se como alternativas prioritárias devido ao equilíbrio entre custo acessível, eficiência microbiológica e operação simples. O artigo forneceu soluções tecnológicas que podem ser adaptadas a um contexto local e de baixo custo para garantir acesso sustentável à água potável em países em desenvolvimento, ou localidades periféricas.

## **REMOVAL OF IRON FOR SAFE SAFE DRINKING WATER**

A contaminação por ferro representa um dos problemas mais frequentes na qualidade da água subterrânea destinada ao consumo humano. Além de comprometer características sensoriais como cor, sabor e odor, o excesso de ferro pode provocar entupimento de tubulações e redução da eficiência de sistemas de distribuição. Em regiões rurais e comunidades economicamente vulneráveis, a busca por tecnologias de remoção de ferro de baixo custo e de operação simplificada é essencial para promover acesso seguro e universal à água potável.

Desta forma, os autores avaliaram uma variedade de métodos incluindo; Aeração e sedimentação, processo físico que promove a oxidação do ferro férrico e sua deposição por gravidade e a absorção em carvão ativado e zeólitas, que apresentaram bons resultados em concentrações moderadas de ferro, mas com custos superiores e necessidade de regeneração periódica.

O estudo demonstrou que a aeração combinada com a filtração representa a opção mais prática e economicamente viável para comunidades rurais, sobretudo quando a concentração de ferro não excede limites moderados. Os métodos químicos identificados no estudo demonstram alta eficiência de remoção, mas custos e riscos de dosagem inadequada restringindo sua aplicação em sistemas domésticos e pequenos sistemas comunitários. Por fim, os autores ainda levantam a hipótese da utilização de métodos biológicos, que são vistos como soluções promissoras, porém, ainda requerem estudos aprofundados sobre eficiência e segurança sanitária.

A pesquisa de Chaturvedi e Dave (2012) constitui uma contribuição relevante ao sistematizar conhecimentos sobre tecnologias de remoção de ferro, oferecendo diretrizes práticas para sua seleção. A priorização de métodos como aeração e filtração, de baixo custo e baixa complexidade, é particularmente relevante para regiões em desenvolvimento e áreas rurais.

## **APPROPRIATE TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENTAL HYGIENE**

A desigualdade no acesso à água potável e ao saneamento básico continua sendo um dos maiores desafios de saúde pública nos países em desenvolvimento. Em muitas regiões rurais, projetos convencionais de infraestrutura centralizada tornam-se inviáveis devido a custos elevados, complexidade de operação e déficit de recursos humanos qualificados. Nesse contexto, o estudo de McGarry (1980) oferece uma perspectiva pioneira sobre tecnologias apropriadas que aliam simplicidade operacional, uso de materiais locais e participação comunitária.

O estudo analisa diversas soluções tecnológicas apropriadas, entre as quais se destacam; Bombas manuais de baixo custo – modelos desenvolvidos na África e Ásia, com componentes locais (PVC, concreto e madeira impregnada) e Filtração lenta e declining rate filtration – utilização de leitos de areia para remoção de turbidez e bactérias.

Os pesquisadores buscaram ressaltar que tecnologias apropriadas devem ser concebidas e testadas de forma local, a fim de garantir aderência cultural e viabilidade operacional. Essa contribuição evidenciou que os sucessos de projetos de saneamento ambiental dependem não apenas de desing técnico, mas também de fortalecimento institucional local, participação ativa da comunidade e estratégias de educação sanitária continuada.

## **APPROPRIATE SANITATION TECHNOLOGY FOR THE DECADE IN AFRICA**

O déficit histórico de acesso a serviços de água potável e saneamento básico em países em desenvolvimento motivou a criação da Década Internacional de Abastecimento de Água e Saneamento (1981-1990), um dos programas mais ambiciosos das Nações Unidas. A África, especialmente a região subsaariana, apresentava os indicadores mais alarmantes, com mais de 80% da população rural sem cobertura adequada. Nesse contexto, Diamant (1984) discute soluções técnicas e apropriadas, que conciliam baixo custo, uso de materiais locais e simplicidade de operação.

A pesquisa realizada descreveu soluções técnicas e estratégicas de implantação de latrinas ventiladas de fossa melhoradas (VIP) e fossas permanentes (PIP) – sistemas com ventilação e vedação para reduzir odores e proliferação de vetores. Entretanto, Diamant critica a priorização exclusiva de projetos de abastecimento de água, sem o planejamento paralelo de saneamento, deste modo, aconselhou que seria eficaz a viabilização de programas de conscientização e treinamento para uso correto e consciente das instalações.

O trabalho representa uma contribuição valiosa para o debate sobre saneamento rural e abastecimento de água em regiões rurais, antecipando preocupações que se mantêm atuais, destacando a importância de modelos de baixo custo que permitam a produção e implantação em massa, bem como a necessidade de planejar simultaneamente o abastecimento e saneamento, evitando assim, a contaminação de fontes de água.

## **THE EMWATER PROJECT – PROMOTING EFFICIENT WASTEWATER MANAGEMENT AND REUSE IN MEDITERRANEAN COUNTRIES**

O crescente déficit hídrico em regiões do Mediterrâneo e do Oriente Médio motivou o desenvolvimento de estratégias integradas para o gerenciamento racional dos recursos hídricos. O projeto EMWater, financiado pelo programa MEDA da União Europeia, visou ampliar o acesso à água por meio da modernização de sistemas de tratamento de esgoto e da promoção do reuso seguro das águas residuais. O estudo de Petta et al., (2007) descreve a implementação de pilotos tecnológicos, a criação de redes regionais de cooperação e a formulação de diretrizes políticas para estimular adoção de soluções apropriadas.

O projeto EMWater procurou avaliar a escassez hídrica, a contaminação de fontes e a baixa cobertura de esgoto, bem como a identificação de barreiras normativas e técnicas de reuso agrícola. As unidades-piloto Líbano e Jordânia utilizaram sistemas

de lodo ativado com processos terciários (filtração e desinfecção por UV/cloração) – Palestina e Turquia utilizaram sistemas integrados anaeróbicos (ABR ou UASB) combinados com tratamento aeróbico (RBC ou wetlands. A utilização desses sistemas por unidades agrícolas só foi possível através da demonstração da viabilidade das tecnologias de baixo custo adaptadas as zonas rurais, bem como, a produção de conhecimento local e o fortalecimento das capacidades técnicas e administrativas locais.

A pesquisa demonstrou que a EMWater representa uma iniciativa relevante ao propor soluções de gestão e reuso de efluentes em regiões com alto estresse hídrico. A experiência reforça que as tecnologias de baixo custo e a operação simplificada são essenciais para contextos rurais e periurbanos. O reuso agrícola requer estratégias de sensibilização e regulamentação adaptadas ao contexto sociocultural.

## **CHALLENGES FOR WATER SUPPLY AND SANITATION IN DEVELOPING COUNTRIES: CASE STUDIES FROM ZIMBABWE**

O acesso limitado à água potável e ao saneamento básico figura entre os principais desafios sanitários e de desenvolvimento na África Subsaariana. No Zimbábue, o colapso econômico e a deterioração das infraestruturas públicas, a partir do ano 2000, culminaram em uma crise sanitária severa, evidenciada pelo surto de cólera que afetou quase 100 mil pessoas. O TRABALHO de Nhapi (2015) analisa, de maneira ampla, os fatores históricos, institucionais e técnicos que levaram a essa crise e os esforços de recuperação posteriores.

O estudo identificou fatores críticos que impactaram negativamente o setor de água e saneamento no Zimbábue, como por exemplo: A urbanização acelerada (4% ao ano) resultou na expansão de assentamentos informais sem serviços básicos; A crise econômica que ocorrera entre 2000 e 2008, hiperinflação, retração do PIB e redução drástica de investimentos que comprometeram a infraestrutura de abastecimento e o êxodo de profissionais qualificados.

Deste modo, Nhapi (2015) evidenciou que a crise humanitária que ocorreu nos Zimbábue, decorreu de fatores econômicos, institucionais e técnicos, destacando a necessidade de políticas públicas integradas que combinem saneamento e abastecimento de água, bem como a implementação de tecnologias apropriadas de baixo custo. Esse estudo reforça a importância de estratégias de resiliência que garantam a sustentabilidade financeira e capacidade institucional em cenários de desenvolvimento urbano e expansão populacional.

## RURAL WATER QUALITY MONITORING AND EXPLORING LOW-COST TREATMENT TECHNOLOGY WITH WATER HYACINTH

A contaminação de fontes de água por efluentes domésticos e industriais representa um desafio crítico para regiões rurais em países em desenvolvimento. O aumento da urbanização e o uso intensivo de fertilizantes agravam a degradação da qualidade da água, tornando urgente o desenvolvimento de soluções de tratamento economicamente viáveis. O estudo revisado propõe o uso do jacinto-d'água como ferramenta de biorremediação, dada sua reconhecida capacidade de absorver nutrientes e metais pesados.

O estudo reportou reduções significativas em todos os parâmetros contaminantes, conforme aponta a tabela 1:

Tabela 01: Resultados dos parâmetros

Parâmetro	Amostra 1 (100% Água de Torneira)	Amostra 2 (100% Água de Poço Artesiano)	Amostra 3 (Água + Jacinto-d'água)
pH	7,92 → 7,44	8,78 → 7,43	–
Condutividade Elétrica (EC)	-	1218 µmho/cm → 943 µmho/cm	1046 µmho/cm → 441 µmho/cm
Demanda Bioquímica de Oxigênio (BOD)	-	44,6 mg/L → 22,8 mg/L	39,8 mg/L → 18,3 mg/L
Oxigênio Dissolvido (DO)	4,68 mg/L → 6,4 mg/L	–	9,2 mg/L (máximo)
Turbidez		5,26 NTU → 2,36 NTU (mínima)	–

Fonte: Autoria própria.

O trabalho destaca que o sistema radicular do jacinto d'água funciona como superfície de adesão e digestão de partículas suspensas e coloidais, enquanto a fotossíntese promove aumento do oxigênio dissolvido. A investigação realizada por Nayar e Patel (2021), contribui para o entendimento do potencial do jacinto-d'água como tecnologias de purificação de baixo custo. Os resultados demonstraram reduções significativas em indicadores críticos de poluição, reforçando seu uso em contextos rurais.

# DETERMINATION OF SUITABLE BIOCHAR PRECURSORS AS ALTERNATIVE FOR ENABLING ACCESS TO CLEAN WATER SUPPLY IN RURAL AREAS

O acesso à água potável em áreas rurais continua sendo um estrutural em diversas regiões do mundo. Na Malásia, comunidades remotas dependem frequentemente de água de montanha não tratada, cuja qualidade oscila em função das chuvas e da erosão do solo. O estudo buscou investigar o biochar como uma solução econômica e acessível, dada sua reconhecida capacidade de absorção de contaminantes e sua produção a partir de resíduos agroflorestais.

Os resultados apontaram que o bambu foi o precursor mais adequado, pois apresentou: Rendimento de biochar de 32,8%, considerado economicamente viável; Área superficial BET elevada (317 m<sup>2</sup>/g), comparável ao carvão ativado; Alta capacidade de absorção de azul de metileno (0,99 mg/g); Integridade estrutural em água, sem liberação de finos ou turvação; pH alcalino (9,7), favorecendo absorção de cátions.

Em comparação, outros precursores apresentaram restrições (tabela 02);

Tabela 02: Comparação entre precursores

Precursor	Rendimento >30%	Integridade em água	Remoção >90% de MB	Equilíbrio em 2h
Bambu	Sim	Sim	Sim	Sim
Casca de arroz	Sim	Sim	Sim	Não
Folhas secas	Não	Sim	Sim	Não
Serragem	Não	Não	Sim	Sim
Galhos/Lascas	Não	Não	Não	Sim

Fonte: autoria própria.

O estudo de Jungan et al., (2022) demonstra que o biochar de bambu apresenta características físico-químicas e de absorção promissoras para uso com material filtrante em sistemas descentralizados. As principais vantagens incluem; produção local com baixo custo; segurança do material (ausência de contaminantes sintéticos); alta capacidade de remoção de compostos orgânicos.

## A REVIEW OF LOW-COST POINT-OF-USE WATER TREATMENT SOLUTIONS IN RESOURCE-LIMITED SETTINGS

Em contextos rurais e periurbanos, onde sistemas centralizados de tratamento de água são financeiramente e tecnicamente inviáveis, as tecnologias ponto de uso emergem como solução pragmáticas para ampliar o acesso à água potável. O trabalho de Sombei et al., (2025) reúne evidências atualizadas sobre soluções acessíveis e adaptáveis a comunidades vulneráveis, sendo altamente pertinente ao debate contemporâneo sobre ODS 6 e direito humano à água.

Desta forma, o estudo identificou que: Filtros cerâmicos e biosand possuem o melhor equilíbrio entre eficácia e aceitabilidade; A desinfecção solar apresenta potencial massivo de escala, mas enfrenta limitações climáticas e culturais; Cloração doméstica permanece a estratégia mais custo-efetiva, embora precisa de programas educativos; Absorventes naturais emergem como alternativas promissoras, sobretudo quando combinados com filtração mecânica.

O trabalho de Sombei et al., (2025) representa uma síntese robusta e atualizada sobre tecnologias de baixo custo ponto de uso, oferecendo subsídios essenciais para programas públicos de abastecimento descentralizado, projetos de organizações não governamentais e iniciativas de empreendedorismo social.

## OPEN-SOURCE MOBILE WATER QUALITY TESTING PLATFORM

A qualidade de água é determinante para a saúde pública e deve ser acompanhada com frequência, especialmente em sistemas descentralizados e comunidades vulneráveis. No entanto, kits comerciais de testes laboratoriais são caros e inacessíveis para muitas regiões rurais. O estudo de Wijen et al., propõe uma solução inovadora: a construção de um kit portátil, open-source e de baixo custo, baseado em componentes impressos em 3D e sensores reutilizáveis, que pode ser operado por usuários com pouca capacitação técnica.

Inicialmente, de acordo com a pesquisa de Wijen, o custo estimado do aparelho estaria na casa dos US\$55 dólares (em contraste com kits do mercado que estão acima dos US\$300 dólares); O dispositivo tem uma precisão de medição equivalente aos equipamentos encontrados no mercado – Turbidez  $R^2 > 0,99$  e pH > condutividade com variação <5% em testes repetidos. Operabilidade básica, com sistemas compatíveis com smartphones e tablets, captação de energia via USB.

Este estudo representa uma contribuição inovadora ao campo da tecnologia social e ambiental. A proposta de um kit portátil e replicável, com custo drasticamente reduzido, abre possibilidades concretas para projetos comunitários de gestão de água, monitoramento escolar, por comitês de bacia ou cooperativas, e avaliações rápidas em emergência e zonas rurais sem acesso a laboratórios.

## Discussão dos artigos

A presente revisão sistemática analisou um conjunto diversificado de estudos que abordam tecnologias de baixo custo aplicadas à gestão da água em contextos de vulnerabilidade socioeconômicas, buscando compreender quais soluções têm sido implementadas e quais impactos têm sido relatados. De maneira geral, os trabalhos convergem quanto à necessidade de alternativas adaptadas ao contexto local, com fácil manutenção, baixo custo de implantação e alto potencial de aceitação comunitária.

Thompson (2015) destaca, a partir do estudo de caso do norte de Gana, a eficiência de filtros cerâmicos, filtros de areia e da desinfecção solar como tecnologias que, apesar das limitações operacionais, apresentam forte aderência às condições locais. Essa constatação é reforçada por Chaturvedi e Dave (2012), que analisam a remoção de ferro da água potável em regiões rurais, apontando que a combinação de aeração e filtração lenta pode ser eficiente e economicamente viável.

Na mesma direção, McGarry (1980) e Diamant (1984) resgatam experiências pioneiras com tecnologias apropriadas na África Subsaariana e na Ásia, como bombas manuais de baixo custo, latrinas compostáveis e integração entre saneamento e produção de alimentos. Ambos reforçam a importância da produção local, da capacitação comunitária e da educação sanitária como condições de sucesso.

A preocupação com a sustentabilidade institucional também está presente no estudo de Petta, Kramer e Al Baz (2007), que relatam o projeto EMWater como um exemplo de integração entre soluções técnicas e formação de redes locais. A implantação de unidades-piloto de tratamento de efluentes em países mediterrâneos mostra a viabilidade de tecnologias descentralizadas, embora com desafios na manutenção e resistência cultural ao reuso.

No caso do Zimbábue, Nhapi (2015) oferece um diagnóstico dos impactos do colapso institucional sobre a qualidade da água, ressaltando a importância de sistemas comunitários de gestão e tecnologias como bombas manuais e latrinas ventiladas. Essa experiência reforça o papel da governança local e da resiliência técnica em contextos de crise.

A utilização de recursos naturais locais como elementos de tratamento ganha destaque no estudo de Nayar e Patel (2021), que demonstram o potencial do jacinto-d'água na redução de contaminantes físicos-químicos da água. A fitorremediação se apresenta como uma opção promissora, de baixo custo e com mínima dependência de insumos externos.

Jungan, Lim e Tan (2022) exploram essa mesma lógica de aproveitamento de materiais acessíveis ao avaliar diferentes biomassas para produção de biochar. O estudo conclui que o bambu apresenta melhor desempenho absorvivo e estabilidade para uso em sistemas comunitários.

Sombie et al., (2025) consolidam uma visão ampla sobre as tecnologias ponto de uso mais aplicadas em regiões de baixa renda. Filtros cerâmicos, biosand e cloração doméstica se destacam pela eficácia e relativa simplicidade, mas também pela necessidade de programas de educação sanitária e monitoramento.

Complemento a perspectiva técnica, Wijen, Anzalone e Pearce (2014) introduzem o debate sobre o monitoramento comunitário da qualidade de água, por meio de plataformas open-source e impressoras em 3D. A inovação tecnológica, quando acoplada à autogestão local, amplia a capacidade de vigilância e resposta rápida a contaminações.

A articulação entre esses estudos permite identificar pontos de consenso relevantes (i) a importância do contexto local como base para a escolha tecnológica; (ii) a relação entre tecnologia, educação e participação comunitária; (iii) o papel das soluções descentralizadas e modulares para regiões com infraestrutura precária; e (iv) o potencial de materiais naturais e de tecnologias de baixo custo no tratamento e monitoramento da água.

Neste sentido, os resultados desta revisão se alinham à realidade de pequenas cidades brasileiras como Tanguá (RJ), onde há registros de falhas no abastecimento hídrico em áreas periurbanas e falta do abastecimento nas zonas rurais. O estudo de caso realizado no município mostra que soluções centralizadas tem dificuldade de cobertura universal, tornando urgente a discussão sobre tecnologias apropriadas, de fácil manutenção e com possibilidade de gestão comunitária. A partir da experiência internacional, torna-se possível pensar em propostas viáveis e replicáveis, como o uso de biochar, filtros cerâmicos, fitorremediação com plantas aquáticas e plataformas comunitárias de monitoramento, adaptadas às condições de Tanguá.

## CONCLUSÃO

A partir da análise sistemática dos estudos revisados, é possível responder de maneira fundamentada à questão ora abordada na presente pesquisa – diversas tecnologias de baixo custo têm sido aplicadas com sucesso em pequenas cidades e regiões em desenvolvimento para o tratamento e abastecimento de água potável, incluindo filtros cerâmicos (Thompson, 2015; Sombei et al., 2025), biosand filters (Sombei et al., 2025), desinfecção solar (Thompson, 2015), cloração doméstica (Chaturvedi e Dave, 2012; Sombei et al., 2025), biochar de bambu (Jungan et al., 2022), fitorremediação com jacinto-d'água (Naya e Patel, 2021) e dispositivos de monitoramento open source (Wijen et al., 2014).

Os impactos relatados nos estudos vão além dos aspectos sanitários, como a redução de contaminantes e de surtos de doenças hídricas (Nhapi, 2015), abrangendo também aspectos sociais, como a participação comunitária (McGarry, 1980; Diamant, 1984), e ambientais, com aproveitamento de materiais locais e redução da pegada ecológica (Jungan et al., 2022; Nayar e Patel, 2021).

A presente pesquisa reveste-se de especial relevância para o município de Tanguá (RJ), onde a população rural enfrenta dificuldades recorrentes de abastecimento de água em zonas rurais. A síntese das evidências internacionais permite fundamentar a proposição de soluções adequadas ao contexto local, reforçando a necessidade de políticas públicas voltadas à implantação de tecnologias apropriadas e à capacitação de atores comunitários para garantir a sustentabilidade dos sistemas. Em suma, a revisão sistemática aqui realizada contribui para a construção de um modelo replicável e socialmente justo de acesso à água potável em regiões de vulnerabilidade hídrica.

## REFERÊNCIAS

CHATURVEDI, S.; DAVE, P. N. *Removal of iron for safe drinking water*. Desalination, v. 303, p. 1–11, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.07.003>.

DIAMANT, B. Z. *Appropriate sanitation technology for the decade in Africa*. The Journal of the Royal Society of Health, v. 104, n. 3, p. 85–90, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1177/146642408410400303>.

JUNGAN, K.; LIM, L. L. P.; TAN, I. A. W. *Determination of suitable biochar precursor as alternative for enabling access to clean water supply in rural areas*. Journal of Sustainability Science and Management, v. 17, n. 6, p. 66–78, 2022. DOI: <https://doi.org/10.46754/jssm.2022.06.006>.

MCGARRY, M. G. *Appropriate technologies for environmental hygiene*. Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, v. 209, n. 1174, p. 37–46, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.1980.0061>.

MOHER, D. et al. *Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement*. PLoS Med, v. 6, n. 7, e1000097, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.

NAYAR, R.; PATEL, R. *Rural water quality monitoring and exploring low-cost treatment technology with water hyacinth*. Edelweiss Applied Science and Technology, v. 5, n. 1, p. 9–13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33805/2576-8484.188>.

NHAPI, I. *Challenges for water supply and sanitation in developing countries: case studies from Zimbabwe*. In: GRAFTON, R. Q. et al. (Org.). *Understanding and managing urban water in transition*. Dordrecht: Springer, 2015. p. 91–119. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9801-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9801-3_4).

PETTA, L.; KRAMER, A.; AL BAZ, I. *The EMWater Project — Promoting efficient wastewater management and reuse in Mediterranean countries*. Desalination, v. 215, p. 56–63, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.10.027>.

SOMBEL, D. C. et al. *A review of low-cost point-of-use water treatment solutions in resource-limited settings*. *Water*, v. 17, n. 12, p. 1827, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/w17121827>.

THOMPSON, M. *A critical review of water purification technology appropriate for developing countries: Northern Ghana as a case study*. *Desalination and Water Treatment*, v. 54, n. 13, p. 3487–3493, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.922309>.

WIJNEN, B.; ANZALONE, G. C.; PEARCE, J. M. *Open-source mobile water quality testing platform*. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, v. 4, n. 3, p. 532–537, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2166/washdev.2014.137>.



T R A B A L H O 2 3

## IMPACTOS DAS MARÉS METEOROLÓGICAS NOS NÍVEIS DE ÁGUA NO SISTEMA LAGUNAR DE JACAREPAGUÁ SOB INFLUÊNCIA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Monica Frickmann Young Buckmann

Laura Aguilera

Paulo Cesar C. Rosman

Verônica S. de Andrade

**RESUMO:** O Sistema Lagunar de Jacarepaguá é a área costeira mais vulnerável do Brasil, devido à alta densidade populacional e atividades econômicas relevantes. As mudanças climáticas intensificam o risco de inundações, com aumento do nível do mar, chuvas fortes e marés meteorológicas. Neste estudo foram analisados diferentes cenários combinando variações de batimetria (atual e após dragagem), marés astronômicas e meteorológicas e vazões fluviais. Os resultados indicam que a maré meteorológica tem o maior impacto nas cotas máximas d'água, superando os demais fatores. A dragagem proposta melhora a renovação hídrica por meio do aumento do prisma de maré, contribuindo para a qualidade da água. Os cenários de mudanças climáticas tornarão o Sistema mais vulnerável a inundações, ao mesmo tempo em que potencialmente melhorarão a qualidade da água do sistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vulnerabilidade costeira; Mudanças climáticas; Modelagem Computacional

### INTRODUÇÃO

O Sistema Lagunar de Jacarepaguá (22°59'11.72"S; 43°23'43.68"W), está localizado na região metropolitana do Rio de Janeiro, a área costeira mais vulnerável do Brasil devido à sua alta densidade populacional e importantes atividades econômicas.

O Maciço da Pedra Branca, o Maciço da Tijuca e o oceano, limitam a área de macrodrenagem de 280km<sup>2</sup> de Jacarepaguá, que representa 25% da área total

da cidade do Rio de Janeiro. As lagoas Marapendi, Tijuca, Camorim e Jacarepaguá formam o Sistema Lagunar. As Lagoas Jacarepaguá e Tijuca se comunicam através da chamada Lagoa Camorim, que na verdade é um canal. Através do Canal de Marapendi, a Lagoa de Marapendi se interliga à Lagoa da Tijuca, que tem comunicação direta com o mar através do Canal da Joatinga, Figura 1.



Fig. 1. Vista aérea do Sistema Lagunar de Jacarepaguá do Google Earth.

Como foi descrito, as Lagoas estão interligadas e tem uma comunicação direta com o mar, tornando salobra a água da lagoa e sendo diretamente influenciadas pelas variações do nível do mar geradas pela maré. O aumento do nível do mar combinado com chuvas fortes, tempestades da ordem de 80 cm e a condição real de assoreamento que foi criada após um episódio de precipitação extrema em 1996, aumentam a exposição da área e a probabilidade de inundação das áreas baixas circundantes.

O Sistema Lagunar de Jacarepaguá passou por um grande crescimento populacional nas últimas décadas, tendo seus moradores praticamente triplicados em 40 anos, e as novas áreas urbanizadas se expandiram sem um planejamento urbano adequado. A consequência dessa falta de planejamento foi o surgimento de muitas comunidades com condições precárias de urbanização e construções irregulares sem saneamento básico, o que causou uma enorme degradação ambiental no sistema lagunar. Além disso, a ocupação das encostas e faixas marginais de rios e lagoas ocorreu sem um planejamento e infraestrutura adequados, (Masterplan,

2013). A condição real de assoreamento, ilustrada na Figura 2, dificulta a troca da água do corpo lagunar e da água do mar, criando problemas de qualidade da água no sistema onde as velocidades são lentas. Para melhorar a qualidade da água, o Conselho Municipal do Rio de Janeiro desenvolveu um projeto de dragagem, (Masterplan, 2013). Este trabalho considera a batimetria final projetada para a maioria dos casos de estudo.



Fig. 2. A situação de assoreamento da Lagoa da Tijuca. Foto de Mario Moscatelli (09/2019).

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), até 2100 a temperatura global aumentará mais de 1°C e, portanto, o nível médio do mar (MSL) pode atingir uma altitude de 18 a 79 cm. Além disso, estudos mostram que nas últimas décadas o nível médio do mar aumentou de 4 para 6 mm por ano. Considerando as vulnerabilidades costeiras e hidrológicas da zona estudada, é importante avaliar o efeito potencial do aumento do nível do mar nas áreas costeiras, uma vez que intensifica os problemas relacionados à intrusão salina e inundações. Outro problema importante associado ao nível da água no sistema lagunar é o entupimento do sistema de drenagem, que pode causar problemas como inundações, propagação de doenças e pragas de insetos e outros animais.

O governo desenvolveu diferentes programas para proteger e adaptar a cidade aos desafios futuros. Um deles foi o “Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Cidade do Rio de Janeiro” (Câmara Municipal do Rio de Janeiro, 2016), que foi realizada com o objetivo de estudar como as mudanças climáticas poderiam afetar a cidade e estabelecer algumas estratégias para mitigar seus impactos futuros. Este estudo faz parte deste programa, com foco na área do Sistema Lagunar de Jacarepaguá e sua vulnerabilidade frente às mudanças climáticas.

O objetivo principal deste trabalho é analisar como o aumento do nível do mar, somado às marés meteorológicas, vazões extremas dos rios e mudanças na batimetria da própria lagoa, influenciam o nível da água do Sistema Lagunar de Jacarepaguá. Especialmente nas áreas mais populosas do entorno do sistema, identificar as áreas mais vulneráveis para as diferentes batimetrias lagunares e estudar o impacto na qualidade da água das variáveis estudadas.

## MÉTODOS

Esta seção apresenta os diferentes cenários de modelagem e a metodologia.

### Cenários

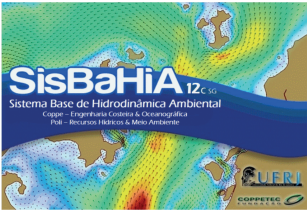
A subida do nível médio do mar associada ao fenômeno das marés de tempestade e ao aumento das chuvas vai elevar os níveis de água dos rios que drenam para as lagoas e, conseqüentemente, aumentar o risco de inundações. Para avaliar o efeito dessas variáveis na vulnerabilidade do sistema lagunar, foram estabelecidos cenários de mudanças climáticas para 2040. Os cenários consideram diferentes variações no aumento do nível do mar, maré meteorológica, hidrogramas e batimetria dos rios, conforme listado em Mesa 1.

De acordo com o aumento do nível do mar, os casos são separados nos cenários atuais, sem aumento do nível do mar; cenários prováveis com elevações do nível do mar de 10 cm em 2040, assumindo um aumento do MSL de 4 mm/ano; e cenários pessimistas com elevações de 15 cm assumindo um aumento do nível do mar de 6 mm / ano. Esses cenários combinam a ocorrência de maré de tempestade: SS0 considera nenhuma maré de tempestade; SS1 e SS2 incluem uma maré de tempestade sintética com forma senoidal e um pico máximo de 0,4 m e 0,8 m, respectivamente. Diferentes hidrogramas de rios são incluídos para cada combinação representada por: RP25, um hidrograma sintético para um período de retorno de 25 anos; 1,1 RP25 e 1,2 RP25 que considera o hidrograma de RP25 aumentaram 10% e 20% respectivamente. Os cenários consideram duas batimetrias distintas: o caso atual de 2014 como a batimetria medida a partir de uma campanha de campo de 2014 e a batimetria dragada que considera a batimetria planejada do projeto de dragagem.

Tab. 1. Cenários de modelagem.

	Modelo	Elevação do nível do mar (m)	Maré Meteorológica	Hidrogramas	Batimetria
Cenário atual - 2016	Caso 1	0	SS0	RP 25	Dragado
	Caso 2	0	SS1	RP 25	Dragado
	Caso 3	0	SS2	RP 25	Dragado
Cenário provável - 2040	Caso 4	0.1	SS0	1.1 RP 25	Dragado
	Caso 5	0.1	SS1	1.1 RP 25	Dragado
	Caso 6	0.1	SS2	1.1 RP 25	Dragado
Cenário pessimista - 2040	Caso 7	0.15	SS0	1.2 RP 25	Dragado
	Caso 8	0.15	SS1	1.2 RP 25	Dragado
	Caso 9	0.15	SS2	1.2 RP 25	Dragado
	Caso 10	0.15	SS2	1.2 RP 25	2014

Modelagem Computacional



As simulações computacionais foram realizadas com o SisBaHiA (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental): um sistema profissional de modelos computacionais, cadastrado pela Fundação Coppetec, desenvolvido para projetos, estudos e gestão ambiental de recursos hídricos, (Rosman, 2024).

O Sistema Lagunar de Jacarepaguá é considerado verticalmente homogêneo no espaço e no tempo. Consequentemente, foi utilizado o Modelo Hidrodinâmico 2DH, um modelo hidrodinâmico da linha FIST (Filtrado no Espaço e no Tempo), otimizado para corpos d’água naturais com vazão não sensível à baroclinicidade vertical (ROSMAN, 2015). Dentro da formulação matemática utilizada destacam-se as seguintes características:

- Resolver as equações completas de Navier-Stokes, considerando a abordagem de águas rasas (aproximação da pressão hidrostática) e a aproximação de Boussinesq.
- Aplicar modelagem de turbulência baseada em técnicas semelhantes às empregadas na Simulação de Grandes Vórtices (LES - Large Eddy Simulation).
- Utiliza a Equação de Estado, de acordo com a fórmula de Eckart.
- No Módulo 2DH, as equações de conservação de quantidade, movimento e equação de continuidade são calculadas em vertical (fluxo bidimensional).

A formulação numérica do modelo hidrodinâmico emprega o Método dos Elementos Finitos com elementos biquadráticos Lagrangeanos sub-paramétricos, para discretização horizontal especial. A discretização temporal é feita por meio de um esquema numérico implícito de diferenças finitas. Os efeitos de inundação e secagem do domínio foram modelados pelo Método Poroso-Rugoso (Rosman, 2015).

## Malha de elementos finitos

Os contornos do domínio foram definidos por meio de imagens do Google Earth. A discretização do domínio utilizou 2514 elementos quadráticos, sendo 2359 quadrangulares e 155 triangulares, contendo 11436 nós de cálculo, Figura 3. A malha é mais refinada em canais de dragagem.

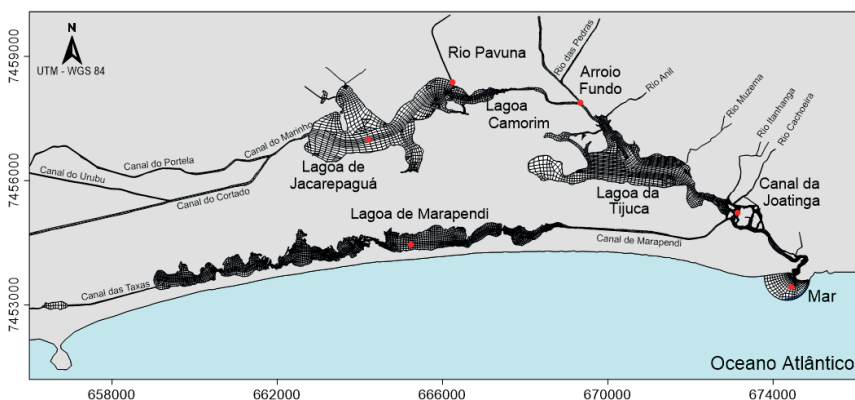


Fig. 3. Malha quadrática de elementos finitos implementada no SisBaHiA e localização das estações.

## DADOS AMBIENTAIS

A seção apresenta os dados ambientais usados nos cenários de modelagem.

### Batimetria

(INEA, 2015) forneceu os dados de batimetria do sistema lagunar considerado para o domínio da modelagem, incluindo os canais de dragagem projetados. A batimetria dos dados marítimos foi obtida através da carta náutica 1506 (1:75.000), da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. Os dados de batimetria referem-se ao nível médio do mar de -0,2 m, correspondendo ao Datum Imbituba do IBGE.

A Figura 4 mostra o domínio com os dados batimétricos gerais, com detalhes dos canais dragados destacados na Figura 5.

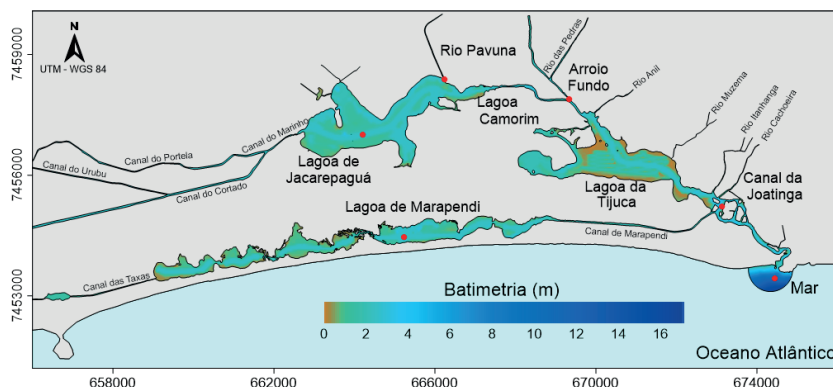


Fig. 4. Batimetria do Sistema Lagunar de Jacarepaguá referiu-se ao IBGE Datum Imbituba, implantado no SisBaHiA.

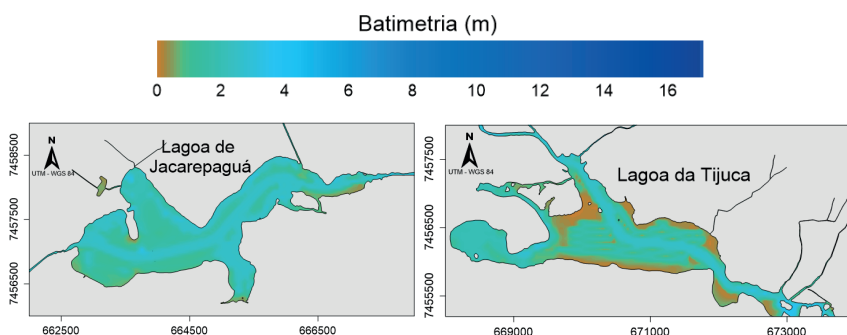


Fig. 5. Detalhe da batimetria nas Lagoas Jacarepaguá e da Tijuca.

## Rugosidade equivalente do fundo

A rugosidade equivalente do fundo refere-se ao tipo de sedimento do leito presente no corpo d'água e, ao mesmo tempo, às formas do fundo moldadas pelo fluxo. De acordo com o MASTERPLAN (2013), o fundo do Sistema Lagunar é composto por lodo na Lagoa da Tijuca e areia média nas demais lagoas e canais. (Rosman, 2015) recomenda um valor de 0,001m para representar a rugosidade equivalente do leito de silte e 0,020m para representar a areia média. A Figura 6 mostra a variação espacial da rugosidade adotada na modelagem.

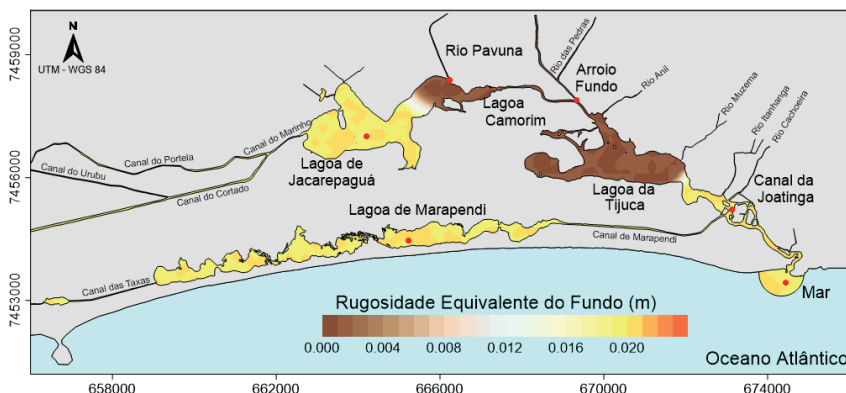


Fig. 6. Distribuição da rugosidade equivalente do fundo usada na modelagem.

## Marés

Marés astronômicas e marés meteorológicas sintéticas foram adicionadas para gerar condições extremas do nível do mar. Marés meteorológicas que sobem e descem acima do nível médio do mar (MSL) em aproximadamente 8 dias com amplitudes de 0,8 m e 0,4 m, e as curvas do nível do mar resultantes foram impostas na fronteira aberta. Esses casos representam a passagem de uma tempestade coincidindo com uma maré de sizígia equinocial.

A Figura 7 mostra um exemplo da maré simulada usada para o Caso 9. Esta curva é a condição de contorno para a fronteira aberta no mar (linha vermelha). A linha azul escura indica a maré meteorológica sintética de 0,80m de pico máximo, e a linha azul clara representa a maré astronômica. O valor da subida do nível do mar considerado neste cenário foi de 0,15m.

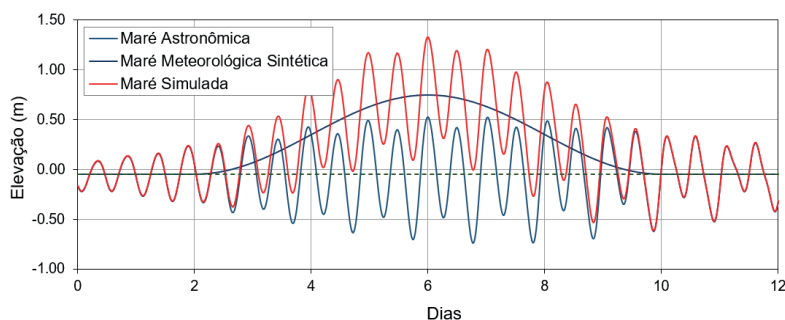


Fig. 7. Curva sintética de maré meteorológica ao longo da simulação de 12 dias para o Caso 9.

## Hidrogramas de afluentes

Os principais rios contribuintes da bacia hidrográfica do Complexo Lagunar de Jacarepaguá, originados das encostas dos Maciços da Pedra Branca e da Tijuca, estão descritos a seguir de acordo com a respectiva lagoa receptora.

1. Lagoas Jacarepaguá/Camorim: Canal da Portela, Urubu Chanel, Canal do Cortado, Vargem Pequena, Cancela, Calembá, Marinho, Camorim, Caçambê, Pavuninha e Arroio Pavuna.
2. Lagoa da Tijuca: Rios Arroio Fundo, Anil, Rio das Pedras, Muzema, Itanhangá, Cachoeira.
3. Lagoa de Marapendi: Canal das Taxas.

Os hidrogramas dos principais afluentes consideraram um período de 12 dias com o pico da cheia coincidindo com as maiores elevações da maré final de cada caso. São hidrogramas sintéticos para um período de retorno de 25 anos acrescido de 10% no cenário Provável e 20% no cenário Pessimista.

Para os Canais da Portela, Cortado e Urubu foram adotados 70%, 20% e 10% do hidrograma do Rio Marinho, respectivamente. Com base no Masterplan (2013) para o Rio Itanhangá a precipitação média considerada foi de  $0,0693 \text{ m}^3/\text{s}$  e para o Canal das Taxas foi de  $0,0046 \text{ m}^3/\text{s}$ . Esses valores são vazões médias do período de chuvas calculadas por um Método Racional. A Figura 7 mostra exemplos de hidrogramas de alguns rios com atraso de horas em relação ao pico da maré na estação Mar.

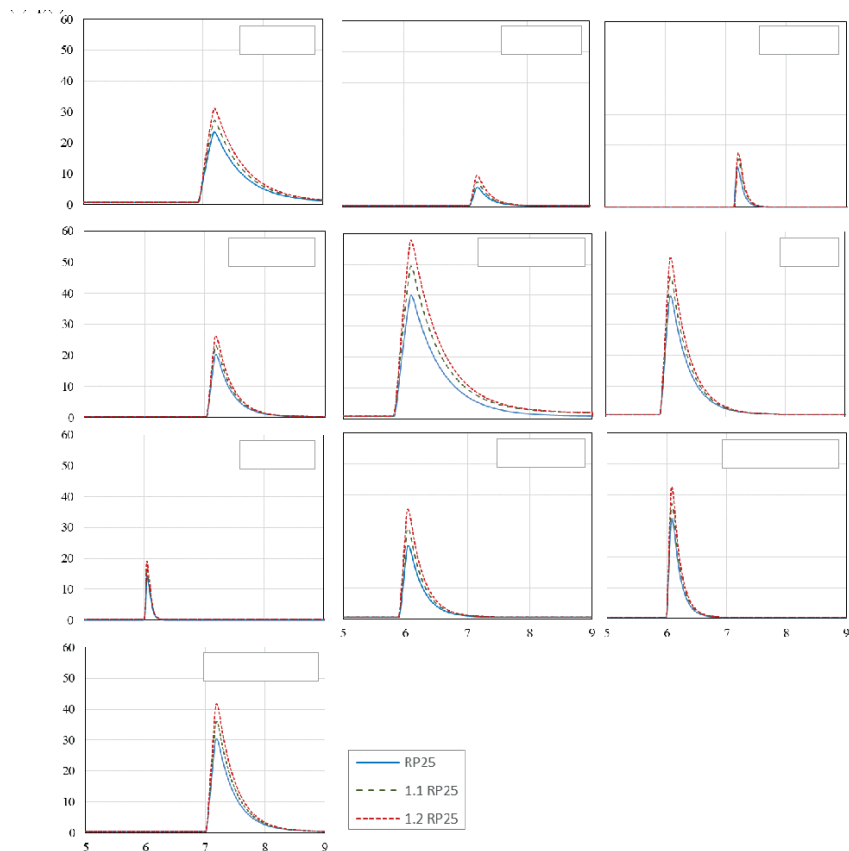


Fig. 7. Hidrogramas para os principais rios tributários do sistema com atraso em dias em relação ao pico da maré na estação do Mar.

## RESULTADOS

O estudo hidrodinâmico calculou o prisma de maré e investigou as elevações máximas e o tempo de ocorrência nas estações selecionadas. As elevações máximas ocorreram nos casos 9 e 10.

A maré meteorológica produziu elevações máximas, com um aumento médio de 0,73 m quando ocorreu o aumento de 0 m a 0,80 m. A situação atual de assoreamento, representada pelo Caso 10, produz maiores elevações de água na lagoa mais interna.

O nível da foz do sistema de drenagem urbana próximo ao Sistema Lagunar de Jacarepaguá foi estabelecido pela Câmara Municipal em 0,92m acima do nível médio do mar (Rio Águas, 2010). Os locais onde os níveis de água calculados ficaram

acima de 0,92 m serão inundadas e o sistema de drenagem será bloqueado. Os sistemas de drenagem próximos a esses locais são potencialmente vulneráveis a problemas devido a inundações.

Os resultados do prisma de maré do sistema lagunar, para todos os casos, indicam que ele é mais sensível a tempestades e vazões do rio do que a mudanças no nível médio do mar. Esta conclusão decorre da variação da resistência ao escoamento devido à rugosidade do fundo. O prisma das marés, como esperado, é aumentado quando a maré de tempestade aumenta e é reduzido quando o fluxo do rio aumenta.

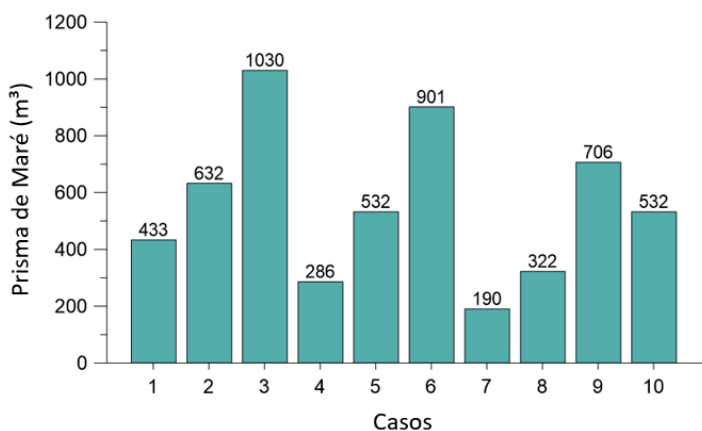


Fig. 8. Prisma de maré calculado no Canal da Joatinga.

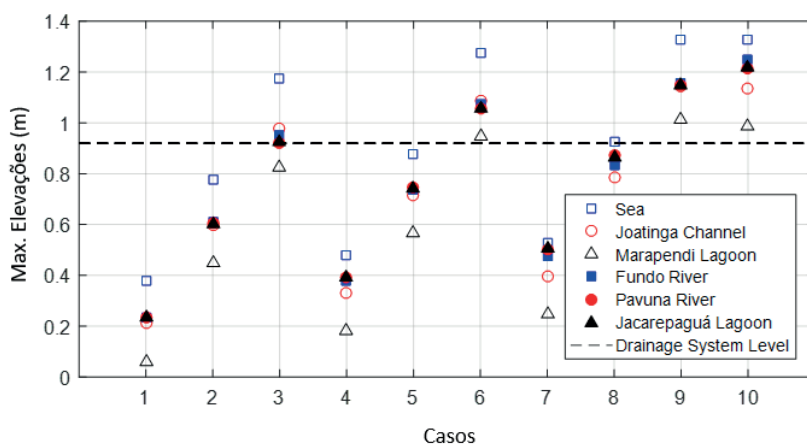


Fig. 9. Elevações máximas nas estações especificadas.

Foram calculados os intervalos de tempo entre a ocorrência da elevação máxima em cada estação e a elevação máxima na estação Sea. Os maiores intervalos de tempo ocorreram nas margens norte do sistema lagunar, a área mais populosa próxima à água, variando de 13 a 17 horas, nos Casos 3, 6, 9 e 10. Assim, haveria tempo de alerta suficiente para a população, ações para evitar inundações poderiam ser tomadas e o bloqueio do sistema de drenagem poderia ser controlado. Portanto, para fins de alerta, um sistema de monitoramento do nível da água em tempo real deve ser instalado próximo à estação Sea.

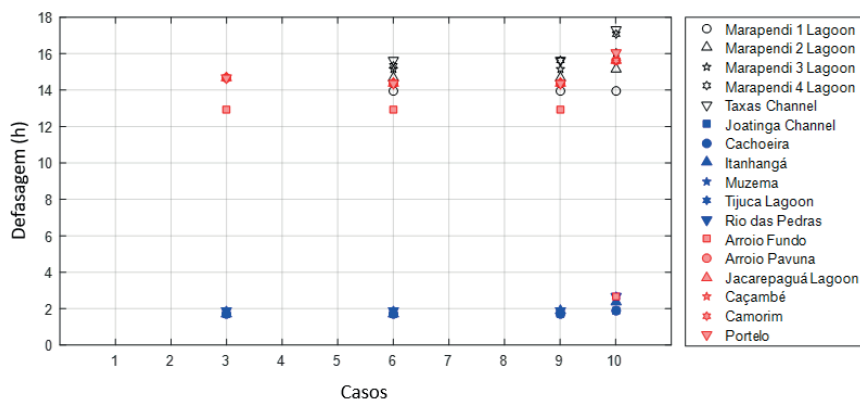


Fig. 10. Intervalo de tempo para as elevações máximas superiores ao limite do sistema de drenagem, em comparação com o tempo da elevação máxima da água na Estação Marítima.

## CONCLUSÃO

Considerando diferentes cenários de agentes hidrológicos, meteorológicos e oceanográficos no Sistema Lagunar de Jacarepaguá, a maré meteorológica tem o maior impacto nas elevações máximas de água no interior das lagoas, superando o impacto do aumento do nível médio do mar, vazão do rio e alterações na batimetria.

O projeto de dragagem planejado permitiria uma melhor renovação da água nas lagoas, devido a um prisma de maré mais alto, e reduziria em cerca de 7,3 cm a elevação máxima na parte norte e mais povoada do sistema. Finalmente, futuras mudanças climáticas que envolvem aumento do nível do mar, maiores marés meteorológicas e fluxos fluviais mais fortes, tornarão o Sistema Lagunar de Jacarepaguá mais vulnerável em termos de possíveis inundações, mas melhorarão a qualidade da água do sistema.

## REFERÊNCIAS

City Council of Rio de Janeiro (2016). "Climate Change Adaptation Strategy for the City of Rio de Janeiro". Centro de Estudos Sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas.

Falcão, M.M. (1995). "Estudo da Circulação Hidrodinâmica no Sistema Lagunar de Jacarepaguá". M.Sc. Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Inea (2015). "Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) das obras de prolongamento do molhe existente na entrada do Canal da Joatinga e as melhorias da circulação hídrica do Complexo Lagunar de Jacarepaguá". Inea – Instituto Estadual do Ambiente.

Masterplan (2013). "Relatório Ambiental Simplificado das Obras de Recuperação Ambiental do Complexo Lagunar de Jacarepaguá". Masterplan – Consultoria de Projetos e Execução Ltda. Rio de Janeiro, p.450.

Rio Águas (2010): "Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana", Prefeitura da Cidade de Rio de Janeiro. Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas – Rio Águas.

Rosman, P.C.C. (2024). "Referência técnica do SisBaHiA, Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental". Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia - RJ. < [www.sisbahia.coppe.ufrj.br](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br) >.

Rosman, P.C.C. (2015). "Recuperação Ambiental do Complexo Lagunar de Jacarepaguá – RJ / R1 – Relatório de Caracterização Hidrodinâmica e Intrusão Salina na Situação Atual". Fundação Coppetec, PENO19330, Rio de Janeiro.



## TR A B A L H O 2 4

# INOVAÇÃO SOCIOAMBIENTAL NA GESTÃO PÚBLICA: ANÁLISE SWOT DO APRIMORAMENTO DA COLETA SELETIVA EM PARCERIA COM COOPERATIVA DE CATADORES

Maria Carolina Santos

Clarisse Budakian Aramian

Leonardo Magia Rodrigues

Nicolý Muniz dos Santos

**RESUMO:** Este artigo analisa o aprimoramento do Programa de Coleta Seletiva Cidadã de instituição pública federal de pesquisa no Rio de Janeiro, com apoio técnico de uma cooperativa de catadores, à luz do Decreto nº 11.414/2023 e do PL nº 3.995/2024. A metodologia combinou pesquisa-ação e análise SWOT, integrando investigação científica e prática colaborativa, e promoveu diagnóstico estratégico, redesenho de fluxos, capacitação e maior segregação de recicláveis. Os resultados revelam fortalecimento institucional, inclusão socioprodutiva e práticas alinhadas à governança pública e aos princípios ESG. A abordagem colaborativa reafirma o potencial transformador de parcerias entre Estado e atores locais, com impactos que superam os objetivos iniciais. A experiência, em consonância com metas dos ODS (8.3, 10.2 e 12.5), oferece subsídios para replicação do modelo em outros contextos institucionais, consolidando a coleta seletiva como instrumento de inovação, sustentabilidade e justiça social.

**PALAVRAS-CHAVE:** Programa de Coleta Seletiva Cidadã; Pesquisa-ação; Análise SWOT; Cooperativa de Catadores; Sustentabilidade institucional.

## INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a responsabilidade socioambiental no setor público brasileiro tem impulsionado iniciativas voltadas à gestão adequada dos resíduos sólidos nas instituições federais. Nesse contexto, a implementação e o aprimoramento de Programas de Coleta Seletiva Cidadã vêm

se consolidando como instrumentos fundamentais para a redução dos impactos ambientais adversos, a promoção da logística reversa, a contribuição para o fortalecimento da cadeia produtiva da reciclagem e a inclusão socioeconômica de catadores. No âmbito da gestão pública brasileira, essas ações estão amparadas em normativos que orientam e incentivam a celebração de parcerias com cooperativas e associações de catadores como forma de promover a economia circular, fortalecer cooperativas, melhorar condições de trabalho, e o fomento a coleta seletiva e a logística reversa, reconhecendo os catadores como protagonistas na cadeia da reciclagem nacional.

Este artigo analisa o processo de aprimoramento do Programa de Coleta Seletiva em uma Instituição Pública Federal de Pesquisa (IPFP), situada na cidade do Rio de Janeiro, a partir da consultoria técnica realizada por uma cooperativa de catadores. A proposta foi concebida com base nas diretrizes do Decreto Pró-Catador (decreto nº 11.414/23) e visa tanto a melhoria da gestão interna de resíduos quanto a integração de princípios de responsabilidade socioambiental à rotina institucional.

A abordagem metodológica adotada foi a pesquisa-ação, que se caracteriza pela articulação entre investigação científica e ação prática, com a participação ativa dos atores envolvidos (THIOLLENT, 2011). A iniciativa se destaca pela adoção de uma perspectiva colaborativa, pelo reconhecimento da experiência prática de catadores de materiais recicláveis, integrando múltiplos saberes no redesenho da gestão de resíduos recicláveis de uma instituição de pesquisa o que reforça a função educativa e transformadora da coleta seletiva no serviço público. A análise dos resultados foi estruturada por meio da matriz SWOT, ferramenta estratégica que permite identificar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças associadas ao processo de implementação e aos seus desdobramentos institucionais e sociais (DAYCHOUW, 2007).

Com base nesse panorama, o aprimoramento do Programa de Coleta Seletiva na IPFP revela a articulação entre normativos nacionais e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente no que se refere à redução da geração de resíduos (ODS 12.5), à promoção da inclusão social e econômica dos catadores (ODS 10.2) e ao incentivo ao trabalho digno, ao empreendedorismo e à inovação (ODS 8.3). Essa convergência evidencia o potencial das instituições públicas como agentes estratégicos na promoção da sustentabilidade, da justiça social e da transformação institucional.

## OBJETIVO

O objetivo geral do presente trabalho é elaborar uma análise estratégica a partir da matriz swot do Programa de Coleta Seletiva Cidadã de uma Instituição Pública Federal de Pesquisa (IPFP), localizada no Rio de Janeiro, a partir da consultoria técnica

de uma cooperativa de catadores de materiais recicláveis, com base nas diretrizes do Decreto nº 11.414/2023 (Programa Pró-Catador), utilizando a abordagem metodológica da pesquisa-ação.

Para alcançar esse objetivo foram elencados os seguintes objetivos específicos: (i) apresentar o arcabouço normativo e conceitual que fundamenta os Programas de Coleta Seletiva Cidadã no setor público federal; (ii) descrever o processo de implementação e aprimoramento do Programa de Coleta Seletiva em uma IPFP, destacando a contribuição técnica da cooperativa de catadores e a utilização da abordagem colaborativa da pesquisa-ação; (iii) aplicar a matriz SWOT como ferramenta de diagnóstico para avaliar o Programa de Coleta Seletiva Cidadã na IPFP, identificando os desafios e as potencialidades da iniciativa no âmbito da gestão socioambiental.

## METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo foi a pesquisa-ação, abordagem que articula investigação científica e ação prática com vistas à resolução colaborativa de problemas em contextos sociais complexos (THIOLLENT, 2011). Essa estratégia mostrou-se particularmente adequada à análise do processo de implementação do aprimoramento do Programa de Coleta Seletiva em uma instituição pública federal de pesquisa, uma vez que foi conduzida por meio da consultoria de uma cooperativa de catadores de materiais recicláveis, além de envolver a participação de integrantes do corpo funcional da instituição, inclusive, de autores deste artigo.

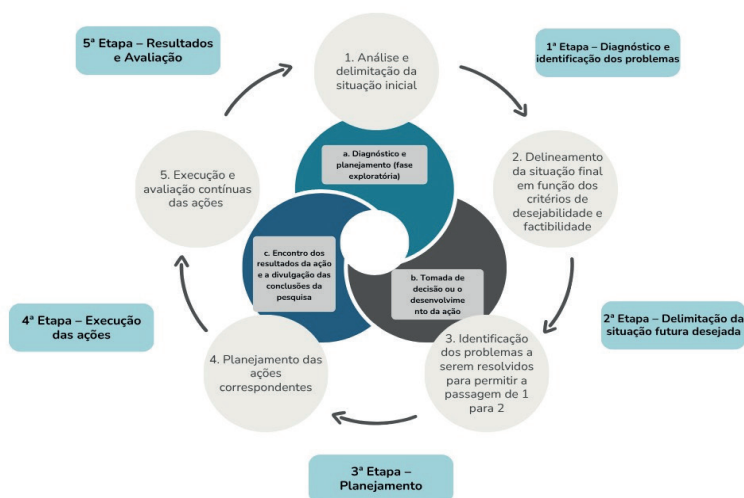
A segunda fase do estudo utilizou a análise SWOT como instrumento metodológico para sistematizar os resultados obtidos na implementação do Programa de Coleta Seletiva Cidadã. Essa técnica consiste em identificar e relacionar fatores internos (forças e fraquezas) e externos (oportunidades e ameaças) que influenciam a eficácia das práticas de gestão de resíduos em uma instituição pública. A seguir, estão descritas as etapas percorridas nas abordagens metodológicas da pesquisa-ação e da análise SWOT de acordo com o trabalho desenvolvido neste estudo.

## Pesquisa-ação

A pesquisa-ação, conforme Elliot (1998), se desenvolve por ciclos espirais compostos por três momentos interligados: o planejamento (fase exploratória ou diagnóstico), o desenvolvimento da ação (tomada de decisão) e a avaliação dos resultados (reflexão e divulgação das conclusões). Complementarmente, Thiollent (2011) propõe cinco etapas operacionais para a estruturação de projetos em pesquisa-ação: (i) análise da situação inicial; (ii) definição da situação final desejada com base em critérios de desejabilidade e factibilidade; (iii) identificação dos problemas a serem enfrentados; (iv) planejamento das ações necessárias; e (v) execução com avaliação contínua.

O presente estudo seguiu o encadeamento metodológico da pesquisa-ação, a partir da integração dos dois modelos propostos pelos autores supracitados, apresentado no trabalho de Santos et al. (2023) conforme figura 1 e descrição a seguir.

Figura 1 - Etapas da Pesquisa-ação



Fonte: Adaptado de SANTOS et al., 2023.

## 1ª Etapa – Diagnóstico e identificação dos problemas

O Instituto Público Federal de Pesquisa (IPFP) implantou, em 2007, o Programa de Coleta Seletiva Solidária (PCSS), fundamentado nas diretrizes do Decreto nº 5.940/2006. Com o advento do Decreto nº 10.936/2022, que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, tornou-se necessário adequar o PCSS às novas exigências normativas, reconfigurando-o como Programa de Coleta Seletiva Cidadã (PCSC). Diante dessa demanda, a Comissão de Sustentabilidade da instituição avaliou que a complexidade do processo exigia a contratação de consultoria técnica especializada. Considerando os dispositivos do Decreto nº 11.414/2023, que institui o novo Programa Pró-Catador, optou-se pela contratação de uma cooperativa de catadores para conduzir a consultoria, valorizando a expertise prática desses profissionais e promovendo a inclusão produtiva.

Para o processo de seleção, foi encaminhada uma comunicação eletrônica a 48 cooperativas de catadores, utilizando as informações obtidas no Cadastro Estadual de Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis registrado no Sistema Estadual do Ambiente e Sustentabilidade (SEAS/RJ), com sede no município do Rio de Janeiro e na região da Baixada Fluminense. Deste total, apenas quatro organizações responderam ao chamado. A escolha da cooperativa contratada baseou-se na análise do atendimento aos critérios estabelecidos na solicitação enviada por e-mail, bem como na avaliação do valor financeiro das propostas apresentadas.

O diagnóstico inicial da situação da gestão da coleta seletiva institucional foi conduzido pela consultoria que realizou visita técnica, entrevistas e mapeamento da coleta de resíduos nos diversos setores do IPFP, além da realização de gravimetria do resíduo reciclável. Com base nos dados coletados, a consultoria identificou entraves no processo do PCSC, tais como, a falta de um fluxo da gestão de resíduos recicláveis, ausência de coletores e pontos de coleta devidamente sinalizados, segregação inadequada e pouco conhecimento do corpo funcional dos processos e das práticas do Programa de Coleta Seletiva.

## 2ª Etapa – Delimitação da situação futura desejada

Nesta fase, a situação futura desejada foi estabelecida com base na análise dos dados coletados durante o diagnóstico inicial, que permitiu identificar os principais desafios, lacunas e potencialidades relacionadas à gestão dos resíduos recicláveis no âmbito da instituição. A construção desse cenário prospectivo considerou, de forma articulada, critérios técnicos, institucionais, socioambientais e operacionais, de modo a garantir a viabilidade e a sustentabilidade das mudanças propostas. Entre os principais elementos que compuseram essa visão de futuro, destacaram-se a ampliação da cobertura e da eficácia da coleta seletiva, o aumento do volume e da qualidade dos materiais recicláveis destinados corretamente, a formalização da parceria com a cooperativa de catadores para atuação contínua e qualificada, e a integração do programa às práticas institucionais de educação ambiental e responsabilidade socioambiental. A situação futura desejada também incorporou metas alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente no que se refere à promoção do trabalho digno, da inclusão socioeconômica e da inovação organizacional. Assim, a delimitação desse cenário orientou as etapas subsequentes da pesquisa-ação e funcionou como um referencial estratégico para o planejamento das ações corretivas e transformadoras.

### 3ª Etapa – Planejamento

A partir da identificação dos desafios e fragilidades apontados no diagnóstico, foi elaborado um plano de ação detalhado com o objetivo de promover o aprimoramento sustentável do Programa de Coleta Seletiva Cidadã (PCSC) da Instituição Pública Federal de Pesquisa (IPFP). O planejamento contemplou um conjunto articulado de estratégias, metas, responsabilidades, cronogramas e indicadores de desempenho, considerando tanto a realidade institucional quanto às diretrizes legais e normativas aplicáveis, como supramencionado. As ações priorizadas envolveram, entre outras iniciativas, a estruturação de fluxos internos para segregação adequada dos resíduos recicláveis, a definição de pontos de coleta estrategicamente distribuídos, a capacitação de servidores e colaboradores terceirizados, e a elaboração de materiais educativos.

Além das medidas operacionais e estruturais, o planejamento incluiu a sistematização de práticas de acompanhamento e avaliação contínuas, por meio de indicadores quantitativos e qualitativos que permitissem aferir o progresso das metas estabelecidas e orientar ajustes ao longo da implementação. Esses mecanismos de monitoramento foram concebidos de modo participativo, com a inclusão dos diferentes atores envolvidos – gestores, técnicos, representantes da cooperativa e colaboradores da equipe de limpeza – fortalecendo o caráter colaborativo da pesquisa-ação.

### 4ª Etapa – Execução das ações

Na fase de execução, foram adquiridos coletores complementares, contratado o serviço de adesivação e sinalização dos pontos de coleta, realizadas campanhas de conscientização e implementados treinamentos com os integrantes da equipe da limpeza. Após estas ações, os pontos de coleta seletiva foram implantados nas salas e nos laboratórios, devidamente sinalizados. Todos os ambientes do IPFP receberam um kit de coleta seletiva, constituído de dois coletores, um destinado aos resíduos recicláveis e outro para os resíduos comuns. O *layout* da sinalização seguiu as diretrizes estabelecidas na Resolução CONEMA nº 55, que regulamenta a Coleta Seletiva no estado do Rio de Janeiro.

### 5ª Etapa – Resultados e Avaliação

A etapa de resultados e avaliação, no contexto da pesquisa-ação realizada para o aprimoramento do PCSC do IPFP, consistiu na sistematização dos dados empíricos gerados ao longo do processo colaborativo entre a instituição e a cooperativa de catadores. Essa fase permitiu analisar, de forma participativa, os avanços, desafios e impactos decorrentes da implementação das ações propostas, promovendo a reflexão crítica dos atores envolvidos.

## Matriz SWOT

A matriz SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) foi utilizada neste estudo como instrumento de análise estratégica para sistematizar os resultados da avaliação do processo de aprimoramento do Programa de Coleta Seletiva na instituição pública federal de pesquisa. A ferramenta permite identificar e correlacionar fatores internos (forças e fraquezas) e externos (oportunidades e ameaças) que influenciam a efetividade das práticas de gestão.

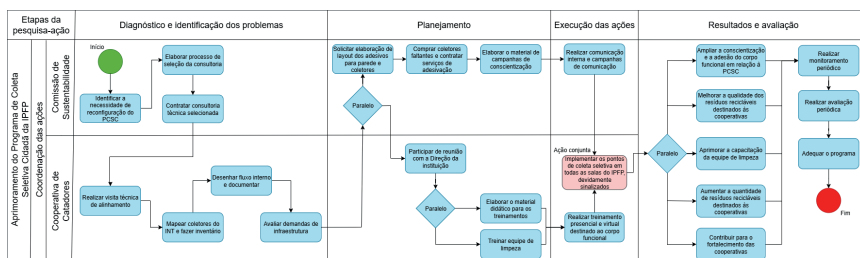
A aplicação da análise SWOT foi realizada em quatro etapas: (i) identificação preliminar dos fatores por meio de reuniões participativas com a equipe funcional e representantes da cooperativa de catadores; (ii) categorização dos elementos em cada quadrante da matriz; (iii) priorização dos pontos críticos mediante reflexão conjunta; e (iv) elaboração de estratégias que venham a potencializar forças e oportunidades, ao mesmo tempo em que minimizem fraquezas e mitiguem riscos. Esta prática se pautou em recomendações de Daychouw (2007) ao reconhecer a robustez dessa abordagem em ambientes institucionais complexos, que exigem o equilíbrio entre múltiplas variáveis, como a gestão de resíduos sólidos em instituições públicas.

Dessa forma, a análise SWOT não apenas facilitou o diagnóstico situacional da gestão de resíduos, mas também orientou a construção colaborativa de um plano de ação estratégico. A combinação com a pesquisa-ação permitiu que os resultados fossem constantemente avaliados e ajustados em ciclos iterativos, promovendo uma articulação eficaz entre avaliação teórica e intervenção prática, em linha com os princípios de Thiollent (2011) para pesquisa-ação participativa.

## RESULTADOS

Neste tópico, estão descritos os principais avanços decorrentes da implementação colaborativa do Programa de Coleta Seletiva Cidadã (PCSC) na Instituição Pública Federal de Pesquisa (IPFP). O fluxograma, exposto na figura 2, demonstra os processos realizados em cada estágio da metodologia de pesquisa-ação evidenciando a integração entre a Comissão de Sustentabilidade e a Cooperativa de Catadores, na coordenação das atividades desenvolvidas. Posteriormente, estão descritas as ações realizadas, além dos resultados obtidos em cada fase, demonstrando o impacto operacional, organizacional e socioambiental do PCSC. O processo foi estruturado em quatro estágios em convergência com as etapas da metodologia de Pesquisa-ação empregada neste estudo.

Figura 2 - Fluxograma do processo de implementação do Programa de Coleta Seletiva Cidadã



Fonte: Elaboração própria, 2025.

O fluxograma foi elaborado por meio da ferramenta Draw.io, um recurso online gratuito amplamente utilizado para a criação de fluxogramas e diagramas técnicos. Sua aplicação permitiu a construção de um modelo gráfico claro e estruturado das etapas metodológicas, contribuindo para a visualização integrada do percurso adotado, a comunicação interna entre os setores envolvidos e a sistematização das ações desenvolvidas em cada fase da pesquisa-ação.

O primeiro estágio “Diagnóstico e identificação dos problemas” teve início com a identificação da necessidade de reconfigurar o PCSC, seguida pela elaboração de critérios e condução do processo de seleção das cooperativas de catadores para contratação de consultoria técnica. Posteriormente, a cooperativa contratada realizou visitas técnicas, resultando no mapeamento dos coletores existentes e dos pontos de coleta por ambiente, em todas as áreas da instituição, na esquematização do fluxo interno de gestão de resíduos recicláveis, e na avaliação de demandas de infraestrutura.

No segundo estágio, “Planejamento”, estabelecido a partir do diagnóstico, a Comissão de Sustentabilidade encaminhou atividades indicadas no primeiro estágio e de organização da 3a etapa. Foram ações voltadas à elaboração do *layout* para a sinalização dos pontos de coleta e dos coletores, à aquisição de coletores complementares aos já existentes, ao desenvolvimento de materiais e do conteúdo comunicacional para campanhas de conscientização. Paralelamente, a representante da consultoria participou de reuniões com a Comissão de Sustentabilidade e a Direção da instituição, além de elaborar o material didático a ser utilizado nos treinamentos. Simultaneamente, ocorreu a capacitação da equipe de limpeza.

O terceiro estágio “Execução das ações” inclui a realização de campanhas internas para sensibilização, treinamento presencial e virtual do corpo funcional e, como atividade central, a implementação dos pontos de coleta seletiva em todas as salas e laboratórios do IPFP, adequadamente sinalizados.

O quarto estágio “Resultados e avaliação”, com os pontos operacionais implantados, resultam em ações de maior conscientização e adesão do corpo funcional, melhoria na qualidade e volume de resíduos recicláveis destinados à cooperativa, incremento na capacitação da equipe de limpeza e fortalecimento da cooperativa de catadores, a partir da contratação desta para desenvolver a consultoria. O programa é acompanhado por monitoramento e avaliação periódicos que permitem ajustes contínuos.

O fluxo (figura 02) evidencia o caráter holístico, colaborativo e interativo do processo, combinando análise técnica, planejamento estratégico, intervenção prática e avaliação sistematizada para consolidar o PCSC como instrumento eficaz de sustentabilidade institucional.

A etapa de estruturação do fluxo interno do Programa de Coleta Seletiva Cidadã resultou em um mapeamento claro e visualmente acessível dos procedimentos adotados, amplamente divulgado na Instituição, para orientar todos os envolvidos. Observou-se o engajamento integral de diversas partes interessadas — consultores da cooperativa de catadores, membros da direção, chefias, equipe funcional, comunicação e limpeza —, o que fortaleceu a implementação coletiva.

A consultoria prestada pela cooperativa foi reconhecida pela instituição, sobretudo pela troca efetiva de saberes entre os atores da organização e os agentes especializados, refletindo um processo de valorização do conhecimento técnico-prático. Verificou-se ainda um aumento significativo no volume de resíduos recicláveis descartados e encaminhados à cooperativa, demonstrando a efetividade das intervenções.

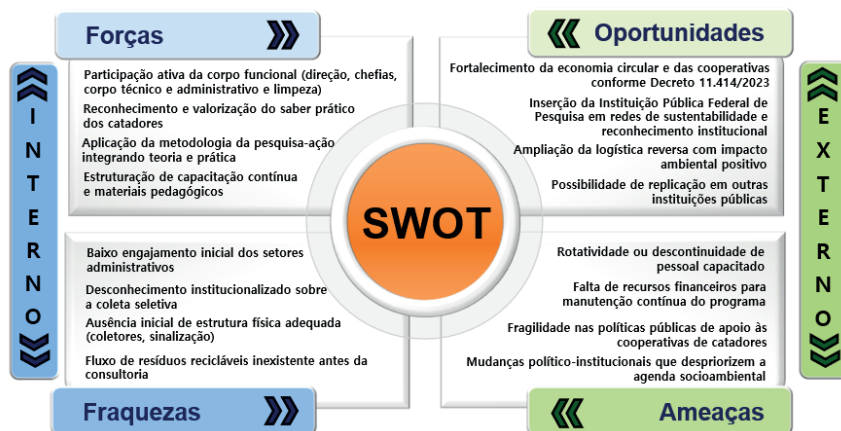
Adicionalmente, foi desenvolvida uma cartilha de capacitação utilizada em treinamentos da equipe de limpeza, a fim de assegurar a correta condução operacional do Programa. Para promover avaliação contínua, aplicaram-se formulários periódicos entre os atores envolvidos, permitindo ajustes parciais nas ações e a avaliação sistemática da quantidade e qualidade dos resíduos recicláveis descartados ao longo dos meses.

Para finalizar este item, segue a análise SWOT que oferece uma visão estratégica dos resultados obtidos, estabelecendo a fundamentação necessária para a próxima sessão. A partir dos fatores internos e externos identificados, será possível direcionar ações mais assertivas e alinhadas às três dimensões do ESG, garantindo a integração entre diagnóstico e planejamento estratégico no aprimoramento das práticas institucionais.

## Análise SWOT

Com base nos dados coletados e nos possíveis desafios enfrentados pela IPFP na implementação desta agenda, apresenta-se uma síntese na matriz SWOT (Figura 3) dos aspectos positivos e negativos, internos e externos.

Figura 3 - Matriz SWOT da implementação do Programa de Coleta Seletiva Cidadã (PCSC) da Instituição Pública Federal de Pesquisa (IPFP)



Fonte: Elaboração Própria, 2025.

A análise SWOT aplicada ao processo de aprimoramento do Programa de Coleta Seletiva Cidadã (PCSC) em uma Instituição Pública Federal de Pesquisa (IPFP), com o apoio da consultoria prestada por uma cooperativa de catadores de materiais recicláveis, revela um cenário promissor, ainda que desafiador.

No ambiente interno, entre as forças destacam-se a abordagem participativa e colaborativa da pesquisa-ação, metodologia empregada, o engajamento efetivo dos diversos setores institucionais e a valorização do saber técnico-prático dos catadores, elementos que foram essenciais para o redesenho da gestão de resíduos recicláveis. A construção coletiva de materiais de capacitação e a estruturação de um fluxo interno para a coleta seletiva consolidaram a institucionalização da política de resíduos sólidos no âmbito da IPFP.

Por outro lado, foram identificadas fraquezas importantes, sobretudo no diagnóstico inicial. A ausência de estrutura adequada para coleta e segregação, a falta de pontos sinalizados e o desconhecimento dos servidores sobre os procedimentos da coleta seletiva revelaram limitações internas que demandaram intervenções estruturais e educativas intensivas.

O cenário externo, por sua vez, oferece oportunidades significativas. A adesão ao Programa Pró-Catador, instituído pelo Decreto nº 11.414/2023, e a valorização da economia circular no setor público ampliam a possibilidade de fortalecimento institucional e replicabilidade do modelo. Além disso, a inclusão ativa da IPFP em redes de sustentabilidade favorece o intercâmbio de boas práticas e o reconhecimento institucional.

Entretanto, o programa também está sujeito a ameaças externas, como a vulnerabilidade orçamentária, a descontinuidade de políticas públicas de incentivo à coleta seletiva, e mudanças político-institucionais, que possam despriorizar a agenda ambiental e a inclusão socioproductiva das cooperativas de catadores. A rotatividade de pessoal capacitado representa outro fator de risco à continuidade das ações planejadas e executadas.

A análise estratégica aqui apresentada permite não apenas compreender o estágio atual do Programa, mas também subsidiar a formulação de estratégias sustentáveis de longo prazo, articulando a gestão institucional de resíduos sólidos à promoção da justiça social e ambiental, em consonância com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e os marcos normativos federais.

## CONCLUSÃO

Os resultados da pesquisa evidenciam que o aprimoramento do Programa de Coleta Seletiva Cidadã (PCSC) alcançou seus objetivos de forma robusta, correspondendo às metas inicialmente estabelecidas. A aplicação da metodologia de pesquisa-ação, em parceria com a cooperativa de catadores, fomentou uma transformação institucional significativa, pautada na valorização do saber prático e no envolvimento ativo de múltiplas instâncias institucionais. Esse processo colaborativo resultou em melhorias substanciais na estrutura de gestão de resíduos, incluindo o redesenho eficiente do fluxo operacional, a capacitação eficaz da equipe de limpeza e o aumento da segregação de recicláveis. A utilização estratégica da matriz SWOT possibilitou a identificação clara de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, formando um arcabouço sólido para a consolidação do programa.

As implicações práticas desses resultados são amplas e relevantes para a gestão pública. Em primeiro lugar, ressalta-se a eficiência de metodologias participativas e integradas na promoção de mudanças sustentáveis dentro da cultura institucional. Em segundo, demonstra-se que instrumentos legais e normativos, como o Decreto nº 11.414/2023, têm potencial de efetividade quando acompanhados por planejamento estratégico, envolvimento multidisciplinar e parcerias com atores locais. Observou-se, ainda, que o uso da matriz SWOT fornece subsídios claros para a gestão das dimensões ESG — ambiental, social e governança —, permitindo ações direcionadas às fragilidades (como entraves burocráticos) e ao aproveitamento de oportunidades (como incentivos normativos).

A combinação entre pesquisa-ação e análise SWOT se mostrou uma estratégia eficaz para operacionalizar normas, fomentar práticas de governança e orientar intervenções com base em evidências. As lições derivadas dessa experiência — especialmente quanto ao engajamento multisetorial, ao monitoramento contínuo e à adaptação dos normativos ao contexto nacional — podem servir de referência para a replicação do modelo em outras instituições, contribuindo para o fortalecimento de uma agenda pública ESG de longo prazo.

Além disso, a institucionalização do PCSC na IPFP representa um avanço relevante para a cultura organizacional. O programa consolidou a integração entre responsabilidade socioambiental e rotina institucional, proporcionando resultados tangíveis, como redução de resíduos destinados a aterros, inclusão social de catadores e reforço de práticas de economia circular. Isso fortalece a proposição de que a replicabilidade do modelo pode gerar impacto significativo em outras instituições públicas, gerando escala para práticas similares.

Enquanto recomendação para pesquisas futuras, sugere-se a ampliação do escopo na temática através da realização de estudos adicionais. Estes poderiam avaliar a replicabilidade do modelo em diferentes instituições e níveis de governo, bem como investigar o impacto econômico dos programas de coleta seletiva apoiados por cooperativas — fornecendo evidências quantitativas robustas sobre eficiência, inclusão social e sustentabilidade. Esta indicação visa contribuir para vislumbrar um caminho prático para gestores e formadores de políticas que buscam consolidar uma governança ESG efetiva no setor público, apoiada por estrutura, dados, participação e revisão estratégica contínua.

A experiência descrita também evidenciou um alinhamento claro com três metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): o ODS 12.5, por meio da redução significativa do descarte de resíduos; o ODS 10.2, ao promover a inclusão socioeconômica de catadores; e o ODS 8.3, ao incentivar trabalho digno e iniciativas inovadoras a partir de parcerias com cooperativas. Dessa forma, o PCSC reforça o papel estratégico das instituições públicas federais como promotoras não apenas de sustentabilidade ambiental, mas de justiça social e transformação institucional.

Para finalizar, cabe destacar que o aprimoramento do Programa de Coleta Seletiva Cidadã (PCSC) em uma instituição pública federal de pesquisa, conduzido com a consultoria técnica de uma cooperativa de catadores, materializa uma prática convergente com as diretrizes da Política de Governança da Administração Pública Federal, conforme o Projeto de Lei nº 3.995/2024 (BRASIL, 2024), aprovado no Senado em julho de 2025. Ao integrar princípios de responsabilidade, eficiência, transparência e corresponsabilidade, a iniciativa fortalece os fundamentos da boa governança pública não apenas como modelo técnico de gestão, mas como instrumento estratégico de promoção do desenvolvimento sustentável, da

legitimidade democrática e da confiança nas instituições. O protagonismo atribuído às parcerias entre o setor público e atores locais — como a cooperativa de catadores — revela o potencial transformador da ação colaborativa e participativa, especialmente em agendas de sustentabilidade institucional. Nesse contexto, o processo dialógico estabelecido ao longo da iniciativa constituiu-se em um verdadeiro laboratório de inovação em gestão pública, no qual a cocriação de soluções superou os objetivos inicialmente traçados, ao integrar saberes diversos, promover inclusão socioproductiva e reforçar o papel das instituições públicas como catalisadoras de inovação, justiça social e práticas sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022.** Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 jan. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 11.414, de 13 de fevereiro de 2023.** Regulamenta o Comitê Interministerial para a Inclusão Socioeconômica de Catadores e Catadoras de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 14 fev. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. **Projeto de Lei nº 3.995, de 2024.** Dispõe sobre a Política de Governança da Administração Pública Federal. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/168335>. Acesso em: 5 jul. 2025.

DAYCHOUW, M. **40 ferramentas e Técnicas de Gerenciamento.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Brasport Livros e Multimídia, 2007.

ELLIOT, John. Recolocando a pesquisa-ação em seu lugar original e próprio. In: GERARDI, Corinta Maria Crisolia et al. (Orgs.). **Cartografias do trabalho docente:** professor(a)-pesquisador(a). Campinas: Mercado de Letras, 1998. p. 137-152

LEWIN, K. Action research and minority problems. **Journal of Social Issues**, n. 2, p. 34-36, 1946.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade. **Cadastro estadual de organizações de catadores de materiais recicláveis.** Disponível em: <<https://www.seas.rj.gov.br/node/129>>. Acesso em: 1 jun. 2025.

SANTOS, M. C.; XAVIER, A. P.; CABRAL, C. B.; RIBEIRO, G. G. Chamada Pública Compartilhada – Rede de instituições públicas cocriando soluções para gestão de resíduos recicláveis. In: HAGGE, A.; ASTI, A.; RAMOS, A. P. *et al.* (org.). **Anais do CIRS: 1º Congresso Internacional de Resíduos Sólidos em Búzios**. Ponta Grossa – PR: Atena, 2023. p. 55-66.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-Ação**. 18. ed. São Paulo: Cortez, 2011.



## TR A B A L H O 2 5

# LIXO NO MAR: LEVANTAMENTO DO MACRO RESÍDUO SÓLIDO NAS PRAIAS DA BICA NA ILHA DO GOVERNADOR (RJ) E ABRAÃO NA ILHA GRANDE (RJ)

Leticia Silva Pozzi

Brunna Tomaino de Souza

Cássia de Oliveira Farias

Cláudia Hamacher

Debora Cassuce

Igor da Costa Leôncio

Jeferson Castro Xavier

Manoela Barbosa de Oliveira

Michelle Passos Araújo

**RESUMO:** Os grandes volumes de resíduos utilizados sem uma gestão pública correta, acarretam em descartes indevidos, que chegam aos oceanos, ilhas e praias, colocando em risco serviços ecossistêmicos fornecidos. O presente trabalho avaliou o lixo no mar entre as praias da Bica na ilha do Governador e Abraão na Ilha Grande, com a metodologia do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), adaptada para cada região. As coletas foram mensais, realizadas no período do verão e a passagem dele (Dezembro 2023 – abril 2024). Ao longo do estudo, foram registrados na praia da Bica um total de 10.376 itens de lixo marinho, com peso total de 27.178,42 gramas. Já na praia do Abraão, foram recolhidos 1.856 itens de lixo marinho, totalizando 19.123,54 gramas. Observou-se que a quantidade de itens encontrados na praia do Abraão foi significativamente menor que na praia da Bica, o que era esperado devido às diferenças no uso e ocupação das áreas. A Ilha do Governador, onde está localizada a praia da Bica, é uma região urbanizada, situada na Baía de Guanabara, conhecida por seu alto nível de poluição. Em contraste, a Ilha Grande, onde está a praia do

Abraão, possui baixa urbanização e é caracterizada por seu perfil turístico. A poluição marinha constante da baía de Guanabara, alimentada por rios poluídos e correntes que trazem lixos flutuantes de baixa densidade, tende a ser um dos principais fatores de contribuição para os altos níveis de resíduos sólidos, principalmente plásticos na praia da Bica. A praia do Abraão por ser turística, bares e restaurantes utilizam da areia um local para acomodar seus clientes, onde muitos acabam deixando seus lixos nas areias, criando um acúmulo de resíduos sólidos específicos nessa área, como as bitucas de cigarro.

**PALAVRAS-CHAVES:** Descarte de resíduos, plástico, poluição marinha.

## INTRODUÇÃO

Frente aos desafios encontrados sobre a importância da redução do lixo no mar no mundo moderno, temos o desenvolvimento econômico, o crescimento populacional, a urbanização e a revolução tecnológica. Como resultado, a produção de resíduos sólidos, especialmente nos grandes centros urbanos, aumenta tanto em volume como em variedade (Gouveia, 2012). Após ser descartado, o lixo pode ter uma série de destinos e segue um longo percurso: uma parte vai parar em lixões e aterros, onde ficam expostos e liberam uma série de gases poluentes; outra parte vai para as ruas, entupindo bueiros e provocando enchentes; e uma boa parte vai para os oceanos. Uma vez que entram no ambiente marinho, os resíduos não encontram fronteiras, sendo levados por correntes e se acumulando em diversos locais. A identificação da fonte dos resíduos para o mar favorece a discussão e o reconhecimento de medidas que possam ajudar a minimizar ou eliminar sua entrada nesse ambiente (FRANÇA, 2019).

A preocupação global com a preservação da vida humana frente aos desequilíbrios nos ecossistemas está aumentando pela sua urgência. Apesar da existência de certas leis, o problema ainda persiste na falta de efetividade na sua aplicação e uma gestão mais eficaz. O consumo desenfreado serve de combustível, alimentando a produção industrial em níveis crescentes, gerando uma multiplicação de resíduos, onde muitos não têm destino adequado. Ao longo dos séculos, as necessidades humanas foram mudando, onde o sistema capitalista impulsiona um ciclo de consumo rápido, induzindo a substituição de produtos por modelos mais recentes, resultando em um ciclo acelerado de produção, compra e descarte.

Estima-se que cerca de 60-80% - em algumas regiões até 95% - de todo o lixo encontrado no ambiente marinho seja composto por plástico. A proporção de lixo plástico nos oceanos aumenta com a distância em relação às áreas de origem, pois são mais facilmente transportados que os materiais mais densos (como os vidros e metais); também, porque possuem um tempo maior para a decomposição quando comparado a outros materiais de baixa densidade (como papel e tecidos) (Ryan et al., 2009).

Este trabalho se insere no contexto do Subprojeto Entre rios, ilhas e baías: Marés de ações participativas para o enfrentamento da poluição marinha no estado do Rio de Janeiro, que contempla dentre seus múltiplos objetivos e área de estudo, o diagnóstico de duas ilhas do litoral do Rio de Janeiro, o que tange ao monitoramento de lixo no mar.

Estudar os resíduos sólidos desses dois lugares elucidaram a ideia de como o lixo impacta cada região de formas diferentes ou parecidas. A Baía de Guanabara há anos é muito conhecida pela poluição, então espera-se das análises, quantidades significativas de lixo na Ilha do Governador, porém a Baía da Ilha Grande conhecida por suas águas cristalinas, para muitos é uma surpresa ao ver que também enfrenta problemas relacionados ao lixo no mar.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GERAL

Realizar um levantamento quali-quantitativo de lixo no mar nas praias da Bica (Ilha do Governador) e Abraão (Ilha Grande), a partir da metodologia do NOAA e IUCN, a fim de contribuir para um diagnóstico ambiental de lixo no mar do Estado do Rio de Janeiro.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar quantitativamente o material coletado na praia da Bica e sua composição.
- Analisar quantitativamente o material coletado na praia do Abraão e sua composição.
- Calcular o índice de costa limpa em cada praia do estudo com o método Clean-Coast Index (Alkalay et al., 2007).

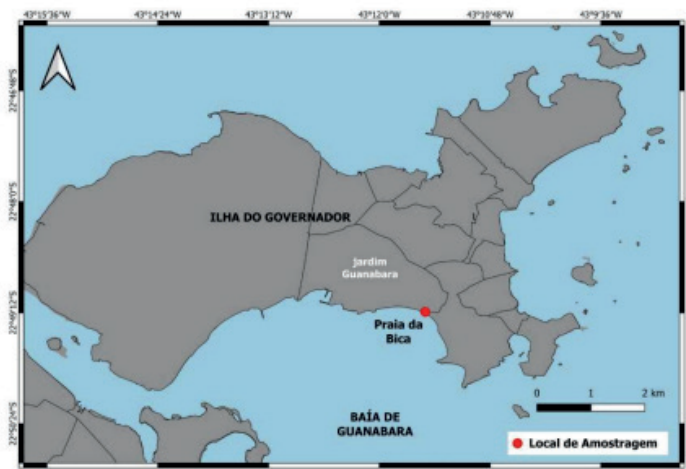
### ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada em duas Ilhas costeiras, Ilha do Governador e Ilha Grande, nas praias da Bica e de Abraão, respectivamente. A escolha da área de estudo se deu com base nos diferentes processos de uso e ocupação, além da influência do aporte urbano da Baía de Guanabara no despejo de macrolixo no mar, enquanto, na Baía da ilha grande, o turismo e a ocupação comercial seguem como potenciais agentes da poluição marinha.

**PRAIA DA BICA - Ilha do Governador, Rio de Janeiro.**

Possui uma extensão de 890 metros de areia e é limitada a leste pelo Morro do Matoso e a oeste por um píer. Esta praia apresenta um perfil bastante antropizado e de baixa dinâmica característico de fundo de baía. Os perfis topográficos de praia mostram uma variação na largura de apenas 5 metros (50 m no verão e 45 m no inverno), e morfologia semelhante entre as estações, com berma no pós-praia e frente de praia com 12° de inclinação. Figura 1.

Figura 1: Mapa indicando a localização da praia da Bica.

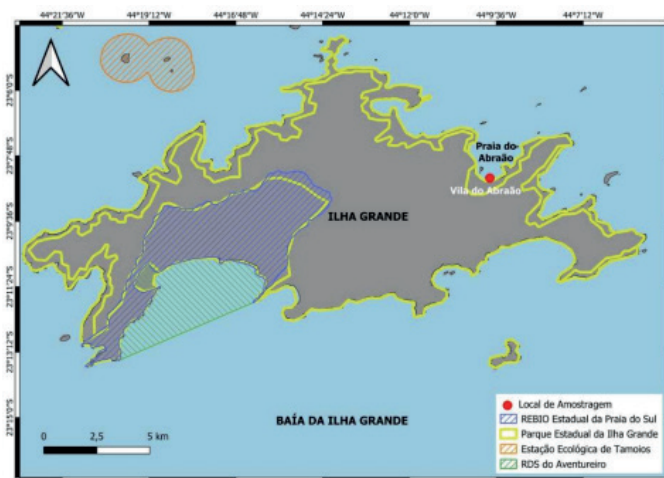


Autora (2024).

**PRAIA DO ABRAÃO - Ilha Grande, Rio de Janeiro.**

Possui uma extensão de 2,2 km e é caracterizada por uma linha de costa bastante recortada, bordejada por um extenso domínio montanhoso escarpado e marcada por costões rochosos que se intercalam com estreitas planícies costeiras. Apresenta os seguintes atributos naturais: Costão Rochoso, Praia, Planície de Maré e Estuário. Figura 2.

Figura 2: Mapa indicando a localização da praia do Abraão.



Autora (2024).

## METODOLOGIA

O devido estudo é baseado na metodologia do NOAA e IUCN, onde foram coletados macro resíduos sólidos, para a realização do levantamento do lixo no mar nas praias da Bica (Ilha do Governador) e Abraão (Ilha Grande). As praias escolhidas no estudo possuem dimensões maiores de 100m, e ambas estão localizadas em feições de Ilhas, com distintos níveis de uso e ocupação do território. As coletas foram realizadas mensalmente, e tiveram início em dezembro de 2023 até abril de 2024. O planejamento da coleta de dados envolveu o acompanhamento da tábua de maré para que as coletas fossem realizadas em maré baixa ou vazante em regime de maré de sizígia.

Para ter uma melhor aplicação da metodologia, foi feita uma adaptação da mesma nas duas praias. Por possuírem muitos obstáculos na areia (como estacas de vôlei e canoas havaianas), foram definidas então, seções de 100m nos locais onde possuíam maior área livre, com posterior sorteio dos quadrantes. Com cenário ideal para a coleta, também foi preciso chegar antes das companhias de limpeza do local, para delimitar e realizar a amostragem das áreas.

Na definição da área da coleta, de acordo com a metodologia, a praia foi dividida em 4 seções ao longo 100 metros de extensão de areia paralelo à água, as quais foram aleatoriamente sorteadas e feita a retirada de todo resíduo sólido da superfície. Cada seção possui 5 metros de largura e o comprimento perpendicular à água, de acordo com a extensão da faixa da areia. Totalizando 20 possibilidades



Outro método utilizado no estudo foi o Clean Coast Index (CCI), desenvolvido por Alkalay et al. (2007), que consiste em quantificar o número de itens plásticos encontrados na área amostrada da praia, assim, sendo possível obter um valor comparável a outras localidades. Para se obter o CCI é necessário saber a densidade de plástico encontrada nos quadrantes, da seguinte forma:

$$Dp: \frac{n \text{ de itens de plástico}}{m^2 \text{ do quadrante}}$$

Com a densidade dos plásticos, o CCI é calculado através da fórmula:

$$CCI: Dp \times K$$

Onde Dp é a densidade de itens plásticos e K, o coeficiente de correção (K = 20). Os resultados do CCI são interpretados da seguinte forma:

1. 0–2: muito limpo – não são observados resíduos plásticos na região costeira;
2. 2–5: limpo – não são observados resíduos plásticos em grande parte da região costeira;
3. 5–10: moderado – são observados alguns resíduos plásticos na região costeira;
4. 10–20: sujo – são observados muitos resíduos plásticos na região costeira;
5. 20+: extremamente sujo – observa-se a região costeira coberta por resíduos plásticos (Alkalay et al., 2007). Por se tratar de 4 quadrantes coletados por mês de coleta em cada praia, foi feita a média de itens plásticos por quadrante sobre o m<sup>2</sup> do quadrante.

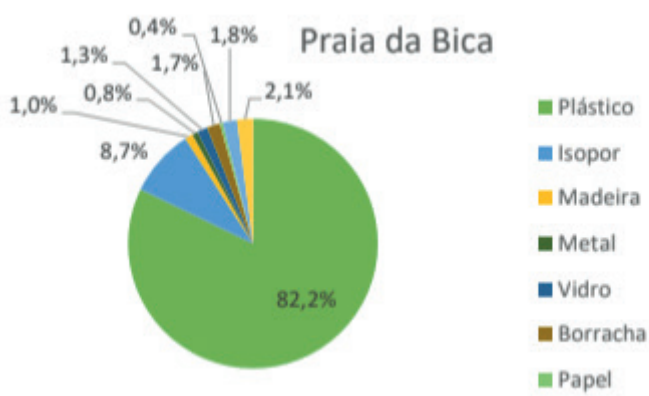
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do estudo, foi encontrado na praia da Bica um total de 10.376 itens de lixo marinho com peso total 27,18 kg. Na praia do Abraão foi recolhido um total de 1.856 itens de lixo marinho com o peso 19,12 kg, e notavelmente a quantidade de itens encontrados foi inferior ao da praia da Bica. Isso se deu por serem praias com diferentes tipos de uso, localização e condições de circulação oceânica, o que faz a praia da Bica ser muito poluída.

O lixo marinho de acordo com sua composição foi classificado em nove categorias: plástico, isopor, madeira, metal, vidro, borracha, papel, material de construção e outros. Dentro da categoria de outros, temos aqueles lixos encontrados em menores quantidades ou que não são possíveis de serem identificados como: parafinas, tecidos, carvão, material hospitalar, etc. Durante o estudo, foi verificado que o plástico continua sendo responsável pela maior parte de lixo marinho encontrado.

Dos lixos marinhos encontrados na praia da Bica, observa-se uma quantidade significativa de plástico nos demais tipos de lixos. Figura 6.

Figura 6: quantidade de itens de cada categoria na praia da Bica.



Autora (2024).

E dentro da categoria de plástico o que se predomina são os lixos fragmentados, de embalagens e pedaços de plástico rígidos variados. Na tabela abaixo estão os tipos de plásticos mais encontrados durante as coletas. Figura 7.

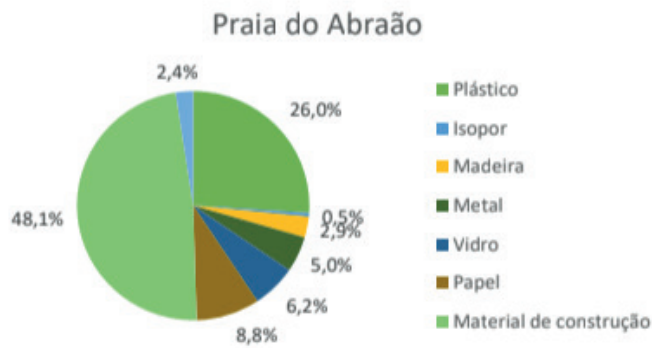
Figura 7: Tipos de lixo e quantidade de itens encontrado em cada mês na praia da Bica

Tipo de plástico	Praia da Bica				
	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
Bituca	30	112	*	44	78
Canudo	29	340	*	224	350
Copo	17	28	*	176	8
Embalagens	36	452	*	468	224
Garrafa	1	12	*	60	2
Plástico rígido	112	948	*	292	702
Tampinha	60	428	*	620	140
Tubo de droga	13	104	*	48	34
Total	298	2424		1932	1538

Autora (2024).

Na praia do Abraão, percebe-se que a quantidade e densidade de lixo retirado, corresponde na sua maior parte a itens de plástico e construção compostos por tipos cerâmica ou brita. Figura 8.

Figura 8: quantidade de itens de cada categoria na praia do Abraão.



Autora (2024).

Fragmentos de vidro também chamam atenção pela quantidade, indicando a possível causa ser os bares e restaurantes que oferecem bebidas em garrafas desse material. Figura 9.

Figura 9: Tipos de lixo e quantidade de itens encontrado em cada mês na praia do Abraão.

Tipo de lixo marinho	Praia do Abraão				
	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
Plástico	115	*	173	128	67
Isopor	1	*	2	7	
Madeira	9	*	13	20	12
Metal	27	*	34	14	18
Vidro	33	*	19	44	19
Borracha		*			
Papel	63	*	31	19	51
Material de construção	76	*	128	296	392
Outros	24	*	11	3	7
Total	348		411	531	566

Autora (2024).

Durante o estudo, foi verificado que o plástico continua sendo responsável pela maior parte de lixo marinho encontrado. O plástico além de ser leve comparado a outros tipos de lixo, também tem um elevado tempo de degradação, o que facilita na sua flutuabilidade que permite seu transporte pela ação da água e do vento. Na praia do Abraão, além do plástico, a maior parte do lixo é composto por restos de construções descartados na areia. Esses materiais, tal como os demais, resultam de atividades relacionadas à crescente demanda turística local e a ineficiência do poder público na remoção (Macedo et al., 2019). O acúmulo de lixo aumenta consideravelmente devido ao aumento do turismo no verão, quando chegam turistas de diversas partes do Brasil e do mundo (Macedo et al., 2019). No mês de abril em Abraão, houve um aumento significativo de material de construção, o que pode indicar que as obras locais tiveram uma pausa ou diminuição no período de dezembro a fevereiro devido às grandes festas e a época de férias quando a ilha recebe mais turistas. Já o plástico teve uma queda no mês de abril, podendo ser consequência do início da baixa temporada e também período com menos chuvas.

Na praia da Bica 82,2% do lixo marinho é composto por vários tipos de plástico, e a quantidade de lixo encontrado não condiz com o nível de uso da mesma, percebe-se que há uma tendência de transporte do lixo na Baía de Guanabara devido sua circulação oceânica, fazendo com que a maior parte do lixo na praia da Bica seja proveniente de vazadouros de lixo localizados às margens da baía ou próximos aos rios contribuintes da bacia que chegam até a praia da Bica pelas correntes. Além de ser um problema ambiental, também é social. A carência de habitação para a população de baixa renda resulta na ocupação espontânea de áreas inadequadas à urbanização: encostas íngremes, margens de rios e áreas inundáveis. Como exemplo, o complexo da maré, que fica localizado ao lado do canal do fundão, um dos lugares mais poluídos da Baía de Guanabara e que influencia no transporte para a praia da Bica (Malta, 2005).

Por um longo período, não havia um índice que permitisse, com critérios técnicos adequados, avaliar o nível de limpeza ou sujeira de uma praia. As avaliações anteriores sobre o lixo nas praias não possibilitam mensurar com precisão o estado de limpeza. Visando atender tal lacuna na obtenção de tão importante informação e desenvolver uma ferramenta de gestão costeira quanto à poluição por plástico, Alkalay et al. (2007) desenvolveram o método Clean Coast Index (CCI) que foi utilizado no estudo. Obtendo esses resultados da figura 10.

Figura 10: Classificação pelo CCI.

<b>Praia Bica</b>	<b>Dp</b>	<b>CCI</b>	<b>Classificação</b>	<b>Praia Abraão</b>	<b>Dp</b>	<b>CCI</b>	<b>Classificação</b>
<b>Dez</b>	1,7	34	Extremamente Sujo	<b>Dez</b>	0,3	6	Moderado
<b>Jan</b>	9,8	196	Extremamente Sujo	<b>Fev</b>	0,5	10	Moderado
<b>Mar</b>	9,3	186	Extremamente Sujo	<b>Mar</b>	0,4	8	Moderado
<b>Abr</b>	7,4	148	Extremamente Sujo	<b>Abr</b>	0,2	4	Limpo

Autora (2024).

A quantidade de itens por m2 na praia da Bica é consideravelmente maior do que na praia do Abraão, resultando na classificação de extremamente suja segundo o índice CCI. Ela enfrenta uma crise ambiental, com níveis extremamente altos de poluição plástica ao longo de todo o período analisado. A situação é crítica e exige intervenções imediatas. Percebe-se em Abraão que a classificação moderada se restringe aos meses de verão, de maior atividade turística, remontando a influência dessa atividade no que tange ao lixo marinho da praia. Já no mês de abril, não são observados resíduos plásticos em grande parte da região costeira. Embora a praia do Abraão seja considerada moderada, é crucial estar atento ao aumento de lixo que pode ocorrer em um futuro próximo e requer atenção durante os meses de maior turismo para evitar a degradação.

## CONCLUSÃO

A partir dos resultados, observa-se que a maior parte do lixo encontrado na praia da Bica é proveniente da poluição na Baía de Guanabara, que transporta diversos tipos de resíduos de locais mais distantes, por conta de condições oceanográficas como a maré, ventos e correntes. E também por se tratar de um estudo no período de verão, vale lembrar que as vazões do rio são maiores devido à época de chuvas intensas, o que acarreta um transporte mais volumoso de lixo. Apesar da companhia de limpeza comlurb ter informado que faz a coleta todos os dias pontualmente, não foi notada sua presença em todas as coletas realizadas, o que também teve que ser levado em consideração no estudo. Já na praia do Abraão desde a primeira coleta, foi constatado que a maior parte do lixo encontrado é proveniente de construções e de plásticos. A grande quantidade de entulho de obras é alarmante e reflete a ineficiência do poder público na remoção adequada e na fiscalização. Além disso, os frequentadores da praia e os bares e restaurantes que utilizam a faixa de areia para acomodar seus clientes também contribuem, em certa medida, para a poluição local.

O Índice de Costa Limpa, ajudou o estudo a monitorar e avaliar a qualidade ambiental das praias, especialmente no que diz respeito à poluição plástica. No caso da praia da Bica, o CCI revela que a poluição atingiu níveis alarmantes, com a quantidade de resíduos ultrapassando várias vezes os valores considerados como “extremamente sujos”, o que indica uma situação de grande preocupação ambiental.

Na praia do Abraão, embora no mês de abril tenha sido classificada como “limpa”, ainda não alcança o padrão de “muito limpa”. Isso é um ponto relevante, pois a região é altamente turística, que geralmente implica uma maior vigilância e investimentos para manter a limpeza e a conservação do ambiente. Assim, apesar de uma classificação “limpa”, a praia do Abraão ainda precisa de mais atenção para atingir níveis ideais de conservação.

A comparação entre as praias de ilhas demonstra a importância de ações contínuas de gestão ambiental, tratamento de resíduos e políticas públicas, focadas na redução do lixo no mar, principalmente do uso de plásticos descartáveis, conscientização da comunidade local e dos turistas e o descarte correto. Entender a dinâmica das correntes e suas contribuições para o acúmulo de lixo são cruciais para desenvolver iniciativas de limpeza e prevenção mais eficazes nos pontos mais críticos que transportam todos os dias lixos flutuantes e a geração de mais dados sobre o assunto.

## REFERÊNCIAS

ALKALAY, R.; PASTERNAK, G; ZASK, A. **Cleancoast index – a new approach for beach cleanliness assessment**. Ocean & Coastal Management, v. 50, p. 352 – 362, 2007.

FRANÇA, André Luiz Felisberto. **Plano de combate ao lixo no mar**. Agenda nacional de qualidade ambiental urbana: Ministério do meio ambiente, Brasília - DF, v. fase 1, 2019.

GOUVEIA, Nelson. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. Ciência & Saúde Coletiva, 17(6):1503- 1510, 2012, Departamento de Medicina Preventiva, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo. Av. Dr. Arnaldo 455. 01246-903 São Paulo, ano 2012.

MACEDO, Andrea; SILVA, André; MADUREIRA, Emanuelle; DINIZ, Lorena; PINHEIRO, Ana Beatriz. **Poluição por resíduos sólidos em praias da Baía da Ilha Grande: Angra dos Reis e Paraty (RJ)**. Revista de Geografia e Etnociências, v. 1, n.2. 2019.

MALTA, Fernanda Siqueira. **ESTUDO DE CORRENTES DE MARÉ DO COMPLEXO ESTUARINO DA BAÍA DE GUANABARA** - RJ. 2005. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

RYAN, P. G.; MOORE, C. J.; VAN FRANEKER, J. A.; MOLONEY, C. L. **Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment**. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 364, p. 1999-2012, 2009



# MICROPLÁSTICOS EM AREIA COSTEIRA: PROTOCOLO DE COLETA E CARACTERIZAÇÃO MICROSCÓPICA E ESPECTROSCÓPICA

Marina Da Silva Sacramento

Elton Jorge da Rocha Rodrigues

Maria Inês Bruno Tavares

**RESUMO:** Este estudo elabora e implementa um protocolo preliminar de coleta e caracterizações de microplásticos na areia da Praia Vermelha, no Rio de Janeiro. Utilizando metodologia *in loco* baseada em flotação e caracterizações microscópica e espectroscópica, foram identificados 32 microplásticos, majoritariamente de poliestireno expandido (isopor). Os resultados revelaram predominância da morfologia “espuma”, coloração branca e alto grau de degradação, especialmente na seção próxima à atividade comercial. A identificação dos polímeros permite traçar rotas potenciais de origem e subsidiar políticas públicas voltadas à economia circular, logística reversa e educação ambiental. A metodologia proposta mostrou-se eficaz, reprodutível e relevante para estudos em áreas costeiras urbanas altamente impactadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microplásticos, área costeira, espectroscopia FTIR, economia circular, poluição marinha.

## INTRODUÇÃO

A poluição por microplásticos representa um desafio emergente na gestão ambiental, particularmente em regiões costeiras, onde a atividade humana intensa contribui significativamente para a introdução desses contaminantes no ecossistema. Os microplásticos (MPs) são definidos como partículas plásticas com dimensões inferiores a 5 mm (Xu *et al.*, 2020), podendo ser classificados como primários, quando produzidos intencionalmente nessa forma, ou secundários, resultantes da degradação de plásticos maiores (Debroas *et al.*, 2017, Olivatto *et al.*, 2018; Idris *et al.*, 2023).

Estudos demonstram que os microplásticos já foram detectados em diversos ambientes — desde águas oceânicas profundas até praias urbanas — e em diversos organismos (Lebreton *et al.*, 2018; Sterl *et al.*, 2020; Phan *et al.*, 2024). A identificação e caracterização desses materiais são essenciais para compreender seu ciclo ambiental e propor estratégias eficazes de mitigação.

No contexto brasileiro, a Praia Vermelha, situada na cidade do Rio de Janeiro, é um ambiente costeiro de relevância ambiental e turística, apresentando uma dinâmica peculiar devido à sua localização próxima ao Pão de Açúcar e à Baía de Guanabara. Considerando os desafios impostos pela poluição plástica, torna-se fundamental a realização de estudos sistemáticos que investiguem a presença, tipologia e possíveis origens dos microplásticos nesse ambiente.

O presente trabalho visa apresentar, a metodologia da coleta preliminar e os resultados obtidos, enfatizando a importância da coleta padronizada e da caracterização microscópica e espectroscópica dos microplásticos para subsidiar ações de políticas públicas voltadas à economia circular, logística reversa e preservação ambiental.

## OBJETIVO

Elaborar e implementar um protocolo para padronização de coleta da areia de praia, e desenvolver uma metodologia de caracterização dos microplásticos encontrados nesta areia.

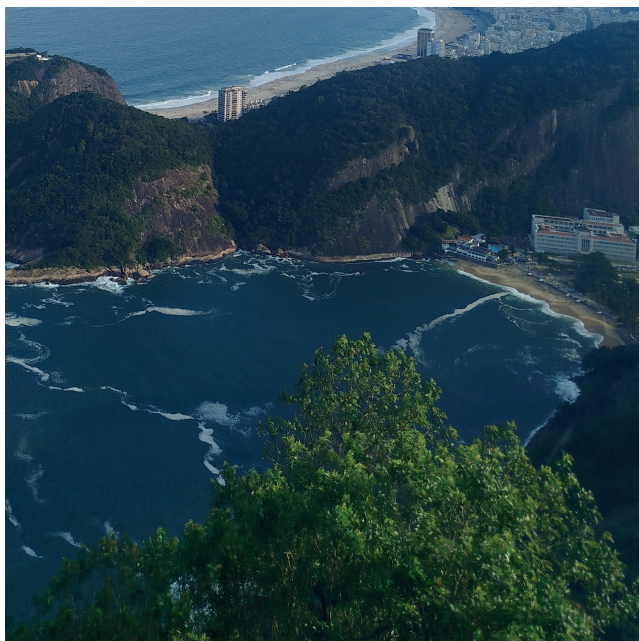
## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar um protocolo preliminar de coleta da areia de praia;
- Coletar e detectar amostras de microplásticos encontrados nas areias da Praia Vermelha (RJ);
- Implementar o método de flotação *in loco*;
- Tratar a amostragem de microplásticos no laboratório;
- Determinar o sequenciamento de técnicas de caracterizações para identificar os tipos de microplásticos presentes nestes;
- Identificar a morfologia dos microplásticos encontrados nas areias da praia;
- Identificar o polímero-base dos produtos plásticos geradores dos microplásticos encontrados nas areias da praia.

## METODOLOGIA

### ÁREA DE ESTUDO

Localizado na cidade do Rio de Janeiro, o bairro da Urca é considerado um dos pontos turísticos indispensáveis à visitação, devido a praias com águas calmas. Este bairro é situado margem oeste da Baía de Guanabara e conta com um número de população e urbanização elevada, o que intensifica a preocupação na preservação ambiental (KJERFVE, 1997). A Baía de Guanabara está localizada no Estado do Rio de Janeiro, entre os paralelos 22°24" e 22°57" de latitude Sul e meridianos 43°33' e 43°19' Oeste, e constitui um estuário com cerca de 380 km<sup>2</sup> de área total, incluindo as ilhas no seu interior, que somam aproximadamente 59 km<sup>2</sup> (KJERFVE, 1997). A Praia Vermelha localizada nas coordenadas 22°57'19.0"S/43°9'53.48"W, com 280 metros de extensão, apresenta um perfil em rampa e plano com inclinação de 17° para o mar (AMADOR, 1997). Com poucas variações morfológicas e com largura entre 40-48 metros, além de ser formada por areia quartzosa grossa, com o predomínio de 75- 86% (da fração 0,500 mm), seguida de 11-25% de areia considerada muito grossa (1 mm).



**Figura 1:** Praia Vermelha, Urca, Rio de Janeiro.

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Para a escolha da praia também foi levada em consideração o acesso livre ao mar, para que caso houvesse uma deposição de MPs, os mesmos não fossem afetados por estruturas impostas pelo homem, como quebra-mares. O período escolhido para implementação do protocolo preliminar de coleta da amostragem na praia foi a primavera, no dia 12 de dezembro de 2023, no período de 06:00h às 09:00h, em vista que às 09:10h a maré começaria a subir novamente, de acordo com a Marinha do Brasil (2023).

## MATERIAIS

Os materiais utilizados neste estudo na etapa de coleta das amostragens *in loco* e tratamento das amostras no laboratório estão listados a seguir:

1. Fita métrica 100m
2. Marcadores de 50cm x 50cm
3. Estacas sinalizadoras de madeira
4. Tecido Voal
5. Baldes de metal
6. Pás de metal
7. Frascos de armazenamento e transporte de vidro
8. Régua de metal
9. Peneira metálica 2,35 mm
10. Peneira metálica 0,85 mm
11. Colher de metal
12. Pinça
13. Rastreador de GPS
14. Estufa
15. Erlenmeyer
16. Funil de Buchner
17. Água destilada
18. Placas de petri
19. Recipiente de vidro
20. Pinça

Todos os materiais utilizados foram de metais e/ou vidro, a fim de que se evitasse uma contaminação por produtos plásticos.

## DEMARCAÇÃO DE ÁREA

Para realização da demarcação da área foram escolhidas 5 seções no tamanho de 50cm x 50cm, que foram sinalizadas na linha de costa, que também é considerada como linha da maré. Para a identificação do momento da maré alta, foi realizada uma consulta na página eletrônica da Marinha do Brasil, onde foi indicado os dias e horários a serem escolhido para coleta (Marinha do Brasil, 2023). Considerando a demarcação da área, os 5 pontos foram demarcados no sentido Sul-Norte, pelas coordenadas de GPS, conforme Tabela 1. Os posicionamentos das seções foram determinados de forma aleatória por um gerador de números eletrônico. As 5 seções estabelecidas foram demarcadas na linha de maré e sinalizadas com estacas de madeira.

**Tabela 1:** Demarcação das seções pelas coordenadas de GPS.

Seção	Localização	Coordenadas
Seção 1	11m	22°57'22"S 43°9'53"O
Seção 2	22m	22°57'22"S 43°9'53"O
Seção 3	41m	22°57'21"S 43°9'53"O
Seção 4	49m	22°57'20"S 43°9'54"O
Seção 5	97m	22°57'19"S 43°9'53"O

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

## COLETA DE AMOSTRAS

Utilizando pás de metal a areia foi coletada até uma profundidade de 5cm, que foi marcada com uma régua de metal, na parte plana da areia, sendo desconsiderados os picos e o vales, uma vez que a areia se encontrava perturbada pela atividade humana. Para auxiliar em uma cava constante, foi cavado 5cm em um dos lados do quadrado e em seguida dos outros lados, sendo então formando um L.

Em seguida a coleta da areia e deposição da mesma em um balde de metal, iniciou-se o processo de flotação dos microplásticos. Esse processo foi capaz de separar os MPs contidos na areia selecionada, através da água filtrada que foi acrescentada no balde com a areia, recebendo uma agitação manual vigorosa por 4 min. Para cada uma das 5 seções, foi realizada uma subdivisão de 3 partes das areias contidas no balde. Essa subdivisão fez-se necessária, uma vez que a quantidade de areia deveria ser inferior à quantidade de água. Logo, no processo de flotação, os MPs emergiram por separação de densidade.

A seguir, os resíduos encontrados na superfície da água foram despejados na sequência de peneiras de 2,35mm e 0,85mm, para que os itens que tivessem entre essas granulometrias foram condicionados em um recipiente de vidro, utilizando o auxílio de uma colher e pinça de metal. Estes reservatórios foram rotulados com os números das seções para o transporte ao laboratório. Esse protocolo preliminar de coleta foi realizado nas 5 seções escolhida ao longo da extensão da Praia Vermelha.

De forma a reduzir a contaminação por fibras de roupas foi de extrema importância posicionar-se contra os ventos. Todos os itens menores que 0,85mm, incluindo a areia, que passou pelo processo de peneiramento foram desconsiderados. Uma vez, implementada a etapa *in loco* do protocolo, inicia-se a etapa laboratorial.

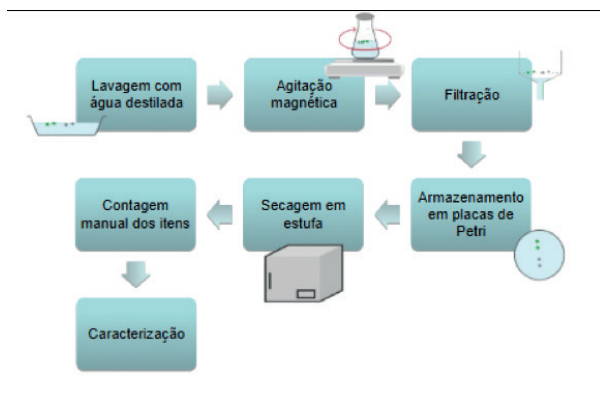
## PROCESSAMENTO LABORATORIAL

Completando a etapa de coleta, os recipientes de armazenamento das amostragens foram levados, para o laboratório para o tratamento. Na etapa de tratamento no laboratório, foi adicionado 70ml água destilada em todos os recipientes de transporte para que os MPs encontrados recebessem sua primeira lavagem. Em seguida, estes MPs foram pinçados e colocados em um recipiente de vidro de boca larga com 200ml de água bidestilada, para a segunda lavagem. Em sequência, os MPs foram pinçados novamente e realocados em frasco de *Erlenmeyer* com 100 ml de água bidestilada e todos os frascos de foram colocados em uma mesa de agitação magnética com 70 rpm, por 24 horas.

Anteriormente e posteriormente a utilização de cada item por seção houve uma limpeza com água destilada, por 3 vezes. A estufa teve sua temperatura fixada em 46°C e para estabilização desta foi mantida por 24h, logo após a estabilização da temperatura foi iniciado o processo de secagem das amostragens.

Em seguida, da agitação magnética os MPs passaram pelo processo de filtração com o funil de Buchner e um filtro de papel. Nesse processo os MPs depositados no filtro foram realocadas em placas de petri de vidro e direcionados para a estufa a 60°C, por 24h, conforme Figura 2. Após essa etapa, as amostras foram para implementação da sequência de técnicas de caracterizações. Após as diferentes amostras serem organizadas manualmente nas placas de Petri de acordo com sua seção de origem e serem fotografadas, sua numeração seguiu um padrão arbitrário.

**Figura 2:** Processo laboratorial dos MPs.



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

## CARACTERIZAÇÃO DOS POLÍMEROS

As análises foram realizadas pelo microscópio óptico Olympus BX50, com a medição realizadas pela mesma magnificação das amostras (10:1). Uma régua de paquímetro (Mitutoyo – Modelo 530-212) foi também micrografada nas mesmas condições das amostras. A marcação da régua serviu para a calibração do processo de conversão dos pixels das imagens em milímetros, através do software livre Image J (V. 1.46r). As distâncias longitudinais (L) e transversais (T) das amostras foram tomadas com dois algarismos significativos e, então, sua média foi expressa como Diâmetro de Feret médio ( $D_{FM}$ )

Apenas amostras que apresentaram  $D_{FM} \leq 5,5$  mm foram consideradas microplásticos (Castañeta, *et al.*, 2020). Os dados relativos aos MPs foram trabalhados em *software Origin* (V. 8.5, OriginLabs).

As medidas de espectroscopia por infravermelho com transformada de *Fourier* (FTIR) foram realizadas em um equipamento Nicolet iS5 (Termo fisher Scientific) em modo de atenuação total de refletância (ATR) usando um cristal de diamante, para analisar a estrutura química dos microplásticos encontrados nas seções. As análises foram realizadas em uma variedade de número de onda de  $500-4000\text{ cm}^{-1}$ , com resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$  e 50 varreduras.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

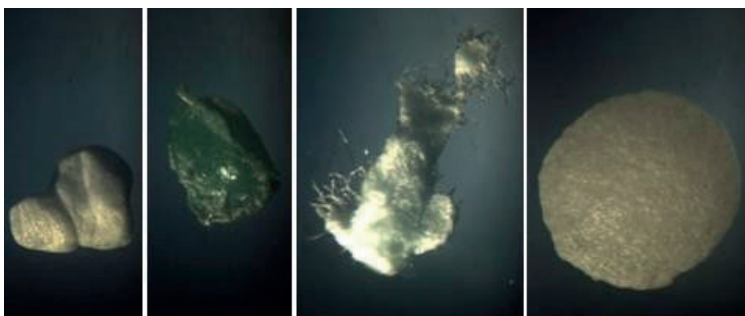
A primeira análise a ser realizada foi a microscopia óptica (OM), para verificação da existência ou não de microplásticos. As amostras foram colocadas no microscópio óptico e foram todas micrografadas sob as mesmas condições. A microscopia

óptica foi realizada em uma luz incidente, grande angular, com correlação de medida de tamanho. A análise de OM, também foi realizada a fim de se identificar a cor, forma, tamanho e validar as amostras recolhidas da areia da praia como microplásticos. A partir das micrografias do OM foi possível realizar o primeiro critério de exclusão por tipo de material coletados. Alguns fragmentos inorgânicos e orgânicos, biodegradáveis e/ou de origem natural, estavam presentes, mas foram desconsiderados.

A cor dessas partículas faz-se importante pois a cor é um dos fatores que podem influenciar a ingestão pela fauna marinha, por confundirem com alimento, afetando a cadeia alimentar (Shah *et al.*, 2008). Pelas fotos das micrografias ópticas e pelos diâmetros médios de Feret ( $D_{FM}$ ) foi possível analisar os tipos, coloração, e tamanho dos MPs de cada seção. Foram obtidas 32 partículas no total, sendo 1 na seção 1; 5 na seção 2; 13 na seção 3; 8 na seção 4; e 5 na seção 5.

A avaliação visual dos MPs foi baseada em metodologia descrita em ROCHA INTERNATIONAL (2018), que foi utilizada como guia para a classificação dos tipos de MPs das amostras coletadas. Na Figura 3 pode-se identificar os tipos de formas dos MPs, sendo espuma “isopor”, fragmento, filamento, pellet, nessa respectiva ordem. Ao analisar os tipos de MPs encontrados foi observado que há uma predominância do tipo denominado de “Espuma” (isopor). O que deve ser considerado em vista de que grande parte dos MPs encontrados na praia são oriundos de produtos derivados do poliestireno; talvez pelo fato de serem utilizadas embalagens de isopor para alimentação. A predominância da cor branca é também um resultado esperado, já que a maioria dos itens plásticos de poliestireno expandido apresenta essa coloração. As descolorações observadas se dão, possivelmente, pelos processos de exposição dos MPs as intempéries no ambiente da praia.

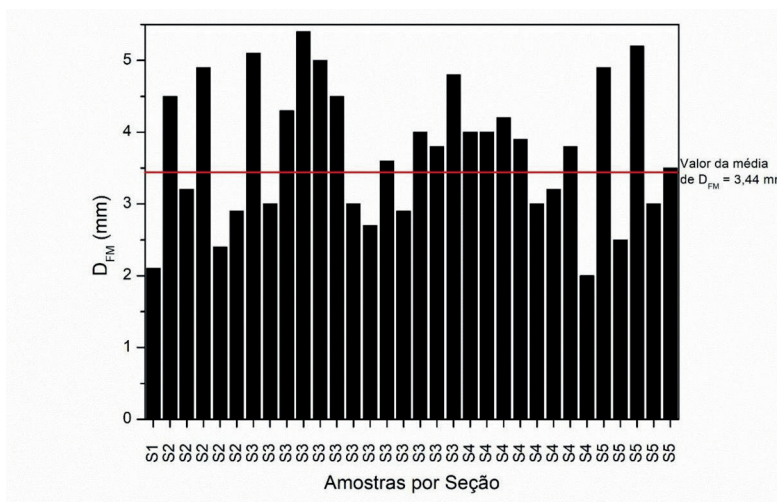
**Figura 3:** Classificação visual das diferentes formas de MP por meio de microscopia óptica (MO), mostrando espuma (poliestireno expandido), fragmento, filamento e pellet, respectivamente.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

A análise das médias do  $D_{FM}$  de todas as amostras de MPs, pode ser visto na Figura 4. Não foram encontrados MPs com  $D_{FM}$  menor que 1 mm. Os diâmetros médios por seção foram: 2,1mm na seção 1; 3,6mm na seção 2; 4mm na seção 3; 3,9mm na seção 4; e 3,8mm na seção 5.

**Figura 4:** Análise das médias do  $D_{FM}$  de todas as amostras de MPs coletadas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Os MPs do tipo de “Espuma” foram encontrados em todas as amostras coletadas pelas seções. O tipo “Fragmento” foi a segunda morfologia mais encontrada, seguida por “Filamentos” e “Pellet” que foi a menos encontrada na amostragem. Após foi realizada a análise de FTIR desses itens, visando se identificar o tipo de polímero base deste microplástico.

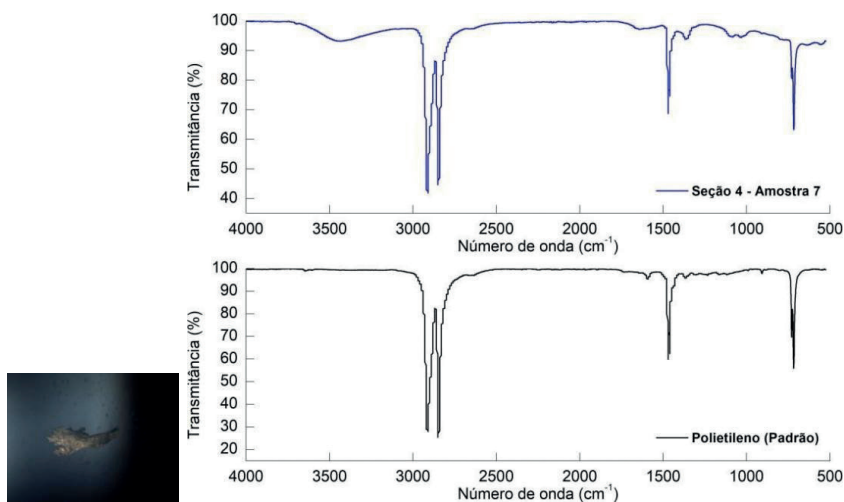
Dentre os diversos fragmentos plásticos visivelmente degradados, encontrados na coleta da areia da Praia Vermelha, destacou-se os itens da amostra 7 da Sessão 4 e da amostra 8 da Sessão 4, submetido à caracterização por FTIR-ATR.

Na Figura 5A foi possível observar o espectro de absorção do fragmento coletado, comparado com o espectro padrão. Observou-se a presença de banda de absorção em  $3442\text{ cm}^{-1}$  indica a formação de grupos hidroxila, já as bandas centradas em  $2913$  e  $2846\text{ cm}^{-1}$  são referentes as vibrações axiais dos grupos CH, já a banda de baixa intensidade e alargada, centrada em torno de  $1644\text{ cm}^{-1}$  é referente a formação de grupo carbonila de ésteres; provavelmente provenientes da degradação do material. As bandas de baixa intensidade, alargadas e localizadas entre  $1000$  e  $1100\text{ cm}^{-1}$  são

referentes a ligação C-O. Já as bandas centradas em  $1471$  e  $729\text{ cm}^{-1}$  são referentes as vibrações angulares no plano e fora do plano das ligações CH (Jung *et al.* 2018), confirmando assim que o microplástico em análise é oriundo do polietileno.

Já na Figura 5b, foi possível observar a banda de absorção de alta intensidade centrada em  $3332\text{ cm}^{-1}$  indica a formação de grupos hidroxilas, já as bandas localizadas em  $2915$  e  $2848\text{ cm}^{-1}$  são referentes as vibrações axiais dos grupos CH do polímero base de polietileno. As bandas alargadas localizadas em  $1738$  e  $1650\text{ cm}^{-1}$  são referentes a formação de grupo carbonila de cetona e carbonila de ésteres, respectivamente, as quais exibem o processo de degradação do material. As bandas alargadas na faixa de  $1472$ - $1204\text{ cm}^{-1}$  indicam uma mudança na interação dos grupamentos químicos devido ao alto índice de degradação. O aparecimento da banda localizada em  $1027\text{ cm}^{-1}$  de alta intensidade e alargada é referente a ligação C-O (Jung *et al.* 2018; Campanale *et al.* 2023), o que infere um elevado nível de degradação do microplástico.

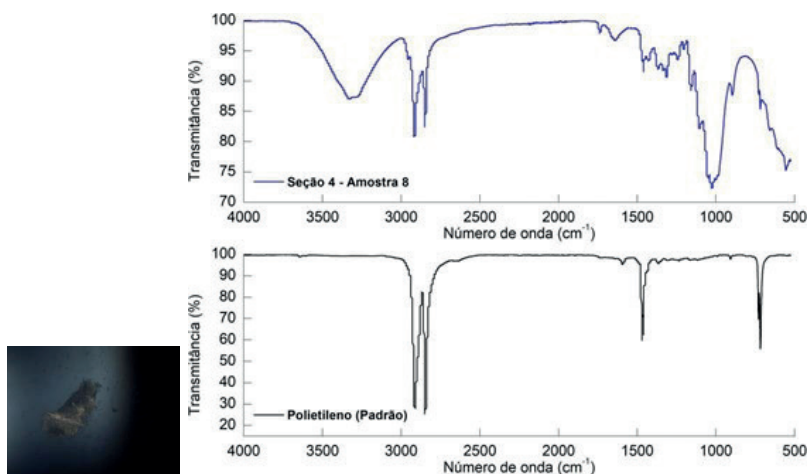
**Figura 5a:** Micrografia e espectro de FTIR da amostra 7, seção 4.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Ao analisar todas as amostras de MPs de todas as seções, pela técnica de FTIR, foi possível identificar o poliestireno (PS) sendo o maior tipo de MP encontrado na areia da praia, tendo sua identificação em todas as seções de amostragem da praia. Esse resultado é considerado plausível, em vista de que o polímero PS está contido em muitos produtos de embalagens como as embalagens de isopor, que são utilizadas na praia.

**Figura 5b:** Micrografia e espectro de FTIR da amostra 8, seção 4.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Foi possível observar, também, que a maior quantidade de MP de PS estava localizada na seção 3, onde se localiza uma das entradas principais da praia e era a seção mais próxima da barraca com venda de alimentos na areia. Com isso, a quantidade de tipos de MPs por seção foi de 1 poliestireno (PS) na seção 1; 3 PS, 1 polietileno (PE), 2 polipropileno (PP) na seção 2; 10 PS, 2 PE, 1 PP na seção 3; 6 PS, 2 PE na seção 4; 3 PS, 1 PE, 1 PP na seção 5.

Com a porcentagem aproximadamente de 70%, O PE e o PP foram o segundo e terceiro material polimérico identificados nos MPs, com ~18% e ~12%, respectivamente, na areia da praia. Os produtos oriundos de PE pode ser os filmes e sacolas, também facilmente encontrados nas praias. O MPs oriundos do PP podem ser encontrados em copos plásticos, tampas de refrigerantes, dentro outros.

## CONCLUSÃO

Esse estudo verificou a eficiência e confiabilidade da implementação de um protocolo preliminar de coleta, tratamento e caracterização de amostras de microplásticos encontradas em areias de praias. Os resultados foram obtidos através da implementação desse protocolo na Praia Vermelha/RJ, revelando que metodologia proposta foi capaz de fornecer indicativos relevantes sobre obtenção e identificação de MPs oriundos do descarte inadequado de produtos plásticos nesse ambiente costeiro.

A partir dos resultados obtidos neste estudo pode-se concluir que o método de flotação teve seu bom desempenho na obtenção desses MPs. O tratamento das amostras pela limpeza no laboratório foi considerado eficaz, com a utilização de água bidestilada no processo de lavagem, juntamente com a secagem na estufa. Foram realizadas exclusões dos itens com tamanhos >5,5 mm.

O total de amostras coletadas em todas as seções nas areias da praia revelou uma quantidade de 32 MPs, através da metodologia de coleta proposta. A metodologia de caracterização foi realizada com êxito, tendo sido a microscopia óptica capaz de obter micrografias das amostras coletadas, indicando a presença ou não de microplástico. Com base nessas micrografias foi possível observar que a forma mais identificada foi a Espuma; os diâmetros médios das amostras por seção variaram de: 2,1 mm na seção 1; 3,6 mm na seção 2; 4 mm na seção 3; 3,9 mm na seção 4; e 3,8 mm na seção 5; as colorações identificadas nas amostras foram: branca, brancas com descolorações, laranja e verde.

Através da análise de FTIR das amostras coletadas identificou-se o polímero base dos produtos plásticos que geraram os MPs coletados, sendo o mais comum o PS.

Além disso, os resultados obtidos reforçam a necessidade de ações integradas entre academia, poder público e setor privado, com foco na implementação de políticas de economia circular, logística reversa e educação ambiental. E, que a identificação dos polímeros predominantes permite traçar possíveis rotas de origem e orientar estratégias de mitigação, contribuindo diretamente para o aprimoramento da gestão ambiental urbana.

## REFERÊNCIAS

CASTAÑETA G, GUTIÉRREZ AF, NACARATTE F & MANZANO CA. Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Rev Boliv Quím* 37(3): 160-175.2020

DEBROAS, D.; MONE, A.; HALLE, A. T. Plastics in the North Atlantic garbage patch: A boat-microbe for hitchhikers and plastic degraders. *Science of The Total Environment*. V. 599-600. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.059>. Disponível em: . Acesso em 2 set 2023.

IDRIS, S. N.; AMELIA, T. S. M.; BHUBALAN, K.; LAZIM, A. M. M.; ZAKWAN, N. A. M. A.; JAMALUDDIN, M. I.; SANTHANAM, R.; AMIRUL, A. A.; VIGNESWARI, S.; RAMAKRISHNA, S. The degradation of single-use plastics and commercially viable bioplastics in the environment: A review. *Environmental Research*. V. 231, Part 1, 115988. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115988>. Disponível em < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935123007806> > Acesso em: 11 nov 2023.

JUNG MRE ET AL. Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Mar Pollut Bull* 127: 704- 716.2018.DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.061>.

KJERFVE, B.; RIBEIRO, C. H. A.; DIAS, G. T. M.; FILIPPO, A. M.; QUARESMA, V. S. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: baía de Guanabara, rio de janeiro, Brazil. *Continental shelf research*, v. 17(13):1609-1643p. 1997. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0278-4343\(97\)00028-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0278-4343(97)00028-9). Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278434397000289?via%3Di%3Dhub>. Acesso em: 2 ago 2023.

LEBRETON L.; RIPA, B.; FERRARI, F.; SAINTE-ROSE, B.; AITKEN, J.; MARTHOUSE, R.; HAJBANE, S.; CUNSOLO, S.; SCHWARZ, A.; LEVIVIER, A.; NOBRE, K.; DEBELJAK, P.; MARAL, H.; SCHOENEICH-ARGENT, R.; BRAMBINI, R.; REISSER, J. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*. V. 8 4666. 2018. DOI: 10.1038/s41598-018-22939-w. Disponível em: . Acesso em 14 set 2023.

OLIVATTO, P.G.; CARREIRA, R.; TORNISIELO, V. L.; MONTAGNER, C. C. Microplásticos: Contaminantes de Preocupação Global no Antropoceno. *Revista Virtual de Química*, v. 10, p. 1968-1989, 2018. DOI: 10.21577/1984-6835.20180125. Disponível em <https://s3.sa-east1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v10n6a16.pdf>. Acesso em: 7 out 2023.

PHAN, N.T; THAO, L. X. T.; DO, V. M.; NGUYEN, D. D. Assessment of microplastic presence in coastal environments and organisms of Da Nang, Vietnam, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 204, 2024, 116516, ISSN 0025-326X. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2024.116516. Disponível em :<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X24004934>>. Acesso em 14 jun 2025.

STERL, M.F; DELANDMETER, P.; SEBILLE, E. V. Influence of barotropic tidal currents on transport and accumulation of floating microplastics in the global open ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JC015583>. Disponível em :<<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2019JC015583>>. Acesso em 14 out 2023.

XU, S.; MA, J.; JI, R.; PAN, K.; MIAO, A. Microplastics in aquatic environments: Occurrence, accumulation, and biological effects. *Science of The Total Environment*. V. 703, p. 134699, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134699>. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896971934690X?via%3Di%3Dhub>. Acesso em: 2 jul. 2023.



T R A B A L H O 27

# MICROPLÁSTICOS EM ESGOTOS E EFLUENTES: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA GLOBAL

Gustavo Reis Martins

Elton Jorge da Rocha Rodrigues

Maria Inês Bruno Tavares

**RESUMO:** Este trabalho apresenta uma revisão bibliométrica da produção científica global sobre microplásticos em esgotos e efluentes, com base em 1.941 artigos indexados na base Scopus. A análise, realizada utilizando a plataforma Biblioshiny, interface gráfica do Bibliometrix em R, evidenciou um crescimento médio anual de 43,5% nas publicações, com destaque para a China como principal produtora. Foram identificadas as revistas de maior impacto, os países e a internacionalização da produção científica, bem como os termos e métodos analíticos mais recorrentes. A análise da nuvem de palavras e dos clusters temáticos revelaram áreas consolidadas, como caracterização de contaminantes e eficiência de tratamento, e lacunas relacionadas à regulação, percepção pública e soluções sustentáveis. Os resultados fornecem *insights* para o avanço da pesquisa, formulação de políticas públicas e desenvolvimento de tecnologias voltadas à mitigação da poluição por microplásticos em sistemas de saneamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** bibliometria; microplásticos; esgotos; efluentes; saneamento ambiental.

## INTRODUÇÃO

A poluição por microplásticos é considerada uma das formas mais persistentes e silenciosas de degradação ambiental atualmente. Essas partículas plásticas com diâmetro inferior a 5 mm são classificadas como primárias quando produzidas intencionalmente para uso industrial e comercial, e como secundárias quando resultantes da fragmentação de resíduos plásticos maiores. Essas partículas têm sido detectadas em todos os compartimentos ambientais (oceanos, rios, solos e atmosfera) e até em tecidos humanos (pulmões, placenta e cérebro), evidenciando sua onipresença e o potencial risco à saúde pública (Freire et al., 2022).

No contexto do saneamento, os microplásticos impõem um desafio técnico e regulatório crescente. Estações de Tratamento de Esgoto, mesmo dotadas de tecnologias avançadas, não removem completamente essas partículas. Estudos demonstram que, mesmo após tratamentos terciários, uma parcela significativa de microplásticos é lançada nos efluentes tratados, contaminando corpos hídricos e perpetuando o ciclo de poluição (Santos, 2022). Essa limitação operacional evidencia a necessidade de inovação tecnológica urgente para aprimorar a eficiência dos processos convencionais.

Além dos impactos ambientais, os microplásticos acarretam implicações socioeconômicas profundas. Comunidades vulneráveis, especialmente aquelas que dependem diretamente de fontes hídricas para consumo e subsistência, são as mais afetadas. A ingestão de água contaminada pode provocar inflamações, desequilíbrios hormonais e bioacumulação de substâncias tóxicas, comprometendo a saúde humana (Silva, 2024). Esse cenário de desigualdade no acesso à água potável e ao saneamento básico configura também uma questão de justiça ambiental.

Paralelamente, a produção científica sobre microplásticos vem crescendo exponencialmente nas últimas décadas. A bibliometria, enquanto método quantitativo de análise da literatura, possibilita mapear essa evolução, identificar os países líderes em pesquisa, os métodos analíticos predominantes e as lacunas ainda existentes (Ramos & Stocco, 2024; Martins et al., 2025). No entanto, verifica-se uma concentração de publicações em países do Hemisfério Norte, ao passo que regiões tropicais e de alta biodiversidade permanecem sub-representadas, o que prejudica a elaboração de políticas públicas mais abrangentes. Esse descompasso ressalta a necessidade de ampliar o escopo geográfico das investigações.

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e o Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar estabelecem diretrizes relevantes, mas ainda não contemplam especificamente o tema dos microplásticos. A carência de regulamentações voltadas a esses contaminantes emergentes dificulta o monitoramento e a gestão integrada de resíduos. A adoção de práticas como logística reversa, incentivo à economia circular e fiscalização mais efetiva configura-se como medida urgente para mitigar os impactos causados por essas partículas (Santos, 2023). Essas ações demandam articulação entre poder público, iniciativa privada e sociedade civil.

Do ponto de vista ecotoxicológico, os microplásticos atuam como vetores de diversos poluentes químicos, incluindo metais pesados, antibióticos e hormônios, ampliando seus efeitos nocivos (Martins et al., 2025). Quando ingeridos por organismos aquáticos, essas partículas podem causar obstruções físicas, alterações genéticas, estresse oxidativo e até mortalidade (Freire et al., 2022). A bioacumulação

desses contaminantes ao longo da cadeia trófica representa uma ameaça direta à biodiversidade e à segurança alimentar humana. Assim, é fundamental compreender esses mecanismos para desenvolver estratégias de mitigação mais eficazes.

A presença de microplásticos em efluentes também compromete a qualidade da água destinada ao consumo humano. Recentemente, foram identificadas partículas plásticas em amostras de água potável, tanto envasada quanto distribuída por sistemas públicos de abastecimento. A Organização Mundial da Saúde alerta que a redução da poluição plástica aliada ao aprimoramento dos processos de tratamento constitui a principal estratégia para minimizar esse problema (Freire et al., 2022). Esses achados reforçam a urgência de medidas integradas entre pesquisa, regulação e gestão do saneamento.

Além disso, a crise dos microplásticos reflete também uma crise de governança. A dificuldade de articulação entre a comunidade científica, o setor produtivo e os órgãos governamentais impedem a implementação de soluções eficazes e escalonáveis. Iniciativas como o projeto MicroMar, que mapeia a poluição microplástica em praias brasileiras, exemplificam a potencial contribuição de pesquisas aplicadas para subsidiar políticas públicas mais robustas (Silva, 2024). No entanto, a escassez de investimentos em inovação tecnológica direcionada ao saneamento limita o alcance dessas iniciativas.

A revisão bibliométrica proposta neste trabalho busca compreender a evolução da produção científica global sobre microplásticos em esgotos e efluentes, identificando tendências, lacunas e oportunidades. Ao analisar os principais métodos de detecção, os países mais produtivos e os temas recorrentes, será possível traçar um panorama crítico do estado da arte e propor caminhos para o avanço da pesquisa e da gestão ambiental.

Diante desse contexto, este estudo propõe uma revisão bibliométrica da produção científica global sobre microplásticos em esgotos e efluentes. O objetivo é identificar tendências de pesquisa, métodos analíticos utilizados, principais países produtores e lacunas existentes na literatura. Com base nessa análise, busca-se traçar um panorama crítico do estado da arte e propor diretrizes para o avanço da pesquisa e da gestão ambiental. Acredita-se que este trabalho possa contribuir para o desenvolvimento de estratégias integradas que promovam a preservação dos recursos hídricos, a equidade social e a resiliência dos sistemas de saneamento em face dos desafios contemporâneos.

## OBJETIVO

Com base no panorama crítico apresentado na introdução, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão bibliométrica da produção científica global sobre microplásticos em esgotos e efluentes. A análise abrange a identificação das principais tendências de pesquisa, incluindo a caracterização e o tratamento dessas partículas, bem como a avaliação dos métodos analíticos mais empregados na literatura recente.

Pretende-se ainda mapear os países mais produtivos, os periódicos de maior relevância e as lacunas temáticas existentes. Ao compreender o estado atual do conhecimento, o trabalho busca fornecer subsídios técnicos que orientem futuras investigações em saneamento ambiental, com foco na mitigação dos impactos dos microplásticos em sistemas de tratamento de águas residuárias.

## METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo consistiu em uma abordagem bibliométrica, fundamentada na coleta e análise de dados bibliográficos provenientes da base de dados Scopus. A busca foi realizada utilizando os seguintes termos combinados com operadores booleanos: (*"microplastic\*" OR "micro-plastic\*" OR "microplastics pollution"*) AND (*"wastewater treatment" OR "sewage treatment" OR "effluent" OR "WWTP" OR "wastewater effluent"*), abrangendo artigos publicados sem restrição de período, coletando dados sobre os títulos, resumos e palavras-chave utilizada nas publicações.

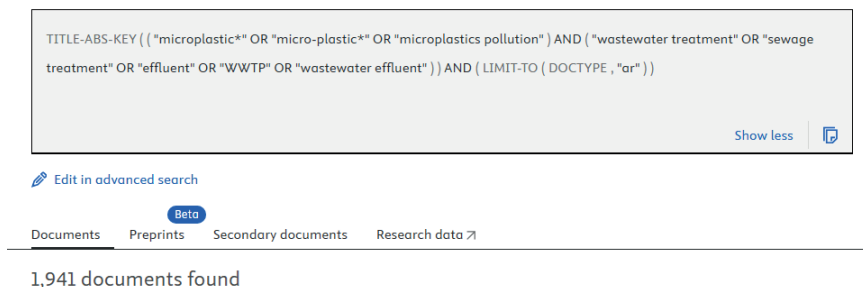
Os dados obtidos foram tratados e analisados por meio da plataforma Biblioshiny, interface gráfica do pacote Bibliometrix em R, especializada em análises bibliométricas e estatísticas (Aria & Cuccurullo, 2017). Esse procedimento permitiu avaliar indicadores como a evolução anual de publicações, as fontes e os autores mais produtivos, as redes de colaboração nacionais e internacionais, além da frequência dos termos associados ao tema.

Para aprimorar a qualidade visual das representações gráficas, os dados foram refinados no software OriginPro 8.5, possibilitando a organização clara e precisa das informações, que serviram de base para a interpretação dos resultados obtidos. Essa abordagem metodológica viabilizou uma análise abrangente do campo de estudo, consolidando uma visão crítica sobre o desenvolvimento científico relacionado aos microplásticos em sistemas de esgoto e tratamento de efluentes.

## RESULTADOS

A busca bibliográfica na base de dados Scopus resultou em 1.941 artigos sobre microplásticos em esgotos e efluentes, conforme ilustrado na Figura 1. Foram considerados exclusivamente artigos originais, assegurando o foco em produções acadêmicas primárias e metodologicamente consolidadas.

Figura 1 – Resultado da busca na base Scopus.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse volume expressivo de publicações evidencia o crescente interesse da comunidade científica internacional em compreender as implicações ambientais e tecnológicas dos microplásticos no contexto do saneamento. A utilização de termos específicos combinados por operadores booleanos permitiu delimitar com precisão o escopo temático da revisão, concentrando-se em estudos sobre ocorrência, caracterização e tratamento de microplásticos em sistemas de esgoto, estações de tratamento (*WWTPs*) e efluentes líquidos.

Prosseguindo com a análise dos dados obtidos, o processamento via plataforma Biblioshiny gerou um painel estatístico consolidando os principais indicadores bibliométricos relacionados ao tema (Figura 2).

A Figura 2 apresenta uma visão geral dos 1.941 artigos publicados entre 2011 e 2025. Os dados indicam um crescimento anual de 43,47% nas publicações, refletindo o interesse crescente da comunidade científica. A média de idade dos documentos, de apenas 2,54 anos, revela a atualidade e o dinamismo do campo.

Figura 2 – Painel que sumariza os dados dos artigos da base Scopus.



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando biblioshiny.

A colaboração entre autores é significativa: apenas 24 publicações são de autoria única, com média de 5,61 coautores por artigo e 25,86% de coautoria internacional. Esses indicadores evidenciam o caráter multidisciplinar e transnacional da produção científica sobre o tema, enriquecendo a diversidade metodológica e interpretativa.

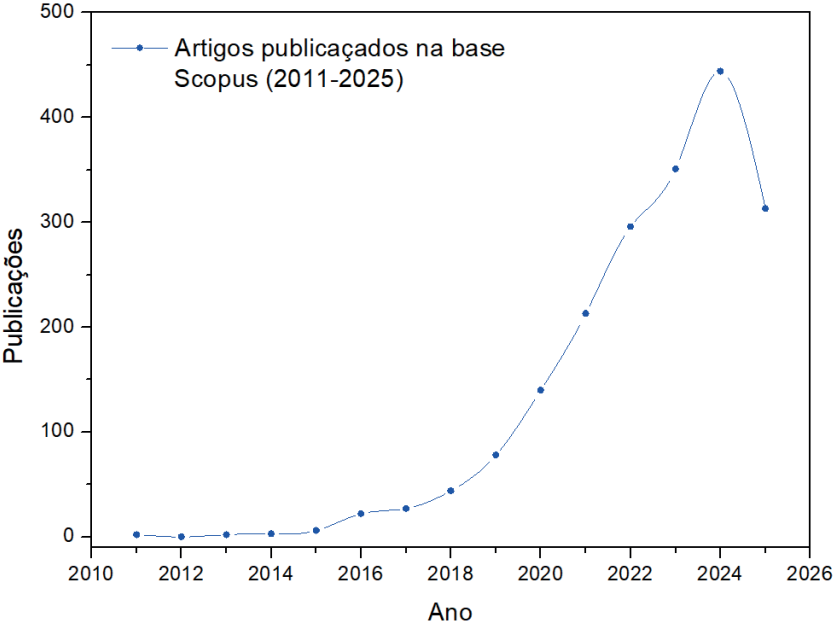
A relevância das publicações é confirmada por uma média de 55,27 citações por artigo e um total de 85.613 referências citadas. A amplitude de fontes (341 periódicos e conferências) e o envolvimento de 8.092 autores refletem o alcance e a densidade bibliográfica do campo. Adicionalmente, a presença de 4.385 palavras-chave fornecidas pelos autores potencializa a indexação dos estudos, facilitando sua recuperação e análise.

Esses indicadores atestam a robustez e a dinamicidade da produção científica, oferecendo uma base sólida para as análises subsequentes. A partir desses dados, exploram-se aspectos como a evolução anual das publicações, os países mais produtivos, os periódicos de maior impacto, redes de colaboração e palavras-chave recorrentes, entre outros.

Essas informações constituem a base para compreender o desenvolvimento científico sobre microplásticos no contexto do saneamento e identificar oportunidades para inovação tecnológica e avanço regulatório.

A análise temporal, conforme apresentado na Figura 3, revela crescimento consistente do interesse científico ao longo dos últimos quatorze anos. Entre 2011 e 2017, o número de publicações aumentou gradualmente. A partir de 2018, verifica-se uma inflexão na curva, culminando em cerca de 450 publicações em 2024. A queda projetada para 2025, em torno de 300 publicações, decorre do fato de o ano ainda não ter sido concluído, não indicando necessariamente uma retração real na produção científica.

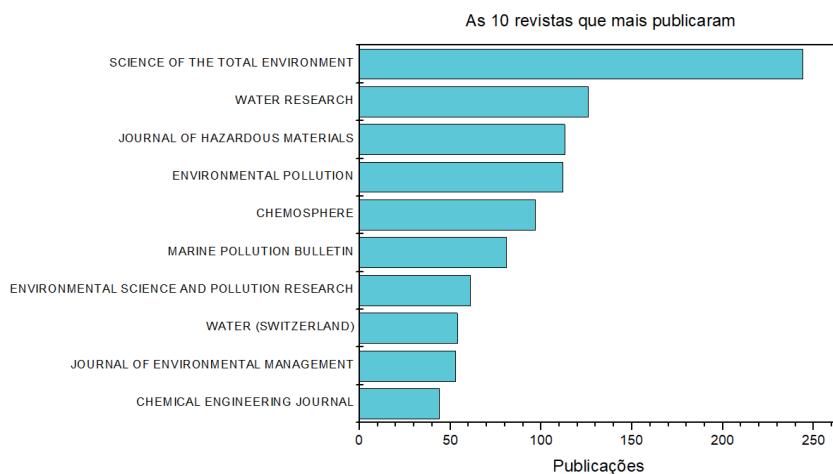
Figura 3 – Progresso das publicações por ano.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 4 exibe os dez periódicos que mais publicaram sobre o tema. Destaca-se a revista *Science of the Total Environment*, com aproximadamente 250 artigos, seguida por *Water Research*, com mais de 100 publicações. *Journal of Hazardous Materials* e *Environmental Pollution* ocupam a terceira e quarta posições, respectivamente, enquanto periódicos como *Chemosphere*, *Marine Pollution Bulletin*, *Environmental Science and Pollution Research*, *Water (Switzerland)*, *Journal of Environmental Management* e *Chemical Engineering Journal* completam o ranking.

Figura 4 – Distribuição das 10 revistas que mais publicaram sobre o tema.



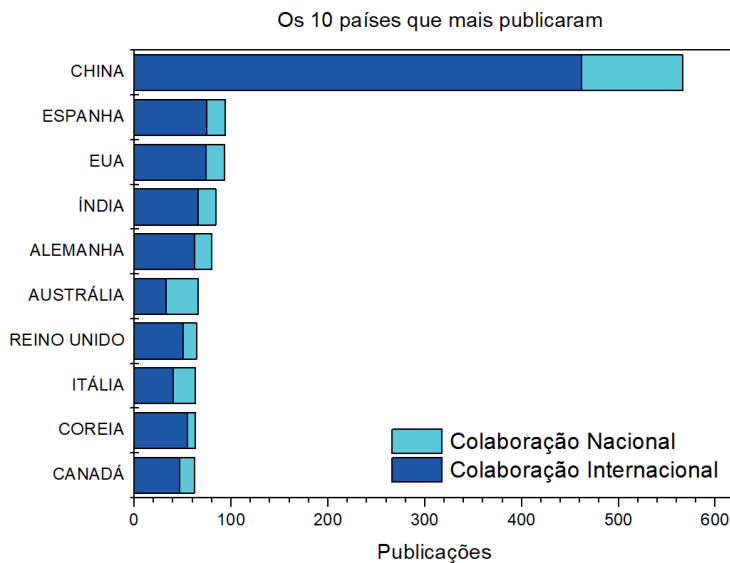
Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa distribuição evidencia não apenas os veículos com maior concentração de estudos, mas também orienta pesquisadores na seleção de periódicos para submissão de novos trabalhos. A liderança de revistas multidisciplinares reforça a transversalidade do tema, que envolve química, biologia, engenharia e políticas públicas.

Na Figura 5, observa-se que a China lidera de forma expressiva o conjunto de publicações sobre microplásticos em esgotos e efluentes, com 566 trabalhos, dos quais 462 resultam de colaboração nacional e 104 de parcerias internacionais (aproximadamente 82 % e 18 %, respectivamente). Em seguida, Espanha e Estados Unidos aparecem praticamente empatados, com 94 e 93 artigos, apresentando proporções semelhantes de colaborações nacionais (cerca de 80 %) e internacionais (aproximadamente 20 %). Índia e Alemanha ocupam o quarto e o quinto lugares, com 84 e 80 publicações, respectivamente, mantendo forte base interna de pesquisa, superior a 75 % em ambos os casos, sem, contudo, desconsiderar as cooperações além de suas fronteiras.

No grupo subsequente destacam-se a Austrália, com 66 publicações repartidas igualmente entre colaborações nacionais e internacionais, e o Reino Unido, que contabiliza 64 estudos (78 % nacionais e 22 % internacionais). Itália e Coreia do Sul apresentam totais idênticos de 63 trabalhos, mas perfis distintos: enquanto a Itália registra maior percentual de coautorias estrangeiras (36 %), a Coreia concentra 87 % das pesquisas em equipes locais. O Canadá, por fim, completa o top 10 com 62 artigos e participação internacional de 24 %. Esses resultados evidenciam a consolidação de potências científicas capazes de aliar elevado volume de produção interna a redes globais de colaboração, e apontam o papel estratégico de nações de menor porte em buscar parcerias externas para ampliação de visibilidade.

Figura 5 – Os 10 países que mais publicaram, com cooperação nacional e internacional.



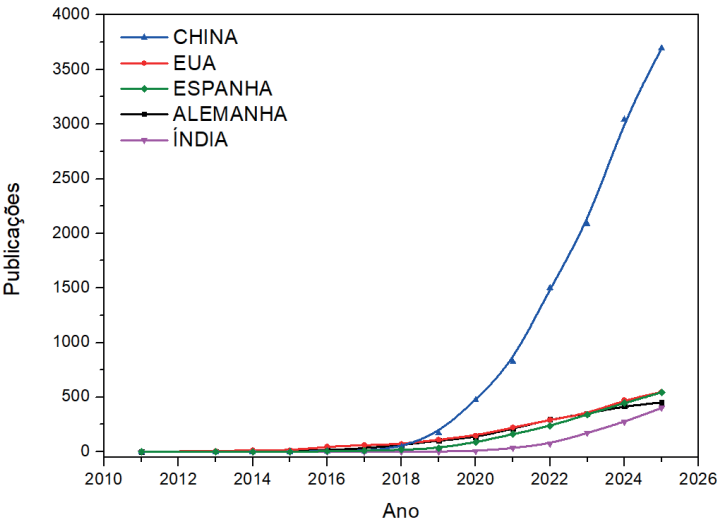
Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise desse perfil de colaboração permite mapear redes de expertise, identificar potenciais parceiros e orientar estratégias de cooperação, sobretudo em contextos de recursos limitados e impactos críticos no saneamento, reforçando a necessidade de ampliar a internacionalização em nações em desenvolvimento.

Em conjunto com a Figura 5, a Figura 6 detalha a evolução temporal das publicações nos cinco países mais produtivos. A distribuição temporal das publicações revela que, até meados da última década, os cinco países analisados mantinham

produção incipiente em estudos sobre microplásticos em esgotos e efluentes, com valores reunindo menos de 20 artigos anuais em 2015. A partir de 2016, todos os casos mostraram aceleração, mas foi a China que experimentou o crescimento mais abrupto: partindo de apenas 6 artigos em 2016, sua produção saltou para 474 em 2020 e atingiu quase 3 700 em 2025, conferindo-lhe liderança incontestável. Os Estados Unidos também apresentaram incremento contínuo, passando de 47 estudos em 2016 para cerca de 550 em 2025, enquanto a Alemanha evoluiu de 15 para 450 artigos no mesmo período, reforçando o papel dessas nações como polos consolidados de pesquisa.

Figura 6 – Distribuição temporal das publicações dos 5 países colocados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Paralelamente, países que começaram com fluxos menores demonstraram ritmo de expansão notável. A Espanha, praticamente ausente até 2015, alcançou 446 publicações em 2024 e 544 em 2025, refletindo forte mobilização de grupos acadêmicos no tema. A Índia, embora tenha iniciado com apenas um artigo em 2016, apresentou crescimento acentuado a partir de 2021, totalizando mais de 400 trabalhos em 2025. Essas trajetórias ilustram a transição de um escoamento bibliográfico pontual para uma dinâmica robusta e global, apontando para a crescente prioridade dada ao saneamento ambiental e à poluição por microplásticos em diferentes contextos nacionais.

Uma possível explicação para o expressivo aumento da produção chinesa demonstrado, tanto na Figura 5 quanto na Figura 6, reside no rápido reconhecimento, por parte de autoridades e meio acadêmico, dos impactos advindos do uso intensivo de materiais poliméricos em fazendas agrícolas. Fernandes, Ribeiro e Cardoso (2022), atribuem ao descarte desordenado desse material, amplamente empregado para manter temperatura e umidade do solo, a intensa contaminação de solos e ambientes aquáticos do país, o que impulsionou a criação de linhas de pesquisa voltadas ao monitoramento, caracterização e remoção de partículas plásticas emergentes. Adicionalmente, relatórios como o do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (2022) destacaram o acúmulo alarmante de microplásticos em campos agrícolas, reforçando a urgência de investigações multidisciplinares sobre fontes, destino e efeitos dessas partículas em ecossistemas cultivados e em potencial risco à segurança alimentar.

Em paralelo a esse cenário de problematização ambiental, agências de fomento nacionais, em especial a *National Natural Science Foundation of China*, passaram a priorizar chamadas temáticas voltadas a microplásticos, oferecendo financiamento substancial para projetos que abordassem desde métodos analíticos até estratégias de remediação. Soma-se a isso a publicação, em 2019, de planos de ação governamentais para a prevenção e controle da poluição plástica, que institucionalizaram o estudo de microplásticos como componente-chave nas políticas ambientais chinesas. Essas iniciativas conjuntas criaram um ambiente favorável ao aumento acelerado de trabalhos científicos, consolidando a China como epicentro global na produção de conhecimento sobre microplásticos em águas residuárias.

Figura 7 sintetiza os termos mais frequentes nas publicações, servindo como um indicativo das prioridades temáticas. Essa representação gráfica sintetiza, por meio da frequência de termos, os conceitos mais abordados pelos autores ao longo dos anos, funcionando como um indicativo da relevância e das prioridades temáticas dentro da área de pesquisa.

A importância desse tipo de visualização reside no fato de ela oferecer uma leitura rápida e intuitiva sobre os focos predominantes na produção científica, possibilitando a identificação de tendências consolidadas e lacunas de estudo. A centralidade do termo "*microplastics*", seguido por expressões como "*wastewater treatment*", "*plastic*" e "*water pollutant*", evidencia que os esforços acadêmicos se concentram majoritariamente na caracterização dos contaminantes plásticos e na busca por tecnologias que promovam a mitigação de seus impactos em corpos hídricos e infraestruturas de saneamento.

Termos técnicos recorrentes como "*polymer*", "*adsorption*", "*effluent*" e "*toxicity*", bem como nomes de materiais específicos com "*polyethylene*", "*polystyrene*" e "*polypropylene*", indicam um aprofundamento nas composições e propriedades físico-

químicas desses poluentes. Além disso, o destaque para metodologias avançadas como “fourier transform infrared spectroscopy” e “scanning electron microscopy” sugere o emprego sistemático de ferramentas analíticas sofisticadas no estudo do tema.

Figura 7 – Nuvem dos termos mais frequentes dos artigos publicados.



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando biblioshiny.

A inclusão de termos que remetem à gestão pública e infraestrutura, como “waste water management”, “sewage pumping plants” e “sludge”, reforça o envolvimento de múltiplos setores no enfrentamento do problema, evidenciando seu caráter interdisciplinar e sistêmico. A recorrência de palavras como “human”, “nonhuman” e “microbial community” amplia ainda mais o escopo, ao apontar preocupações com os impactos ecotoxicológicos e potenciais riscos à saúde humana.

Entretanto, algumas lacunas podem ser inferidas a partir da ausência ou baixa frequência de termos associados à avaliação normativa, à percepção pública, e aos impactos socioeconômicos da poluição por microplásticos. Também são pouco recorrentes expressões ligadas ao desenvolvimento de materiais alternativos e soluções tecnológicas sustentáveis, como biopolímeros ou estratégias de economia circular, o que sugere uma oportunidade de aprofundamento em áreas ainda pouco exploradas. A escassez relativa de termos relacionados à modelagem de dispersão ambiental e à avaliação de risco integrado reforça a necessidade de abordagens mais preditivas e sistêmicas nos estudos futuros.

Em síntese, essa representação gráfica atua como um recurso estratégico que não apenas orienta pesquisadores na definição de linhas de investigação promissoras, como também subsidia tomadores de decisão no desenvolvimento de políticas ambientais mais eficazes. Trata-se, portanto, de uma ferramenta valiosa para o alinhamento da ciência às demandas sociais e ambientais contemporâneas.

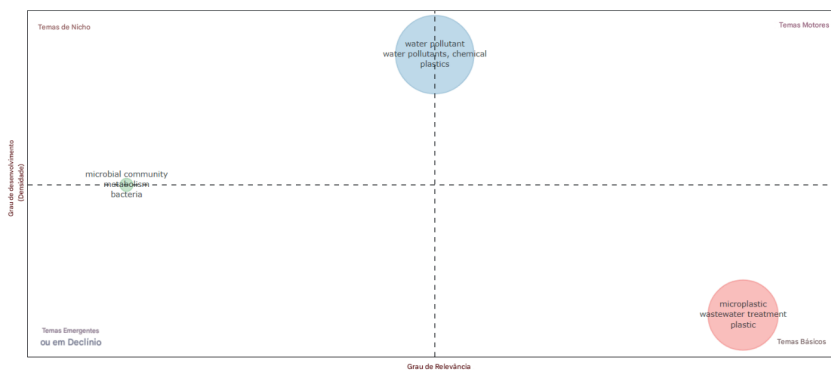


Em suma, a rede de coocorrência fornece um panorama estratégico para pesquisadores e formuladores de políticas, permitindo a priorização de temas cruciais, a identificação de áreas emergentes e o fortalecimento de conexões entre diferentes domínios do conhecimento.

De forma relacionável, a Figura 9 apresenta um mapa temático construído a partir da centralidade e da densidade dos temas extraídos das publicações sobre microplásticos em esgotos e efluentes. Essa ferramenta visual organiza o campo de estudo em quatro quadrantes, permitindo identificar áreas consolidadas, ainda em desenvolvimento e potenciais lacunas de pesquisa. Sua importância reside na capacidade de sintetizar, de forma imediata, onde se concentram os esforços científicos e quais tópicos merecem maior atenção.

No quadrante superior direito (temas motores), agrupam-se termos como *"water pollutant"*, *"water pollutants, chemical"* e *"plastics"*, que apresentam alta densidade e alta centralidade. Esses temas são tanto bem estabelecidos quanto estruturantes para a rede de conhecimento, refletindo os núcleos intelectuais consolidados em torno da caracterização e do impacto de poluentes plásticos na água. Já no quadrante inferior direito (Temas básicos) encontram-se *"microplastic"*, *"wastewater treatment"* e *"plastic"*, com alta centralidade, porém densidade ainda em evolução. Esses conceitos são fundamentais por conectarem diferentes linhas de investigação, mas demandam aprofundamento metodológico e maior diversificação de estudos.

Figura 9 – Mapa temático.



Fonte: Elaborado pelo autor utilizando biblioshiny.

O quadrante inferior esquerdo (temas emergentes ou em declínio) reúne temas como *"microbial community"*, *"metabolism"* e *"bacteria"*, caracterizados por baixa centralidade e baixa densidade. Sua posição sugere que esses tópicos estão

emergindo ou, alternativamente, declinando em atenção, indicando oportunidades para investigações que integrem microbiologia e ecotoxicologia na análise de microplásticos. A ausência de temas no quadrante superior esquerdo (temas de nicho) aponta que não há, no momento, áreas muito desenvolvidas, mas de caráter pontual ou periférico.

Em suma, o mapa temático não só orienta pesquisadores sobre quais temas já estão maduros e demandam refinamento, como também destaca teses emergentes ou subexploradas, subsidiando decisões estratégicas de alocação de recursos, definição de agendas de pesquisa e articulação de parcerias interdisciplinares. Essa visão panorâmica fortalece a coerência metodológica e acelera o avanço do conhecimento no enfrentamento da poluição por microplásticos em sistemas de saneamento.

De forma integrada, os dados apresentados demonstram a consolidação da pesquisa sobre microplásticos em esgotos e efluentes como um campo científico dinâmico, multidisciplinar e em franca expansão. A expressiva quantidade de publicações, a diversidade de países envolvidos, os periódicos especializados e as redes internacionais de colaboração reforçam a centralidade do tema no debate ambiental contemporâneo. As análises de coocorrência e de núcleos temáticos mostraram que a produção está fortemente orientada para a caracterização físico-química dos microplásticos e para a avaliação da eficiência de tecnologias de tratamento, embora ainda existam lacunas em dimensões normativas, sociais e de inovação sustentável.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou uma revisão bibliométrica sistemática da produção científica global sobre microplásticos em esgotos e efluentes, com base em 1.941 artigos indexados na base Scopus entre 2011 e 2025. A análise revelou um crescimento anual médio de 43,5%, sustentado por colaborações multidisciplinares e transnacionais, consolidando a China como principal centro de produção científica sobre o tema, seguida por Estados Unidos, Espanha, Índia e Alemanha.

O mapeamento dos periódicos de maior impacto, das redes de coautoria e das palavras-chave mais frequentes possibilitou delinear o perfil intelectual da área, destacando as principais técnicas analíticas empregadas e os materiais poliméricos mais estudados, como polietileno, poliestireno e polipropileno. Esses elementos revelam não apenas o avanço metodológico, mas também o amadurecimento das investigações sobre contaminação e mitigação em sistemas de saneamento.

A análise dos clusters temáticos e do mapa de densidade e centralidade indicou os eixos consolidados da literatura, como caracterização de microplásticos e eficiência de estações de tratamento de águas residuais, e expôs lacunas importantes. Dentre elas,

destacam-se as relacionadas a aspectos normativos, socioeconômicos e à aplicação de soluções sustentáveis, como biopolímeros e estratégias de economia circular. A baixa integração entre subáreas, evidenciada pelas métricas de intermediação e conectividade, aponta oportunidades para estudos interdisciplinares que unam modelagem preditiva, avaliação de risco e impactos à saúde humana.

Esses resultados oferecem implicações relevantes para a academia e para a formulação de políticas públicas. A escolha estratégica de periódicos e regiões de estudo, o incentivo à formação de consórcios internacionais e o fomento à ciência aberta são medidas que podem acelerar a geração de conhecimento e viabilizar a implementação de tecnologias de remoção mais eficazes.

Adicionalmente, a compreensão das tendências de publicação e das redes de colaboração fornece subsídios valiosos para agências de fomento e gestores de políticas ambientais. A identificação de lacunas também pode orientar investimentos direcionados a temas subexplorados, fortalecendo a governança e a capacidade de resposta frente à poluição plástica emergente.

Como desdobramento futuro, recomenda-se expandir a análise para outras bases de dados, como a Web of Science, a fim de permitir comparações robustas e mitigar possíveis vieses de cobertura regional. Além disso, a incorporação de métodos qualitativos, como a análise de conteúdo de políticas públicas e entrevistas com operadores de estações de tratamento, poderá enriquecer a compreensão dos desafios técnicos, institucionais e sociais relacionados à presença de microplásticos em sistemas de saneamento.

Em síntese, esta revisão bibliométrica oferece um panorama crítico e abrangente da produção científica sobre microplásticos em esgotos e efluentes. Ao destacar avanços, identificar lacunas e propor caminhos para a pesquisa aplicada, o trabalho contribui para o fortalecimento de estratégias integradas que visem à proteção dos recursos hídricos, à saúde ambiental e à promoção da equidade no acesso ao saneamento de qualidade.

## REFERENCIAS

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

FERNANDES, Emília Mori Sarti; RIBEIRO, Valéria Lopes; CARDOSO, Fernanda Graziella. Microplásticos, desenvolvimento e saúde: China [versão final]. [S.l.]: SEP, 2022. Disponível em: [https://enep.sep.org.br/uploads/3004\\_1710630055\\_Microp%C3%A1sticos,\\_desenvolvimento\\_e\\_sa%C3%BAde\\_\\_China\\_vers%C3%A3ofinal\\_pdf\\_ide.pdf](https://enep.sep.org.br/uploads/3004_1710630055_Microp%C3%A1sticos,_desenvolvimento_e_sa%C3%BAde__China_vers%C3%A3ofinal_pdf_ide.pdf).

FREIRE, R. C. et al. Microplástico: contaminantes emergentes presente em efluentes domésticos e sua influência na qualidade da água para consumo humano. *Revista Brasileira de Meio Ambiente & Sustentabilidade*, v. 9, n. 2, p. 45–60, 2022. Disponível em: <https://rbmaes.emnuvens.com.br/revista/article/view/221>.

Martins, G. R., Rodrigues, E. J. R., & Tavares, M. I. B. (2025). The invisible world of nanoplastics: bibliometric analysis on nanoplastics and study of their adsorption capacity. *Anais Da Academia Brasileira De Ciências*, 97(supl 3). <https://doi.org/10.1590/0001-3765202520240922>

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. *Plastics and the environment: state of knowledge and research needs*. Nairobi: UNEP, 2022. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/plastics-environment-state-knowledge-and-research-needs>.

RAMOS, I. A.; STOCCO, J. L. R. *Desafios na Identificação e Caracterização de Microplásticos em Ambientes Aquáticos: Uma Revisão Bibliográfica*. Instituto Federal do Espírito Santo, 2024. Disponível em: [https://repositorio.ifes.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/5641/TCC\\_Micropl%C3%A1stico\\_Revis%C3%A3o\\_Bibliogr%C3%A1fica.pdf](https://repositorio.ifes.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/5641/TCC_Micropl%C3%A1stico_Revis%C3%A3o_Bibliogr%C3%A1fica.pdf).

SANTOS, M. O. *Análise sistemática da remoção de microplásticos em estações de tratamento de águas residuárias*. Universidade Federal de São Paulo, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/server/api/core/bitstreams/b113965a-3f24-4364-8e76-4922ee66c353/content>.

SANTOS, R. D. *Ocorrência de microplásticos em estações de tratamento de esgoto*. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2022. Trabalho apresentado no Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP. Disponível em: <https://prp.unicamp.br/inscricao-congresso/resumos/2022P19510A36866O4734.pdf>.

SILVA, A. C. *Poluição por microplásticos em corpos hídricos: uma avaliação das emissões pós-tratamento de efluentes no Brasil*. Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/c00702b5-4183-4ffe-9494-f9071c6ee097/content>.



T R A B A L H O 28

## NEGÓCIOS DE IMPACTO: O CASO DA ORGANA BIOTECH NO ECOSISTEMA DE INOVAÇÃO DE JOINVILLE (SC)

Guilherme Ottoni Zimmermann

Andrea Geiza dos Anjos

Pamela Prim

Talita Defrein

**RESUMO:** A startup Organa Biotech nasceu no ecossistema de inovação de Joinville, durante o evento *Startup Weekend*, em novembro de 2019. Criada para auxiliar no gerenciamento de resíduos orgânicos provenientes de cozinhas industriais de empresas de médio e grande porte, a proposta prioriza a sustentabilidade, evita etapas logísticas e contribui para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Em quase seis anos de existência, sendo três deles com contratos ativos, os resultados são expressivos, tanto para os clientes, em termos de resíduos compostados, quanto para a sociedade, por meio de palestras, ações educativas, redução do desperdício de alimentos e geração de dados. A Organa Biotech busca transformar os resíduos orgânicos gerados nas cozinhas industriais em um produto valorizado como matéria-prima para a produção de adubo. Entre janeiro de 2020 e abril de 2025, a startup processou mais de 301 toneladas de resíduos, sendo 97,58% orgânicos e apenas 2,42% classificados como rejeitos. Desse total, 293.819 kg de resíduos orgânicos foram desviados de aterros sanitários, resultando na produção de 117.528 kg de composto, fechando o ciclo de forma eficiente. A operação contribuiu para a redução de 312,80 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, graças à compostagem local e à mitigação do transporte e da decomposição anaeróbia em aterros. Embora o processo de compostagem tenha gerado 54,47 toneladas de CO<sub>2</sub>, esse impacto é significativamente menor do que a alternativa convencional. (ORGANABIOTECH, 2025). A Organa Biotech cresce a uma taxa superior a 90% ao ano, conta com uma equipe de nove pessoas e atende 18 grandes clientes. Além disso, teve projeto aprovado no Edital FAPESC 50/2024 – Impulsiona SC, por meio do

Termo de Subvenção nº 2024TR002448, consolidando-se como um laboratório de soluções para resíduos orgânicos e um case de sucesso no ecossistema de inovação de Joinville na área da sustentabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compostagem; desperdício; sustentabilidade; descarbonização; resíduos; educação; ODS12.

## INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta a trajetória da Organa Biotech, startup fundada em Joinville (SC), em novembro de 2019, durante o evento Startup Weekend.

Seu objetivo principal é oferecer soluções sustentáveis para o gerenciamento de resíduos orgânicos em cozinhas industriais, transformando esses resíduos em adubo de qualidade e contribuindo para a economia circular.

A geração de resíduos orgânicos em cozinhas industriais é significativa, e o descarte inadequado costuma estar associado a impactos ambientais relevantes, como a emissão de metano em aterros sanitários (EPA, 2020). No Brasil, apenas cerca de 1% dos resíduos orgânicos são processados por meio de compostagem industrial, embora mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) sejam de origem orgânica e, em geral, encaminhados a aterros. Esse cenário representa uma oportunidade estratégica para empresas com soluções inovadoras, como a Organa Biotech, contribuindo para a redução de resíduos em aterros e para a mitigação das emissões do GEE.

A compostagem é uma das formas mais eficazes de reciclagem de resíduos orgânicos oriundos de atividades humanas ou naturais. Suas principais vantagens são a menor exigência de área para implantação e a reciclagem proporcionada (BRAGA, et al., 2002).

Desde sua criação, a Organa Biotech adota tecnologias e processos que aceleram a compostagem, reduzem o espaço necessário e promovem monitoramento em tempo real dos resíduos gerados, por meio de dashboards acessíveis aos clientes. Essa abordagem diferencia-se por valorizar dados operacionais e permitir ações estratégicas voltadas à redução do desperdício de alimentos e à educação ambiental.

Este artigo propõe o estudo de caso da Organa Biotech como exemplo de negócio de impacto, destacando seus serviços de compostagem, a geração de dados ambientais e sociais, e os principais aprendizados e desafios enfrentados ao longo de cinco anos de atuação. O objetivo é contribuir para o debate sobre a viabilidade e a relevância de startups sustentáveis na transformação dos sistemas de gestão de resíduos no Brasil.

## METODOLOGIA

Este estudo de caso tem caráter exploratório e descritivo, baseado na análise de dados operacionais coletados pela Organa Biotech entre 2020 e maio de 2025. A metodologia adotada contempla o levantamento e a análise de indicadores quantitativos relativos à compostagem de resíduos orgânicos em cozinhas industriais de médio e grande porte, atendidas pela empresa no estado de Santa Catarina.

A coleta de dados inclui:

- I **Monitoramento diário dos resíduos orgânicos destinados** à compostagem, com pesagem e registro sistemático;
- I **Quantificação de colaboradores atendidos e refeições produzidas** por cozinha;
- I **Elaboração de dashboards personalizados** para os clientes, com gráficos que permitem acompanhar a geração de resíduos, metas de redução e índices de reaproveitamento;
- I **Acompanhamento mensal das operações de compostagem**, com auditorias técnicas e visitas presenciais.

As cozinhas analisadas operam em regime contínuo (24 horas por dia, 7 dias por semana), permitindo avaliar o desempenho dos indicadores sob alta demanda. Os dados coletados refletem tanto o volume total de resíduos compostados quanto a geração proporcional por colaborador, possibilitando análises comparativas e a identificação de oportunidades de melhoria.

Além disso, foram realizadas reuniões periódicas com as equipes das cozinhas para apresentação dos indicadores, promoção de boas práticas de separação e aproveitamento de alimentos, bem como treinamentos sobre consumo consciente e redução do desperdício.

O método adotado pela Organa Biotech integrar a **gestão de resíduos à cultura organizacional das empresas atendidas**, utilizando a compostagem não apenas como solução ambiental, mas também como ferramenta educativa e estratégica.

# RESULTADOS E DISCUSSÃO

## Gráfico do Crescimento da Organa Biotech nos últimos anos

Ano	Kgs(resíduos)	Clientes	Equipe
2020	800	0	2
2021	5025	0	2
2022	34784	3	2
2023	39398	8	3
2024	133354	16	5
2025 (maio)	64899	18	9
TOTAL	278235	18	9

## Análise Quantitativa dos Indicadores de Colaboradores e Resíduos

Tabela 1 – Médias dos Indicadores de Colaboradores e Resíduos – Cozinha Industrial 1 (Itapoá – Grande Porte) – Período: 01/maio a 30/maio/2025

Indicador	Média (kg)
Número de Colaboradores	1600
Número de pratos por dia	300
Turno de horas/dia	6
Resíduo Total	4500
Média Colaborador x prato por dia	5,33
Média Resíduo Total x Colaborador	2,81

Tabela 2 – Médias dos Indicadores de Colaboradores e Resíduos – Cozinha Industrial 2 (Navegantes – Grande Porte) – Período: 01/maio a 30/maio/2025

Indicador	Média (kg)
Número de Colaboradores	1200
Número de pratos por dia	900
Turno de horas/dia	8
Resíduo Total	8500
Média Colaborador x prato por dia	1,33
Média Resíduo Total x Colaborador	7,08

## Interpretação dos Dados

O primeiro gráfico representa o crescimento da Organa Biotech ao longo dos últimos anos, destacando os volumes de resíduos compostados, o número de clientes e de integrantes da equipe, evidenciando um crescimento expressivo e consistente.

As tabelas comparam duas cozinhas industriais de grande porte. Apesar de operarem sob o mesmo regime contínuo (24/7) e atuarem no mesmo setor, há diferenças significativas na geração de resíduos por colaborador, indicando oportunidades de otimização.

Esses dados reforçam a importância da compostagem como ferramenta de monitoramento e controle de desperdício. A compostagem regular funciona como uma auditoria constante, gerando indicadores que subsidiam ações de melhoria contínua nas cozinhas industriais.

De forma geral, os resultados demonstram que o desperdício de alimentos é uma prática recorrente e significativa, independentemente do porte da operação. A aprovação do edital da Fapesc no final de 2024 visa justamente mitigar essas perdas, por meio do desenvolvimento de soluções para cozinhas industriais.

## CONCLUSÃO

O estudo de caso da Organa Biotech evidencia a relevância de startups voltadas à sustentabilidade no contexto industrial. Os resultados alcançados ao longo dos anos demonstram a importância de soluções que não apenas reduzam as emissões GEE, mas que também promovam mudanças culturais nas empresas por meio da educação e do uso de dados.

A atuação da Organa destaca a importância da geração de indicadores antes inexistentes, como os dados sobre resíduos orgânicos em cozinhas industriais, e mostra como esses dados podem embasar decisões estratégicas e práticas sustentáveis.

A incorporação das diretrizes do ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) às rotinas industriais reforça a importância de práticas que promovam a sustentabilidade. Além disso, contribui para o alcance de outros objetivos da Agenda 2030, como o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e o ODS 13 (Ação contra a Mudança do Clima), por meio da redução do desperdício e das emissões GEE.

## REFERÊNCIAS

BRAGA, B. et al. *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). *Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PLANSAB*. Brasília: MMA, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/residuos-solidos/plano-nacional>. Acesso em: 06 maio 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12: Consumo e Produção Responsáveis. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>. Acesso em: 06 maio 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO – FAO. ONU: 17% de todos os alimentos disponíveis para consumo são desperdiçados. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1379033/>. Acesso em: 06 maio 2025.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency (EPA). *Reducing the Impact of Wasted Food by Feeding the Soil and Composting*. Washington, DC: EPA, 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting>. Acesso em: 06 maio 2025.

ORGANABIOTECH. *Relatório técnico de monitoramento de resíduos – Dados operacionais (jan. 2020 – abr. 2025)*. Joinville: Organa Biotech, 2025. Dados internos obtidos por meio da plataforma de monitoramento da empresa.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA E INOVAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA – FAPESC.

Edital de Chamada Pública nº 50/2024 – Programa Impulsiona SC. Florianópolis: FAPESC, 2024. Disponível em: <https://fapesc.sc.gov.br>. Acesso em: 06 maio 2025.



## TR A B A L H O 29

# PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO TRE-RJ: UMA EXPERIÊNCIA DE SUSTENTABILIDADE NO PODER JUDICIÁRIO

Dilma dos Santos Lacerda

Anderson Taboada Carballo de Araújo

Carolina Freitas Pessoa

Carolina Quaresma Passos

Fernando Altino Medeiros Rodrigues

Isabella Vitoria Abduche Feijó

Karen Letícia Ferreira da Silva

Marcelo Augusto Vieira de Souza

**RESUMO:** Este artigo apresenta a experiência do Tribunal Regional Eleitoral do Rio de Janeiro (TRE-RJ) na elaboração e implantação do seu Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), no âmbito de um projeto de extensão em parceria com o Centro de Estudos em Meio Ambiente Industrial da UERJ (CEMAI/UERJ). Alinhado à Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e ao Decreto nº 10.936/2022, o PGRS busca estruturar a gestão adequada dos resíduos gerados nas unidades da instituição, promovendo a sustentabilidade, a eficiência operacional e o cumprimento legal. O trabalho apresenta a metodologia utilizada, os principais resultados obtidos e as ações futuras recomendadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos sólidos; Sustentabilidade Institucional; Judiciário; PGRS; Gestão Ambiental.

## INTRODUÇÃO

A sustentabilidade nas instituições públicas é um desafio e uma necessidade. O Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) do Tribunal Regional Eleitoral do Estado do Rio de Janeiro (TRE-RJ) representa um avanço no compromisso do Poder Judiciário com as políticas ambientais, contribuindo para o cumprimento da legislação vigente e para a promoção de práticas sustentáveis.

O TRE-RJ, no contexto do compromisso institucional com a sustentabilidade, elaborou seu PGRS com apoio técnico do CEMAI/UERJ, como parte do Projeto de Extensão da Universidade do Estado do Rio de Janeiro com o código 6280 – “Cooperação com o Poder Judiciário para Temas Ambientais e de Segurança”.

O presente artigo tem como objetivo principal apresentar os resultados obtidos com a elaboração e implementação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

### **Parceria com o Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro – TJRJ.**

A parceria com o TJRJ resultou em dois principais produtos e contou com a participação de docentes e bolsistas, que mantiveram uma intensa interação com o corpo técnico do Tribunal: a revisão do PGRS do edifício-sede e o desenvolvimento do projeto ‘Índice de Desempenho de Sustentabilidade (IDS) – TJRJ.

### **Parceria com o Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro – MPRJ.**

Logo após a elaboração do PGRS do TJRJ, teve início a elaboração e implementação do PGRS do MPRJ, seguindo, basicamente, a mesma metodologia.

### **Parceria com a Defensoria Pública do Estado do Rio de Janeiro – DPRJ**

O principal trabalho desenvolvido com a Defensoria Pública do Estado do Rio de Janeiro foi, também, a elaboração e implementação do PGRS. No processo realizado junto à DPRJ.

### **Parceria com o Tribunal Regional Eleitoral do Estado do Rio de Janeiro – TRE/RJ.**

Da mesma forma, foi realizada a elaboração e a implementação simultâneas do PGRS, com destaque para a participação mais efetiva dos bolsistas do CEMAI/ UERJ, em conjunto com os estagiários e técnicos da instituição.

Vale ressaltar que está em andamento um curso voltado à elaboração do Inventário de Gases de Efeito Estufa (IGEE), relacionado ao Plano de Descarbonização, direcionado ao corpo técnico do TRE/RJ.

Destaca-se que a elaboração e a implementação do PGRS nas instituições do Poder Judiciário do Rio de Janeiro seguiram, entre outras normas, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305/2010 [1], complementada pelo Decreto Federal nº 10.936/2022 [2] e pela Resolução CONEMA nº 55/2013 [3].

A Política Nacional de Resíduos Sólidos define responsabilidades tanto para os geradores quanto para os gestores, abrangendo pessoas físicas e jurídicas (FERREIRA et al., 2023) [4]. Além disso, estabelece princípios como a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a logística reversa e a não geração de resíduos, promovendo a redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos. A PNRS também incentiva a inclusão de catadores e cooperativas nos sistemas de coleta seletiva, reconhecendo sua importância socioambiental e econômica no processo de gestão integrada.

Rodrigues et al. (2024) apresentam um roteiro para elaboração de planos de gerenciamento de resíduos [5]. O estudo propõe uma metodologia prática e acessível para orientar instituições e gestores na estruturação de seus planos, abordando desde o diagnóstico da geração de resíduos até a definição de metas e estratégias para redução, reutilização e destinação adequada.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a elaboração de Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), conforme previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) [1], para instituições do Poder Judiciário do Estado do Rio de Janeiro, no âmbito de um projeto de extensão universitária. Além disso, busca-se estabelecer diretrizes para a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados nessas unidades, promovendo ações de redução, reutilização e reciclagem, com foco na minimização dos impactos ambientais.

## METODOLOGIA

No Brasil, desde 2 de agosto de 2010, os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) tornaram-se obrigatórios para determinados grupos de empresas. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) tem nos PGRS um importante instrumento para a aplicação da Lei nº 12.305/2010.

Adicionalmente, em 12 de janeiro de 2022, foi implementado o Decreto Federal nº 10.936/2022, que regulamenta a PNRS. A elaboração desses planos deve ser realizada pelo setor público — nas esferas federal, estadual e municipal — e por empresas públicas ou privadas.

Os PGRS são documentos previstos na Lei nº 12.305/2010, a qual instituiu a PNRS, e têm como objetivo formalizar e garantir o gerenciamento adequado dos resíduos gerados por determinada instituição. Com sua elaboração, são assegurados diversos aspectos importantes, entre os quais se destacam:

- Formalização de todas as ações relacionadas ao gerenciamento de resíduos;
- Identificação dos responsáveis por cada fase do processo;
- Disseminação das diretrizes estabelecidas e aprovadas pela instituição entre todos os envolvidos;
- Atendimento aos requisitos legais aplicáveis;
- Estabelecimento de cronogramas e metas operacionais;
- Implantação de ferramentas de monitoramento previstas no plano;
- Realização de avaliações para ações corretivas e ajustes nos processos utilizados.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas [6], dentro da lógica da melhoria contínua, os PGRS devem seguir o consagrado método gerencial PDCA — Plan, Do, Check, Act (Planejar, Fazer, Verificar e Agir). A legislação determina que esses planos sejam revisados a cada dois anos, ou sempre que ocorrerem alterações significativas nos processos ou operações.

Ainda no contexto da legislação vigente, destaca-se a obrigatoriedade de se estabelecer metas de melhoria no gerenciamento e na mitigação de passivos ambientais decorrentes da gestão de resíduos.

A metodologia adotada para a elaboração dos PGRS [7] considerou as seguintes etapas:

- a. Formação de um grupo de trabalho com apoio técnico do CEMAI – Centro de Estudos em Meio Ambiente Industrial/UERJ;
- b. Elaboração do diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos na instituição, identificando a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação final adotadas, conforme o Art. 19, inciso I, da Lei nº 12.305/2010;
- c. Realização de trabalho de campo para mapeamento dos fluxos de geração, armazenamento e destinação dos resíduos;

- d. Reuniões do grupo de trabalho para definição do modelo conceitual de gerenciamento de resíduos a ser adotado, elaboração e validação das propostas de melhoria;
- e. Elaboração do PGRS da instituição com base nas diretrizes da PNRS, para posterior submissão à apreciação da Administração Superior.

A metodologia aplicada nas instituições do Judiciário foi participativa. Inicialmente, formou-se um grupo de trabalho com representantes dos diversos departamentos envolvidos, com apoio técnico do CEMAI/UERJ.

## RESULTADOS

Nos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) elaborados, foram analisados os procedimentos adotados em todas as etapas do manejo de resíduos — geração, segregação, acondicionamento, coleta, transporte, destinação e disposição final — em conformidade com as diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). Essa legislação determina, entre outras exigências, que grandes geradores de resíduos elaborem seus respectivos planos. Conforme disposto no artigo 9º da lei, a gestão de resíduos deve obedecer à seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada.

Nesse contexto, os PGRS elaborados forneceram diagnósticos abrangentes, contemplando tanto os resíduos de geração contínua quanto os passivos ambientais identificados. O principal objetivo é promover o tratamento mais adequado possível dos resíduos, por meio da definição clara de responsabilidades institucionais e da implantação de rotinas administrativas de gerenciamento.

A construção e a implementação dos PGRS representaram desafios significativos para os colaboradores e servidores das instituições, sobretudo por exigirem mudanças de hábitos e práticas voltadas à redução da geração de resíduos e dos impactos ambientais. Para apoiar esse processo, recomenda-se a adoção de estratégias estruturadas de comunicação e de educação ambiental, visando sensibilizar todos os envolvidos quanto à importância do descarte ambientalmente adequado e ao reaproveitamento de materiais recicláveis.

Dentre os desafios apontados nos documentos, destaca-se a definição de metas e planos de ação, considerados fundamentais para a efetivação dos PGRS. Esses elementos devem ser monitorados de forma contínua, com atenção às normas vigentes e às possíveis atualizações legais.

Considerando a complexidade inerente à elaboração de um PGRS — especialmente em instituições que geram resíduos de naturezas e classes diversas — é possível que alguns aspectos não tenham sido integralmente contemplados nos documentos iniciais. No entanto, tais lacunas não comprometem sua implementação, tampouco inviabilizam a adoção de medidas de acompanhamento e aprimoramento contínuo.

Dessa forma, os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos elaborados no âmbito do Poder Judiciário constituem uma etapa essencial para o aprimoramento da gestão ambiental das instituições. Para assegurar sua eficácia e continuidade, é imprescindível a atuação integrada de todos os agentes envolvidos, bem como a revisão periódica dos documentos, alinhada às exigências legais e às boas práticas em sustentabilidade.

O PGRS elaborado em parceria com o Tribunal Regional Eleitoral do Rio de Janeiro resultou nos seguintes desdobramentos principais:

a. Diagnóstico das tipologias de resíduos

Foi realizado um levantamento detalhado dos tipos de resíduos gerados nas unidades do TRE-RJ, categorizando-os em: resíduos comuns, recicláveis, perigosos, infectantes e eletrônicos. Essa classificação foi essencial para orientar o manejo adequado de cada categoria.

b. Elaboração de fluxogramas de gerenciamento

Para cada tipo de resíduo identificado, foram criados fluxogramas operacionais descrevendo as etapas de geração, acondicionamento, armazenamento temporário, transporte e destinação final ambientalmente adequada.

A seguir, apresenta-se a Figura 1 - Fluxograma Geral do Processo de Gerenciamento de Resíduos Sólidos no TRE-RJ, ilustra de forma detalhada o gerenciamento dos resíduos desde a geração até a destinação final ambientalmente adequada.

Figura 1 – Fluxograma Geral do Processo de Gerenciamento de Resíduos Sólidos no TRE – RJ.



a. Definição de responsabilidades institucionais

O plano distribuiu responsabilidades entre setores e unidades administrativas do TRE-RJ, visando garantir que cada resíduo fosse devidamente gerenciado por servidores capacitados e conscientes de suas atribuições.

b. Identificação de oportunidades de melhoria

O diagnóstico permitiu reconhecer pontos críticos e oportunidades, como a implantação de coleta seletiva interna em setores estratégicos, a introdução de coletores adequados e a necessidade de reorganizar o armazenamento temporário de resíduos.

c. Proposta de logística reversa e parcerias

Foram propostas parcerias com cooperativas de catadores, empresas licenciadas para tratamento e destinação de resíduos eletrônicos e perigosos, bem como iniciativas de logística reversa para materiais como pilhas, lâmpadas e toners.

d. Educação ambiental e sensibilização institucional

O plano inclui a sugestão de um programa contínuo de educação ambiental voltado aos servidores, com campanhas de sensibilização, treinamentos e materiais educativos, promovendo uma cultura organizacional sustentável.

Resultado de um esforço coletivo, os trabalhos realizados no âmbito dos órgãos do Poder Judiciário contaram com a participação efetiva de equipes multidisciplinares, diretamente envolvidas na geração e no gerenciamento de resíduos nas instituições.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração e implementação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) no Tribunal Regional Eleitoral do Rio de Janeiro (TRE-RJ) consolidaram-se como um marco na promoção da sustentabilidade institucional no âmbito do Poder Judiciário. A experiência demonstrou ser plenamente viável estruturar um sistema de gestão de resíduos sólido, eficiente e alinhado às exigências legais e ambientais, mesmo em instituições públicas de grande porte.

O processo permitiu realizar um diagnóstico minucioso das tipologias de resíduos gerados, definir fluxos operacionais adequados, atribuir responsabilidades institucionais de forma clara e propor soluções práticas, como a implantação de coleta seletiva, parcerias com cooperativas e empresas licenciadas, além da logística reversa para resíduos específicos, como pilhas, lâmpadas e eletrônicos.

Destaca-se ainda o investimento em ações de educação ambiental e sensibilização institucional, fundamentais para fomentar uma cultura organizacional voltada à responsabilidade socioambiental e à mudança de comportamentos no cotidiano laboral.

A experiência evidenciou que a efetivação do PGRS demanda o envolvimento contínuo de equipes multidisciplinares, bem como a adoção de estratégias de monitoramento e avaliação periódica, com vistas à melhoria contínua e à adaptação às normativas vigentes.

Por fim, a iniciativa do TRE-RJ configura-se como uma referência positiva e replicável para outras instituições públicas que buscam incorporar práticas sustentáveis em sua gestão, contribuindo de maneira efetiva para a redução de impactos ambientais e para o fortalecimento das políticas públicas de resíduos sólidos.

## REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010.
- [2] BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 jan. 2022.

[3] RIO DE JANEIRO (Estado). Resolução CONEMA nº 55, de 1º de dezembro de 2013. Dispõe sobre o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS.

[4] FERREIRA, Camila Spinola Gonçalves et al. A política nacional de resíduos sólidos: uma visão geral. Ponta Grossa: Atena, 2023. ISBN 978-65-258-2055-2. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.5522321111>.

[5] RODRIGUES, Fernando Altino Medeiros; LACERDA, D. S.; SOUZA, M. A. V.; PENZIN, E. A.; SOUZA, Z. S. B. Plano de gerenciamento de resíduos: um roteiro de elaboração. Saneas (São Paulo), v. 1, p. 34–37, 2024.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

[7] TRIBUNAL REGIONAL ELEITORAL DO RIO DE JANEIRO. Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS. Rio de Janeiro, 2024.



## TR A B A L H O 3 0

# POTENCIAL DOS RSU NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E NA ECONOMIA CIRCULAR: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DE CENÁRIOS PARA O CONSÓRCIO LOCALIZADO NA REGIÃO DOS LAGOS

Diego Macedo Veneu

André Rodrigues Pereira

Alexandre Lioi Nascentes

Felipe Sombra dos Santos

Gisele Martins da Rocha

Isabelle Santux Mendes Pereira

Kauã Machado Siqueira

Marcello Amaral de Oliveira

Maria Eduarda da Silva Barreto

Maria Luisa Pinheiro da Rocha

Mário Jorge Mello Abrahim Fernandes

Raquel de Souza Baltar

**RESUMO:** O trabalho analisa o aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) de 8 municípios que integram o consórcio do Aterro Sanitário de Dois Arcos, propondo dois cenários: o atual (Cenário I), baseado no aproveitamento do metano gerado no aterro de 100% dos RSU, e um alternativo (Cenário II), que incorpora a reciclagem de materiais como papel/papelão, plásticos, metais e vidros. Utilizando dados de geração e composição dos RSU de 2025 a 2040, foram estimados ganhos energéticos e redução de emissões de CH<sub>4</sub>, resultando nos valores de 16.964 MWh/dia para o Cenário II e de 1.694 MWh/dia para o Cenário I, indicando que a reciclagem, somada ao aproveitamento do biometano, proporciona maior geração de energia e contribui para a transição energética e a economia circular, além de ampliar a vida útil dos aterros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo Sólido Urbano, Energia, Aterro Sanitário, Reciclagem

## INTRODUÇÃO

Segundo ABREMA (2024) no Brasil, cada habitante gerou, em média, 1,047 kg de Resíduo Sólido Urbano (RSU) por dia em 2023, culminando em uma geração anual estimada de aproximadamente 81 milhões de toneladas de RSU. Após a implementação da Lei 12.305 de 2010 (Brasil, 2010) que estimulou à implantação de consórcios intermunicipais com vistas à viabilização de soluções conjuntas na área de resíduos sólidos, houve uma grande adequação dos municípios em relação ao tratamento e a disposição final ambientalmente adequada de seus resíduos. No Brasil, do total de RSU coletados, cerca de 55% são dispostos em aterros sanitários, 38,4% em lixões/aterros controlados e somente 6% enviados a centrais de triagem de recicláveis (ABREMA, 2024).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), instituído por meio do Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022, é um importante instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) pois apresenta um caminho para se alcançar os objetivos e materializar a PNRS por meio de diretrizes, estratégias, ações e metas para melhorar a gestão de resíduos sólidos no País. Além do encerramento de todos os lixões, é previsto o aumento da recuperação de resíduos para cerca de 50% em 20 anos. Assim, metade do “lixo” gerado deverá deixar de ser aterrado e passará a ser reaproveitado por meio da reciclagem, compostagem, biodigestão e recuperação energética (Brasil, 2022).

Neste contexto, fica claro que o Brasil ainda está em fase de transição, saindo de um sistema exclusivo de disposição inadequada (lixão/aterro controlado) de RSU e caminhando para um modelo mais sustentável, com a disposição em aterros sanitários, além de iniciativas como o aproveitamento energético a partir do biogás e a ampliação das centrais de reciclagem. De acordo com Pereira Jr. (2020) a prática estabelecida nos conceitos associados a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia podem contribuir para a diminuição da extração de recursos naturais, evitando-se o descarte de resíduos em aterros sanitários e reduzindo a pressão sobre o meio ambiente, contribuindo também para atingir a meta referente aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS nº 12 que tem entre suas metas a redução da geração de resíduos e a ampliação da reciclagem e reutilização (ONU, 2023).

Em muitos aterros sanitários como o de Dois Arcos, que recebe os RSU dos municípios de São Pedro da Aldeia, Cabo Frio, Arraial do Cabo, Armação dos Búzios, Araruama, Iguaba Grande, Casimiro de Abreu e Silva Jardim, já é realizado o aproveitamento energético do biogás, entretanto, uma boa parte destes RSU dispostos, ainda são passíveis de serem reciclados. Dentro de uma visão mais abrangente, o aproveitamento energético de RSU compreende também a reciclagem do material coletado que a isto se presta, como papel/papelão, vidros, plásticos,

borrachas e metais. Deve-se considerar que a reciclagem permite a substituição de insumos para cuja produção há, normalmente, grande consumo de energia. Por aliviar pressões de demanda de matérias-primas, inclusive recursos naturais, e de energia, a reciclagem se constitui, em princípio, em uma forma ambientalmente eficiente de aproveitamento energético de RSU (EPE, 2008).

## OBJETIVO

O presente estudo apresenta 2 cenários de aproveitamento energético dos RSU para os municípios que atualmente fazem parte do consórcio que dispõem seus resíduos no Aterro Sanitário de Dois Arcos. A elaboração dos cenários tem como finalidade a comparação do atual modelo (Cenário I) com um novo modelo (Cenário II) demonstrando quais seriam os ganhos futuro com a implementação deste novo modelo que envolve o ganho energético adicional com a reciclagem dos materiais que hoje são destinados diretamente ao aterro, além do atual ganho que provém da queima do biometano proveniente do aterro.

## METODOLOGIA

Um levantamento da quantidade e composição do RSU dos municípios de São Pedro da Aldeia, Cabo Frio, Arraial do Cabo, Armação dos Búzios, Araruama, Iguaba Grande, Casimiro de Abreu e Silva Jardim partindo do ano base de 2025 até o ano de 2040 foi realizado para gerar os dados iniciais que serão inseridos nos cálculos para gerar os valores de ganhos energéticos frente a reciclagem e ao aproveitamento do gás metano proveniente do aterro bioenergético.

Posteriormente serão apresentadas as metodologias para estimar as emissões de  $\text{CH}_4$  de aterros e da energia elétrica potencialmente acumulada a partir do uso de material reciclável, possibilitando assim, a construção do “Cenário I” proveniente do ganho energético do metano gerado do aterramento de 100% do RSU gerado no consórcio (atual cenário) e do “Cenário II” proveniente do potencial ganho energético com a reciclagem de materiais como papel/papelão, plástico, metal e vidro que geralmente são depositados no aterro e do metano gerado da fração orgânica do RSU dos municípios.

## Determinação da População e Quantidade de RSU por Município

Para a estimativa da população dos municípios que faz parte do consórcio, foram levantados os dados obtidos através dos censos dos anos de 1991, 1996, 2000, 2007, 2010 e 2022 (IBGE, 2025). Com base nos dados censitários (Tabela 1), foi possível calcular a projeção populacional para o horizonte proposto (2025 a 2040) a partir da taxa de crescimento populacional médio utilizando-se o método matemático de projeção aritmética de acordo com a Equação 1.

$$P_t = P_0 \cdot k_a(t - t_0) \quad (1)$$

Onde:  $P_t$  é população no ano  $t$  (hab.);  $P_0$  é a população no ano  $t_0$  (hab.);  $k_a$  é a taxa de crescimento;  $t$  e  $t_0$  é o tempo (ano).

A quantidade de RSU gerado a cada ano é determinada pelo produto da multiplicação da população em cada ano  $t$  pela geração per capita de RSU dos municípios. Foram realizados levantamentos através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de cada município a fim de se obter a geração per capita média (kg RSU/hab.dia). A Tabela 2 mostra os valores obtidos para cada um dos municípios do consórcio.

**Tabela 1.** Valores dos Censos de 1991 a 2022 da População de Cada Município Utilizados nas Projeções

Município	População (hab.)					
	1991	1996	2000	2007	2010	2022
São Pedro da Aldeia	50474	65072	63227	75869	87875	104029
Cabo Frio	84750	115020	126828	162229	186227	222161
Arraial do Cabo	19865	21458	23877	25248	27715	30986
Armação dos Búzios	-	-	18204	24560	27560	40006
Araruama	59025	65691	82803	98268	112008	129671
Iguaba Grande	-	-	15089	19716	22851	27920
Casimiro de Abreu	-	20058	22152	27086	35347	46110
Silva Jardim	18140	19002	21265	21362	21349	21352

Fonte: IBGE (2025)

**Tabela 2.** Valores de Geração Per Capita de RSU dos Municípios do Consórcio

Município	Geração Per Capita (kg/hab.dia)
São Pedro da Aldeia	1,15
Cabo Frio	1,36
Arraial do Cabo	2,14
Armação dos Búzios	2,14
Araruama	0,70
Iguaba Grande	1,04
Casimiro de Abreu	0,78
Silva Jardim	1,09

Fonte: SNIS (2022)

## Composição Gravimétrica dos RSU dos Municípios do Consórcio

A quantidade de RSU é função do tamanho, da renda das famílias e das características socioculturais de cada município. Contudo, não são claras ou evidentes as relações entre a quantidade de RSU produzida e estes parâmetros. Talvez, mais claramente do que a produção, a composição média do RSU produzido guarda maior relação com o nível de vida ou a renda média da população. A Tabela 3 apresenta a composição gravimétrica adotada dos RSU dos municípios do consórcio obtidas a partir dos Planos Municipais de Saneamento Básico que serão adotadas para a construção dos Cenários I e II.

**Tabela 3.** Composição Gravimétrica dos RSU dos Municípios do Consórcio

Fração	Componente	Composição Gravimétrica (%)	Fração	Componente	Composição Gravimétrica (%)
Orgânica	Matéria Orgânica	51,4	Inorgânica		
	Papel/Papelão	13,1		Alumínio	0,6
	Plástico Filme	8,9		Aço	2,3
	Plástico Rígido	4,6		Vidro	2,4
	Outros	16,7			

Fonte: Serenco, 2013

## Estimativas de Produção de Metano

Para o cálculo do potencial de geração de metano no aterro foi utilizada a metodologia sugerida pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC (2006) a partir de dados obtidos e estimados dos RSU. A metodologia do IPCC para estimar as emissões de  $\text{CH}_4$  de aterros é baseado no método de Degradação de Primeira Ordem (FOD). Este método assume que o componente orgânico degradável (carbono orgânico degradável, DOC) dos resíduos decai lentamente ao longo de algumas décadas, durante o qual  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  são formados. Se as condições são constantes, a taxa de produção de  $\text{CH}_4$  depende unicamente da quantidade de carbono remanescente nos resíduos. Como as emissões de  $\text{CH}_4$  são resultantes dos resíduos sólidos depositados nos aterros, nos primeiros anos após a deposição, a geração é alta, com o declínio de carbono degradável no resíduo ao longo dos anos pelas bactérias, ou seja, as emissões de  $\text{CH}_4$  decaem gradativamente.

Para o cálculo da estimativa do potencial de emissão de  $\text{CH}_4$  proveniente do Aterro Sanitário de Dois Arcos foi utilizada a metodologia do IPCC (2006) a partir de dados obtidos e estimados dos RSU dos municípios que fazem parte do consórcio. Portanto, têm-se as seguintes equações:

$$DDOC_m = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF \quad (2)$$

Onde:  $DDOC_m$  é a massa de DOC decomposto depositado (t);  $W$  é a massa de resíduos depositados (t);  $DOC$  é o carbono orgânico degradável no ano de deposição (fração);  $DOC_f$  é a fração de DOC que pode se decompor (fração); e  $MCF$  é o fator de correção de  $CH_4$  para a decomposição aeróbia no ano de deposição (1,0 para aterros bem gerenciados).

$$DOC = 0,4A + 0,17B + 0,15C + 0,3D \quad (3)$$

Em função das grandes quantidades de alimentos e resíduos orgânicos que são depositados juntos, a Equação 3 foi modificada para:

$$DOC = 0,4A + 0,16(B + C) + 0,3D \quad (4)$$

Onde:  $A$  é a fração de papel/papelão e tecidos;  $B+C$  é a fração de alimentos e outros resíduos orgânicos; e  $D$  é a fração de resíduos de madeira.

$$DOC_f = 0,014T + 0,28 \quad (5)$$

Onde:  $T$  é a temperatura ( $^{\circ}C$ ) na zona anaeróbia dos resíduos (estimada em  $35^{\circ}C$ ).

A Equação 6 mostra o cálculo para obtenção da massa de DOC acumulado ao final de cada instante  $t$  no aterro, ao longo dos anos e a Equação 7 a massa total de material em decomposição, em cada instante  $t$ , presente no aterro.

$$DDOCma_T = DDOCm + (DDOCma_{T-1} \cdot e^{-k}) \quad (6)$$

$$DDOCm_{decomp_T} = DDOCma_{T-1} \cdot (1 - e^{-k}) \quad (7)$$

Onde:  $T$  é o ano do inventário;  $DDOC_{maT} = DDOC_m$  acumulado no aterro no final do ano  $T$  (t);  $DDOC_{maT-1} = DDOC_m$  acumulado no aterro no final do ano  $(T-1)$  (t);

$DDOC_m = DDOC_m$  depositados no aterro no ano  $T$  (t);  $DDOC_{mdecompT} = DDOC_m$  decomposto no aterro no ano  $T$  (t);  $k$  é a constante de reação ( $ano^{-1}$ ) sendo

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}; \text{ e } t_{1/2} \text{ é o tempo de meia-vida (9 anos).}$$

A quantidade de  $CH_4$  gerado a partir do  $DDOCm$  que se decompõe é calculada a partir da Equação 8:

$$CH_{4gerado_T} = \left( DDOCm_{decomp_T} \cdot F \cdot \frac{16}{12} \cdot R \right) \cdot (1 - OX) \quad (8)$$

Onde:  $CH_{4geradoT}$  é a quantidade de  $CH_4$  gerado a partir do material decomposto (t);  $DDOC_{mdecompT} = DDOCm$  decomposto no ano T (t); F é a fração de  $CH_4$  em volume no gás de aterro gerado (estimado em 50%); 16/12 é a relação peso molecular  $CH_4/C$ ; R é o percentual de recuperação de metano (estimado em 60%) e OX é o fator de oxidação (estimado em 0,1).

Para a determinação da potência e energia disponível foram utilizadas as Equações 9 e 10, respectivamente:

$$P = \frac{Q \cdot PCI \cdot \eta}{860000} \quad (9)$$

$$E = P \cdot Rend \cdot Temp \cdot Op. \quad (10)$$

Onde: P é a potência disponível (MW); PCI é o Poder Calorífico Inferior do metano (estimado 8.500 kcal/m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>); η é a eficiência da coleta dos gases (estimado em 75%); 860.000 é a conversão de kcal para MW; E é a energia disponível (MWh/dia); Rend é o rendimento de motores operando a plena carga (estimado em 30%); e Temp.Op. é o tempo de operação do motor (24 horas/dia).

## Estimativas de Energia Conservada

Em maior ou menor grau, a reciclagem permite acumular uma conservação de energia por vezes expressiva e, neste sentido, deve ser considerada como parte de uma estratégia de aproveitamento energético de RSU. A estimativa da energia elétrica conservada a partir do uso de material reciclável como matéria-prima requer a definição de fatores de conversão, geralmente expressos em MWh/t ou kWh/kg, em cuja determinação podem ser utilizadas diferentes critérios e abordagens metodológicas como as de alguns autores como Calderoni (1996), Morris (1996), EPA (2007) e Warnken ISE (2007). A Tabela 4 mostra os índices contidos em cada uma destas metodologias que permitem estimar índices de energia elétrica conservada, dos principais materiais recicláveis.

**Tabela 4.** Potencial de conservação de energia elétrica a partir da reciclagem de componentes encontrados nos RSU

Material	Índice de Energia Elétrica Conservada (MWh/t)			
	Calderoni	Morris	EPA	Warnken ISE
Papel/Papelão	3,51	1,75	2,95	1,37
Plástico	5,06	5,55	15,39	5,91
Metal	5,3	3,25	5,85	2,67
Vidro	0,64	0,08	0,62	1,25

Fonte: Calderoni (1996); Morris (1996); EPA (2007); Warnken ISE (2007)

## RESULTADOS

### Quantidade de Resíduo Sólido Urbano Gerado pelo Consórcio

A Tabela 5. mostra a estimativa da população e quantidade de RSU gerada pelos municípios que compõem o consórcio a partir dos dados populacionais, da projeção populacional e geração per capita levando em consideração o horizonte de adequação as novas metas definidas no Planares do ano vigente 2025 até 2040.

A partir dos valores apresentados na Tabela 5 pode-se observar que o total populacional dos 8 municípios que compõem o consórcio apresentará uma faixa de 670075 a 845582 habitantes e uma geração de RSU de 295484 a 373234 t, o que corresponde a uma geração per capita média de 1,2 kg/hab.dia. Segundo Monteiro (2001), para esse extrato populacional (500 mil a 5 milhões) a quantidade de RSU enviado ao aterro é componível a população de grandes cidades que em teoria apresentaria uma geração per capita de RSU de 0,8 a 1,0 kg/hab.dia, porém, apresenta uma geração per capita acima de 1,0 kg/hab.dia, configurando-se como uma grande megalópole.

**Tabela 5.** Evolução da População e da Quantidade de RSU do Consórcio

Consórcio		
Ano	População (hab)	Quantidade RSU (t)
2025	670075	295484
2026	681775	300667
2027	693476	305850
2028	705176	311034
2029	716877	316217
2030	728577	321400
2031	740278	326584
2032	751978	331767
2033	763678	336950
2034	775379	342134
2035	787079	347317
2036	798780	352500
2037	810480	357684
2038	822181	362867
2039	833881	368050
2040	845582	373234

## Composição Gravimétrica dos RSU do Consórcio

A Tabela 6 mostra a composição gravimétrica mássica dos RSU do consórcio para o horizonte de 2025 a 2040. A partir dos valores de composição gravimétrica (%) da Tabela 3 e da quantidade de RSU da Tabela 5 foi possível obter os valores utilizados para os cálculos de massa (t) de RSU para o Cenário I (Alimentos/Orgânicos, Madeiras e Papel/Papelão) que leva em consideração a geração de metano a partir da fração orgânica dos RSU enviados ao aterro e Cenário II (Alimentos/Orgânicos e Madeiras + Papel/Papelão, Plástico, Metal e Vidro) que leva em consideração a fração orgânica que não pode ser “reciclada” + os materiais que são passíveis de reciclagem.

A Tabela 6 mostra os valores mássicos para cada fração (composição gravimétrica) ao longo dos anos, delineada para o cálculo dos cenários, sendo possível observar que 51,4% correspondem a fração Alimento/Orgânicos, 16,7% a fração Madeiras, 13,1 a fração Papel/Papelão, 13,5% a fração Plástico, 2,9% a fração Metal e 2,4% a fração Vidro. Segundo SISEMA (2017) a composição gravimétrica média dos RSU gerados nos municípios de Minas Gerais apresentaram 39,24% restos de alimentos, 6,46% de poda e madeira, 11,52% de papel, 13,58% de plástico, 1,39% de metal e 2,66% de vidro.

**Tabela 6.** Composição Gravimétrica Mássica dos RSU do Consórcio

Ano	Composição Gravimétrica (t)					
	Alimentos/Orgânicos	Madeiras	Papel/Papelão	Plástico	Metal	Vidro
2025	151879	49346	38708	39890	8569	7092
2026	154543	50211	39387	40590	8719	7216
2027	157207	51077	40066	41290	8870	7340
2028	159871	51943	40745	41990	9020	7465
2029	162536	52808	41424	42689	9170	7589
2030	165200	53674	42103	43389	9321	7714
2031	167864	54539	42782	44089	9471	7838
2032	170528	55405	43461	44789	9621	7962
2033	173192	56271	44140	45488	9772	8087
2034	175857	57136	44820	46188	9922	8211
2035	178521	58002	45499	46888	10072	8336
2036	181185	58868	46178	47588	10223	8460
2037	183849	59733	46857	48287	10373	8584
2038	186514	60599	47536	48987	10523	8709
2039	189178	61464	48215	49687	10673	8833

### Cenários de Aproveitamento Energético dos RSU do Consórcio

A Tabela 7 mostra a quantidade de CH<sub>4</sub> gerado no Cenário I e II no período de 2025 a 2040. A massa (t) e o volume (m³) estimados de CH<sub>4</sub> emitido no Cenário I (100% dos RSU aterrados) para o período corresponde a um total de 198.473 tCH<sub>4</sub> e 277.973.750 m³CH<sub>4</sub>, no Cenário II (sem a fração de papel/papelão) os valores alcançados foram de 142.178 tCH<sub>4</sub> e de 199.128.727 m³CH<sub>4</sub>. A diferença das massas e os volumes de CH<sub>4</sub> entre os dois cenários representam uma diferença de aproximadamente de 28,4%.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados dos cálculos de potência e energia disponível para o período de 2025 a 2040, em função da vazão de CH<sub>4</sub>. Pode-se observar ao comparar os dois cenários que há uma redução na energia quando se opta pelo Cenário II (28,4%), o que corresponde a exclusão da fração papel/papelão, contudo, deve-se observar que a reciclagem não é incompatível com outros usos ou destinos de RSU. Isto é, embora afete o dimensionamento de projetos de outros usos dos resíduos como a recuperação energética (geração de energia elétrica), ou mesmo a disposição final, a reciclagem não se constitui, necessariamente, em rota excludente.

Em muitos países, a gestão de resíduos mudou muito na última década, principalmente em relação as políticas públicas de minimização de resíduos e reciclagem/reutilização introduzidas para reduzir a quantidade de resíduos gerados e aterrados, além disso, a recuperação de gases de aterros sanitários se tornou mais comum como uma medida para reduzir as emissões de CH<sub>4</sub> (IPCC, 2006).

**Tabela 7.** Quantidade de CH<sub>4</sub> gerado no Cenário I e II no período de 2025 a 2040

Cenário I			Cenário II		
Ano	tCH <sub>4</sub> Gerado	m³CH <sub>4</sub> Gerado	Ano	tCH <sub>4</sub> Gerado	m³CH <sub>4</sub> Gerado
2025	9647	13511428	2025	6911	9679019
2026	10054	14080817	2026	7202	10086905
2027	10450	14635557	2027	7486	10484297
2028	10836	15176733	2028	7763	10871973
2029	11214	15705351	2029	8033	11250653
2030	11583	16222342	2030	8297	11621004
2031	11944	16728567	2031	8556	11983643

2032	12299	17224826	2032	8810	12339142
2033	12646	17711856	2033	9059	12688030
2034	12988	18190342	2034	9304	13030798
2035	13324	18660916	2035	9545	13367898
2036	13655	19124166	2036	9782	13699751
2037	13981	19580634	2037	10015	14026745
2038	14302	20030824	2038	10245	14349242
2039	14619	20475200	2039	10473	14667575
2040	14933	20914193	2040	10697	14982051

**Tabela 8.** Potência e energia disponíveis para os Cenários I e II

Cenário I			Cenário II		
Ano	Potência (MW)	Energia (MWh/dia)	Ano	Potência (MW)	Energia (MWh/dia)
2025	11,4	82,3	2025	8,2	59,0
2026	11,9	85,8	2026	8,5	61,5
2027	12,4	89,2	2027	8,9	63,9
2028	12,8	92,5	2028	9,2	66,2
2029	13,3	95,7	2029	9,5	68,5
2030	13,7	98,8	2030	9,8	70,8
2031	14,2	101,9	2031	10,1	73,0
2032	14,6	104,9	2032	10,4	75,2
2033	15,0	107,9	2033	10,7	77,3
2034	15,4	110,8	2034	11,0	79,4
2035	15,8	113,7	2035	11,3	81,4
2036	16,2	116,5	2036	11,6	83,5
2037	16,6	119,3	2037	11,9	85,5
2038	17,0	122,0	2038	12,1	87,4
2039	17,3	124,7	2039	12,4	89,4
2040	17,7	127,4	2040	12,7	91,3

Certamente estes dados corroboram com o que já é feito no Aterro Dois Arcos que é o possível aproveitamento do CH<sub>4</sub> para queima e produção de energia. Na própria Lei 12.305 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, menciona o aproveitamento energético como destinação final adequada. Entretanto, trouxe também a necessidade da reciclagem como destinação final e a coleta seletiva dentre seus instrumentos, especificando-a como a coleta de resíduos sólidos previamente separados de acordo com sua constituição e composição.

Segundo ABREMA (2024) 60,5% das cidades brasileiras possuem iniciativas de coleta seletiva, mas na prática, toda cadeia que vai deste a separação, acondicionamento, coleta, tratamento e destinação final destes materiais, ainda carece de uma maior cobertura territorial, com isso, muitos destes resíduos não são reaproveitados pelos catadores e pelas indústrias de reciclagem, sendo depositados junto a fração matéria orgânica putrescível que geralmente são os restos de alimentos em aterros sanitários. Em grande parte dos aterros sanitários, não existe nenhum tipo de coleta e/ou separação destes materiais o que representa uma perda em termos energéticos, visto que estes poderiam voltar para a cadeia produtiva, e uma perda de vida útil dos aterros, uma vez que estes materiais ocupam um grande volume físico nas células dos aterros.

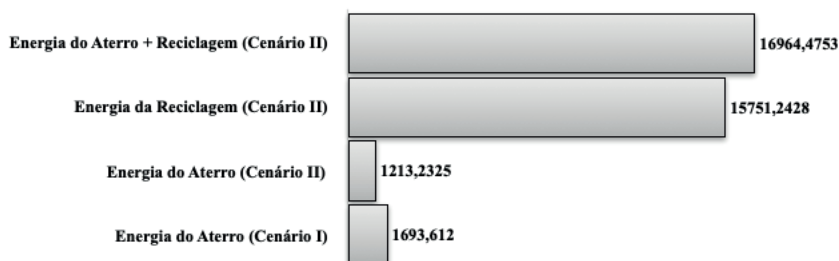
Utilizando os índices de economia de energia elétrica citados na Tabela 4, e a Tabela 6 que mostra a composição gravimétrica mássica dos materiais recicláveis pode-se obter os potenciais teóricos de conservação de energia elétrica para o consórcio (Tabela 9).

**Tabela 9.** Potencial de energia elétrica conservada na reciclagem dos RSU do Consórcio

Potencial de Energia Elétrica Conservada (MWh/dia)				
Ano	Calderoni	Morris	EPA	Warnken ISE
2025	1062	870	2144	878
2026	1081	885	2182	894
2027	1099	901	2219	909
2028	1118	916	2257	924
2029	1137	931	2295	940
2030	1155	946	2332	955
2031	1174	962	2370	971
2032	1193	977	2407	986
2033	1211	992	2445	1001
2034	1230	1007	2483	1017
2035	1248	1023	2520	1032
2036	1267	1038	2558	1048
2037	1286	1053	2596	1063
2038	1304	1068	2633	1078
2039	1323	1084	2671	1094
2040	1342	1099	2708	1109

Diante dos valores obtidos, para os diferentes índices levados em consideração para cada autor, fica claro a diferença entre estes. Sendo assim, optou-se pelos valores obtidos pelos índices de Morris por se tratar dos mais “conservadores”, uma vez que estes números são valores teóricos, que, na prática, e por diferentes razões, como as perdas naturais no processo de coleta e seleção, e as variações sazonais das proporções destes materiais ao longo do ano e dos anos, podem sofrer variações. De qualquer modo, esses números indicam que não se deve afastar a alternativa da reciclagem. E, não por acaso, a despeito de outros fatores de natureza socioeconômica, o índice de reciclagem no Brasil já é bastante alto para os materiais em que o índice de conservação por peso do material é mais elevado, como por exemplo, as latas de alumínio (metal), e as embalagens PET (plásticos).

Na Figura 1, pode-se comparar a energia disponível no Cenário I, proveniente do modelo atual que corresponde ao aterro dos RSU sem qualquer tipo de reciclagem (1.694 MWh/dia), do Cenário II com a retirada da fração papel/papelão dos RSU do aterro (1.213 MWh/dia), do Cenário II proveniente exclusivamente da reciclagem (15.751 MWh/dia) e do Cenário II que envolve a soma das energias do CH<sub>4</sub> proveniente do aterro sanitário com a exclusão da fração papel/papelão com a da reciclagem (16.964 MWh/dia).



**Figura 1.** Comparação das energias disponíveis para os Cenário I e II em MWh/dia

Através da Figura 1, percebe-se através da comparação entre o Cenário I e II que representam somente a energia proveniente do biometano do aterro sanitário que os valores são muito menores em comparação a energia proveniente da reciclagem do Cenário II, mas que somada a energia do aterro e a energia da reciclagem (Cenário II) o valor se torna ainda mais expressivo.

Dados do EPE (2025) mostram que houve um aumento de 1,9% do consumo final de energia em 2024 em relação a 2023, tendo os setores de transportes e o industrial como os líderes no País em termos de consumo de energia, correspondendo aos valores de 33,2% e 31,7%, respectivamente. No caso da energia elétrica, verificou-se crescimento na oferta interna de 39,7 TWh (+5,5%) em relação a 2023, tendo um

crescimento de 1,2 Mtep no setor industrial, mostrando que uma parte da energia consumida para a produção de materiais e produtos recicláveis poderia ser conservada a partir da prática de reciclagem, aumentando a oferta interna de energia.

Já o consumo de energia em 2024 nos transportes apresentou aumento de 2,7% em relação a 2023. Segundo o EPE (2025) a oferta interna de gás natural aumentou de 30,2 (2023) para 31,0 Mtep (2024) e por outro lado, a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira chegou ao patamar de 50% de renovabilidade, entretanto, o biogás contribuiu somente com 0,5% desta energia. Estes dados mostram a necessidade e a oportunidade de implementação desta transição energética, que envolve economia circular e descarbonização da economia com o uso do biometano como substituto de combustíveis fósseis na matriz energética nacional. O biometano pode ser comercializado de diversas formas: como gás natural comprimido (GNC) ou gás natural liquefeito (GNL), podendo ser amplamente empregado nos setores doméstico, industrial e veicular.

Segundo a ABREMA (2024) atualmente o Brasil possui 1.365 plantas de produção de biogás, com 86% do volume de gás produzido sendo utilizado para geração de energia elétrica. Dessas plantas, cerca de 10% utilizam como substrato resíduos provenientes de saneamento (unidades em aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto). Isso sugere um grande potencial de expansão do uso do RSU para geração de energias renováveis no país.

## CONCLUSÕES

O estudo evidencia o grande potencial energético dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados pelos municípios do consórcio do Aterro Sanitário de Dois Arcos, especialmente quando se considera a reciclagem como parte integrante da estratégia de aproveitamento energético. A comparação entre os cenários analisados mostra que, embora o biogás proveniente da decomposição orgânica seja uma fonte importante de energia, a reciclagem de materiais como papel/papelão, plástico, metal e vidro apresenta um potencial ainda maior de conservação energética, contribuindo significativamente para a redução de emissões de gases de efeito estufa e para a sustentabilidade do sistema.

A implementação de políticas públicas que incentivem a coleta seletiva, a triagem e a reciclagem é essencial para transformar o modelo atual em um sistema mais eficiente, ambientalmente adequado e economicamente viável. Além disso, a valorização energética dos RSU por meio do biometano pode fortalecer a matriz energética nacional com fontes renováveis. Assim, a combinação entre reciclagem e recuperação energética se apresenta como caminho estratégico para promover a economia circular, aumentar a vida útil dos aterros e atender aos compromissos climáticos assumidos pelo país.

## REFERÊNCIAS

Pereira Jr., A.O. Aproveitamento Energético de Resíduos: Um Mercado Que Não Se Pode Descartar. Boletim Regional, Urbano e Ambiental, v. 24, 2020.

ABREMA - Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024. 84 p., 2024.

Brasil. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 17p., 2010.

ONU - Organização das Nações Unidas. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2023. Nações Unidas Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 30 jan. 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Série Recursos Energéticos, Nota Técnica Den 06/08, 77 p., 2008.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Painel de Indicadores, 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico, 2025.

Serenco - Serviços de Engenharia Consultiva. Elaboração de Estudos e Projetos Para Consecução dos Planos Municipais de Saneamento Básico, 2013.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, v. 5 - Waste, Chapter 3 - Solid Waste Disposal, 2006.

Calderoni, S. Os bilhões perdidos no lixo, 1a ed. São Paulo: Humanitas Editora, 1996.

EPA. U. S. Environmental Protection Agency. Waste Reduction Model. Washington, DC: EPA, 2007.

Morris, J. Recycling Versus Incineration: An Energy Conservation Analysis, Journal of Hazardous Materials, vol. 47, p. 277-293, 1996.

Warnken ISE. Potential for Greenhouse Gas Abatement from Waste Management and Resource Recovery Activities in Australia. Final Report, 54p. Sydney, NSW: Warnken ISE/SITA, 2007.

Monteiro, J.H.P. et al. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

SISEMA - Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do Estado de Minas Gerais. Vol. II, Belo Horizonte, 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese 2025 – Ano Base 2024, 74 p., 2025.



T R A B A L H O 3 1

# PRODUÇÃO DE CORAIS ARTIFICIAIS CONTENDO RESÍDUOS DE CALCÁRIO MARINHO E ARGILA COMERCIAL

Manuella Ribeiro

Nuria Castro

Roberto Carlos Ribeiro

**RESUMO:** Os recifes de corais são estruturas rígidas formadas por organismos marinhos que recobrem um esqueleto de calcário. No entanto, esta rigidez está sendo afetada pelo aumento da temperatura dos oceanos causado pelo aquecimento global que torna o coral frágil, a exploração, o pisoteamento decorrente da visitação, movimentação das embarcações, pesca predatória e até mesmo pelo lixo deixado nessas regiões. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi produzir corais para recompor recifes danificados e melhorar o desenvolvimento da fauna e flora marinha por meio da manufatura aditiva (MA), ou seja, a impressão 3D de uma pasta contendo calcário marinho com percentuais de 0-100% associados com argila comercial com posterior sinterização a 1.000 °C por 1 h como descrito na patente desenvolvida pelo grupo BR 1020240117077. Os corpos de prova foram avaliados por meio de dureza, índices físicos, modelagem molecular e avaliação de risco ambiental antes e após serem submetidos a ambientes marinhos com salinidade de 35%. Os resultados indicaram que a composição com 60% de calcário marinho e 40% de argila foi a mais adequada, pois obteve valores de dureza de 320 HLD, porosidade de 70% e densidade de 2.600 kg.m<sup>-3</sup> antes e após submissão a ambiente salino, e foram similares aos valores de um coral verdadeiro. A modelagem molecular indicou que a interação dos pigmentos gerados pelas algas se associam aos pares de elétrons livres do CaCO<sub>3</sub> e também ocorre interação  $\pi$ - $\pi$  da ressonância magnética dos anéis aromáticos dos pigmentos. Devido ao aquecimento dos oceanos, a estrutura dos corais se desestrutura e impede essas interações, pois forma-se CaO e não mais CaCO<sub>3</sub>. A confecção de corais artificiais utilizando-se calcário marinho, que contém também quartzo, permitiu maior estabilidade ao material e manteve a integridade do coral, permitindo novamente a pigmentação. Não foram verificados riscos toxicológicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Recifes de corais, calcário marinho, impressão 3D.

## INTRODUÇÃO

Os recifes de corais são definidos como estruturas rígidas que resistem à ação das ondas e correntes marinhas e são formados por organismos marinhos que recobrem um esqueleto de calcário (Figura 1A). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, os recifes de coral são encontrados em mais de 100 países e territórios. No entanto, eles estão sob o implacável estresse do aquecimento causado pelas mudanças climáticas, a pesca excessiva, o desenvolvimento costeiro insustentável e o declínio da qualidade da água. Dessa forma, a perda irrevogável dos recifes de coral é catastrófica (Figura 1B). Uma análise que examinou 10 regiões de recifes de coral ao redor do mundo, mostrou que a destruição dos mesmos está relacionada com o branqueamento causado pelas altas temperaturas da superfície do mar, que transformam o  $\text{CaCO}_3$  em  $\text{CaO}$  e  $\text{CO}_2$ , não havendo mais interação com as algas zooxantelas que conferem as diferentes cores dos recifes de corais. Além disso, a exploração, o pisoteamento decorrente da visita, movimentação das embarcações, pesca predatória e até mesmo pelo lixo deixado nessas regiões agravam o problema (Freitas *et al.*, 2012; Correia e Gabler, 2023). Os recifes de coral, tão frágeis e de tamanha importância, estão se acabando e as causas dessas ameaças são difíceis de serem enfrentadas, na medida em que são extremamente difusas, e resultam de todo um paradigma de desenvolvimento. Dessa forma, o desenvolvimento de pesquisas científicas deve ser realizado para sua recuperação (Ribeiro *et al.*, 2024).



**Figura 1A:** Recifes íntegros (no Unsplash).

**Figura 1B:** Recifes destruídos (Stock – Focused collection).

## OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho foi a geração de corais marinhos, por meio de impressão 3D em pasta cerâmica, constituída de calcário marinho e argila comercial do tipo porcelana em diferentes proporções.

## METODOLOGIA

### Origem dos materiais

Utilizou-se um calcário marinho oriundo do Estado da Paraíba e uma argila do tipo porcelana, fabricada pela empresa Pascoal.

### Análises química, mineralógica

A análise química do calcário marinho e da argila foi realizada pelo método de Fluorescência de Raio-X. Já a avaliação mineralógica foi realizada por Difração de Raio-X na Coordenação de Análises Químicas e Mineralógicas do CETEM – COAMI.

### Peneiramento a úmido

O calcário apresentava tamanho de partículas grosseiras e foi peneirado a úmido nas seguintes frações: 0,044 mm, 0,025 mm, 0,020 mm e abaixo de 0,020, sendo realizada a avaliação colorimétrica, com colorímetro BYK, em cada uma das frações para determinação do índice de luminosidade.

### Confecção dos corpos de prova

Foram preparados corpos de prova com calcário marinho nas seguintes proporções de calcário/argila porcelana (%): 0/100, 10/90, 20/80, 30/70, 40/60, 50/50, 60/40, 70/30, 80/20, 90/10 e 100/0. Posteriormente, cada um deles foi sinterizado a 1.000 °C, por 1 h (Ribeiro *et al.*, 2024).

### Caracterização dos copos de prova

Avaliou-se a dureza dos corpos de prova após a sinterização, por meio do aparelho portátil digital de impacto Leeb, Equotip 3, da marca Proceq. Além disso, determinou-se a porosidade e massa específica dos corpos de prova segundo a norma NBR 15845-2.

### Ensaio de Alterabilidade em condições salinas

Os corpos de prova foram imersos em aquários contendo solução salina a 35% (similar a salinidade do mar brasileiro) sob a presença de oxigenação, durante 540 h, no Laboratório de Biologia da UERJ (Figura 2). Ao final do processo, avaliaram-se dureza e porosidade, absorção de água e massa específica novamente. Em seguida, foram adicionadas algas zooxantelas para verificação da interação com os corais.

## Avaliação de risco ambiental

A avaliação de risco ambiental foi realizada segundo padrões da CETESB (2001)- Gerenciamento de Áreas Contaminadas e US EPA. “*Guidelines for Ecological Risk Assessment*”, 1998

## Modelagem Molecular

A avaliação da interação carbonato de cálcio/algas zooxantelas foi realizada por modelagem molecular no Laboratório de Modelagem Molecular – LABMOL do CETEM, com o programa *Spartan*.

## Confecção do coral em impressão 3D

Após as determinações das melhores condições técnicas e ambientais processou-se o coral na impressora 3D da marca Duraprint 3D, com base na análise tomográfica de um coral verdadeiro, utilizando-se 60% calcário marinho e 40% argila e sinterizado a 1.000°C por 1h, segundo Ribeiro *et al.*, 2024.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análises Química (FRX) e mineralógica (DRX)

Os resultados de FRX indicaram que o calcário marinho apresenta em média 40% de CaO, 20%SiO<sub>2</sub>, 5% MgO e 35% de perda por calcinação. Já a argila comercial apresenta 55% de SiO<sub>2</sub>, 30% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5% de Na<sub>2</sub> e 10% de perda por calcinação. Os resultados de DRX indicaram a presença majoritária de calcita para o calcário marinho e a argila apresenta picos de caulinita, albita, quartzo, muscovita e vermiculita.

### Avaliação colorimétrica

O calcário marinho grosso apresenta valor de luminosidade (L) de 52,04° e à medida que o tamanho de partícula diminui os valores de L aumentam para 70,07° em 0,044 mm, 76,14° em 0,025 mm, 75,27° acima de 0,020 mm e abaixo de 0,020 para 80,50°, valor este muito similar ao coral original do fundo do mar que apresenta valor de L de 81,26, indicando ser a fração mais adequada para utilização.

### Avaliação dos corpos de prova

A Figura 3 apresenta os resultados da dureza das amostras em função do percentual de calcário marinho, antes e após submissão a ambiente salino. Verifica-se que a dureza do corpo de prova sem calcário marinho é de 466 HLD (material

rico em  $\text{SiO}_2$ ) e à medida que se adicionam percentuais de calcário a dureza se reduz gradativamente, chegando-se a em torno de 200 HLD com 100% de calcário marinho. Porém, comprando-se com um coral marinho que apresenta dureza de 210 HLD, todos os corpos de prova encontram-se adequados para utilização. Isso ocorre, pois na composição do calcário marinho não há apenas calcita, mas também quartzo, como observado na difração de raios-X, o que permite a geração de um coral artificial mais resistente que o coral real. Além disso, há que se observar que as condições salinas não afetaram a dureza dos compósitos.



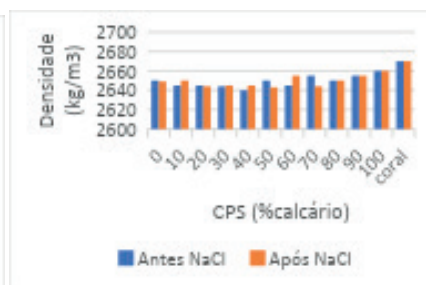
**Figura 2:** Ensaio em aquários UERJ (água salgada 35% p/v). **Figura 3:** Dureza (HLD).

## Porosidade e Densidade

A Figura 4 apresenta os resultados da porosidade das amostras em função do percentual de calcário marinho onde se verifica uma porosidade em torno de 35% para amostra isenta de calcário e à medida que se aumenta o percentual de calcário a porosidade aumenta, chegando-se a cerca de 80%, valor este similar à de um coral real. Já na Figura 5, observam-se os resultados de densidade e verifica-se pouca variação da mesma, principalmente porque caulinita, presente na argila, e calcário tem densidades muito similares ( $\sim 2.600 \text{ kg.m}^{-3}$ ). A salinidade não afetou a porosidade nem a densidade dos CPs.



**Figura 4:** Porosidade dos CPs (%).



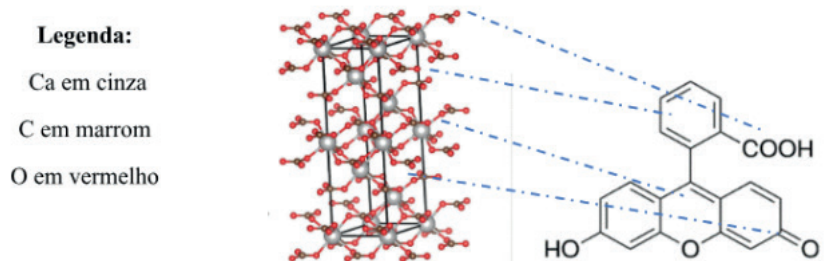
**Figura 5:** Densidade dos CPs ( $\text{kg.m}^{-3}$ ).

## Avaliação de risco ambiental

Os resultados indicaram que não há elementos tóxicos sendo liberados pelos novos corais produzidos e submetidos ao ambiente salino. Pôde-se verificar também que após a colocação das algas zooxantelas em contato com os corais houve pigmentação rosa nos mesmos.

## Modelagem Molecular

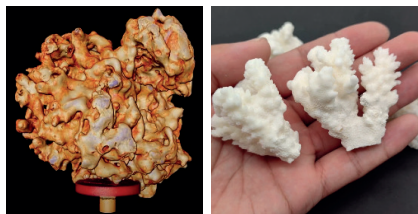
Os resultados de modelagem molecular corroboram os resultados de avaliação de risco, pois foi possível verificar a interação favorável entre os pares de elétrons livres do carbonato de cálcio do coral com os pares de elétrons livres do pigmento rosa bengal gerado pelas algas bem como a interação  $\pi$ - $\pi$  com os anéis aromáticos, como indica a Figura 6.



**Figura 6:** Interação da estrutura cristalina da calcita com o pigmento rosa bengal.

## Confecção do coral

Na Figura 7 encontra-se a avaliação tomográfica de um coral verdadeiro que serviu de base para geração dos melhores parâmetros de impressão 3D com tamanho de camada de 1 mm, 5% de preenchimento retilíneo e extrusão de 1 mm, utilizando 60%, em massa de calcário marinho e 40% de argila, como pode ser observado na Figura 8.



**Figura 7:** Análise tomográfica do coral verdadeiro. **Figura 8:** Coral gerado em impressora 3D.

## CONCLUSÕES

Conclui-se que é possível gerar corais artificiais com composição contendo 60% de calcário marinho, com tamanho de partícula inferior a 0,020 mm, com L superior a 80°; e 40% de argila, baseado nas condições de processamento descritas na patente BR 1020240117077. Com essa proporção obtiveram-se valores de dureza de 320 HLD, porosidade de 70% e densidade de 2.600 kg.m<sup>-3</sup> antes e após submissão a ambiente salino e foram similares aos valores de um coral verdadeiro do fundo do mar. Além disso, a modelagem molecular indicou que a os pigmentos gerados pelas algas se associam aos pares de elétrons livres do carbonato de cálcio e também por meio de interação  $\pi$ - $\pi$  com os anéis aromáticos do pigmento. Devido ao aquecimento dos oceanos, a estrutura dos corais se desestrutura e impede essas interações. Após a confecção de corais artificiais por meio de impressão 3D utilizando-se calcário marinho contendo também quartzo, este permitiu maior estabilidade ao material e manteve a integridade do coral, permitindo novamente a pigmentação por partes das algas que entraram em contato com os mesmos, tornando-os rosa. Não foram verificados riscos toxicológicos e a salinidade não afetou o coral artificial.

## AGRADECIMENTOS

Ao CETEM pela infraestrutura, aos colegas do Lacon, ao Labmol, ao Instituto de Biologia da UERJ e à Fundação CIDE financiadora do estágio.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR12766 de 06/2010 - Rochas para revestimento - Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente

CORREIA, A. R. L., E GABLER, B. C. (2023). Recifes de corais e os impactos da ação antropogênica. Revista Multidisciplinar Do Nordeste Mineiro, 4(1). Recuperado de <https://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/1000>

FREITAS, L. M.; OLIVEIRA, M. D. M. e KIKUCHI, R. K.P., (2012). Os mecanismos de sobrevivência dos corais diante do impacto das mudanças climáticas sobre o ecossistema de recifes, Cadernos de Geociências, v. 9, n. 2.

RIBEIRO, R. C. C.; RIBEIRO, M. L.; CONCEIÇÃO, M. N. E CASTRO, N. F., (2024). Geração de corais artificiais utilizando pasta de resíduos minerais por meio de impressão-3d em pasta, deposito de pedido de privilégio de invenção nº BR 10 2024 011707 7 no INPI em, 12 de junho de 2024.

US EPA Guidelines for Ecological Risk Assessment, (1998). USEPA EPA/630/R095/002F. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC, 175 pp.



T R A B A L H O 3 2

## PROGRAMA ESTADUAL REMEDIA RJ: DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A REMEDIAÇÃO DE LIXÕES MUNICIPAIS

Ana Carolina Macedo Teixeira

Maria Fernanda Peralta

Mona Rotolo

Yanko Santiago

**RESUMO:** O Programa Estadual Remedia RJ, da Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade do Rio de Janeiro (SEAS), visa remediar áreas degradadas por disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos em lixões municipais. Este artigo analisa a Resolução SEAS nº 206/2024, que estabelece critérios para priorização de municípios no apoio técnico à remediação, propondo ajustes para uma abordagem mais eficaz e eficiente, tanto técnica quanto estrategicamente, nos territórios contemplados. Discute-se, então, a necessidade de incorporar critérios revisados e aprimoramento de fontes de dados confiáveis para melhor elaboração do planejamento do referido Programa, visando maior eficácia na recuperação de áreas degradadas em todo o Estado.

**PALAVRAS-CHAVE:** remediação de lixões municipais; política pública ambiental; resíduos sólidos urbanos; mitigação de dano ambiental; manejo territorial.

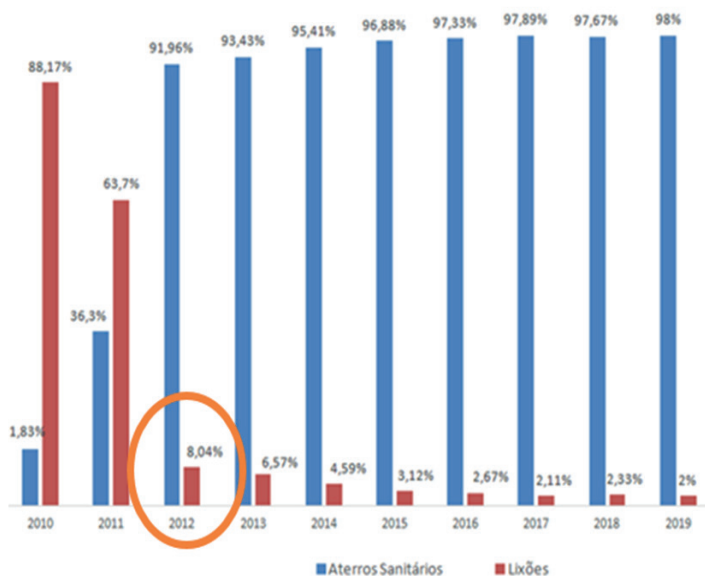
### INTRODUÇÃO

A disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos em lixões representa um dos principais passivos ambientais enfrentados pela gestão pública, especialmente em estados com histórico de destinação irregular desses materiais. Os lixões, caracterizados pela deposição direta de resíduos sobre o solo, sem qualquer controle técnico ou proteção ambiental, ocasionam significativos impactos ao meio ambiente e à saúde pública.

Dentre os principais efeitos negativos associados aos lixões destacam-se a contaminação do solo e das águas subterrâneas pelo chorume, a emissão de gases de efeito estufa, como o metano, a proliferação de vetores de doenças e a degradação da paisagem. Tais áreas comprometem não apenas os ecossistemas locais, mas também afetam populações vulneráveis, frequentemente expostas a riscos sanitários e socioambientais.

O gráfico abaixo apresenta a série histórica dos dados referentes ao tipo de disposição final de resíduos sólidos urbanos gerados no estado do Rio de Janeiro, compreendendo o período de 2010 a 2019. Observa-se que, no ano de 2010, 88,17% dos resíduos gerados eram dispostos em lixões, enquanto somente 1,83% eram destinados aos aterros sanitários.

Ainda de acordo com o gráfico, o ano de 2012 apresenta uma variação significativa no cenário, dado o fechamento do maior lixão da América Latina à época: o aterro metropolitano de Jardim Gramacho, como ficou conhecido. A partir de seu fechamento, e considerando que tal “aterro” recebia os resíduos gerados na capital fluminense e de alguns municípios da região metropolitana, observa-se que 91,96% dos resíduos sólidos urbanos produzidos no Estado passam a ser dispostos em aterros sanitários.



Fonte: Programa Pacto pelo Saneamento – SEAS/RJ

Com vistas à melhoria efetiva da gestão ambiental do território do Estado do Rio de Janeiro, foi implementada a política redistributiva denominada ICMS Ecológico, cujo objetivo é fomentar o uso e diversificação do repasse financeiro do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços aos Municípios. O ICMS Ecológico, instituído pela Lei Estadual nº 5.100/2007, reformulou os critérios de repartição da cota-parte do ICMS destinada aos municípios, incorporando indicadores ambientais como parâmetros de distribuição. Entre os principais critérios adotados, destacam-se a existência e a preservação de unidades de conservação, a qualidade dos recursos hídricos e a efetividade na gestão dos resíduos sólidos urbanos e a remediação dos vazadouros municipais, promovendo, assim, a indução de políticas públicas voltadas à sustentabilidade ambiental nos entes municipais.

No âmbito do ICMS Ecológico, o **Índice Remediação de Vazadouro – IRV**, mede e bonifica o esforço dos municípios em remediar as áreas degradadas pela disposição irregular de resíduos sólidos em seus territórios

O Índice de Remediação de Vazadouros, ou lixões, é o resultado da avaliação do estágio de remediação dos vazadouros (RV) dos municípios e a pontuação pode variar entre 1 ou 3, sendo 1 para Vazadouro em Remediação ou 3 para Vazadouro Remediado e em Monitoramento. Os critérios técnicos de avaliação são apresentados na Nota Técnica de Avaliação do ICMS Ecológico anualmente.

As análises dos dados mais recentes do ICMS Ecológico, ano-base 2023, indicam a existência de **79 lixões** em seu território. Destes, **apenas 8 foram remediados ou estão em processo de remediação**, enquanto **69 encontram-se fechados, porém sem qualquer ação efetiva de recuperação ambiental**. Além disso, **2 lixões permanecem ativos**, recebendo resíduos sólidos urbanos de forma sistemática, em desacordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12.305/2010.



Ainda que a legislação estabeleça a responsabilidade da gestão do saneamento aos gestores municipais, destaca-se o papel estratégico dos governos estaduais na formulação de políticas públicas voltadas ao encerramento dos lixões e à remediação ambiental. Tais políticas devem estar alinhadas com os preceitos da PNRS, como os princípios da prevenção e precaução ambiental, e com os instrumentos de gestão previstos na Lei Federal nº 6.938/1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente e, ainda, ao marco regulatório do saneamento – Lei Federal nº 11.445/2011, atualizada pela Lei Federal nº 14.026/2020.

Tal protagonismo no desenvolvimento de políticas públicas isonômicas deve incluir a proposição de critérios técnicos objetivos para a identificação e hierarquização das áreas degradadas prioritárias para recuperação, bem como oportunizar investimentos financeiros e apoio técnico para sua execução, dada a complexidade do tema, tal como ocorreu durante a elaboração do Programa Remedia RJ, fruto de articulações entre setores da Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade (SEAS) e do Instituto Estadual do Ambiente (Inea).

Tais critérios podem contemplar variáveis como o grau de contaminação do solo e das águas subterrâneas, a proximidade de corpos hídricos, a densidade populacional do entorno, a suscetibilidade a processos erosivos, e o risco à saúde pública. A definição de parâmetros técnicos claros é fundamental para assegurar a eficiência e a eficácia das intervenções, bem como para garantir transparência e equidade na alocação de recursos públicos.

Especificamente em relação à efetivação das ações de remediação de lixões, dentre os principais desafios, que comprometem a escala e a celeridade das intervenções, pode-se destacar:

- I **Restrição de técnicos qualificados nos municípios**, comprometendo a elaboração de projetos, o acompanhamento de obras e a operação dos sistemas implantados;
- I **Elevados custos técnicos e financeiros envolvidos**, tanto nas fases diagnósticas quanto nas obras de engenharia e no monitoramento de longo prazo;
- I **Necessidade de estudos prévios robustos**, com base em critérios técnico-científicos e em consonância com os requisitos do licenciamento ambiental, especialmente em áreas sensíveis do ponto de vista hidrogeológico e ecológico;
- I **Complexidade normativa e exigências regulatórias**, que demandam compatibilização entre instrumentos de gestão ambiental e de recursos hídricos.

Nesse sentido, instituiu-se o Pacto pelo Saneamento, criado pelo Decreto Estadual nº 42.930/2011, que abrange um conjunto de ações com o objetivo de universalizar, no âmbito do Estado do Rio de Janeiro, o acesso a sistemas de saneamento ambiental, minimizando os impactos negativos decorrentes da inexistência destes sobre a saúde humana, o meio ambiente e as atividades econômicas.

Dentre as ações previstas, está o subprograma Lixão Zero, voltado ao desenvolvimento de ações estruturais e estruturantes para a gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos, bem como para a disposição final dos rejeitos em aterro sanitário, encerramento dos lixões e recuperação das áreas degradadas pela disposição irregular de resíduos sólidos urbanos.

O Programa Estadual Remedia RJ, lançado pela SEAS e pelo Inea, é um programa de direcionamento do Subprograma Lixão Zero, cujo objetivo é oferecer apoio técnico aos municípios e consórcios públicos de gestão de resíduos sólidos na viabilização dos diagnósticos, projetos executivos de remediação de lixões e as suas respectivas obras, tendo como meta essencial a remediação e reabilitação de cerca de sessenta e nove áreas degradadas pela disposição final inadequada de resíduos descartados em lixões municipais inativos localizados no território fluminense, bem como o fechamento dos últimos dois lixões ainda ativos no Estado.

Dentre os objetivos específicos deste Programa, tem-se a reabilitação de áreas contaminadas para mitigação do passivo ambiental, através da realização de estudos técnicos para diagnóstico geoambiental, realização de intervenções físicas quando necessárias e a elaboração de materiais técnicos para apoio às ações de remediação, bem como a instrumentalização de municípios para a ressignificação destas áreas e o estímulo à disposição final ambientalmente adequada, eventualmente apoiando a proposição de usos futuros.

Reforçando a premissa de cooperação e integração entre os órgãos para a ação conjunta na implementação de políticas públicas, e dada a amplitude e a capilaridade do Programa Remedia RJ, está prevista, no âmbito das atribuições de cada ente, a coordenação executiva da SEAS, que também exercerá sua função normativa, e a coordenação técnica do Inea, reforçando a premissa de política de estado coordenada e robusta.

Ainda no que se refere às ações conjuntas e coordenadas, o Programa Remedia RJ prevê mecanismos formais para a estruturação de parcerias institucionais, por meio de acordos de cooperação técnica, convênios e colaboração instituições públicas de outras esferas federativas, como a União e os municípios, com vistas à integração de políticas públicas, troca de dados e ações coordenadas, além de comitês de bacia hidrográfica, como instâncias territoriais estratégicas para a priorização das áreas a serem remediadas, com base nos impactos sobre os recursos hídricos e nos instrumentos dos Planos de Bacia, dentre outros.

Devido à alta demanda de municípios para a elaboração de diagnóstico preliminar, diagnóstico definitivo, elaboração de projeto executivo e execução das obras por todo o território do Estado do Rio de Janeiro, torna-se evidentemente inviável prestar o apoio necessário de maneira eficaz simultaneamente em sua integralidade, em razão de limitações financeira e orçamentária.

Por esse motivo, prevê-se que o escopo de implementação do Programa Estadual Remedia RJ se dará de maneira faseada, baseada em ordem de priorização, com critérios determinados por normas específicas. Tais normas deverão atender a critérios técnicos e estratégicos, conforme disponibilidade financeira e orçamentária, de acordo com o disposto pela Resolução SEAS nº 206/2024.

## OBJETIVO

O presente artigo tem o objetivo geral de contribuir para a formulação de políticas públicas para a remediação de lixões de forma mais equitativa e eficiente no Estado do Rio de Janeiro, em especial no fomento ao apoio técnico, operacional e financeiro aos municípios, bem como no desenvolvimento de parcerias institucionais para atuação territorializada.

Mais especificamente, este trabalho visa aprimorar a implementação do Programa Remedia RJ; evidenciar a necessidade de ampliação da base de dados referentes aos lixões municipais; sugerir coleta de informações mais atualizadas e abrangentes para a elaboração de um panorama estadual fidedigno, através da realização de uma pesquisa municipal com gestores e técnicos da área para compreensão do cenário atual em cada município do território fluminense que será contemplado pelas ações do Programa Remedia RJ.

## METODOLOGIA

Esse estudo adota uma abordagem quantitativa e qualitativa, fundamentada em dois eixos principais: revisão documental, coleta e análise de dados de fontes primárias. A combinação desses procedimentos metodológicos visa compreender, avaliar e propor subsídios para o aprimoramento de políticas públicas vinculadas ao Programa Estadual Remedia RJ, com ênfase nos critérios estabelecidos pela Resolução SEAS nº 206/2024.

## Revisão de Dados

Foi realizada uma análise crítica dos dados previamente disponibilizados pelo Programa Remedia RJ e pelos relatórios do ICMS Ecológico referentes ao Ciclo 2025 (ano-base 2024, Ano Fiscal 2026). Essa etapa teve como objetivo avaliar a

consistência, a cobertura territorial e a qualidade das informações atualmente disponíveis sobre a existência e a situação dos lixões no estado do Rio de Janeiro. A análise foi orientada pela identificação de lacunas e limitações nos dados utilizados como base para a formulação e implementação de políticas públicas de remediação ambiental. Parte-se da hipótese de que tais dados são insuficientes para contemplar e hierarquizar, de forma equitativa, as prioridades de intervenção diante da complexa diversidade socioespacial dos municípios fluminenses. Esse cenário evidencia a necessidade de aprimoramento das estratégias de coleta, sistematização e atualização de informações, com ênfase em levantamentos realizados em nível local.

## Coleta e Análise de Dados de Fontes Primárias

Com o intuito de complementar e atualizar as informações, será realizada a coleta de dados de fontes primárias por meio de formulários e/ou ofícios enviados a gestores municipais. A análise desses dados permitirá identificar lacunas na base de informações atualmente utilizadas pelo Programa, evidenciando a necessidade de um levantamento mais detalhado sobre a situação dos lixões no território fluminense. Os dados coletados serão sistematizados e interpretados com base nos critérios técnicos estabelecidos pela Resolução SEAS nº 206/2024, subsidiando propostas de ajustes na priorização dos municípios e no aprimoramento do planejamento estratégico do Remedia RJ.

## RESULTADOS

O diagnóstico inicial do Programa Remedia RJ foi realizado com base em pesquisa direta junto aos Municípios fluminenses, através de encaminhamento de ofício aos gestores municipais, que continha perguntas específicas para levantamento de informações geoambientais sobre os lixões em cada território, como ano de encerramento e período de duração das atividades, área média, se o lixão está localizado em algum tipo de área de conservação ambiental, região de várzea ou se possui corpos hídricos, hospitais, creches e escolas no entorno, dentre outras.

Apenas 60 dos 92 municípios do Estado forneceram esses dados cruciais, referente a 66 áreas, que são indispensáveis para a elaboração de um ranqueamento eficaz. Essa adesão limitada, que corresponde a somente 65,22% do total, revela um desafio significativo na coleta de informações que viabilizem a gestão ambiental e o planejamento de políticas públicas, considerando a limitação de dados qualitativos e quantitativos sobre as áreas impactadas.

No entanto, a partir deste levantamento, foi possível obter um panorama mais detalhado acerca das características das áreas de disposição irregular de resíduos sólidos no Estado. No tocante à área média dos vazadouros identificados, constatou-

se que 38 áreas apresentam extensão entre 5.000 m<sup>2</sup> e 50.000 m<sup>2</sup> (aprox. 57,58%), enquanto 22 ultrapassam 50.000 m<sup>2</sup> (cerca de 33,33%), revelando a expressividade territorial de parcela significativa dos passivos ambientais. Apenas 6 lixões contam com áreas médias inferiores a 5.000 m<sup>2</sup>, representando 9,09% do total de respostas a este diagnóstico.

Quanto à localização geográfica, verificou-se uma distribuição relativamente equilibrada: 34 áreas estão situadas em zonas rurais (51,52%) e 31 em zonas urbanas (46,97%), além de um município que definiu sua área como “mista”.

No que tange à sobreposição com áreas de conservação ambiental, de acordo com a Lei do SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza), instituída pela Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, tem-se que 15 vazadouros, representando cerca de 23,73%, encontram-se inseridos em espaços legalmente protegidos, ao passo que 51 (aprox. 77,27%) informaram que não se localizam em unidades de conservação. Em relação à ocorrência em áreas de várzea, 14 dos registros indicam esta condição, contrastando com 54 que negaram tal incidência.

Observou-se, ainda, que a proximidade com corpos hídricos constitui uma realidade preocupante: 49 áreas, representando 74,24% das respostas, encontram-se adjacentes a recursos hídricos, enquanto apenas 17, ou 25,76% do total de registros, não apresentam tal proximidade.

Quanto à ocorrência de lixiviados, verificou-se que em 44 áreas, ou seja, aproximadamente 64,71% dos casos, não se constata visualmente a presença de chorume. Entretanto, foi diagnosticada presença de fluxo de lixiviados após forte chuva em 11 áreas, cerca de 16,18% dos lixões, além de 8 áreas nas quais são constatados lixiviados de forma visível e constante, representando cerca de 11,76%. Houve, ainda, falta de resposta de 5 municípios a esta pergunta, indicando 7,35% de abstenção.

No tocante à incidência de queima natural de resíduos nos vazadouros, 47 áreas afirmam que nunca é constatado tal fenômeno, representando 71,21%. Enquanto 3 declaram constatar às vezes (4,55%) e 10 admitirem que sempre são constatadas queimas naturais em suas áreas (15,15) e 6 municípios não responderam esse item, representando 9,09% de abstenção.

Quanto às ações de remediação previamente empreendidas, 19 municípios (28,79%) indicaram já ter realizado alguma iniciativa, ao passo que 40 (60,61%) declararam não haver qualquer tentativa nesse sentido. Outros 7 municípios (10,61%) não responderam a esta pergunta. Em relação à judicialização dos passivos ambientais, identificou-se que 27 dos casos encontram-se sob litígio judicial, representando 40,91% deste diagnóstico, enquanto que 26 (39,39%) declararam não possuir processos relacionados. Ainda, foram omissos 13 municípios a essa pergunta, cerca de 19,7% do total.

Por fim, acerca da existência de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs), apenas 13 municípios, aproximadamente 19,7%, declararam já possuir, enquanto 47 áreas até aquele momento não dispunham de tal instrumento técnico, englobando 71,21% das respostas. Mais 6 municípios não prestaram informações, representando 9,09% de omissões a este item.

Esse diagnóstico, ainda que preliminar, revela a complexidade da problemática dos lixões no Estado do Rio de Janeiro, destacando-se não apenas a expressiva dimensão espacial e a proximidade com corpos hídricos, mas também a baixa incidência de medidas estruturadas de remediação, que é de responsabilidade municipal.

Tais dados, além de evidenciar a urgência de políticas públicas articuladas entre diferentes entes federativos, de modo a mitigar riscos socioambientais e avançar na consolidação de uma gestão sustentável dos resíduos sólidos, reforçam a necessidade de aprimorar o diagnóstico da realidade municipal no Estado do Rio de Janeiro, ampliando a base de dados disponível com o maior nível de detalhamento possível e maior adesão dos municípios.

Com este objetivo de ampliar a base de dados para implementação do Programa Remedia RJ, foram inseridas perguntas referentes aos lixões municipais nos formulários do Índice de Remediação de Vazadouros - IRV do ICMS Ecológico Ciclo 2025, com o objetivo, novamente, de gerar dados referentes ao tamanho das áreas impactadas, tempo de uso de cada lixão, média de resíduos dispostos em cada área, bem como o tempo estimado de seu fechamento.

Tais perguntas, ainda que não representassem uma relação direta com a pontuação auferida pelo referido índice, apresentam resultados relevantes para a elaboração das políticas públicas do estado do Rio de Janeiro quanto às ações para remediação dos lixões. No entanto, de acordo com as respostas obtidas, não foi possível estabelecer as informações de forma ampla, relevante e isonômica, uma vez que somente 51 municípios forneceram voluntariamente os dados solicitados no formulário do Índice de Remediação de Vazadouros - IRV do ICMS Ecológico Ciclo 2025, representando 55,4% do universo de municípios fluminenses. Neste sentido, evidencia-se a necessidade de ampliação do escopo da pesquisa para a coleta de dados primários, bem como da elaboração de formulários específicos a serem aplicados junto aos 92 municípios do estado do Rio de Janeiro, diretamente no território fluminense.

## CONCLUSÕES

A remediação de áreas degradadas pela disposição irregular de resíduos sólidos urbanos constitui um desafio estrutural e multidimensional para a gestão ambiental no Brasil. No contexto do Estado do Rio de Janeiro, a persistência de

passivos ambientais associados aos lixões evidencia a urgência de ações coordenadas, sustentadas por políticas públicas robustas, instrumentos normativos eficazes e planejamento territorial integrado. A atuação do poder público estadual, enquanto articulador de estratégias de encerramento de lixões e reabilitação ambiental, demanda o fortalecimento da governança interfederativa, com a incorporação de critérios técnicos para a hierarquização das áreas prioritárias, especialmente em bacias hidrográficas críticas do ponto de vista ecológico e social.

A adoção de bacias hidrográficas como unidades territoriais de planejamento ambiental permitirá a construção de estratégias mais eficazes de remediação, considerando a conectividade ecológica, os serviços ecossistêmicos impactados e a vulnerabilidade hídrica. A delimitação técnica de áreas prioritárias deverá ser orientada por variáveis como a proximidade de cursos d'água, a presença de aquíferos vulneráveis, além da viabilidade técnico-financeira das intervenções.

Os programas de remediação deverão contemplar ações emergenciais, diagnósticos geoambientais detalhados, obras de engenharia e monitoramento ambiental de longo prazo, conforme previsto em diretrizes como a ABNT NBR 15.515 e a Resolução CONAMA nº 420/2009. A incorporação de práticas inovadoras, como por exemplo: o uso de geossintéticos, a geração de energia a partir do biogás e a recuperação paisagística das áreas remediadas, amplia o potencial de reintegração desses espaços ao tecido urbano e ambiental.

A viabilidade das ações de remediação depende da superação de entraves operacionais, como a carência de equipes técnicas nos municípios, a limitação orçamentária e a necessidade de estudos prévios consistentes para obtenção do licenciamento ambiental. Nesse cenário, destaca-se a importância de mecanismos indutores, como o ICMS Ecológico e de parcerias com instituições de pesquisa, comitês de bacia e consórcios públicos. A consolidação dessas estratégias é condição essencial para o cumprimento das metas da PNRS e para a promoção da justiça ambiental e saúde pública.

Considerando que é dever do Estado garantir a isonomia, a efetividade e a eficiência das políticas para o ordenamento territorial, mais especificamente no âmbito das ações propostas pelo Programa Remedia RJ, é fundamental que o universo das informações atinja a totalidade dos lixões localizados no território fluminense.

Sendo assim, recomenda-se a realização de pesquisa complementar junto aos municípios para obtenção de dados técnicos referentes a todos os lixões localizados no território do Estado do Rio de Janeiro, com vistas à consolidação da base de dados para geração de informações suficientes para realizar a hierarquização das áreas prioritárias e, assim, promover a implementação eficiente do Programa Remedia RJ.

No que tange à atuação isonômica do Programa Remedia RJ, sugere-se a revisão da Resolução SEAS nº 206/2024, dado o seu universo temporal para hierarquização dos lixões a serem contemplados com o Programa Remedia RJ, instrumento que pode ser considerado limitador da atuação efetiva das políticas públicas para recuperação das áreas degradadas pela disposição final inadequada dos resíduos sólidos urbanos.

Evidencia-se que, muito embora tenham sido envidados esforços técnicos, realizados em parceria entre SEAS e Inea, para a criação do Programa Estadual Remedia RJ, o Programa ainda não avançou a ponto de ser efetivamente implementado. Nesse contexto, defende-se a sua institucionalização por meio de decreto, enquanto uma política de Estado. Além disso, destaca-se a importância de tal medida em razão do lapso temporal desde a criação do Programa, bem como a ampliação de garantias para assegurar o aporte financeiro e operacional necessários à sua implementação.

Portanto, conclui-se que a remediação dos lixões e a ressignificação dessas áreas exigem não apenas ações pontuais de remediação, mas a construção de uma política pública robusta, territorializada e baseada em critérios técnico-científicos. Assim, não apenas se mitiga os impactos passados, como também se evita a reativação de processos de degradação ambiental, uma vez que a adoção de políticas públicas estruturadas, com apoio técnico e financeiro aos municípios, é essencial para transformar essas áreas degradadas em espaços seguros, sustentáveis e integrados ao planejamento territorial.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15515-1. Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 1: Avaliação Preliminar. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2011a.

\_\_\_\_\_. NBR 15515-2. Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Avaliação Confirmatória. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2011b.

\_\_\_\_\_. NBR 15515-3. Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 3: Investigação Detalhada. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013a

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, 2 set. 1981.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, 3 ago. 2010.

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, 8 jan. 2007.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2009.

\_\_\_\_\_. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, 16 jul. 2020.

RIO DE JANEIRO. Lei Estadual nº 5.100, de 4 de outubro de 2007. Altera a forma de repartição do ICMS entre os municípios, incluindo critérios ambientais. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 5 out. 2007.

\_\_\_\_\_. Decreto Estadual nº 42.930, de 17 de maio de 2011. Regulamenta a Lei Estadual nº 5.100/2007. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 18 maio 2011.

\_\_\_\_\_. Resolução SEAS nº 206, de 5 de março de 2024. Dispõe sobre critérios de priorização para implementação do Programa Remedia RJ. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 5 mar. 2024.



## TR A B A L H O 3 3

# PROPOSTA DE PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE UM ALOJAMENTO ESTUDANTIL PÚBLICO UNIVERSITÁRIO SITUADO NO RIO DE JANEIRO - RJ

Danielle dos S. Honorato Tonassi Ribeiro

Diego Macedo Veneu

Felipe Sombra

**RESUMO:** A gestão de resíduos sólidos visa garantir melhorias da saúde pública, preservação do meio ambiente, promoção da sustentabilidade e contribuições para o desenvolvimento econômico. No Brasil, esse processo foi regulamentado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos e pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Nos alojamentos estudantis, a geração de resíduos é significativa, e a gestão desses materiais de forma eficiente é essencial. Grande parte dos resíduos que são gerados nesses ambientes é reciclável e/ou reutilizável, como já observado em outros estudos abordando o mesmo assunto na China e na África do Sul. A segregação adequada, aliada à educação ambiental, assim como as parcerias com cooperativas, pode fortalecer a economia circular desses resíduos. O trabalho buscou propor estratégias sustentáveis de gestão de resíduos no alojamento universitário situado no Rio de Janeiro, onde o principal problema é a ausência de práticas sistematizadas de gerenciamento, resultando em descarte inadequado, acúmulo de resíduos e baixo índice de reciclagem. Por fim, pode-se concluir que a implementação de um plano de gerenciamento de resíduos, com foco em educação ambiental, melhorias estruturais e parcerias locais, tem potencial para transformar o cenário atual, promovendo uma cultura sustentável no ambiente universitário e contribuindo para a redução dos impactos ambientais associados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geração de Resíduos; Gerenciamento de Resíduos; Alojamento Estudantil; Reciclagem.

## INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos envolve atividades como coleta, transferência, reciclagem, tratamento e destinação final. Segundo HENRY et al. (2006), o principal propósito da gestão de resíduos sólidos é proteger a saúde pública, fomentar a qualidade ambiental, promover a sustentabilidade e impulsionar o crescimento econômico.

No Brasil, a gestão de resíduos sólidos no Brasil ganhou um marco significativo com a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010, através da Lei nº 12.305. Foram estabelecidas diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, envolvendo tanto o setor público quanto o privado, além da sociedade civil. E em 13 de abril de 2022 pelo Decreto nº 11.043, foi instituído o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), que complementa e detalha as diretrizes estabelecidas pela PNRS, visando aprimorar a gestão dos resíduos sólidos.

De acordo com Amaral et al. (2021), as universidades estão se esforçando cada vez mais para apresentar iniciativas para reduzir o impacto ambiental de suas atividades. E produção de resíduos em residências estudantis pode se tornar um tema relevante, buscando promover práticas sustentáveis, como destaca Gherhes et. al (2024), ao evidenciar que a baixa adesão dos estudantes à coleta seletiva nos dormitórios universitários reforça a necessidade de estratégias integradas de educação ambiental para a efetiva consolidação destas práticas no ambiente acadêmico.

Esses ambientes, que abrigam muitos estudantes, geram uma variedade significativa de resíduos que precisam ser gerenciados de maneira eficiente para minimizar impactos ambientais e promover a sustentabilidade. As universidades podem ser comparadas a pequenas cidades, uma vez que possuem diversos campi e edifícios, no qual o consumo de energia, água, papel e outros recursos, como serviços de restaurante, limpeza, entre outros, são significativos (GALLARDO et al., 2016).

Por ser tratar de um alojamento estudantil, com produção semelhante a resíduos de atividades residenciais, os mesmos devem ser segregados de acordo com a classificação vigente do código de cores (CONAMA 275 de 2021). A caracterização dos resíduos é um fator crucial que influencia o potencial de reciclagem (ZHANG et. al, 2020).

Um estudo feito em um campus universitário na China mostrou que quase 80% dos resíduos produzidos no campus eram potencialmente recicláveis. Também foi mostrado que para reduzir o desperdício de alimento, as universidades precisariam desenvolver ações voltadas para melhorias da educação ambiental, programa de compostagem voltados para os resíduos orgânicos de origem alimentar e possíveis parcerias com cooperativas de reciclagem (ZHANG et. al, 2020).

A Universidade de Venda (UNIVEN), na África do Sul, caracterizou os resíduos gerados para entender suas variações. Nele foram identificados que 61,7% dos resíduos eram recicláveis, 34,4% compostáveis e 3,9% não recuperáveis, revelando um forte potencial para reciclagem, a fim de reduzir os resíduos enviados para os aterros sanitários e possibilitando a monetização dos resíduos recicláveis, e um campus mais sustentável (OWOJORI et. al, 2020).

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo demonstrar algumas estratégias de gestão de resíduos para serem implementadas em um alojamento estudantil englobando a sustentabilidade ambiental, infraestrutura adequada e práticas de não geração, redução, reutilização e reciclagem de resíduos sólidos.

## OBJETIVO

### Objetivos Gerais

Propor um plano de gerenciamento de resíduos sólidos para um alojamento estudantil englobando a sustentabilidade ambiental, integrando educação ambiental, infraestrutura adequada e práticas de não geração, redução, reutilização e reciclagem de resíduos sólidos.

### Objetivos Específicos

- I Propor um plano de gerenciamento de resíduos sólidos. Elaborar e disseminar entre a comunidade que reside no alojamento estudantil, o plano de gerenciamento de resíduos sólidos;
- I Promover a redução da geração de resíduos: Divulgar práticas que incentivem a não geração e a redução da quantidade de resíduos gerados pelos estudantes, através de campanhas de conscientização;
- I Implementar a coleta seletiva: Estabelecer um sistema de coleta seletiva, com a disponibilização de lixeiras padronizadas e sinalizadas para a segregação de resíduos recicláveis (papel, plástico, metal, vidro) e orgânicos;
- I Promover melhorias na infraestrutura de gestão de resíduos: realização de demarcação de local adequado para a disposição dos resíduos em recipientes adequados.

## METODOLOGIA

A metodologia adotada para a avaliação e elaboração deste trabalho baseou-se em um estudo de caso, considerando a identificação do local, a disposição e a caracterização dos resíduos gerados, bem como a periodicidade da coleta e a

destinação final dos materiais. Esse procedimento teve como objetivo compreender, de forma aprofundada, a influência dessas práticas na eficiência e na sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos no contexto analisado.

## Local de estudo

O alojamento universitário abordado neste estudo é composto por 2 edifícios de 3 pavimentos cada, com total de 168 apartamentos, sendo cada um deles com 3 dormitórios (Figura 1). Nesse contexto, os resíduos gerados pela comunidade residente nesse tipo de alojamento podem ser comparados aos de uma pequena cidade.

**Figura 1** – Localização do Alojamento Estudantil.



## Identificação do problema

De acordo com Oluwapelumi et. al (2024), para melhorar a coleta de resíduos sólidos envolvem a avaliação da situação atual do sistema de coleta, a análise da localização da área de estudo e a determinação de sua posição exata.

Avaliar a infraestrutura existente para coleta, separação e descarte de resíduos, além de verificar a adesão dos usuários do alojamento as práticas sustentáveis.

## Caracterização dos resíduos

A caracterização dos resíduos em um alojamento universitário é uma etapa fundamental para compreender o comportamento dos moradores em relação ao consumo e descarte desses materiais, e permitir definir melhor as estratégias de separação, coleta e frequência de coleta para reciclagem.

De acordo com a ABNT NBR 10004-2:2024, os resíduos gerados pela comunidade podem ser classificados como resíduos classe II – não perigosos, incluindo predominantemente: orgânicos (resíduos alimentares e resíduos de jardim), papéis, plásticos, metais, vidro, entre outros.

A gravimetria de resíduos sólidos é um procedimento utilizado para auxiliar na caracterização e quantificação dos diferentes tipos de resíduos gerados em um determinado local. A caracterização dos resíduos sólidos, deve haver uma amostragem dos resíduos conforme os critérios estabelecidos na ABNT NBR 10007:2004, no qual se faz necessário realizar a pré-caracterização dos resíduos, considerando sua origem, volume, estado físico e composição e elaborar um plano de amostragem definindo ponto de coleta, tipos e número de amostras, equipamentos, recipientes e armazenamento.

A coleta deve ser realizada por meio de amostragem na origem, utilizando instrumentos adequados, tais como: pás e frascos plásticos, para cada tipo de resíduo (papel/papelão, plásticos, metal, vidro, orgânicos e rejeitos). Após a coleta, cada amostra deve ser devidamente identificada e acompanhada de ficha de coleta com informações completas para seguir com a análise gravimétrica.

## Definição e Implementação do Plano

Um plano de gerenciamento de resíduos sólidos deve estabelecer: a redução do volume de resíduos enviados para aterros sanitários, aumento da reciclagem e o reaproveitamento de matérias e o incentivo de práticas sustentáveis.

A implementação da coleta seletiva e o estabelecimento de parcerias com cooperativas de catadores auxiliam também na gestão de resíduos. A melhoria da infraestrutura, como a instalação de coletores específicos para cada resíduo em locais estratégicos e a logística de coleta, definindo um cronograma de coleta seletiva e de resíduos comuns.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

No alojamento universitário, a disposição das caçambas de resíduos, atualmente, não segue nenhuma adequação que atenda às necessidades dos moradores ou padrões de organização. As caçambas estão distribuídas de forma aleatória (Figura 2a), sem separação para resíduos recicláveis e orgânicos, e a coleta ocorre numa frequência de 2 a 3 vezes por semana, sendo realizada por uma empresa terceirizada. Isso gera dificuldades para o descarte correto, promovendo acúmulo de lixo em locais inadequados e contribuindo para problemas de higiene, mau cheiro e proliferação de vetores.

Além disso, a localização das caçambas (Figura 2b) muitas vezes não é acessível para todos os moradores, especialmente para aqueles com mobilidade reduzida. Essa falta de planejamento prejudica a rotina dos usuários e compromete o bem-estar coletivo. Atualmente, a sinalização dos pontos de descarte de resíduos no alojamento

estudantil é realizada por meio de cartazes improvisados, confeccionados pelos próprios moradores, como mostrado na Figura 3. Embora essa iniciativa demonstre algum engajamento comunitário, ela ainda não é o desejável e tão pouco atende à norma estabelecida para a sinalização de áreas de coleta de resíduos sólidos, onde desta forma compromete também a gestão de resíduos no local.

**Figura 2** – Disposição das caçambas para armazenamento de resíduos.



**Figura 3** – Cartazes de sinalização/indicação para as caçambas dispostas para resíduos.



De acordo com Pereira et al. (2020), estudos realizados no campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), apontam que aproximadamente 53 % dos resíduos são orgânicos, 17 % recicláveis e 13,8 % rejeitos, padrões semelhantes aos observados em outras instituições de ensino.

A geração anual do local é de 124 toneladas de resíduos sólidos e uma população média de 504 estudantes residentes, sendo uma geração per capita diária de aproximadamente 0,674 kg, sem algum tipo de critério de segregação dos resíduos gerados. Esse valor (246 kg/ano) está abaixo da média brasileira, que varia entre 378 e 400 kg por habitante ao ano, segundo levantamento da Associação Brasileira

de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2022), que é um ponto positivo, em questão de resíduo descartado. Mesmo assim é necessário a implementação de estratégias que promovam o consumo consciente, a segregação dos resíduos e a diminuição dos volumes destinados ao descarte correto.

A introdução da coleta seletiva, aliada a ações de conscientização dos moradores, é um passo fundamental nesse processo. A implantação de pontos de descarte adequados em locais estratégicos (Figura 4), com instalação de lixeiras para coleta seletiva com identificação visual e cores padronizadas, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 275/2001. Atualmente, foi observado que o alojamento estudantil não possui infraestrutura adequada para a disposição, armazenamento e coleta de resíduos sólidos, e com isso se sugere a criação de uma central de triagem (Figura 5). Nessa central, conforme detalhado na Figura 6, o primeiro ambiente é um ponto de recepção dos resíduos pelos moradores, com a instalação de coletores seletivos, enquanto que, o segundo ambiente será destinado ao armazenamento temporário dos resíduos separados, com três contêineres organizados por tipo (recicláveis, orgânicos e rejeitos) e de acesso fácil para a coleta por cooperativas ou empresas terceirizadas.

**Figura 4** – Área de uso comum e sugerida para instalação de lixeiras para coleta seletiva.



**Figura 5** – Projeto de implantação de abrigo para resíduos sólidos.



Através dessas medidas é possível estabelecer um fluxo para a implementação de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos eficiente e sustentável em alojamentos estudantis, que inicialmente pode ser realizada através da sensibilização dos moradores por meio de ações de educação ambiental com cartilhas promovendo a importância da segregação correta dos resíduos na origem.

A implementação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) no alojamento estudantil resultaria em avanços significativos na gestão ambiental do local, como detalhado na Tabela 1.

**Tabela 1** – Comparativo de Indicadores Antes e Depois da Implementação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - PGRS

Indicador / Aspecto	Antes da Implementação (situação atual)	Depois da Implementação
Infraestrutura física	Ausência de espaço adequado; resíduos dispostos em caçambas expostas a intemperes do tempo.	Central de triagem em local adequado e acessível.
Coleta e armazenamento	Quatro caçambas; Coleta variando de 3 a 4 vezes por semana.	Coleta regular com cronograma fixo; armazenamento conforme normas técnicas
Segregação dos Resíduos	Inexistente, todos os resíduos são dispostos misturados.	Segregação no local por tipo de resíduo.
Destinação Final	Resíduos destinados para o aterro sanitário.	Encaminhamento adequado: recicláveis, compostagem e rejeitos ao aterro.
Educação Ambiental	Inexistente.	Ações contínuas de educação ambiental e divulgação de Cartilha.

Fonte: Autor (2025)

A gestão de resíduos sólidos desempenha um papel importante na realização de vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU, impactando diretamente na qualidade de vida e a saúde ambiental. Entre os ODS mais diretamente relacionados, destacam-se as ODS 6 (Água potável e Saneamento), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 12 (Consumo e Produção Sustentáveis) e ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima).

## CONCLUSÕES

Além dos aspectos legais e sanitários, a má gestão observada no início do trabalho compromete diretamente o bem-estar dos estudantes residentes e o cumprimento das metas propostas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial aquelas relacionadas ao consumo responsável, saúde e cidades sustentáveis.

Considerando que o alojamento estudantil atualmente não dispõe de infraestrutura adequada para o manejo de resíduos sólidos, não possui práticas adequadas de segregação, sendo os resíduos descartados de forma indiscriminada, o que compromete significativamente as possibilidades de reciclagem e reaproveitamento. Nesse contexto, recomenda-se a implementação de práticas que visam uma ótima gestão de resíduos, através de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos, a criação de uma central de triagem, que possibilite o manejo e encaminhamento correto dos materiais recicláveis, e bem como a promoção de ações contínuas de educação ambiental por meio de cartilhas informativas.

Desta forma, essas ações propostas poderiam contribuir significativamente para a construção de um ambiente estudantil mais limpo, saudável e comprometido com a sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

**AMARAL, Ana Rita; RODRIGUES, Eugénio; GASPAS, Adélio Rodrigues, GOMES, Álvaro.** Lessons from unsuccessful energy and buildings sustainability actions in university campus operations. *Journal of Cleaner Production*, 297 (2021). DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126665

**BRASIL.** Decreto n. 11.043, de 13 de abril de 2022. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-residuos-solidos>.

**GALLARDO, A.; EDO-ALCÓN, N.; CARLOS, M.; RENAU, M.** The determination of waste generation and composition as an essential tool to improve the waste management plan of a university. *Waste Management*, v. 53, 2016. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.04.013.

**GHERHES, Vasile; DRAGOMIR, Gabriel Mugurel; CERNICOVA, Mariana; PALEA, Adina.** (2024). Enhancing Sustainability in University Campuses: A Study on Solid Waste Generation and Disposal Practices among Students in Politehnica University Timisoara, Romania. *Sustainability*. DOI: 10.3390/su16166866.

**HENRY, Rotich K.; YONG SHENG, Zhao; JUN, Dong.** Municipal solid waste management challenges in developing countries – Kenyan case study. *Waste Management*, v. 26, 2005. DOI: 10.1016/j.wasman.2005.03.007.

**OLUWAPELUMI O. Ojuri, AYODEJI S. Olowoselu, JOSHUA Akinrele, FOLAHAN O. Ayodele, OMOMOMI O. Jayeje.** Sustainable integrated solid waste management for a university campus – A case study of the Federal University of Technology Akure (FUTA), Nigeria. *Waste Management Bulletin*, Volume 2, Issue 2, 2024. DOI: 10.1016/j.wmb.2024.04.004

**OWOJORI, Oluwatobi, EDOKPAYI, Joshua N., MULAUDZI, Ratshalingwa, ODIYO, John O.** Characterization, Recovery and Recycling Potential of Solid Waste in a University of a Developing Economy. *Sustainability*, no. 12, 2020. DOI: 10.3390/su12125111

**PEREIRA, J. F. et al.** Composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no campus da UTFPR – Francisco Beltrão. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 24, n. 1, p. 1–11, 2020. DOI: 10.5902/2236117044989.

**ZHANG, Dongyong; HAO, Mengge; CHEN, Sida; MORSE, Stephen.** Solid waste characterization and recycling potential for a university campus in China. *Sustainability*. DOI: 10.3390/su12083086.



## T R A B A L H O 34

# QUALIDADE DA ÁGUA NO ENTORNO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS DE MONTE ALTO – ARRAIAL DO CABO/RJ

Carolina Lopes Neto

Agatha Caroline Silva dos Santos

Akauê Keith Medeiros Ferreira

Gabriella Paula Moreira da Silva

Thais da Silva Pereira

Yasmin Rangel de Freitas Bastos

**RESUMO:** Historicamente, a Laguna de Araruama sofre com problemas de poluição de várias fontes. Observar o tratamento realizado pelas Estações de Tratamento de Esgoto é fundamental neste ambiente. O objetivo deste trabalho foi analisar a qualidade da água no entorno da estação de tratamento de Monte Alto, Arraial do Cabo/RJ. A metodologia consistiu na coleta de dados utilizando um multiparâmetro. Foram feitos nove pontos em dois setores distintos. A análise consistiu na utilização de quatro parâmetros: oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), temperatura e salinidade. Os resultados confirmaram a alta salinidade, natural do corpo hídrico. Constatou-se também que os pontos situados no setor II possuem uma qualidade inferior, apresentando baixos níveis de oxigênio dissolvido e pH elevado, além de alterações como águas escuras, odor forte e espumas brancas e amareladas, potencializando diversos impactos socioambientais. Recomenda-se o monitoramento e melhorias no desempenho da ETE.

**PALAVRAS-CHAVE:** Laguna de Araruama; Estação de Tratamento de Efluentes; Qualidade Ambiental.

## INTRODUÇÃO

A Laguna de Araruama (Figura 1) está localizada na Região dos Lagos no estado do Rio de Janeiro. Com águas hipersalinas, abrange seis municípios: Saquarema, Araruama, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio e Arraial do Cabo, possuindo uma conexão com o mar pelo canal do Itajurú em Cabo Frio.



Figura 1: Laguna de Araruama.

Fonte: Google Earth, 2025.

Segundo os dados da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Rio de Janeiro (2001), a Laguna possui as seguintes características: área de 220 km<sup>2</sup>, profundidade média de 2 m, volume de 636 milhões de m<sup>3</sup>, perímetro de 190 km, largura máxima de 14 km e comprimento de 33 km (Apud Vicente, 2017, p.30).

De acordo com VICENTE (2017, p.10), o crescimento das cidades e, conseqüentemente, o aumento da ocupação urbana nos municípios fronteiriços à Laguna, desencadeou alguns impactos decorrentes da falta de planejamento urbano, ocasionando uma “especulação imobiliária, devido ao potencial turístico, ineficiente coleta e tratamento de efluentes sanitários, durante anos e degradação na qualidade da água da Laguna, perda de biodiversidade entre outros fatores.”

Em Arraial do Cabo, mais precisamente no Distrito de Monte Alto, situa-se uma das duas estações de tratamento do município, que foi criada em 2013.



Figura 2: Localização das ETEs do Município de Arraial do Cabo.

Fonte: ANA, 2017.

De acordo com os dados da Agência Nacional de Águas de 2017, a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de Monte Alto pode ser analisada sob duas perspectivas: “estação de tratamento existente (2013)” e “estação de tratamento analisada (2035) – preliminar”.

Neste relatório de esgotamento sanitário, publicado em 2017, a estação de tratamento existente possui as seguintes características: atende cerca de 8.064 cidadãos, têm como processo principal o tratamento de lodos ativados, uma eficiência de 85%, lança uma carga com cerca de 65,3 kg DBO por dia na Lagoa de Araruama.

Já em relação à estação de tratamento analisada (2035 - preliminar), a ETE, futuramente, atenderá a uma população de 9.262 pessoas, e, teria como processo de referência o reator anaeróbico + filtro biológico percolador + decantadores secundários, conquistando uma eficiência de 90%, carga lançada de 50 kg DBO por dia e uma carga afluente de 500,1 kg DBO por dia, entre outros aspectos.

## OBJETIVOS

### Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo geral analisar a qualidade da água no entorno da Estação de Tratamento de Esgoto de Monte Alto.

### Objetivos Específicos

- I Realizar a coleta de dados em pontos específicos na Enseada das Gaivotas, incluindo o local de lançamento dos efluentes sanitários.
- II Analisar os dados e emitir um diagnóstico da qualidade da água, visando possíveis necessidades de ajustes na referida ETE.

## METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho foi baseada em aspectos quantitativos e qualitativos. Foi realizada em campo a coleta de dados em nove pontos determinados, obtidas através do uso de uma sonda multiparâmetro da marca *Hanna HI9828*. Ressaltamos, porém, que esse estudo não contemplou as análises de DBO, DQO e Microbiológicas.

Os pontos estão divididos em dois setores (I e II). O setor I foi chamado de Enseada das Gaivotas, que teve a finalidade de servir como controle. Já o setor II está localizado dentro de um marnel de salinas, onde é realizado o lançamento dos efluentes da ETE de Monte Alto, como pode ser visto na imagem abaixo.



Figura 3: Área de estudo  
Fonte: Google Earth, 2025

Foram utilizados quatro parâmetros da Resolução CONAMA nº 357/2005, a saber: salinidade, Potencial Hidrogeniônico (pH), temperatura e oxigênio dissolvido (OD).

#### I Salinidade

- I Águas doces:  $\leq 0,5 \%$
- I Águas salobras:  $> 0,5 \%$  e  $< 30 \%$
- I Águas salinas:  $\geq 30 \%$

#### I Potencial Hidrogeniônico (pH)

- I Classe 1 e 2: pH entre 6,5 e 8,5 (com variação de, no máximo, 0,2 unidade do natural)

#### I Temperatura

Não há um valor limite específico para temperatura na Resolução CONAMA nº 357/05, porém a temperatura influencia diretamente na solubilidade do oxigênio.

#### I Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido é essencial para a sobrevivência da fauna aquática. A Resolução CONAMA 357/2005 determina os seguintes valores mínimos para OD:

- I Classe 1 (águas salinas):  $\geq 6,0 \text{ mg/L}$
- I Classe 2 (águas salinas):  $\geq 5,0 \text{ mg/L}$
- I Classe 4 (águas doces):  $> 2,0 \text{ mg/L}$

## I Aspectos Qualitativos

Foram registrados aspectos da qualidade visual das águas observadas em campo, realizando o registro fotográfico nos pontos de coleta.

Foi realizado entrevistas com moradores locais que fazem uso dos recursos naturais na região, principalmente pescadores.

Os dados coletados foram analisados com vistas a se obter as impressões sobre a qualidade da água para levantar discussões e recomendações realizadas neste trabalho.

## RESULTADOS

Quanto à Salinidade, foram registrados valores que foram de 48‰ a 54‰, indicando a característica natural da Laguna de Araruama como um corpo hídrico salino. Esta constatação indica que o aporte de água doce realizado no lançamento dos efluentes não tem impactado nesta característica da laguna.

Quanto ao pH, os pontos analisados variaram entre 8,22 e 8,91, oscilando entre a conformidade, o limite e o alto índice de alcalinidade, já que em sua maioria ultrapassaram o limite superior de 8,5. Isso pode ser consequência de um processo de eutrofização e proliferação de algas que podem estar em fase inicial. Segundo Magalhães (2018, p. 16), a eutrofização causa impactos relevantes no corpo hídrico, como queda da qualidade da água e mal cheiro. Segundo o autor:

“A eutrofização é considerada o problema mais importante para a qualidade da água em ambientes de águas doce e costeiras em todo o mundo (SMITH & SCHINDLER, 2009). A entrada excessiva de nutrientes é a principal responsável pelas florações de espécies fitoplanctônicas, principalmente de cianobactérias em ambientes de água doce e salobros. Estas podem crescer em grandes densidades, formando densas camadas e espumas na superfície da água (CHORUS et al., 2000). Como consequência, as florações causam uma substancial queda da qualidade da água, tornando-a turbida e em muitos casos mal cheirosa. Além disso, eventos de depleção noturna de oxigênio levam a mortandade de peixes (SMITH et al., 1999, PAERL e HUISMAN, 2008), causando um significativo impacto econômico”.

Quanto ao parâmetro Oxigênio Dissolvido (OD), o Ponto 1 apresentou 7,00 mg/L, compatível com o enquadramento na Classe 1, indicando boa oxigenação. Os Pontos 2 e 3 apresentaram OD entre 1,60 e 2,62 mg/L - valores críticos que, apesar de estarem levemente acima do mínimo da Classe 4, apontam condição ambiental degradada, associada à decomposição de matéria orgânica. Registra-se que a baixa oxigenação reflete em impactos na biota, reduzindo as condições de permanência da biodiversidade nestes pontos.

A temperatura nos pontos coletados esteve na faixa dos 26°C a 27°C (26,21°C a 27,46 °C, especificamente), sendo compatíveis com a região. Porém, contribuem para a redução da solubilidade do oxigênio, agravando a situação em pontos com baixo OD.

Depoimento de moradores e pescadores locais durante a coleta, revelaram que a Enseada das Gaivotas é bastante frequentada por moradores e turistas que buscam no local um espaço de lazer, porém as pescarias passaram a ser realizadas em locais mais distantes, no interior da Laguna, tendo em vista a falta de confiabilidade na qualidade da água no entorno da ETE.

Cabe ressaltar que ao longo do percurso foram registrados vários pontos com a qualidade visual do corpo hídrico comprometida, como o excesso de sólidos em suspensão e espumas (brancas e amareladas).

Os sólidos podem indicar matéria orgânica em suspensão, e as espumas (figura 4) a presença de surfactantes presentes em produtos de limpeza e alcalinidade em excesso, além de outros motivos como a presença de graxas, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) alta ou lodo muito jovem.

Figura 4: Espumas de sal



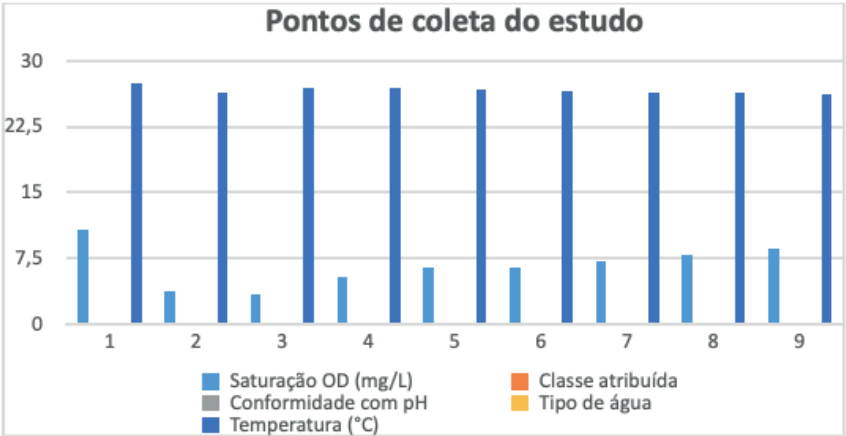
Abaixo, apresenta-se os dados dos 9 pontos analisados nos setores I e II e suas classificações de acordo com a resolução do CONAMA 357/2005.

Tabela 1: Pontos de coleta do estudo

Ponto	Sector	Saturação OD (mg/L)	Classe atribuída	Conformidade com pH	Tipo de água	Temperatura (°C)
1	I	10,70	Classe 1	No limite	Salina	27,46
2	II	3,76	Classe 4	Classe I/II	Salina	26,29
3	I	3,32	Classe 4	Classe I/II	Salina	26,96
4	II	5,38	Classe 2	No limite	Salina	26,87
5	II	6,46	Classe 1	No limite	Salina	26,74
6	I	6,47	Classe 1	Classe I/II	Salina	26,51
7	II	7,21	Classe 1	No limite	Salina	26,38
8	II	7,88	Classe 1	No limite	Salina	26,41
9	I	8,63	Classe 1	No limite	Salina	26,21

Fonte: os autores, 2025

Gráfico 1: Dados ilustrativos dos pontos de coleta



Fonte: os autores, 2025

Os Pontos 2, 3 e 4 indicaram condições críticas em relação ao parâmetro OD. Destacou-se também que o setor I serviu como controle, porém também apresentou baixa oxigenação em um dos seus pontos, indicando que existe a possibilidade do efluente lançado no setor II já possa estar interferindo no setor I.

Já os Pontos 1, 5, 6, 7, 8 e 9 apresentam melhor qualidade, com OD elevado e temperatura estável, porém com o pH acima de 8,5 apresenta-se como um fator preocupante por estar no limite da conformidade.

## CONCLUSÕES

A análise dos parâmetros físico-químicos (oxigênio dissolvido, pH, temperatura e salinidade) revelou variações significativas entre os pontos analisados, indicando que, embora a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Monte Alto apresente certa eficiência no tratamento dos efluentes, ainda existem impactos perceptíveis no ecossistema aquático, especialmente nos pontos mais próximos ao lançamento dos efluentes tratados. A baixa oxigenação em determinados locais sugere desequilíbrios ambientais que demandam ações corretivas.

Com base nos objetivos e na metodologia de campo descritos neste trabalho, constatou-se que a qualidade das águas da Enseada das Gaivotas apresentou aspectos preocupantes, requerendo constante monitoramento nessa região da Laguna de Araruama. Diante disso, conclui-se que a ETE Monte Alto, embora seja um equipamento essencial para o saneamento básico local, necessita de aprimoramentos tanto em sua infraestrutura quanto em seu sistema de monitoramento.

Os resultados reforçam a importância da adoção de políticas públicas voltadas à melhoria dos sistemas de tratamento, ao controle de cargas poluentes e à proteção dos ecossistemas aquáticos. Recomenda-se que o poder público acompanhe de forma mais rigorosa as operações realizadas pela ETE, promovendo vistorias, fiscalizações e exigindo novos investimentos por parte da concessionária responsável.

Além disso, sugerimos, para trabalhos futuros, a realização de estudos para verificar a viabilidade da abertura do marnel de salina com o objetivo de favorecer a renovação da água no setor II - local de lançamento do efluente tratado; bem como o aprofundamento destes, principalmente das análises microbiológicas, DBO e DQO para as próximas etapas desse trabalho. A continuidade do acompanhamento da qualidade da água é fundamental para garantir o saneamento da Laguna de Araruama, patrimônio ambiental e natural da Região dos Lagos.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil**: 2012. Brasília: ANA, 2012. Disponível em: <https://www.ana.gov.br>. Acesso em: 24 jun. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Relatório de esgotamento sanitário municipal – Atlas Esgotos: Despoluição de bacias hidrográficas**. Portal Snirh, 2017. Disponível em: [https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/atlas\\_esgoto/Rio\\_de\\_Janeiro/Relatorio\\_Geral/Arraial\\_do\\_Cabo.pdf](https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/atlas_esgoto/Rio_de_Janeiro/Relatorio_Geral/Arraial_do_Cabo.pdf). Acesso em: 03 jun. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**: seção 1, n. 053, p. 58-63, 18 mar. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**: n. 092, p. 89, 16 mai. 2011.

GOOGLE LLC. **Google Earth**. [Visualização interativa]. Disponível em: [https://earth.google.com/web/@0,-1.33500006,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggBSgOI\\_\\_\\_\\_\\_ARAA](https://earth.google.com/web/@0,-1.33500006,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggBSgOI_____ARAA). Acesso em: 24 jun. 2025.

HANNA INSTRUMENTS. **Manual de instruções: HI 9828 Multiparâmetros**. São Paulo: Hanna Instruments, [s.d.].

MAGALHÃES, Leonardo de. **Controle da eutrofização e de florações de cianobactérias em corpos d'água salobras**: avaliação da eficácia e aplicabilidade da combinação de coagulantes e adsorventes de fósforo em fase sólida. 2018. 196 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.bdtd.uerj.br:8443/handle/1/7892>. Acesso em: 14 jul. 2025.

VICENTE, M. **IMPACTOS AMBIENTAIS NA LAGUNA DE ARARUAMA: uma análise para subsidiar a criação de um programa de recuperação ambiental**. Tese (Especialização em Ciências Ambientais em Áreas Costeiras) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. Arraial do Cabo, p. 79. 2017.



## T R A B A L H O 35

# RESÍDUOS SÓLIDOS NA ZONA COSTEIRA: DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO SAZONAL DO LIXO MARINHO NA PRAIA DE AQUARIUS – CABO FRIO/RJ

Michelle Passos Araújo

Brunna Tomaino de Souza

Iracilda Menezes da Mota

Kathleen da Rocha Soares

Luiz Gustavo Leite Picanço

Pedro Henrique da Silva Andrade

Pérola Luiza Vantine dos Santos

Samir Santos Costa

Thifany Campos Paulino Faria

**RESUMO:** O lixo marinho é uma das maiores ameaças ambientais do século XXI, afetando ecossistemas, economia e saúde pública. O combate ao lixo no mar se apresenta como um dos principais desafios da gestão ambiental. O presente estudo teve como objetivo diagnosticar o lixo marinho na faixa de areia da Praia de Aquarius (Cabo Frio, Rio de Janeiro), quanto a sua composição e abundância, e possíveis fontes, a fim de contribuir com órgãos ambientais locais para a gestão costeira integrada da Região dos Lagos. O estudo é baseado na metodologia do NOAA e IUCN para coleta mensal de resíduos sólidos. Um total de 5510 resíduos sólidos foram identificados e quantificados durante o estudo. Isso resulta numa densidade média de 0,76 itens/m<sup>2</sup>. O plástico foi o resíduo sólido mais contabilizado, seguido do papel e metal. A variação de lixo ocorreu ao longo do ano, com acúmulo evidente em períodos relacionados ao aporte turístico na região associado aos usuários de praia.

**PALAVRAS-CHAVES:** lixo marinho; Cabo Frio; resíduos sólidos

## INTRODUÇÃO

O lixo marinho é uma das maiores ameaças ambientais do século XXI, afetando ecossistemas, economia e saúde pública (Zielinski e Botero, 2020). Composto principalmente por resíduos sólidos como plásticos, metais, vidro e borracha, esse lixo chega aos oceanos por meio de rios, esgotos, ventos, correntes marinhas ou descarte direto. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), “estima-se que cerca de 11 milhões de toneladas de plástico entrem nos oceanos todos os anos, e esse número pode quase triplicar até 2040 se nenhuma ação for tomada” (UNEP, 2021).

A poluição marinha por resíduos sólidos é um problema transfronteiriço. O lixo marinho tem sido registrado em todos os habitats, desde praias até superfícies marinhas mais remotas. Aproximadamente 8 milhões de toneladas de lixo chegam às bacias oceânicas e são posteriormente depositadas em praias arenosas (Williams e Rangel-Buitrago, 2019), cuja quantidade, a composição e a origem dos resíduos sólidos variam consideravelmente dependendo da região geográfica (Zalewska et al., 2021).

A zona costeira brasileira é uma das regiões mais dinâmicas e sensíveis do território nacional. Com mais de 8.000 km de extensão, esse território abriga ecossistemas diversos, populações humanas, atividades econômicas e culturais que dependem diretamente da integridade ambiental dessa faixa litorânea. Assim, o combate ao lixo no mar se apresenta como um dos principais desafios da gestão ambiental contemporânea, no que tange à geração e gestão de resíduos sólidos. O Brasil é o 16º país que mais contribui com o lançamento de plásticos nos oceanos, com estimativas de até 8 milhões de toneladas por ano. A maior parte do lixo marinho brasileiro tem origem terrestre, proveniente de áreas urbanas, esgotos sem tratamento e descarte inadequado de resíduos sólidos. O plástico se destaca como o resíduo sólido mais abundante nas zonas costeiras brasileiras, com destaque para as regiões Nordeste, Sudeste e Sul. Uma vez nos oceanos, os resíduos possuem grande capacidade de dispersão e espalhamento por marés, ondas, correntes e eventos naturais, trazendo diversos impactos ambientais, sociais e econômicos (Rosa & Widmer, 2021).

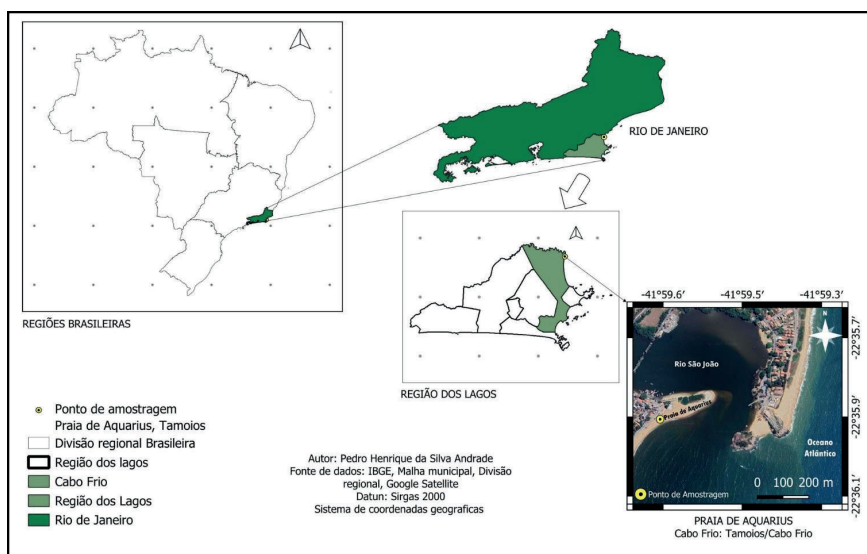
Dessa forma, elucida-se a importância de desenvolvimento de ações de monitoramento, mitigação e manejo em relação ao lixo no mar no litoral brasileiro, em especial no Rio de Janeiro, sede do encontro G-20. Para tal, segundo o Plano Nacional de Combate ao lixo marinho (PNCLM) é fundamental a realização de pesquisas que gerem dados confiáveis sobre suas fontes, sua caracterização e distribuição ao longo da costa brasileira, em diferentes escalas temporais e espaciais (Brasil, 2019). O presente estudo teve como objetivo diagnosticar o lixo marinho na faixa de areia da Praia de Aquarius (Cabo Frio, Rio de Janeiro), quanto a sua composição e abundância, e possíveis fontes, a fim de contribuir com órgãos ambientais locais para a gestão costeira integrada da Costa do Sol (Região dos Lagos, RJ) com ações de prevenção, enfrentamento e mitigação do lixo marinho.

## METODOLOGIA

### Área de Estudo

A praia de Aquarius está localizada em Tamoios, no segundo distrito de Cabo Frio, no litoral norte do estado do Rio de Janeiro ( $22^{\circ} 35' 57.5''$  S;  $41^{\circ} 59' 42.0''$  O). Entre as praias do Pontal e de Unamar, a Praia de Aquarius possui cerca de 3 km de extensão e situa-se ao sul da desembocadura do Rio São João, com grande potencial ecológico, cultural e turístico. A praia é caracterizada por tradicional feira de venda de pescados por pescadores artesanais, além de comércios e restaurantes locais.

Figura 01: Área de estudo.



### Amostragem

O presente estudo é baseado na metodologia do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), adaptada para cada região, onde foram coletados macro resíduos sólidos, para a realização do levantamento do lixo no mar na praia de Aquarius (Tamoios, Cabo Frio/RJ). As coletas foram realizadas mensalmente, e tiveram início em dezembro de 2023 até novembro de 2024. O planejamento da coleta de dados envolveu o acompanhamento da tábua de maré para que as coletas fossem realizadas em maré baixa ou vazante em regime de maré de sizígia e antes da limpeza da praia realizada pelas companhias de limpeza do local, para delimitar e realizar a amostragem das áreas.

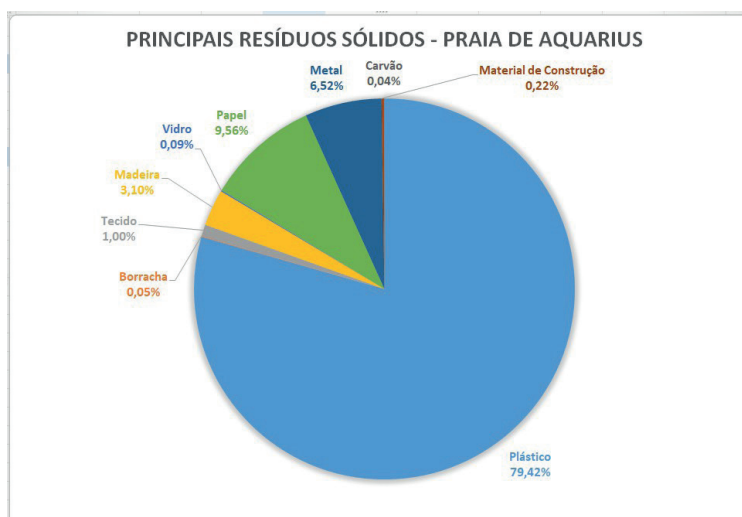
Na definição da área da coleta, a praia foi dividida em 4 seções ao longo 100 metros de extensão de areia paralelo a água, as quais foram aleatoriamente sorteadas e feita a aplicação da metodologia. Cada seção possui 5 metros de largura e o comprimento perpendicular à água, de acordo com a extensão da faixa da areia. Totalizando 20 possibilidades de áreas dentro dos 100m, que foram numeradas e escolhidas aleatoriamente 4 delas. Durante o estudo houve limitações nas coletas devido às chuvas intensas que são características do período do verão no estado do Rio de Janeiro.

Após à coleta, os resíduos sólidos foram lavados e secos para retirar o máximo de areia possível e assim serem triados, contabilizados, pesados por categoria e os valores anotados na ficha de controle que é dividida por categorias de composição principal.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

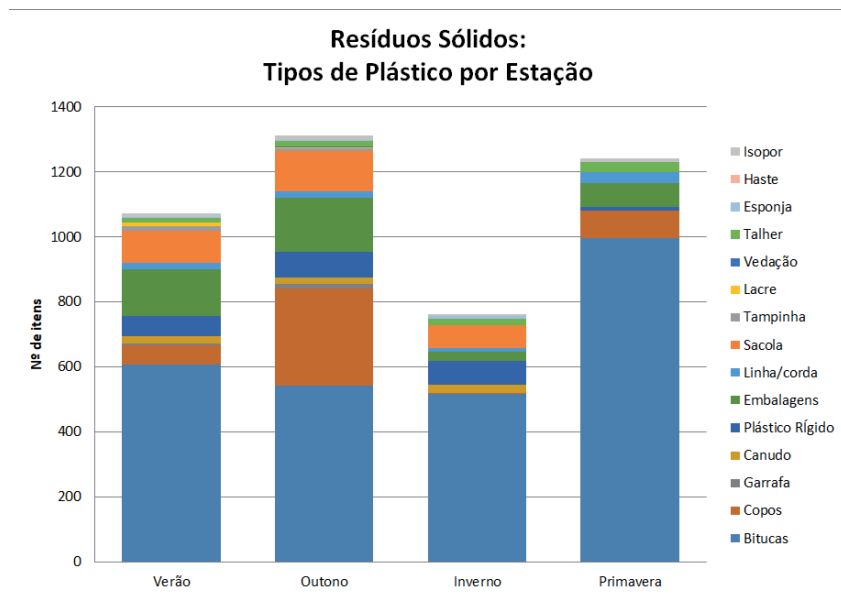
Um total de 5510 resíduos sólidos foram identificados e quantificados durante o estudo. Isso resulta numa densidade média de 0,76 itens/m<sup>2</sup>. Assim, o lixo marinho foi classificado, de acordo com sua composição, em O lixo marinho de acordo com sua composição foi classificado em nove categorias principais: plástico > papel > metal > madeira > tecido > material de construção > vidro > borracha > carvão (Figura 2).

Figura 2: Composição dos principais resíduos sólidos na Praia de Aquarius ao longo de um ano (dez/23 a nov/24)



A categoria de resíduos plásticos manteve-se como predominante em todas as estações do ano, tanto em número quanto em variedade. Itens como embalagens, garrafas, bitucas e fragmentos de plástico rígido foram identificados de forma recorrente. O plástico foi registrado com valor total de 4736 itens, compondo cerca de 80 % dos resíduos encontrados, seguido de papel, representando 14% com total de 525, enquanto o metal apresentou contagem de 359, representando 6,5 %. Dentre os itens de plástico, o maior valor encontrado foi de bitucas de cigarro, atingindo um relevante valor total de 2661, considerando todas as estações, com predomínio das estações verão e primavera. Em seguida, copos e embalagens plásticas foram os macrolíxos mais coletados (Figura 3). Esses tipos de resíduos têm como origem provável de usuários de praias, adquiridos em comércio locais e atividades turísticas e recreativas, que se destacam na praia de estudo, principalmente em alta temporada.

Figura 3: Tipos de plásticos por estações do ano recolhidos na Praia de Aquarius, Cabo Frio/RJ.



Os tipos de resíduos sólidos das categorias papel e metais (Figuras 4 e 5) corroboram com fontes terrestres associadas de atividades comerciais e usuários de praias, com destaque para embalagens de cigarro, sal, tetrapacks, lacres e tapinhas de garrafas de bebidas.

Figura 4: Tipos de Resíduos de papel ao longo das estações do ano na Praia de Aquarius

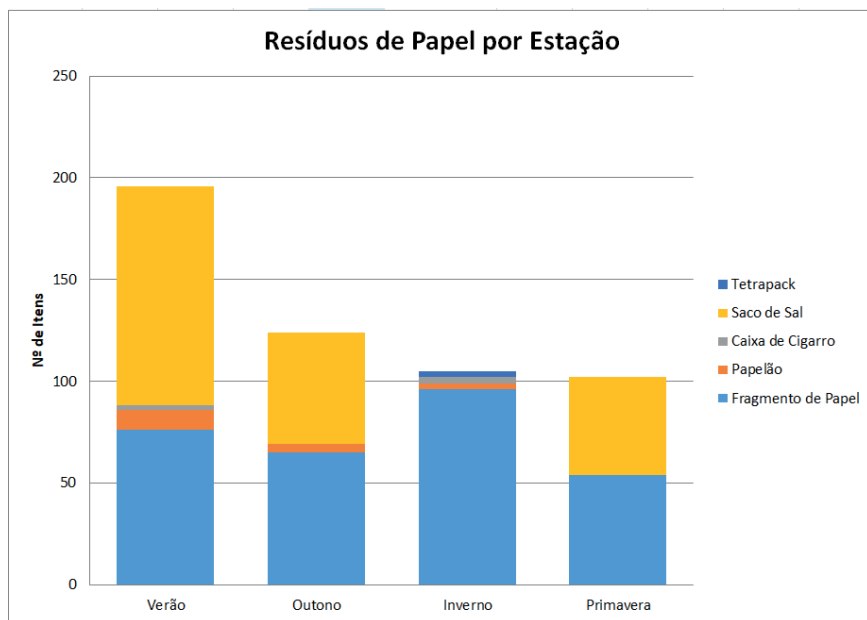
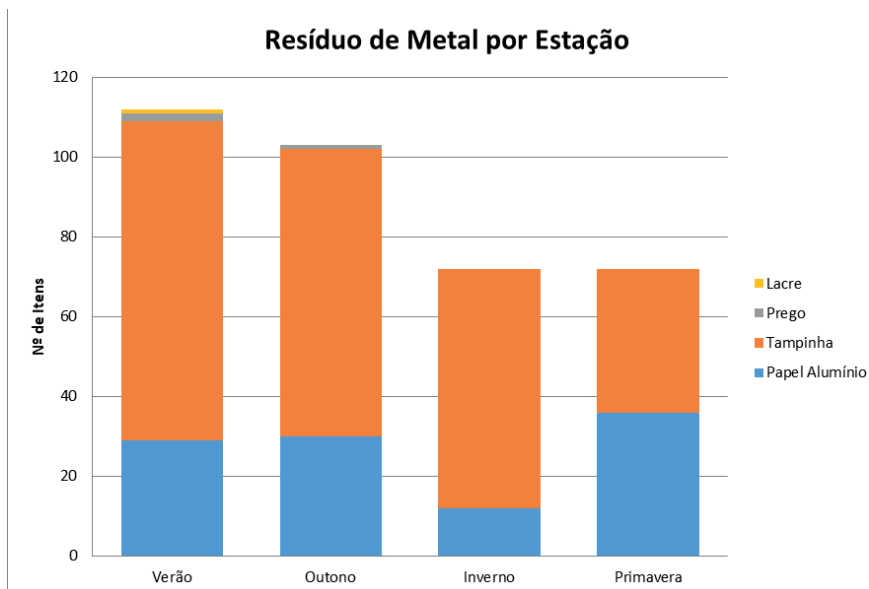


Figura 5: Tipos de Resíduos de metal ao longo das estações do ano na Praia de Aquarius.



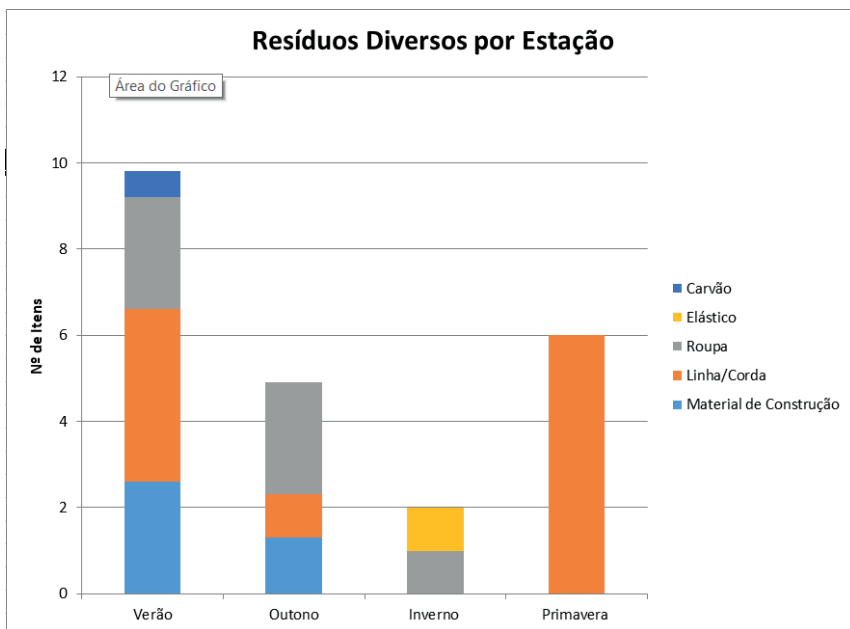


Figura 6: Tipos de resíduos diversos ao longo das estações na praia de Aquarius

A análise dos dados obtidos na Praia de Aquarius, em Tamoios – Cabo Frio (RJ), entre dezembro de 2023 e novembro de 2024, evidencia uma forte influência da sazonalidade e dos aspectos locais na geração de resíduos sólidos. A variação anual identificada a partir da diferença entre as estações apresentou um número considerável em estações mais densamente frequentadas, como verão, início de outono e primavera. Os meses de inverno, em contraponto, possuem os menores valores de resíduo encontrados ao longo das faixas de areia.

Durante o verão, especialmente entre os meses de dezembro e fevereiro, houve um aumento expressivo no volume de resíduos, o que se alinha ao período de alta temporada turística na região dos Lagos. Resíduos como bitucas de cigarro, copos plásticos e canudos apresentaram médias significativamente mais altas nesse intervalo.

A coleta sistemática indicou que grande parte desses resíduos se concentra nas áreas de acesso à praia e nas adjacências do canal do Rio São João. Este último, por sua vez, atua como via de transporte de resíduos oriundos da malha urbana, contribuindo para a incidência do lixo marinho na orla.

Diante dos resultados apresentados, observa-se que os meses de outono (março a maio), tradicionalmente, associados à baixa temporada, observou-se uma redução

média dos resíduos coletados em relação ao verão. Contudo, picos esporádicos durante feriados prolongados apontam para a persistência de uma cultura de geração significativa de resíduos na região. Esse padrão reforça a correlação entre o aumento do fluxo sazonal de visitantes e o descarte inadequado de materiais nas áreas costeiras.

Outro fator relevante para o diagnóstico apresentado é a presença constante da feira de pescados próxima à praia, que introduz resíduos típicos do comércio informal e do setor pesqueiro, como sacolas, isopor, embalagens e resíduos de atividades de pesca, através do descarte irregular advindo de transeuntes e turistas. De modo geral, a robusta presença do resíduo plástico é preocupante, pois representa risco à biodiversidade marinha local, além de potencial contribuir para a formação de microplásticos. A fauna costeira, incluindo peixes e aves, tende a ingerir esses resíduos, o que amplia os impactos negativos ao longo da cadeia alimentar, tanto no local quanto em áreas adjacentes.

Diante desse cenário, a Praia de Aquarius revela-se um espaço onde diversos vetores de pressão convergem: turismo sazonal, pouca fiscalização, comércio informal, escoamento de resíduos urbanos e falta de infraestrutura adequada. Os dados apontam para a urgência de se implementar políticas públicas mais eficientes e integradas, com foco em saneamento básico, gestão de resíduos e, de forma transversal, a educação ambiental. Isso sugere que, além do turismo, a população local e os comerciantes também exercem um papel relevante na pressão sobre o ambiente costeiro, indicando a necessidade de políticas de gestão costeira integrada e de educação ambiental mais abrangentes. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) de 2010 (Brasil, 2010) estabeleceu medidas para restringir o uso de sacolas plásticas em território nacional. Apesar desse instrumento, observa-se que os itens dessa natureza ainda circulam em grande escala na sociedade, acumulando-se, pelo descarte irregular, em ambientes naturais, como as praias. A PNRS (2010) também confere aos municípios a competência de regular a oferta dos resíduos e atuar na fiscalização, coleta e descarte apropriado do lixo público. Através dos resultados, é possível prever que ações de educação ambiental, principalmente em épocas de alta temporada, devem ser aplicadas adicionalmente ao cumprimento da legislação vigente, como a Lei nº 3.134 de 2019, que institui o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos do Município de Cabo Frio (Brasil, 2019).

É necessário, ainda, observar mais variáveis que possam responder ao acúmulo de lixo durante a estação de outono, necessitando de um monitoramento contínuo para entender a dinâmica da região. Contudo, é possível identificar que épocas com maior volume de precipitação, bem como a entrada de frentes e Zonas de Convergência, também podem colaborar com o maior volume acumulado e influenciar as médias de frequência encontradas no presente estudo na região de Cabo Frio, uma zona costeira altamente influenciada pelas oscilações climáticas.

## CONCLUSÃO

O estudo realizado na Praia de Aquarius, em Cabo Frio (RJ), evidenciou que os resíduos plásticos representam a maior fração do lixo marinho encontrado, com forte influência das atividades turísticas sazonais e do comércio local. A predominância de bitucas de cigarro, embalagens e copos plásticos demonstra a relação direta entre o aumento do fluxo de visitantes e a intensificação da poluição costeira. Esses resultados reforçam a necessidade de políticas públicas mais efetivas, baseadas em saneamento, fiscalização e educação ambiental, bem como de ações contínuas de monitoramento e mitigação. Dessa forma, a pesquisa contribui para subsidiar estratégias de gestão costeira integrada, fundamentais para reduzir os impactos ambientais e sociais do lixo marinho na região.

## REFERÊNCIAS

BRASIL 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010).

BRASIL, 2019. Lei Nº 3.134, DE 26 de dezembro de 2019. Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos do Município de Cabo Frio.

Li,Y et al. **Potential health impact of microplastics: a review of environmental distribution, human exposure, and toxic effects.** Environ Health, 1 (4) (2023), pp. 249-257.

**PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA).** Da poluição à solução:

uma análise global sobre lixo marinho e poluição plástica. Nairobi: ONU Meio Ambiente, 2021.

ROSA, C., & Widmer, W. M. (2021). **Diagnóstico do lixo marinho na Praia de Navegantes/ SC em períodos de baixa e alta vazão do Rio Itajaí-Açu. *Desenvolv. Meio Ambient*, 58, 126-146.**

STELMACK, Ênio Oscar et al. **Lixo marinho em ambientes costeiros: o caso da Praia Grande no município de São Francisco do Sul/SC. *Geosul*, v. 33, n. 66, p. 11-28, 2018.**

United Nations Environment Programme (2021). ***From Pollution to Solution. A global assessment of marine litter and plastic pollution Nairobi.***

WILLIAMS, A.T.; Rangel-Buitrago, N., 2019. Marine litter: Solutions for a major environmental problem. *Journal of Coastal Research*, 35(3), 648–663. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

ZALEWSKA, T.; MACIAK, J.; GRAJEWSKA, A. Spatial and seasonal variability of beach litter along the southern coast of the Baltic Sea in 2015–2019 - Recommendations for the environmental status assessment and measures, *Science of The Total Environment*, Volume 774, 2021.

ZIELINSKI, S., & BOTERO, C. M. (2020). Beach Tourism in Times of COVID-19 Pandemic: Critical Issues, Knowledge Gaps and Research Opportunities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 7288. <https://doi.org/10.3390/ijerph17197288>.



## TR A B A L H O 3 6

# SACOS BIODEGRADÁVEIS CONTENDO PLA E RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS FIXADORES DE MUDAS COMO CORRETIVOS DE PH

Roberto Carlos Ribeiro

Gabriel Terra

**RESUMO:** Na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais, mais de 80% do material extraído e beneficiado é considerado resíduo. Em especial, mármore e calcários podem ser aproveitados como corretivo de pH de solos devido a ação dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . O PLA vem mostrando grande potencial para a produção de sacos que podem ser usados no transporte de mudas, pois é um biopolímero amplamente utilizado na produção de plásticos mais sustentáveis, os quais em condições adequadas se degradam muito mais rápido do que os plásticos comuns, que são feitos com derivados do petróleo. Neste contexto, a pesquisa tem como objetivo o aproveitamento dos resíduos do beneficiamento do Calcário do Cariri como carga na matriz do PLA para geração de sacos fixadores de mudas biodegradáveis como corretivos de pH de solos agrícolas. Foram preparados compósitos variando de 0 a 10% em massa do resíduo mineral. Concluiu-se que a fase cristalina da matriz polimérica não foi afetada pelo resíduo de modo que o mesmo não atuou como agente nucleante, sendo a composição com 8% de resíduo mineral com maior módulo elástico quando submetido à tensão de flexão.

**PALAVRAS CHAVE:** biopolímero, corretivo de pH do solo, resíduo de rocha ornamental.

**Keywords:** biopolymer, soil pH corrective, ornamental rock waste.

## INTRODUÇÃO

Por conta dos fatores geológicos, como a lixiviação que ocorre naturalmente por conta de altos índices de precipitação, o solo brasileiro apresenta um pH ácido. É importante que o solo seja corrigido para que haja melhor desenvolvimento agrícola. Tal correção se chama calagem, que consiste na incorporação de cálcio e magnésio no solo para que ocorra o aumento do pH, tornando-o ideal para o cultivo (Barros e Ribeiro, 2021).

O Brasil é rico em recursos naturais minerais por conta de sua grande variedade geológica ao longo de todo o território, destacando-se como um dos principais no mercado mundial de exportações minerais (Loureiro *et al.*, 2009). No nordeste do Brasil, extrai-se um calcário conhecido comercialmente como “Calcário do Cariri”, devido à localidade de extração. É uma rocha conhecida pela sua beleza natural e diversidade de fósseis, comumente utilizada pela arquitetura na região em pisos, paredes e decoração (Ribeiro *et al.* 2007). Entretanto, desde a lavra ao beneficiamento, mais de 80% do material é considerado resíduo, que pode ser utilizado como corretivo de pH para melhorar a qualidade do solo uma vez que apresenta altos teores de cálcio na forma de carbonato, ultrapassando 90%.

O políácido láctico (PLA), é um biopolímero amplamente utilizado para produção de plásticos mais sustentáveis (Mothé *et al.*, 2014), que se degradam muito mais rápido do que os plásticos comuns tal polímero poderia ser aplicado como saco de sustentação de mudas devido a sua fácil degradação, em substituição aos sacos fixadores que hoje representam um problema para os agricultores, pois uma quantidade substancial de sacos de polietileno de baixa densidade - PEBD que não são biodegradáveis são usados na fixação das mudas e após a fixação das mudas são descartados e muitas das vezes queimados nas fazendas (Figura 1).

Segundo o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (2017) há cerca de 5 mil mudas de determinada planta, por hectares e, como grandes fazendas apresentam mias de 100 hectares, há uma geração constante em média de 50 mil sacos de mudas não biodegradáveis a cada 6 meses.



**Figura 1 A:** Fixação de mudas em sacos convencionais.



**Figura 1B:** sacos vazios pós consumo.

## OBJETIVO

Baseado nos fatos relatados, o objetivo do trabalho é gerar sacos biodegradáveis fixadores de mudas constituídos de PLA e resíduos do beneficiamento do Calcário Cariri como corretivos de pH de solos agrícolas.

## METODOLOGIA

### Materiais utilizados

O polímero utilizado foi o PLA4043 da *Nature Works*. O resíduo utilizado foi oriundo do beneficiamento do Calcário Cariri ( $<30\mu\text{m}$ ), constituído por de 51,3% de CaO, 3,0% de MgO, 1,1% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e 44,6% de PPC segundo ao FRX e majoritariamente por calcita segundo a DRX.

### Processamento

Para a preparação do compósito, o PLA foi seco na estufa a  $60^\circ\text{C}$  por 12 horas. Foram preparadas cinco composições do PLA com o resíduo, sendo eles: 100/0; 98/2; 95/5; 92/8; 90/10 (% PLA/resíduo), denominados PLA00, PLA02, PLA05, PLA08 e PLA10, respectivamente. O processamento dos compósitos foi realizado no equipamento *Haake Rheomix OS* com 6 perfis de zonas de temperatura variando de 160 a  $210^\circ\text{C}$ . Os compósitos processados foram prensados em prensa quente a  $210^\circ\text{C}$  primeiramente por 1 minutos a 1 ton e depois por 10 minutos a 6 ton, e prensa fria a temperatura ambiente para formação das placas.

## Caracterização do material

### Caracterização dos compósitos

Os compósitos foram avaliados por difração de Raios-X no equipamento *Bruker-AXS D4 Endeavor*, 4 a  $80^\circ$  ( $2\theta$ ), por Termogravimetria (TGA) no equipamento *Netzsch STA 409 PC/PG*, com aquecimento de  $10^\circ\text{C}.\text{min}^{-1}$ , em atmosfera inerte, entre 0 até  $600^\circ\text{C}$ . As curvas de Calorimetria diferencial de varredura (DSC) foram realizadas no equipamento *Instrument DSC Q100*, de 0 a  $200^\circ\text{C}$  a segunda curva de aquecimento e  $10^\circ\text{C}.\text{min}^{-1}$  e isoterma de 2 minutos. As imagens por Microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas no equipamento da *FEI Quanta 400* com *EDS Bruker Nano Quantax 800*. Foram ensaios de flexão em 3 pontos na *EMIC* com célula de carga de 100 kgf e velocidade de carregamento de  $2\text{ mm}.\text{min}^{-1}$  e o ensaio de tração  $1\text{ mm}.\text{min}^{-1}$ . Por fim, o ensaio de viscosidade em função da taxa de cisalhamento foi realizado no equipamento da *Anton Paar* a  $210^\circ\text{C}$  com frequência de 1Hz.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2A pode ser observado o DRX do calcário Cariri e na figura 2B dos compósitos, respectivamente. Foram determinados os picos da calcita em torno de  $30^\circ$  na Figura 2A, caracterizando o resíduo constituído por cerca de 100% de calcita. Nas amostras compósitas, verifica-se que medida que houve o incremento mássico do resíduo mineral, houve redução da intensidade do pico relativo ao PLA. A matriz polimérica apresenta um halo amorfo em aproximadamente  $15^\circ$  e sem surgimento de novos picos, indicando que a partícula não atuou como agente nucleante.

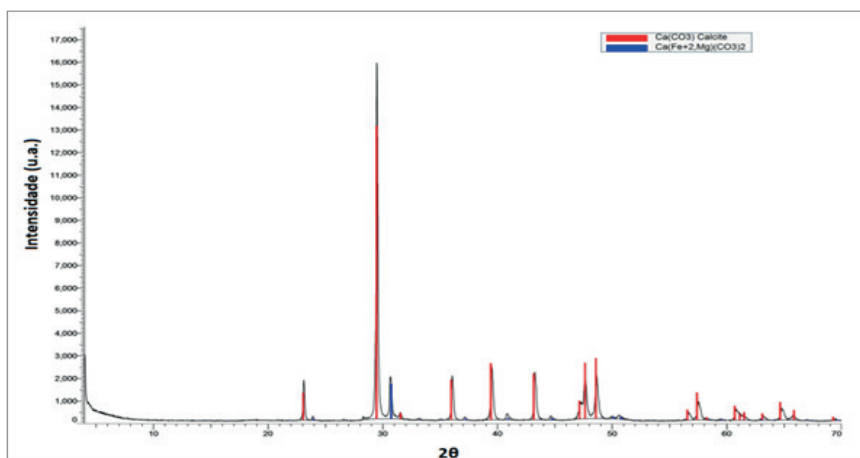
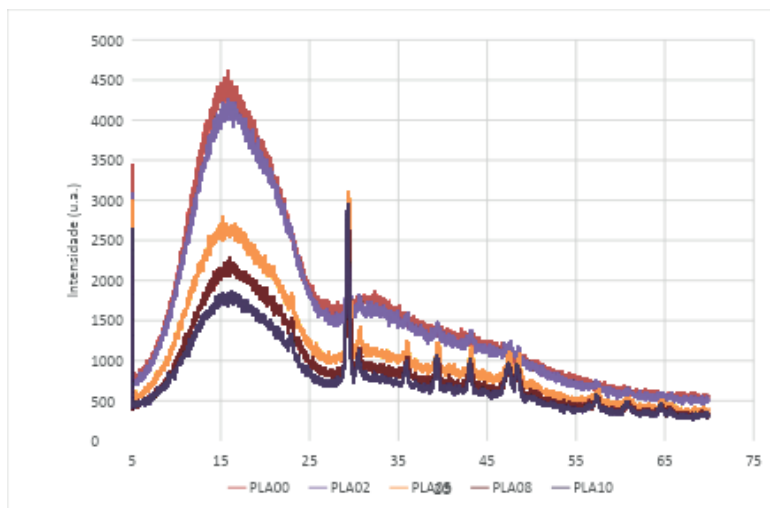


Figura 2A: DRX do Calcário do Cariri.



**Figura 2B:** DRX das amostras compósitas (B)

Os resultados de ensaio mecânico por meio de tensão de tração podem ser observados na Tabela 1 onde a deformação máxima ( $Def_{max}$ ), a força máxima ( $F_{max}$ ) e o módulo elástico ( $E$ ) foram medidos. As deformações máximas das amostras permaneceram dentro da média estatística até a amostra com 8% de resíduo, já a amostra com 10% de resíduo apresentou ligeiro aumento da plasticidade. Em relação a força máxima a amostra com 5% de resíduo apresentou o maior valor, indicando maior resistência a tensão aplicada. Em relação ao módulo elástico, as amostras com 2% e 5% de resíduo foram as que apresentaram os maiores valores. Na tabela 2, estão apresentadas as análises de flexão de três pontos. A  $F_{max}$ ,  $Def_{max}$ , deformação de flexão ( $\epsilon_f$ ) e o módulo elástico de flexão ( $E_b$ ) foram medidos. De modo geral, as amostras permaneceram dentro da média estatística, indicando que a partícula não influenciou significativamente a matriz polimérica quando submetido sobre tensão de flexão.

**Tabela 1:** Resultados mecânicos pelo ensaio de tração

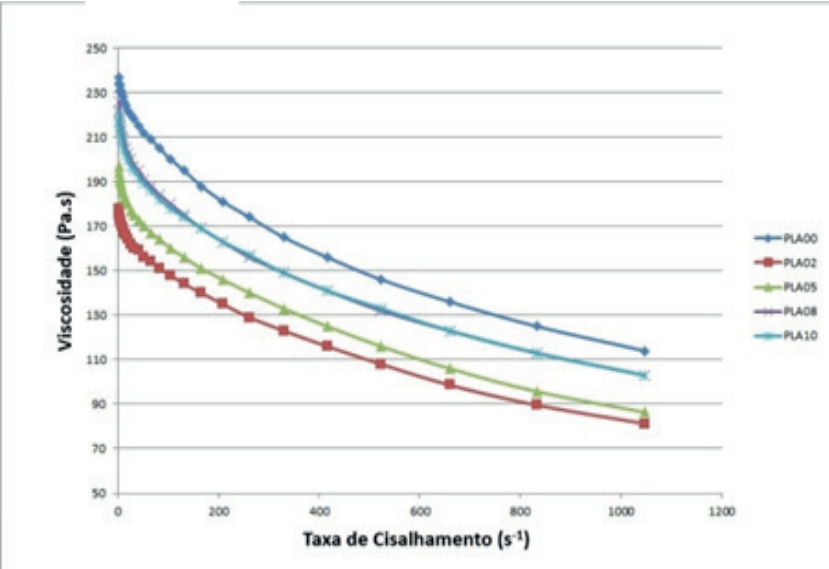
	Deformação Máxima (mm)	Força Máxima (N)	E (N/mm)
PLA00	$2,70 \pm 0,33$	$182,74 \pm 28,35$	$107,08 \pm 11,95$
PLA02	$2,75 \pm 0,15$	$189,42 \pm 12,21$	$122,28 \pm 6,03$
PLA05	$2,77 \pm 0,20$	$213,51 \pm 19,08$	$121,71 \pm 12,25$
PLA08	$2,68 \pm 0,32$	$157,03 \pm 11,11$	$95,36 \pm 20,75$
PLA10	$3,21 \pm 0,45$	$161,46 \pm 43,95$	$72,11 \pm 23,30$

**Tabela 2:** Resultados mecânicos pelo ensaio de flexão

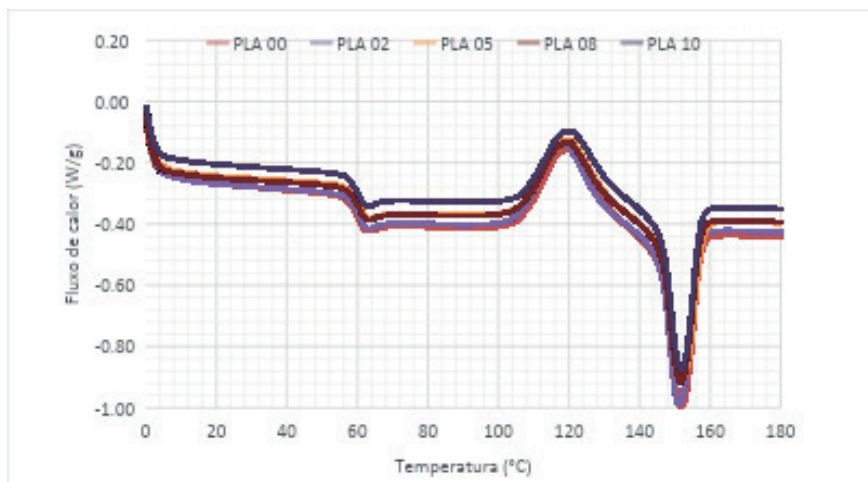
Amostra	F.Máx (N)	Def. Máx (mm)	$\epsilon_f$ (mm/mm)	$E_b$ (MPa)
PLA00	82,23 ± 11,57	5,89 ± 1,50	0,067 ± 0,014	3203 ± 301
PLA02	72,75 ± 5,25	6,69 ± 1,18	0,070 ± 0,016	3870 ± 516
PLA05	74,93 ± 9,51	5,56 ± 1,57	0,057 ± 0,016	4183 ± 568
PLA08	85,47 ± 22,97	6,47 ± 0,27	0,066 ± 0,007	4847 ± 456
PLA10	78,67 ± 5,93	3,83 ± 0,42	0,043 ± 0,005	3793 ± 327

Na Figura 3 verifica-se a análise reológica indicando que a inclusão do resíduo mineral reduziu a viscosidade em todas as composições, indicando que a partícula atuou como um plastificante no fluxo do material fundido.

A curva de DSC do segundo aquecimento das amostras pode ser observada na Figura 4 de modo que os valores da temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), temperatura de cristalização ( $T_c$ ) e de fusão ( $T_f$ ), foram medidos e apresentados na Tabela 3. As temperaturas  $T_g$ ,  $T_c$  e  $T_f$  permaneceram sem variação significativa indicando um comportamento térmico predominante da matriz polimérica. Não houve alteração significativa no pico de cristalização e fusão das amostras, indicando que as partículas não influenciaram na cristalinidade das amostras e então não atuaram como agentes nucleantes.



**Figura 3:** Viscosidade x taxa de cisalhamento.

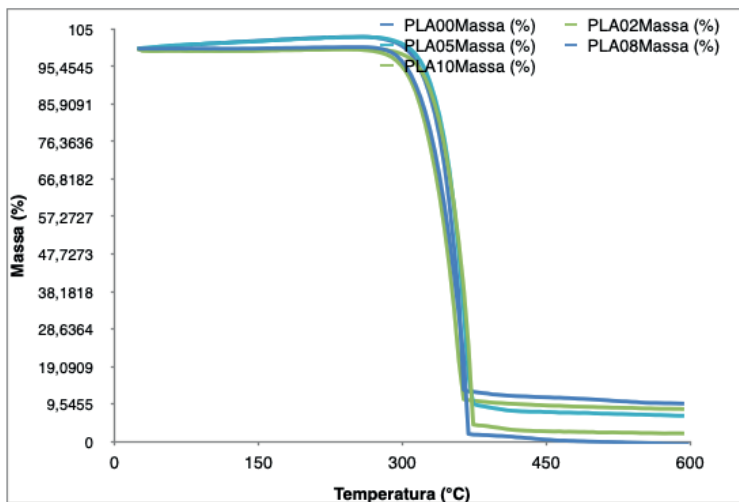


**Figura 4:** Curva de DSC do segundo aquecimento das amostras PLA00-PLA10.

**Tabela 3:** Transições térmicas do DSC e TGA

Amostra	DSC		
	$T_g$ (°C)	$T_c$ (°C)	$T_f$ (°C)
PLA00	56,33	120,00	151,95
PLA02	56,92	118,82	151,34
PLA05	56,39	119,84	152,39
PLA08	56,94	121,09	151,70
PLA10	56,51	120,06	151,80

Nas Figura 5 A e B estão apresentados, respectivamente, os resultados de TG e a derivada da TG onde se verifica que o início máximo da degradação das amostras ficou na ordem de 300-360°C sem variações significativas da partícula na matriz polimérica. Ocorre a degradação térmica do polímero no primeiro patamar em torno de 350°C e posteriormente, há um valor em torno de 10% referente à carga mineral adicionada na região entre 400 e 600°C. Já na Figura 5B, na curva da derivada, observa-se que a adição de 10% de carga pouco afeta o comportamento térmico da amostra, porém o aumento de carga desloca o valor da temperatura de fusão para cerca de 400°C, confirmando a influência da carga como retardante do processo de fusão.



Figuras 5 A: Curva de TGA.

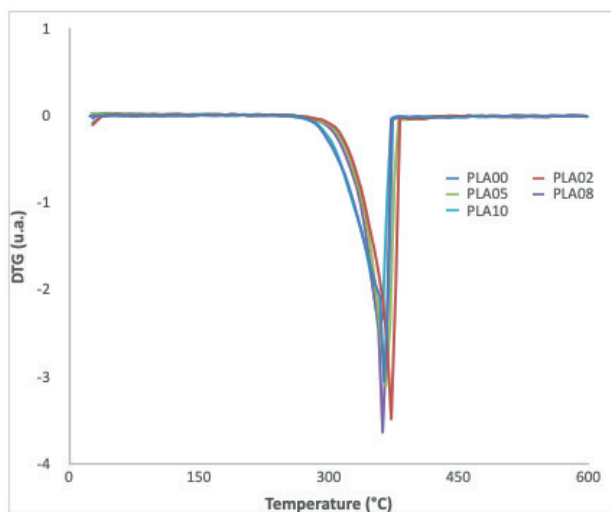


Figura 5B Curva de DTG.

## CONCLUSÕES

Foi possível produzir compósito de PLA com resíduo calcário em diferentes composições de modo o mesmo atuou como plastificante melhorando a processabilidade do fundido. A fase cristalina da matriz polimérica não foi afetada pelo resíduo de modo que o mesmo não atuou como agente nucleante. A composição com 8% de resíduo mineral apresentou maior módulo elástico quando submetido à tensão de flexão e também os valores de resistência mecânica não foram tão elevados. Tal fato, é positivo, em vista que o objetivo é a geração de sacos de mudas agrícolas que possam ter boa processabilidade, como ocorre com 8% de carga e também que ocorra degradabilidade facilitada no solo com fornecimento de cálcio ao mesmo para correção do pH.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa, ao CETEM, INT e UERJ pela infraestrutura.

## REFERÊNCIAS

BARROS, M. B. E RIBEIRO R. C. C. (2021) **Fertilização e correção de solos utilizando resíduos de rochas ornamentais: estado da arte**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, Série Tecnologia Ambiental, 116. 98p.

Mothé, C. G.; Azevedo, D. T. e Franklin, V. M. (2014) **Avaliação térmica e mecânica da degradação de materiais poliméricos na proteção ao meio ambiente**, Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros – Foz do Iguaçu, PR – Outubro/2009

RIBEIRO, R. C. C. et al. (2007) **Utilização do calcário do Cariri cearense como agregado mineral em pavimentação asfáltica**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 34p.

LOUREIRO, F. E. L., MELAMED., R. G. e FIGUEIREDO NETO, J. (2009) **Fertilizantes agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 645p.

Serviço Nacional de Aprendizagem Rural, Café: formação da lavoura SENAR – Brasília, 2017.



T R A B A L H O 37

# SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS OFERTADOS PELO PROJETO CESCOLA

Hiago Tavares de Souza

Afonso Aurélio de Carvalho Peres

Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva

Roberto Guião de Souza Lima Júnior

**RESUMO:** O Projeto CESCOLA integra ações de coleta seletiva, compostagem, hortas orgânicas, paisagismo e educação ambiental em escolas públicas nos municípios de Paraty, Porto Real e Volta Redonda, RJ, visando à promoção do desenvolvimento sustentável. Este estudo teve como objetivo identificar, com base em pesquisa bibliográfica, e quantificar os serviços ecossistêmicos fornecidos. Foram analisados resíduos tratados, emissões de CO<sub>2</sub> evitadas, produção agrícola e participação da comunidade escolar. Os resultados apontaram a oferta de serviços como fornecimento de alimentos, mitigação de GEE e fortalecimento da educação ambiental. No total, foram tratados 8,15 t de resíduos inorgânicos e 6,48 t de orgânicos, com mitigação total de 14,873 t de CO<sub>2</sub>-eq. As hortas produziram 49 kg de alimentos e registraram-se 1.138 participações, destacando-se o engajamento discente. Portanto, o Projeto CESCOLA pode promover serviços ecossistêmicos e transformação socioambiental em contextos escolares.

**PALAVRAS-CHAVE:** educação ambiental, gerenciamento de resíduos, sustentabilidade.

## INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea enfrenta desafios cada vez mais complexos na busca por um modelo de desenvolvimento sustentável. Entre eles, destacam-se o aumento contínuo na geração de resíduos sólidos e sua disposição inadequada, a crescente insegurança alimentar em contextos urbanos vulneráveis. Abordagens integradas que articulem justiça social, conservação ambiental e participação comunitária, são necessárias, destacando-se o papel estratégico da educação ambiental na construção de alternativas sustentáveis e transformadoras.

A promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010 representou um marco legal ao estabelecer diretrizes e responsabilidades para a gestão compartilhada dos resíduos no país, reconhecendo a educação ambiental como um instrumento estratégico essencial neste processo (Brasil, 2010). No contexto escolar, a implementação de planos de gerenciamento de resíduos e ações educativas voltadas à reciclagem, compostagem e redução do desperdício torna-se um instrumento capaz de promover mudança cultural, com efeitos multiplicadores para além dos muros da escola (Walgenbach; Graciano; Dias, 2025).

Estratégias integradas de educação ambiental, reciclagem, compostagem e agricultura urbana emergem como soluções viáveis e replicáveis para a gestão sistêmica de resíduos sólidos e a manutenção da prestação dos serviços ecossistêmicos no meio urbano (Melo; Hora, 2023). Tais práticas não apenas contribuem para a redução de resíduos e a segurança alimentar, como também ressignificam espaços ociosos, promovem a convivência comunitária e estimulam a valorização dos saberes ecológicos locais (Moura; Ferreira; Lara, 2013).

O Projeto CESCOLO surge como uma proposta de criação de Centros de Educação Ambiental (CEAs) em escolas públicas, que visa a integração entre coleta seletiva, compostagem, hortas orgânicas e ações práticas de educação ambiental. Assim, estes conceitos tornam-se os temas base para a geração de conscientização ambiental, possibilitando transformações socioambientais a partir de ações locais.

## OBJETIVO

Identificar e quantificar alguns dos principais serviços ecossistêmicos fornecidos pelo Projeto CESCOLO.

## METODOLOGIA

Os serviços ecossistêmicos fornecidos pelas três unidades escolares participantes do Projeto CESCOLO (Paraty, Porto Real e Volta Redonda, RJ) foram classificados em quatro macrossegmentos, conforme a tipologia proposta pela Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005): serviços de provisão, serviços de regulação, serviços culturais e serviços de suporte.

A identificação dos serviços ecossistêmicos relacionados ao projeto foi realizada com base nos seus principais objetivos: reciclagem de resíduos secos, compostagem de resíduos orgânicos, implantação de horta orgânica e desenvolvimento de ações de educação ambiental. Para tanto, foi conduzida uma pesquisa bibliográfica na base de dados do Portal de Periódicos da CAPES, utilizando-se combinações das palavras-chave “reciclagem”, “compostagem”, “horta orgânica” e “educação ambiental” com o termo “serviços ecossistêmicos”, nos idiomas português e inglês.

Após a identificação dos possíveis serviços ecossistêmicos oferecidos pelo Projeto CESCOOLA, deu-se início à etapa de quantificação. Considerando a complexidade e a dificuldade inerente à mensuração de todos os serviços ecossistêmicos envolvidos, optou-se por selecionar, com base em critérios de viabilidade metodológica, aqueles serviços diretamente relacionados aos quatro principais eixos de atuação do projeto: reciclagem, compostagem, horta orgânica e educação ambiental. Esses serviços foram, então, submetidos à análise quantitativa de modo a evidenciar os benefícios mensuráveis gerados pelas ações desenvolvidas nas unidades escolares participantes.

De acordo com King e Gutberlet (2013), para cada tonelada de material reciclado obtêm-se uma redução média de 0,77 t CO<sub>2-eq</sub>, além de uma economia **média 5,67 MW h/tonelada de RS reciclados**. A economia no consumo de energia também possibilita a mitigação nas emissões de CO<sub>2</sub>, sendo 0,4473 tCO<sub>2</sub>/MWh o fator de emissão médio em 2024 (MCTI, 2024).

De posse do quantitativo de resíduos sólidos orgânicos coletados, calculou-se as emissões de CO<sub>2-eq</sub> evitadas, considerando-se o valor de conversão 0,765 t de CO<sub>2-eq</sub> para cada tonelada de resíduos sólidos orgânicos compostados (UNFCCC, S.D.).

Com base no total de mudas plantadas na horta orgânica de 51 m<sup>2</sup>, e considerando-se o percentual de produtividade esperada de 22 t/há (Vilela; Luengo, 2011), calculou-se a produção esperada de 112kg de hortaliças. Também foi quantificada a produção real obtida, com auxílio de uma balança digital.

A mensuração das participações em ações de educação ambiental ocorreu através de listas de presença.

## RESULTADOS

Com base na pesquisa bibliográfica realizada, identificaram-se diversos serviços ecossistêmicos associados às atividades do Projeto CESCOOLA, implantado nos municípios de Paraty, Porto Real e Volta Redonda, no estado do Rio de Janeiro. Esses serviços foram classificados em quatro categorias principais: serviços de suporte, de regulação, de provisão e culturais (Quadro 1), conforme a tipologia proposta pela Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005). Desse modo, possibilitou-se uma compreensão abrangente das contribuições geradas pelas ações integradas do projeto, evidenciando o valor sistêmico do Projeto CESCOOLA, tanto na promoção da conscientização ambiental quanto na melhoria do bem-estar das comunidades escolares envolvidas.

Quadro 1 – Classificação dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelo Projeto CESCOLA.

Serviços de suporte	Descrição	Exemplos
Ciclagem de nutrientes	Disponibilização dos nutrientes presentes em resíduos orgânicos, condicionamento do solo.	Compostagem, horta orgânica.
<b>Serviços de regulação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplos</b>
Regulação de resíduos	Coleta seletiva com posterior reintrodução nas cadeias produtivas.	Gerenciamento dos resíduos nas unidades.
Redução da poluição	Diminuição das emissões emitidas por resíduos enviados aos aterros sanitários, contaminação do solo e de corpos hídricos.	Gerenciamento dos resíduos nas unidades.
Regulação de recursos naturais	Minimização da necessidade de exploração de matérias-primas virgens na produção de novos bens.	Gerenciamento dos resíduos nas unidades.
Regulação da biodiversidade	Promoção de condições para o estabelecimento de micro, meso e macro organismos.	Compostagem, horta orgânica.
<b>Serviços de provisão</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplos</b>
Fornecimento de alimentos	Produção de hortaliças orgânicas	Horta orgânica.
<b>Serviços culturais</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplos</b>
Educação	Difusão dos conhecimentos aplicados no projeto para a comunidade.	Práticas de compostagem, hortas orgânicas, coleta seletiva.
Conscientização ambiental	Percepção do bem-estar gerado através dos cuidados ambientais	Fornecimento de alimentos, geração de renda com a reciclagem, tratamento de resíduos orgânicos.
Conexão com a natureza	Aproximação do ser humano com a natureza, e redescoberta de sua importância.	Horta orgânica
Lazer	Manejo em área produtiva de hortaliças.	Horta orgânica

A ciclagem de nutrientes promovida pelo Projeto CESCOLA teve início com a coleta dos resíduos sólidos orgânicos (RSO) gerados nas unidades escolares e nas residências das famílias de alunos voluntários atendidas. Após o processo de compostagem, os resíduos transformaram-se em nutrientes disponíveis para as hortas escolares, promovendo o fechamento do ciclo ecológico.

O uso do composto orgânico produzido nas unidades escolares não apenas contribuiu para a ciclagem de nutrientes, como também favoreceu a regulação da biodiversidade e o fornecimento de alimentos. A biodiversidade microbiana do solo pode ser promovida com a aplicação do composto orgânico, favorecendo a presença de organismos como minhocas, e resultando em maior sustentabilidade agrícola.

A implantação de hortas orgânicas adubadas com compostos oriundos da compostagem escolar proporcionou, além da produção de alimentos, benefícios como o fortalecimento da conexão humano-natureza, o favorecimento do incremento da biodiversidade do solo e a promoção de práticas ambientalmente responsáveis, com caráter educativo.

Os serviços ecossistêmicos associados ao gerenciamento dos resíduos incluíram a regulação ambiental por meio da reinserção de materiais recicláveis na cadeia produtiva, contribuindo para a conservação dos recursos naturais, redução da contaminação ambiental, ao remover microplásticos, metais pesados, mitigar a emissão de gases de efeito estufa e outros poluentes do ambiente. Do mesmo modo, a compostagem dos resíduos orgânicos demonstrou potencial para mitigação das emissões de gases de efeito estufa, quando comparada à disposição em aterros sanitários.

A oferta desses serviços ecossistêmicos foi potencializada pelas ações de educação ambiental implementadas no âmbito do Projeto CESCOLA, que articularam o manejo de resíduos, inorgânicos e orgânicos, à agricultura urbana, com participação ativa da comunidade escolar.

A partir do quantitativo de resíduos sólidos inorgânicos (RSI) coletados (Tabela 1), obteve-se o quantitativo do serviço ecossistêmico de emissões de CO2 mitigadas através da reciclagem (Tabela 2).

Tabela 1 – Quantitativo de RSI coletados por unidade.

Paraty		Porto Real		Volta Redonda	
Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
27/06/2023	27/06/2024	30/08/2023	10/07/2024	01/01/2023	31/05/2024
Total de RSI coletados		Total de RSI coletados		Total de RSI coletados	
663,95 kg		322,44 kg		3086,22 kg	

O porte e a complexidade dos municípios, além de suas diferenças geográficas, influenciaram a efetividade das campanhas educativas: enquanto em comunidades menores, como o distrito de Tarituba, Paraty, RJ, a mobilização é mais direta, em municípios com dispersão das comunidades, como Porto Real, RJ, e municípios

maiores, como Volta Redonda, RJ, são necessárias estratégias amplas e contínuas. Além disso, a atuação das lideranças locais e o apoio da gestão escolar e municipal mostraram-se elementos decisivos para o sucesso das ações de gerenciamento dos resíduos sólidos inorgânicos em cada unidade.

O total de emissões de GEE, 9,915 t de CO<sub>2</sub>, mitigados correspondem ao somatório das emissões mitigadas tanto pela substituição de matérias-primas virgens por RSI reciclados, quanto pela economia de consumo energético possível através dessa substituição de material nos processos produtivos.

Tabela 2 – Total do serviço de mitigação de emissão de CO<sub>2</sub> prestado pela reciclagem.

Total de resíduos sólidos coletados (t)	
8,145	
Economia de energia (MW h)	
46,183	
Emissões de CO <sub>2</sub> mitigadas pela economia de energia (tCO <sub>2</sub> )	
3,643	
Emissões de CO <sub>2</sub> mitigadas pela reciclagem (tCO <sub>2</sub> )	
6,272	

Com relação as emissões de CO<sub>2</sub> mitigadas, a *United States Environmental Protection Agency* (EPA) disponibiliza calculadora de conversão que possibilita a tradução dos dados de emissões para parâmetros concretos. No caso do total de emissões mitigadas com o gerenciamento dos RSI, estas emissões correspondem ao consumo de 4263 litros de gasolina (EPA, 2024).

O total acumulado de RSO coletados e tratados pelas três unidades do Projeto CESCOA, assim como as emissões de CO<sub>2-eq</sub> evitadas através desse processo, constam nas Tabela 3 e na Tabela 4, respectivamente.

Tabela 3 – Quantitativo de RSO coletados por unidade.

Paraty		Porto Real		Volta Redonda	
Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
03/03/2024	30/05/2024	02/10/2023	12/07/2024	07/09/2023	10/06/2024
Total de RSO coletados		Total de RSO coletados		Total de RSO coletados	
1090,12 kg		4717,00 kg		673,75 kg	

Em Porto Real, RJ, 7,16% dos resíduos orgânicos tratados tiveram origem nas residências dos alunos, com um desperdício estimado de 0,044 kg por refeição preparada na escola. Em Volta Redonda, RJ, apesar da compostagem ter iniciado

com apoio externo antes da construção das composteiras, foram tratados 673,75 kg em 9 meses, com um desperdício de 0,068 kg por refeição preparada na escola. Já em Paraty, RJ, 31,80% dos resíduos coletados foram provenientes de residências dos alunos voluntários apresentando, no entanto, o maior índice de desperdício, com 0,372 kg por refeição preparada na escola.

Tabela 4 – Total do serviço de mitigação de emissão de CO<sub>2-eq</sub> prestado pela compostagem.

Total de resíduos orgânicos coletados (t)
6,480
Emissões de CO2-eq evitadas (t)
4,958

Analogamente às emissões de CO<sub>2</sub> mitigadas através da reciclagem, pode-se utilizar a calculadora de conversão da EPA para traduzir os dados de emissões de CO<sub>2</sub> mitigados pela compostagem para parâmetros concretos. No caso do total de emissões mitigadas com o gerenciamento dos RSO, estas emissões correspondem ao consumo de 2132 litros de gasolina (EPA, 2024).

Embora os resultados evidenciem o potencial do Projeto CESCOLA na oferta do serviço ecossistêmico de mitigação de CO<sub>2-eq</sub>, limitações metodológicas devem ser consideradas. A quantificação dos resíduos orgânicos coletados estava diretamente relacionada com o engajamento de alunos e funcionários na coleta seletiva. Sendo assim, algumas perdas ocorridas durante o armazenamento, preparo, distribuição ou pós-consumo, podem ter sido desconsideradas, o que impacta na mensuração do serviço ecossistêmico prestado.

Com a colheita realizada em 01 de março de 2024 obteve-se uma produção de 35 kg de tomate cereja, que foram destinados ao refeitório da escola, além de entregues a alunos voluntários do projeto. Um segundo plantio ocorreu em 10 de maio de 2024, ocupando os 51 m<sup>2</sup> disponíveis para cultivo com mudas de alface, rúcula, couve, bertalha, cebolinha, tomate, beterraba e berinjela. Deste plantio, obteve-se 14kg de hortaliças, em colheitas realizadas em 19 de junho, 3 de julho, e 10 de julho de 2024.

O fato de a produtividade obtida ter sido inferior à produtividade esperada, 112kg, pode ter sido influenciada por fatores geográficos, climatológicos, fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, incidência de pragas e doenças, além de aspectos relacionados ao sistema de cultivo. Como perdas adicionais pode-se citar relatos obtidos de alunos da unidade que colhiam os frutos durante horários vagos, impedindo o registro deste quantitativo. Apesar disso, pode-se considerar esta ocorrência como um meio de despertar de interesse destes alunos para a atividade que foi desenvolvida.

Cada unidade do projeto possui quantitativos distintos de funcionários, alunos, e consequentemente, de famílias envolvidas. O Gráfico 1 apresenta o número de participações, diretas e indiretas, nas ações propostas, que culminaram no total de 1.138 participações. Destas participações, 86% foram atribuídas à unidade de Porto Real, RJ, 8% à unidade de Paraty, RJ, e 6% à unidade de Volta Redonda, RJ.

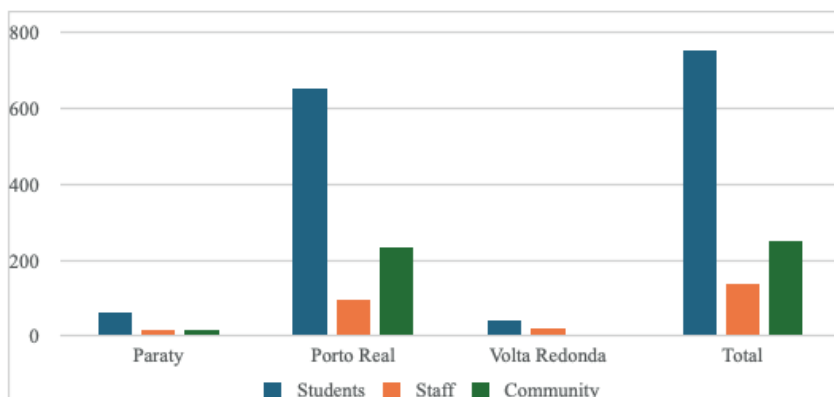


Gráfico 1 – Total de participações por unidade do Projeto CESCOA.

Em Paraty, RJ, no período de 31 de maio a 27 de junho de 2023, os alunos representaram 65% do total de participações, seguidos por funcionários (19%) e membros da comunidade (16%). Em Porto Real, RJ, de 10 de maio de 2023 a 24 de abril de 2024, os estudantes também foram o grupo mais representativo, com 66% das participações, o que possivelmente influenciou o expressivo envolvimento da comunidade externa (24%), enquanto os funcionários corresponderam a 10%. Esses dados sugerem o potencial do corpo discente como vetor de mobilização social e disseminação de práticas ambientais. Em Volta Redonda, RJ, houve uma concentração inicial na participação dos funcionários (33%). A partir de dezembro de 2023, observou-se o início da participação estudantil, que passou a representar 61% do total, enquanto a comunidade externa representou 6% das participações. Com a execução do projeto CESCOA nos três municípios, a visibilidade do projeto tem aumentado. Novos municípios demonstraram interesse em implantar o projeto CESCOA em uma unidade escolar e a partir do ano de 2025 implantamos no distrito de Engenheiro Passos, Resende, RJ, sendo a quarta unidade demonstrativa do projeto CESCOA.

As diferenças no período de execução das atividades do projeto, nas condições de infraestrutura e no tamanho das unidades atendidas, bem como o desconhecimento das comunidades sobre a iniciativa, podem ter influenciado na quantificação das participações, assim como na comparação das unidades.

## CONCLUSÕES

A identificação dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelo Projeto CESCOLA constituiu um elemento fundamental para a compreensão da relevância socioambiental de suas ações. O reconhecimento dos benefícios gerados, como a ciclagem de nutrientes, o fornecimento de alimentos, a redução da poluição, a promoção da conscientização ambiental e o fortalecimento da conexão entre seres humanos e natureza, contribuiu para evidenciar o papel do projeto na conservação ambiental e na transformação de práticas educativas.

Embora tenham sido quantificados alguns dos serviços ecossistêmicos mais diretamente mensuráveis, como a mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e os impactos da educação ambiental, a diversidade e complexidade dos serviços prestados impuseram limites à quantificação integral. Dessa forma, destaca-se a necessidade de estudos futuros que aprofundem a avaliação dos múltiplos benefícios proporcionados. A atuação integrada do gerenciamento de resíduos com práticas educativas e produtivas sustentáveis, aliada ao engajamento da comunidade escolar e de seu entorno, reforça o potencial do Projeto CESCOLA como modelo replicável de promoção de serviços ecossistêmicos em ambientes urbanos e escolares.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Presidência da República, Casa Civil, Brasília, 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 14 jun. 2025.

KING, M. F.; GUTBERLET, J. Contribution of cooperative sector recycling to greenhouse gas emissions reduction: A case study of Ribeirão Pires, **Brazil. Waste management**, [S.l.], 2013.

MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Fator médio - Inventários corporativos. **MCTI**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 05 mai. 2025.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT – MEA. **Ecosystems and human well-being: synthesis**, Washington: Island Press, 2005. 154 p.

MELO, T. N. G.; HORA, K. E. R. Agricultura urbana: produção de alimentos e prática pedagógica em ambientes escolares. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental – FURG**, [S.l.], v. 40, n. 2, p. 271-291, 2023.

MOURA, J. A.; FERREIRA, W. R.; LARA, L. B. L. S. Agricultura urbana e periurbana. **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, v. 12, n. 27, p. 69-80, 2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Greenhouse gas equivalencies calculator. **EPA**, 2024. Disponível em: <<https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>>. Acesso em: 24 jun. 2025.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. **Avoidance of methane emissions through controlled biological treatment of biomass**, version 6, [S.D.]. Disponível em: < <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/83G6NA8NDD90GYOS9SO154JL8M2YVO/view.html> >. Acesso em: 15 jun. 2025.

VILELA, N. J.; LUENGO, R. F. A. In: LUENGO, R. F. A.; CALBP, A. G (editores técnicos). **Pós-colheita de hortaliças**: o produtor pergunta, a EMBRAPA responde. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. cap. 1.

WALGENBACH, P. J. S.; GRACIANO, M. J. S.; DIAS, L. D. Compostagem de resíduos orgânicos e educação ambiental: uma análise do ciclo de vida em uma escola de educação básica. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 170–185, 2025.



## TR A B A L H O 3 8

# SISTEMA DE INDICADORES COM BASE NAS METAS DOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 6, 11, 12 E 14 APLICADO AO CONTEXTO LOCAL DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Alexandre Cesar Motta de Castro

**RESUMO:** Apresenta o resultado obtido no desenvolvimento de um sistema de indicadores para avaliar a sustentabilidade urbana do Rio de Janeiro a partir dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, adaptados ao contexto brasileiro pelo IBGE (Plataforma ODS Brasil), com um recorte específico para o ODS6 – Água potável e saneamento, ODS11 – Cidades e comunidades sustentáveis, ODS12 – Consumo e produção responsáveis e ODS14 – Vida na água, onde são identificados indicadores capazes de avaliar a sustentabilidade da cidade sob a ótica dos resíduos e do acesso a serviços de água e saneamento no espaço urbano. Este sistema de indicadores pode servir para apoiar gestores públicos na formulação de políticas baseadas em evidências para lidar com os problemas de ecossistemas urbanos pressionados pelo modelo de desenvolvimento historicamente predominante, o qual não privilegia o equilíbrio sustentável entre o crescimento econômico e o atendimento de demandas sociais e ambientais.

**Palavras-chave:** Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Indicadores de sustentabilidade urbana. Escala local. Processos participativos.

## INTRODUÇÃO

O estudo assume como premissa que os indicadores dos ODS da Agenda 2030 (ONU, 2016) relacionados ao ambiente urbano podem estar relacionados a diversas áreas temáticas e precisam ser traduzidos em escala local, e a cidade do Rio de Janeiro, apesar de apresentar alguns indicadores positivos, como por exemplo uma cobertura do esgotamento sanitário de 94,4% dos domicílios segundo o Censo (IBGE, 2010), o que representa a quase universalização do serviço, ainda enfrenta desafios a serem enfrentados, como melhorar o tratamento de esgoto que cobre menos de 2/3 da população, apontando clara necessidade de ampliação da rede coletora e de estações de tratamento.

Dizdaroglu (2015) considera que a avaliação da sustentabilidade é necessária para desenvolver ecossistemas urbanos sustentáveis, permitindo o monitoramento dos ambientes urbanos com base em indicadores capazes de capturar a dinâmica de cada cidade.

Um conjunto de métricas para avaliar a sustentabilidade da cidade do Rio de Janeiro foi concebido a partir de métodos colaborativos, que permitiram capturar as impressões e o entendimento de atores-chave locais acerca da qualidade de vida na cidade (Moreno Pires *et al.*, 2014), identificando indicadores não restritos aos ODS contemplados na literatura existente amplamente revisada.

A pesquisa ofereceu assim uma resposta para o problema de avaliar a sustentabilidade em âmbito local, evidenciando que os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) podem funcionar como uma estrutura abrangente para a formulação de indicadores, de onde podem ser destacados indicadores para avaliar questões relevantes para a cidade do Rio de Janeiro relacionadas a resíduos e serviços de água e saneamento, tal como apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1:** Indicadores de resíduos, água e saneamento na cidade do Rio de Janeiro

Temas	Indicadores	Dados	Fontes
Resíduos	Porcentagem da população com coleta regular de resíduos sólidos na cidade	100%	(SNIS, 2022)
Água	Percentual de imóveis com ligação à rede geral de distribuição de água e utilização como forma principal de abastecimento	98,4%	(IBGE, Censo, 2022)
Saneamento	Percentual de imóveis com esgotamento sanitário adequado (segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico)	86,2%	(IBGE, Censo, 2022)

## OBJETIVO

O objetivo do estudo foi desenvolver um sistema de indicadores para avaliação, à escala local, das metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), a fim de medir a sustentabilidade urbana do Rio de Janeiro, com base em um processo participativo que fosse capaz de identificar indicadores para avaliação de aspectos relevantes da dinâmica da cidade, entre os quais aqueles relacionados ao OD6 – Água potável e saneamento, ODS11 – Cidades e comunidades sustentáveis, ODS12 – Consumo e produção responsáveis e ODS14 – Vida na água, que tratam de temas sensíveis para a cidade do Rio de Janeiro.

Já os objetivos específicos da pesquisa envolveram:

- a. Identificar que indicadores dos ODS da Agenda 2030 eram relevantes, aderentes e aplicáveis à realidade cotidiana da cidade do Rio de Janeiro, podendo ser medidos localmente para se avaliar a sua sustentabilidade urbana, incluindo as perspectivas da destinação de resíduos e serviços de água e saneamento.
- b. Desenvolver indicadores não contemplados nos ODS da Agenda 2030 que fossem relevantes para a população local para medir a sustentabilidade urbana do Rio de Janeiro, com base em um processo participativo de atores-chave locais, e que também identificassem indicadores relacionados à destinação de resíduos e serviços de água e saneamento.
- c. Validar o sistema de indicadores para avaliação da sustentabilidade urbana da cidade do Rio de Janeiro por meio da participação de atores-chave locais.

## METODOLOGIA

O estudo fez uso da metodologia empregada por Castro *et al.* (2025) para o desenvolvimento de um sistema de indicadores para avaliação da sustentabilidade urbana do Rio de Janeiro com base nas metas dos ODS, a qual é descrita abaixo, com destaque para a participação ativa em grupos focais on-line e no método Delphi de indivíduos de diferentes segmentos da sociedade carioca.

A primeira etapa concentrou-se em verificar, para a realidade carioca, a pertinência e a aplicabilidade dos indicadores da Agenda 2030, examinando se eles conseguem mensurar a sustentabilidade urbana em escala local. Esse exame, apoiado no Quadro de Indicadores Globais para os ODS – Plataforma ODS Brasil (IBGE, 2023), originou uma lista inicial de 172 indicadores.

Na segunda etapa, uma ampla revisão bibliográfica e levantamento documental agregaram 19 conjuntos de indicadores de sustentabilidade urbana já existentes àqueles da etapa anterior. Reunidos todos os itens identificados, que formaram o arcabouço teórico da pesquisa, realizou-se uma triagem preliminar: de um universo superior a mil indicadores repetidos ou muito semelhantes, obteve-se uma lista de 323 itens representando todas as metas dos ODS. Mantiveram-se apenas indicadores coerentes com o conteúdo dos objetivos, conceitualmente claros, fáceis de compreender pelo público e capazes de ir além da simples contagem de insumos.

Em seguida, promoveu-se um refinamento: eliminaram-se redundâncias, fundiram-se conceitos equivalentes e aperfeiçoou-se a redação, simplificando-a e ajustando cada indicador ao contexto do Rio de Janeiro.

A versão resultante foi encaminhada a 55 atores-chave em grupos focais online (Schroeder et al., 2009), organizados por ODS, a fim de chegar a um consenso sobre os itens mais relevantes para medir a sustentabilidade urbana local e, assim, elaborar uma terceira lista que refletisse as prioridades da cidade.

Incluir diferentes segmentos sociais nesse processo atende ao proposto por Kaika (2017) para que sistemas de indicadores urbanos espelhem as realidades das cidades e o cotidiano de suas comunidades, trazendo novos interlocutores e renovando métodos, instrumentos e temas em debate.

O grupo de participantes reunia mestres, doutores e pesquisadores nos temas dos ODS; representantes da Prefeitura, do Governo do Estado e da União; executivos de concessionárias privadas; membros de ONGs, projetos sociais e associações de moradores, todos residentes no Rio de Janeiro ou em municípios da metrópole. Ao final dos grupos focais, a terceira lista continha 305 indicadores classificados numa escala Likert de relevância (Irrelevante, Desimportante, Neutro, Importante, Essencial).

Por fim, aplicou-se o método Delphi (Barreto et al., 2018) ao mesmo perfil de participantes, 45 pessoas, das quais 25 já haviam integrado os grupos focais e 20 eram novas. Desse processo emergiram 93 indicadores julgados essenciais ou chave, todos com ao menos 75 % de convergência em relação aos resultados anteriores (patamar definido como consenso). Somaram-se a eles mais 38 indicadores inéditos propostos durante os debates, que, após ajuste conceitual e textual, passaram a integrar o sistema. O produto final, ilustrado na Figura 1, reúne 131 indicadores.



**Figura 1:** Evolução das listas de indicadores adaptados à escala local da cidade do Rio de Janeiro

Após análise dos resultados obtidos com a 4ª lista, percebeu-se a necessidade de promover um ajuste por meio de um balanceamento mais equilibrado no número de indicadores associados aos diferentes ODS e suas respectivas metas.

Assim, procedeu-se com uma revisão da 4ª lista de indicadores, sendo empreendidas iniciativas de reclassificação e balanceamento que tomaram como referência procedimentos adotados por Ramos *et al.* (2021) para a seleção de indicadores, a fim de evitar que os indicadores essenciais ou chave fossem selecionados apenas com base em critérios quantitativos, gerando uma 4ª lista ajustada, onde os indicadores considerados essenciais foram reduzidos de 93 para 92, totalizando então 130 indicadores, diante dos 131 anteriores, além de apresentarem melhor distribuição entre os diferentes ODS (Figura 1 e Tabelas 2 e 3).

**Tabela 2:** Classificação dos indicadores da 4ª lista e da 4ª lista final (ajustada)

INDICADORES AVALIADOS	4ª lista	4ª lista ajustada
	305	304
ESSENCIAL (CHAVE)	93	92
IMPORTANTE	141	141
SEM CONSENSO	36	36
DESCARTAR	35	35
INDICADORES NOVOS SUGERIDOS	38	38

**Tabela 3:** Balanceamento dos indicadores entre os ODS (4ª lista vs 4ª lista ajustada)

ODS	4a LISTA		4a LISTA AJUSTADA		SUGERIDOS
	INDICADORES	ESSENCIAIS OU CHAVE	INDICADORES	ESSENCIAIS OU CHAVE	
ODS1	12	1	12	4	---
ODS2	8	1	8	2	---
ODS3	31	13	30	10	---
ODS4	32	4	32	6	3
ODS5	20	11	20	8	3
ODS6	20	5	20	6	3
ODS7	10	1	10	1	3
ODS8	31	4	31	6	3
ODS9	15	1	15	1	1
ODS10	9	6	9	6	---
ODS11	52	27	52	22	---

ODS12	15	---	15	1	5
ODS13	8	1	8	1	4
ODS14	10	1	10	1	3
ODS15	18	3	18	3	3
ODS16	32	10	32	10	2
ODS17	20	4	20	4	5
TOTAL	343	93	342	92	38

Além do melhor balanceamento, tal medida de ajuste viabilizou o preenchimento de lacunas de indicadores essenciais em determinadas metas e permitiu incorporar indicadores clássicos já consolidados e sugeridos pela literatura e largamente utilizados para se avaliar aspectos da sustentabilidade urbana. A Figura 1 demonstra todo o processo de evolução das listas a cada etapa da pesquisa.

## RESULTADOS

Apesar do Quadro de Indicadores Globais para os ODS – Plataforma ODS Brasil (IBGE, 2023) não ter sido constituído para gerar indicadores para o contexto local, o esforço para sua localização e contextualização ao espaço urbano do Rio de Janeiro empregado na pesquisa de Castro *et al.* (2025) permitiu o desenvolvimento de um sistema de indicadores aplicável à avaliação da sustentabilidade da cidade.

Considerando que a Plataforma ODS Brasil (IBGE, 2023) possui 255 indicadores, dos quais 10 não se aplicam ao Brasil, a diferença para os 130 indicadores do sistema desenvolvido demonstra que muitos desses indicadores não são capazes de medir em escala local diversos fenômenos urbanos.

A 4ª lista ajustada final de indicadores, quando comparada à 1ª lista, é 25% menor, sugerindo que o sistema de indicadores desenvolvido por meio da adoção de métodos participativos funcionou efetivamente, o que é demonstrado pelos 38 indicadores novos sugeridos pelos participantes dos grupos focais on-line e do método Delphi que integram a lista final, quase 30% do total.

As tabelas 4, 5, 6 e 7 apresentam exemplos de indicadores resultantes do esforço de pesquisa em todas as suas etapas.

**Tabela 4:** Exemplos de indicadores essenciais presentes nas listas 2, 3 e 4 – **ODS6**

<b>Meta</b>	<b>6.1. – Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos.</b>
<b>Indicadores</b>	6.1.1. – Proporção da população e de domicílios que utilizam serviços de água potável gerenciados de forma segura, por localização (Abastecimento por fontes aprimoradas de água, o que inclui rede geral, poços artesianos, poços rasos protegidos, nascentes protegidas ou água de chuva armazenada; localizada no domicílio ou no terreno do domicílio, disponível quando necessário, e livre de contaminação fecal ou química).
<b>Meta</b>	<b>6.2. – Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade.</b>
<b>Indicadores</b>	6.2.1. – Proporção da população e de domicílios que utiliza (a) serviços de saneamento gerenciados de forma segura e (b) instalações para lavagem das mãos com água e sabão (Instalação sanitária de uso exclusivo do domicílio e onde a excreta é disposta de forma segura no local ou transportada para tratamento).
	6.2.2. – Índice de tratamento de esgoto (Percentual do esgoto tratado sobre o volume de esgoto coletado).
	6.2.3. – Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, por 100 mil habitantes, localização e tipo de doença (Número de atendimentos e internações hospitalares ocorridas em consequência de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI), por 100 mil habitantes).
<b>Meta</b>	<b>6.4. – Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água.</b>
<b>Indicadores</b>	6.4.1. – Nível de stress hídrico: proporção das retiradas de água doce em relação ao total dos recursos de água doce disponíveis (Relação entre o total de demandas de retirada de água doce para abastecimento da população e suprimento hídrico a todas as atividades econômicas e o total de recursos de água doce renováveis disponíveis).
	6.4.2. – Perda de água tratada (Porcentagem de perda de água no sistema de abastecimento, em metros cúbicos de água perdida).
<b>Meta</b>	<b>6.5. – Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado.</b>
<b>Indicadores</b>	6.5.1. – Contribuição do município no alcance das metas de gerenciamento de recursos hídricos selecionadas pelos órgãos gestores e aprovadas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do estado do Rio de Janeiro junto ao PROGESTÃO (Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas) da Agência Nacional de Águas (ANA).
<b>Meta</b>	<b>6.A. – Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso.</b>

<b>Indicadores</b>	6.a.1. – Existência de acordos de cooperação internacional estabelecidos pelo município para transferência de tecnologia e promoção do desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento.
<b>Meta</b>	<b>6.B. – Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento.</b>
<b>Indicador</b>	6.b.1. – Nível e diversidade da representação de cidadãos do município entre os integrantes do Comitê da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara e seus subcomitês, membros do Poder Público, dos Usuários e da Sociedade Civil, de acordo com a proporcionalidade estabelecida.

**Tabela 5:** Exemplos de indicadores essenciais presentes nas listas 2, 3 e 4 – **ODS11**

<b>Meta</b>	<b>11.6. – Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros.</b>
<b>Indicadores</b>	11.6.1. – Proporção de resíduos sólidos urbanos coletados e gerenciados em instalações controladas em relação ao total de resíduos urbanos gerados (Proporção de resíduos sólidos urbanos domiciliares e de limpeza pública com destinação adequada, considerando a recuperação de resíduos sólidos recicláveis e orgânicos e a disposição em aterros sanitários, em relação à estimativa da massa coletada).
	11.6.2. – ISLU – Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (Grau de adesão do município às metas e às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos).
	11.6.3. – Proporção da população atendida por serviços de coleta de resíduos sólidos, incluindo coleta seletiva, por localização.
	11.6.4. – Percentual de dias com a qualidade do ar classificada como boa (Padrões de qualidade fixados pelo CONAMA).
	11.6.5. – Proporção do lixo potencialmente reciclável recolhido pela Coleta Seletiva Domiciliar, por localização.
	11.6.6. – Taxa de compostagem de resíduos (Percentual de resíduos domésticos compostados).

**Tabela 6:** Exemplos de indicadores essenciais presentes nas listas 2, 3 e 4 – **ODS12**

<b>Meta</b>	<b>12.5. – Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.</b>
<b>Indicadores</b>	12.5.1. – Percentual de domicílios que dispõem de coleta seletiva em relação ao total de domicílios, por localização.

**Tabela 7:** Exemplos de indicadores essenciais presentes nas listas 2, 3 e 4 – **ODS14**

<b>Meta</b>	<b>14.1. – Até 2025, prevenir e reduzir significativamente a poluição marinha de todos os tipos, especialmente a advinda de atividades terrestres, incluindo detritos marinhos e a poluição por nutrientes.</b>
<b>Indicadores</b>	14.1.2 – Índice de balneabilidade das praias e lagoas.

Já a reclassificação dos indicadores da 4ª lista evitou o risco de seleção de indicadores essenciais apenas com base no critério quantitativo (consenso  $\geq$  a 75%). O balanceamento mais equilibrado da lista final garantiu a seleção de indicadores “mandatórios” sugeridos pela literatura para se avaliar a sustentabilidade urbana, superando a divergência entre os resultados dos grupos focais on-line e do método Delphi.

Destaca-se, no entanto, que o método Delphi não promoveu a validação plena dos indicadores selecionados na etapa anterior dos grupos focais on-line, pois apenas parte deles apresentou convergência de ao menos 75%, tal como estabelecido na metodologia para se obter consenso quanto a sua relevância para avaliação da sustentabilidade urbana.

Embora os processos participativos adotados tenham contribuído para reduzir o tamanho da lista e aprimorá-la qualitativamente, adequando-a melhor ao contexto local, os resultados podem ter sido afetados pelo perfil dos participantes dos grupos focais on-line e do método Delphi. Conforme destacado por Olde et al. (2017), o referencial de cada indivíduo, seus pressupostos, valores, conhecimentos e interesses, pode provocar diferenças na priorização e na seleção dos indicadores, dado o critério de relevância utilizado, e esse aspecto precisa ser reconhecido de forma explícita na pesquisa científica.

## CONCLUSÕES

Tendo em vista que avaliar a sustentabilidade urbana pressupõe a formulação objetiva de um sistema de indicadores, a utilização do Quadro de Indicadores Globais para os ODS – Plataforma ODS Brasil (IBGE, 2023) como ponto inicial revelou-se adequada, pois fornece um modelo abrangente para examinar os múltiplos aspectos da dinâmica e dos contextos histórico, geográfico, sociocultural, econômico, ambiental e institucional de uma cidade complexa como o Rio de Janeiro.

Os ODS, suas metas e indicadores são válidos como um arcabouço geral abrangente para formular indicadores para avaliação e monitoramento da sustentabilidade urbana, incluindo as temáticas de resíduos, água e saneamento, contempladas nos ODS e metas citados, mas são insuficientes, pois muitas metas não podem ser medidas à escala local, ou não são consideradas relevantes para a realidade da cidade.

O estudo oferece uma contribuição de valor ao campo da sustentabilidade urbana, em termos teóricos, metodológicos e empíricos, ao criar um sistema de indicadores adaptado para avaliar, em nível local, a sustentabilidade da cidade do Rio de Janeiro.

Os indicadores relacionados aos ODS6, ODS11, ODS12 e ODS14 abordam diferentes desafios relacionados aos resíduos e ao saneamento em ambientes urbanos, contribuindo para avaliar aspectos de grande relevância para os habitantes da cidade, entre os quais cabe destacar:

Proporção da população que possui acesso a água potável e segura; b) Proporção da população que possui acesso a saneamento; c) Perda de água tratada na distribuição; d) Proporção de resíduos sólidos urbanos coletados e gerenciados em instalações controladas; e) Proporção da população atendida por serviços de coleta de resíduos sólidos, incluindo coleta seletiva; f) Percentual de dias com a qualidade do ar classificada como boa; g) Taxa de compostagem de resíduos; e h) Índice de balneabilidade das praias e lagoas.

Cabe ressaltar ainda que o perfil dos participantes envolvidos nos grupos focais on-line e no método Delphi pode ter condicionado os resultados, pois, embora vivam no Rio de Janeiro e experienciem seu cotidiano urbano, as opiniões desses especialistas temáticos provavelmente carregam um repertório que não representa fielmente a visão do “cidadão comum”, o que pode ter introduzido certo viés nas respostas consolidadas.

Por fim, tal como reconhecido pela ONU (2016), o desenvolvimento econômico e social depende da gestão sustentável dos recursos naturais, o que requer o uso sustentável dos oceanos e mares e recursos de água doce, além do combate à escassez de água e à poluição da água, e as metas e indicadores estabelecidos na Agenda 2030 relacionados aos ODS6, ODS11, ODS12 e ODS14 refletem essa preocupação.

## REFERÊNCIAS

BARRETO, M. M.; MORAES, L. R. S. Definição de indicadores de sustentabilidade ambiental aplicados a rio urbanos com o uso do método Delphi. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*. v. 6, n. 2, p. 67-78. 2018. <https://doi.org/10.9771/gesta.v6i2.25261>.

CASTRO, A. C. MOTTA; CAEIRO, S. S. F. S.; SIMÃO, J. M. C. F. N.; KRONEMBERGER, D. M. P. Sistema de Indicadores com base nas Metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável ao Nível Local: o Caso da Sustentabilidade Urbana do Rio de Janeiro. III Congresso Nacional de Sustentabilidade. 2025.

DIZDAROGLU, D. Developing micro-level urban ecosystem indicators for sustainability assessment. *Environmental Impact Assessment Review*. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.06.004>.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Plataforma ODS Brasil. 2023. <https://odsbrasil.gov.br>.

KAIKA, M. 'Don't call me resilient again!': the New Urban Agenda as immunology... or... what happens when communities refuse to be vaccinated with 'smart cities' and indicators. *Environment and Urbanization*, 29(1), 89-102. 2017. <https://doi.org/10.1177/0956247816684763>.

IBGE. Censo Demográfico 2022.

MORENO PIRES, SARA, FIDELIS, TERESA & RAMOS, TOMÁS (2014). Measuring and comparing local sustainable development through common indicators: constraints and achievements in practice. *Cities* 39, 1–9. Elsevier.

de OLDE, E.M., MOLLER, H., MARCHAND, F. et al. When experts disagree: the need to rethink indicator selection for assessing sustainability of agriculture. *Environ Dev Sustain* 19, 1327–1342 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9803-x>.

ONU (Organização das Nações Unidas). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nações Unidas. 2016.

RAJAONSON, J.; TANGUAY, G. A. A sensitivity analysis to methodological variation in indicator-based urban. *Ecological Indicators*. 83:122-131. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.050>.

RAMOS, T. B.; DOMINGUES, A. R.; CAEIRO, S. S. F.; CARTAXO, J.; PAINHO, M.; ANTUNES, P.; SANTOS, R.; VIDEIRA, N.; WLAKER, R. M.; HUISINGH, D. Co-creating a sustainability performance assessment tool for public sector organisations. *Journal of Cleaner Production*. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128738>.

SCHROEDER, C. S.; KLERIN, L. R. On-line focus group: uma possibilidade para a pesquisa qualitativa em administração. *Cadernos EBAPE. BR*, v. 7, nº 2. 2009. <https://doi.org/10.1590/S1679-39512009000200010>.



## TR A B A L H O 39

# SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ODORES: INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL, PARA ANÁLISE DE TEMPO REAL, EM USINA DE COMPOSTAGEM

Aida Araújo Ferreira

Ana Paula Souza Silva

Gilmar Gonçalves de Brito

Ioná Maria B. R. Barbosa

José Ruan dos Santos Paiva

Larissa M. do Nascimento Lira

Luciana Caribé F. Cantarelli

Rebeca Beatriz de Luna Oliveira Silva

Romero Barbosa de Assis

Vânia Soares de Carvalho

**RESUMO:** O crescimento populacional e a má gestão de resíduos sólidos urbanos intensificam os desafios ambientais, especialmente no tratamento de resíduos orgânicos. A compostagem se apresenta como alternativa sustentável, mas enfrenta limitações relacionadas à emissão de gases de efeito estufa e compostos odoríferos, que impactam o meio ambiente e o bem-estar humano. Técnicas mitigadoras, como uso de aditivos, controle de oxigênio e biofiltros, têm sido aplicadas com êxito. Com isso, este trabalho visa descrever o processo de desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento de Odores. Trata-se de um sistema de baixo custo, capaz de detectar e quantificar os principais gases emitidos durante a compostagem, com armazenamento dos dados. A proposta visa integrar o monitoramento contínuo à gestão de emissões, contribuindo para a otimização do processo e maior conformidade ambiental.

## INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a geração excessiva de lixo ao longo dos anos tem sido responsável pelo desencadeamento de uma série de problemas relacionados ao descarte e gerenciamento seguro de resíduos sólidos urbanos. Nesse sentido, a maioria dos resíduos produzidos a partir de origens domésticas, de serviços de limpeza pública e da indústria são compostos por resíduos sólidos, semissólidos e líquidos orgânicos, que têm um grande potencial de aproveitamento e podem ser tratados de forma ambientalmente adequada [Soares 2019]. No Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em 2022, foram gerados cerca de 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos.

Segundo [Jana et al, 2024], os resíduos sólidos podem ser caracterizados em quatro tipos, de acordo com sua origem, que são eles: resíduos sólidos urbanos, resíduos sólidos industriais, resíduos sólidos agrícolas, resíduos biológicos ou hospitalares. No que diz respeito aos resíduos sólidos urbanos, tem-se os resíduos orgânicos. Os resíduos orgânicos são constituídos basicamente por restos de animais ou vegetais descartados de atividades humanas. Podem ter diversas origens, como doméstica ou urbana (restos de alimentos e podas), agrícola ou industrial (resíduos de agroindústria alimentícia, indústria madeireira, frigoríficos), de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgotos), entre outras [Brasil, Ministério do Meio Ambiente 2025].

Nesse sentido, como alternativa para o gerenciamento sustentável dos resíduos orgânicos, surge a compostagem. A Resolução nº 481 de 03 de outubro de 2017, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, define como compostagem o processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem; sendo denominado composto o produto estabilizado, oriundo do processo de compostagem, podendo ser caracterizado como fertilizante orgânico, condicionador de solo e outros produtos de uso agrícola.

No entanto, apesar da compostagem ser amplamente reconhecida como uma solução sustentável para a gestão de resíduos orgânicos, o processo enfrenta desafios significativos relacionados às emissões de gases e compostos odoríferos, que comprometem tanto o meio ambiente quanto a saúde humana. Agravantes como gases e odores expelidos durante o processo, se destacam como impactos negativos da implementação de estações de compostagem. Dependendo dos valores de concentração, os compostos odorantes não são necessariamente tóxicos

ou perigosos para a saúde humana, entretanto, seus efeitos adversos nos cidadãos podem influenciar negativamente seu bem-estar psicofísico e comportamental. Mal estar, desconforto, irritação, raiva, depressão, náusea, dores de cabeça podem ser gerados pela exposição prolongada ao odor [Capelli *et al*, 2019]. Além disso, segundo [Capelli *et al*, 2019], os odores são hoje, entre os poluentes atmosféricos, a maior causa das reclamações às autoridades locais.

Nesse viés, entre os principais gases emitidos durante o processo de compostagem estão os gases de efeito estufa, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), que contribuem diretamente para o aquecimento global, com emissões mais intensas nas fases mesofílica e de resfriamento [Tran e Geng *et al*, 2024]. Além disso, compostos como amônia ( $\text{NH}_3$ ) e compostos sulfurados voláteis (VSCs), incluindo o sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), são os principais responsáveis pelos odores desagradáveis, predominantemente liberados durante a fase termofílica, representando mais de 70% das emissões totais. Mesmo em locais de compostagem comunitária, onde as operações são menores, emissões de compostos orgânicos voláteis (VOCs), como terpenos, continuam sendo uma preocupação relevante ao longo de todo o processo [Tran e Geng *et al*, 2024].

Como alternativa para diminuição da emissão de gases odoríferos, técnicas de mitigação foram avançando significativamente no cenário ambiental, com destaque para o uso de aditivos inovadores e a otimização das condições do processo. Por exemplo, aplicação de lignina modificada, derivada de resíduos agrícolas, mostrou-se eficaz na redução de emissões de amônia e gases de efeito estufa, enquanto a cobertura com nanofilmes biológicos e o controle de oxigênio durante a compostagem demonstraram potencial para reduzir emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), além de melhorar o teor de carbono orgânico dissolvido [Li e Wang *et al*, 2024]. Estratégias complementares, como o uso de biocarvão e carbonato de cálcio, também contribuem para a diminuição de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), atuando na redução da atividade de microrganismos produtores de gases nocivos [Yang *et al*, 2023].

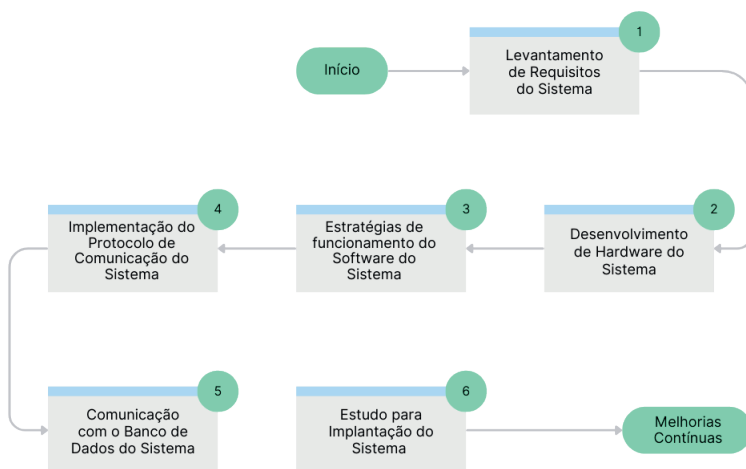
De acordo com [CONAMA 2017], as unidades de compostagem devem adotar medidas de controle ambiental necessárias para minimizar a emissão de odores. Com o propósito de adotar medidas de mitigação eficientes e se adequar às normas estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a empresa parceira Lógica Ambiental<sup>1</sup> considerou a implantação de um biofiltro feito de palha. O biofiltro em questão tem como principal atuação a diminuição da emissão de gases odoríferos provenientes do processo de compostagem de resíduos orgânicos da Estação.

Apesar da eficácia da implantação do biofiltro, existe uma lacuna tecnológica significativa no que diz respeito ao monitoramento em tempo real das emissões de gases odoríferos durante o processo de compostagem que, de maneira eficiente, valide a medida adotada. Essa limitação dificulta a implementação de medidas otimizadoras e evidencia a necessidade de desenvolvimento de dispositivos ou sistemas tecnológicos capazes de integrar o monitoramento de emissões e a aplicação de técnicas de controle de forma automatizada.

A partir da identificação deste desafio a idealização do Projeto descrito neste artigo tornou-se palpável. Com isso, tem-se como objetivo o desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento de Odores - SMO, capaz de detectar os principais gases expelidos durante a compostagem de resíduos orgânicos por meio de componentes eletrônicos de baixo custo e fácil manutenção. Ademais, propõe-se que o Sistema seja capaz de monitorar, em tempo real, a quantidade, em partes por milhão (ppm), dos gases expelidos no ar durante o processo de compostagem e realizar o armazenamento dos dados coletados, para análise e interpretação, a fim de desenvolver modelos de previsão que auxiliem empresas na tomada de decisões para um melhor gerenciamento de seus recursos de contenção, contribuindo, desse modo, para a preservação do meio ambiente.

## METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da tecnologia proposta, realizou-se um estudo aprofundado sobre a aplicabilidade e o potencial de contribuição do SMO (Sistema de Monitoramento de Odores) para empresas de tratamento de efluentes, resíduos sólidos, saneamento, sistema de aterro sanitário, agroindústrias e também para o meio ambiente. Questões como requisitos do sistema, que dita o que ele deve ser capaz ou não de realizar; desenvolvimento de hardware; estratégias de implementação de software; implementação de protocolos; comunicação com o banco de dados e implantação da tecnologia em Usinas de Compostagem foram analisadas com cautela, a fim de desenvolver um produto simples e que apresente eficiência dentro do seu escopo. Este processo pode ser observado abaixo, na **Figura 1**. Com isso, alguns pontos podem ser evidenciados:



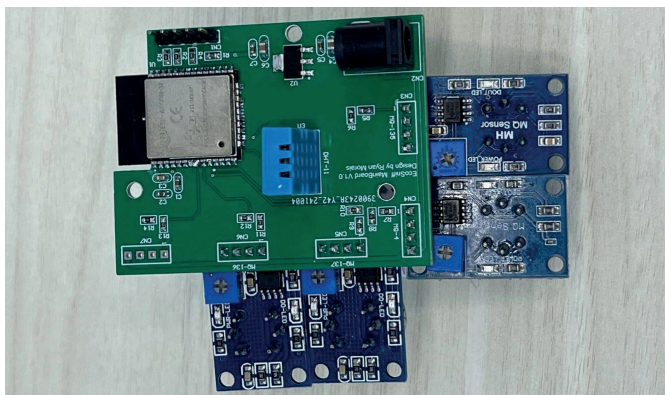
**Figura 1.** Metodologia adotada para o desenvolvimento da tecnologia proposta.

**Fonte.** Próprios autores.

## Quanto ao Hardware do Sistema de Monitoramento

### Componentes eletrônicos e conexão na PCB (Printed Circuit Board)

O *hardware* do Sistema, no que diz respeito à sua composição eletrônica, apresenta atualizações para melhor atender as necessidades de monitoramento do processo de compostagem. A escolha dos componentes para o desenvolvimento do sistema considerou a utilização de uma placa ESP32, devido ao módulo de conexão *WiFi* integrado; os sensores MQ-4 e MQ-135, para a detecção dos gases dióxido de carbono, metano e COVs e o sensor DHT22, para monitoramento de temperatura e umidade. Além dos sensores citados, para aumentar a abrangência de detecção gasosa, adicionaram-se os sensores MQ-7 e MQ-136 para detecção de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), respectivamente, como pode ser observado na **Figura 2**.



**Figura 2.** Estado atual do protótipo.

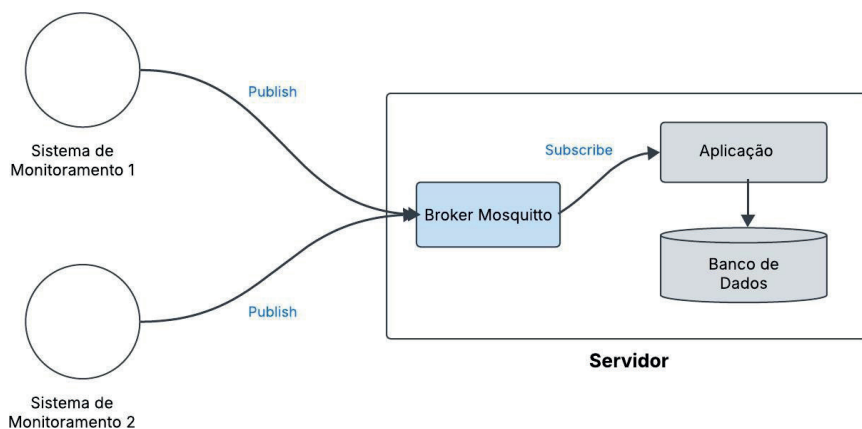
**Fonte.** Próprios autores.

## Quanto ao Software do Sistema de Monitoramento

### Protocolo de Comunicação

As tecnologias *IoT* (*Internet of Things* - Internet das Coisas), por natureza, exigem conexão com a internet para o compartilhamento de dados em plataformas de visualização. No entanto, para reduzir a dependência dessas plataformas, que costumam ter custos elevados e oferecer mais e/ou menos funcionalidades do que o necessário, desenvolveu-se uma conexão direta com o Broker Mosquitto.

Segundo [Borsali 2024], o Broker Mosquitto é um intermediário de mensagens que implementa o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), facilitando a comunicação eficiente entre dispositivos *IoT*. Ele permite o gerenciamento de nós de medição na camada de aplicação da rede, aprimorando o processamento de dados para soluções de monitoramento de baixo custo, **Figura 3**.



**Figura 3:** Diagrama de comunicação entre o SMO e a Aplicação

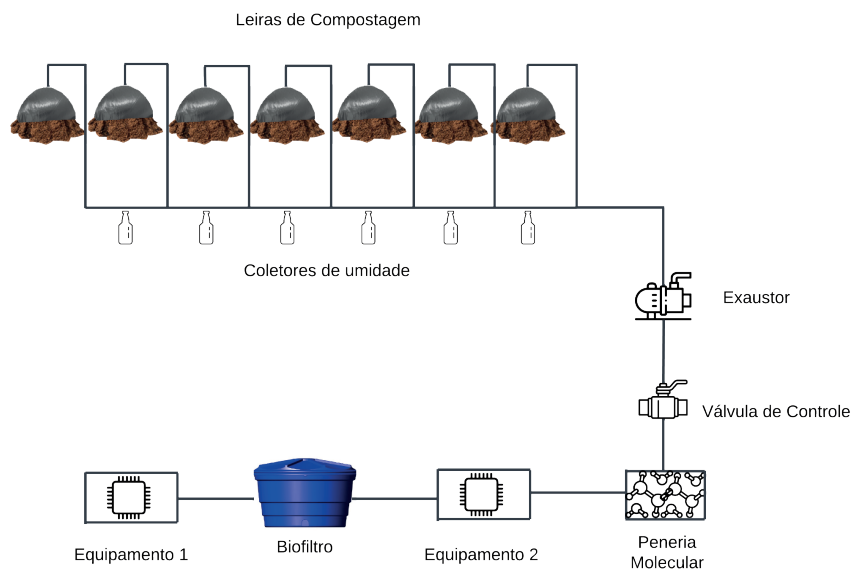
**Fonte:** Próprios autores.

## Estudo de Implantação do SMO na Usina de Compostagem

Durante a fase de estudo para a implantação do protótipo, foi elaborado um fluxograma, evidenciado na **Figura 4**, com base na análise das necessidades essenciais para seu funcionamento adequado. O desenvolvimento considerou suas limitações e os possíveis riscos de oxidação dos componentes, garantindo uma abordagem mais eficiente e segura.

Nesta etapa, a válvula de controle e a peneira molecular desempenham uma função primordial, a fim de garantir o bom funcionamento do protótipo. Nesse sentido, as peneiras moleculares são materiais com propriedades de sorção seletiva, utilizados para separar ou armazenar misturas de compostos com base no formato e tamanho molecular.

Com isso, a peneira molecular, bem como a válvula de controle, neste modelo de implantação, cumprem o papel de evitar o acúmulo excessivo de água proveniente das leiras de compostagem. Esta medida foi apontada para evitar a oxidação dos componentes eletroquímicos do modelo, garantindo uma vida útil mais extensa e o bom funcionamento dos equipamentos.



**Figura 4:** Diagrama de implementação do SMO na Estação de Tratamento utilizada para estudo.

**Fonte:** Próprios autores.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Viabilidade do Sistema de Monitoramento de Odores

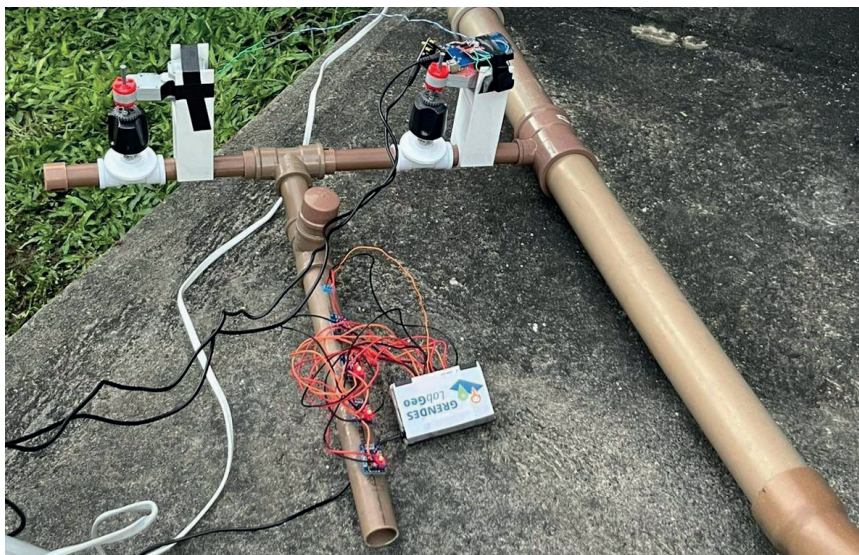
O desenvolvimento do Sistema de Monitoramento de Gases Odoríferos evidencia a integração de conhecimentos, combinando estudos nas áreas ambiental, tecnológica e social para criar uma solução multidisciplinar. Além disso, a escolha por componentes de baixo custo e de fácil manuseio e manutenção favorece a democratização do acesso ao desenvolvimento tecnológico, oferecendo uma alternativa viável e mais acessível em comparação aos equipamentos similares disponíveis.

Dessa forma, a viabilidade técnica e econômica do sistema proposto evidencia seu potencial para suprir a lacuna tecnológica no monitoramento das emissões gasosas da compostagem. A adoção de tecnologias acessíveis e de fácil manutenção amplia sua aplicabilidade em locais com recursos limitados, micro e pequenas empresas, permitindo maior acesso a ferramentas de controle ambiental. Além de auxiliar no monitoramento dos impactos ambientais da compostagem, a tecnologia proposta impulsiona a melhoria da gestão de resíduos orgânicos, apresentando-se como uma solução sustentável para os desafios relacionados aos resíduos sólidos.

## SMO e Análise dos Dados Coletados

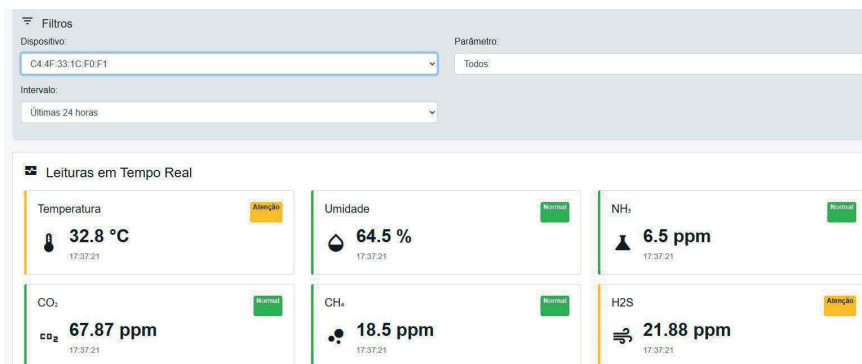
Com a instalação bem-sucedida do Sistema de Monitoramento de Odores (SMO), foi possível iniciar a coleta de dados referentes à emissão de gases durante o processo de compostagem. A operacionalização do equipamento possibilitou a aquisição de informações relevantes para análise e validação da eficiência do biofiltro implantado, além de abrir caminho para o aperfeiçoamento das estratégias de mitigação adotadas. Observou-se que, à medida que se aumenta o tempo de exposição dos sensores à presença dos gases, os dados coletados tornam-se mais representativos da realidade, evidenciando maior fidedignidade na medição das concentrações dos compostos odoríferos. Esses dados iniciais demonstram o potencial do SMO como ferramenta de suporte à tomada de decisões e servirão de base para futuras melhorias no equipamento,

tanto em termos de precisão quanto na capacidade de resposta em tempo real às variações nas emissões gasosas.



**Figura 5:** Hardware do SMO instalado na Estação de Compostagem de estudo.

**Fonte:** Próprios autores.



**Figura 5:** Captura de tela do Software do Sistema (Plataforma de análise) no momento do teste.

**Fonte:** Próprios autores.

## CONCLUSÃO

Diante do exposto, conclui-se que a compostagem, embora seja uma alternativa viável e sustentável para o manejo de resíduos orgânicos, ainda enfrenta desafios significativos relacionados à emissão de gases odoríferos e de efeito estufa. Tais emissões comprometem não apenas a qualidade ambiental, mas também o bem-estar das populações circunvizinhas às unidades de compostagem. Nesse contexto, torna-se evidente a necessidade de ferramentas que não apenas mitiguem os impactos negativos, mas que também viabilizem o monitoramento eficaz e em tempo real dessas emissões, de forma economicamente acessível e tecnicamente robusta.

O desenvolvimento do Sistema de Monitoramento de Odores (SMO) representa um avanço significativo nesse cenário, ao propor uma solução inovadora, de baixo custo e de fácil implantação, capaz de detectar os principais gases emitidos durante o processo de compostagem. Ao integrar sensores específicos, protocolos de comunicação eficientes e uma interface web funcional, o SMO contribui não apenas para a validação das técnicas de mitigação utilizadas, como o biofiltro de palha, mas também para a geração de dados relevantes que subsidiam a tomada de decisões e o aprimoramento contínuo dos processos. Assim, a proposta reafirma o papel da tecnologia como aliada estratégica na construção de sistemas de gestão de resíduos mais sustentáveis e socialmente responsáveis.

## REFERÊNCIAS

SOARES, Silvia Aparecida, et al. A relevância da reciclagem de resíduos sólidos para a sustentabilidade. 2019.

JANA, T.; SAHOO, S.; RAMESH, K.; GHOSH, S.; RAGHAVAN, V.; RAYAN, R. A.; NALLURI, A.; BHARDWAJ, P.; SANA, S. S. Solid Wastes. , p. 62–83, 3 Jul. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Gestão de resíduos orgânicos. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gest%C3%A3o-de-res%C3%AD-duos-org%C3%A2nicos.html>. Acesso em: 22 abr. 2025.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 481, de 03 de outubro de 2017. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, edição 194, p. 93, 09 out. 2017.

CAPELLI, L. et al. Revisão sobre poluição por odor, medição de odor, técnicas de redução, D-NOSES, H2020-SwafS-23-2017-789315. 2019.

TRAN, Huu-Tuan et al. A critical review on characterization, human health risk assessment and mitigation of malodorous gaseous emission during the composting process. Environmental Pollution, p. 124115, 2024.

GENG, Xinyu et al. Greenhouse gas emission characteristics during kitchen waste composting with biochar and zeolite addition. Bioresource Technology, v. 399, p. 130575, 2024.

LI, Guanyi et al. Effects of a nanobiofilm-covered echelon oxygen-controlled composting process on carbon and nitrogen conversion and emission reduction efficiency. Environmental Technology & Innovation, v. 35, p. 103669, 2024.

WANG, Weishuai et al. Modified lignin can achieve mitigation of ammonia and greenhouse gas emissions simultaneously in composting. Bioresource Technology, v. 402, p. 130840, 2024.

YANG, Xinyi et al. Mechanisms of mitigating nitrous oxide emission during composting by biochar and calcium carbonate addition. Bioresource Technology, v. 388, p. 129772, 2023



T R A B A L H O 4 0

## SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO: UM PANORAMA DE INVESTIMENTOS DO COMITÊ MÉDIO PARAÍBA DO SUL

Naomy Euphemio de Souza

Caroline Teixeira Lopes

Geovane Alves de Andrade

**RESUMO:** O saneamento básico no Brasil, definido pela Lei nº 11.445/2007, é estruturado em quatro eixos: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana. A falta desses serviços compromete a saúde pública, eleva os custos de tratamento da água e prejudica os recursos hídricos. Na Região Hidrográfica III, no Médio Paraíba do Sul (RJ), os índices de coleta e tratamento de esgoto eram baixos em 2018, apontando a necessidade de projetos de Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES). Para enfrentar essa situação, o Comitê de Bacias destinou recursos por meio de editais públicos, com seleção baseada em critérios técnicos e socioeconômicos. Três municípios da RH-III foram contemplados com projetos completos, que permitem captar recursos para execução das obras. Essas iniciativas contribuem para as metas do Novo Marco do Saneamento, fortalecem a gestão municipal, melhoram a qualidade da água e impulsionam o desenvolvimento sustentável da bacia.

**PALAVRAS-CHAVES:** sistema de esgotamento sanitário, saneamento básico, bacia hidrográfica, recursos hídricos

### INTRODUÇÃO

De acordo com a Política Nacional de Saneamento Básico, instituída pela Lei nº 11.445/2007, o saneamento básico no Brasil é estruturado em quatro vertentes principais: o abastecimento de água potável; o esgotamento sanitário; a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos; e a drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas. Esses eixos são fundamentais para garantir a saúde pública, a qualidade de vida da população e a proteção do meio ambiente.

No âmbito da gestão de recursos hídricos, o saneamento básico é essencial para a preservação dos recursos hídricos e a promoção da saúde pública. Ao contemplar o tratamento de esgoto, o manejo de resíduos sólidos e a drenagem urbana, tem-se a redução significativa da poluição dos corpos d'água presentes nas bacias hidrográficas. Por outro lado, a ausência ou precariedade desses serviços, acaba impactando diretamente no custo do tratamento da água, comprometendo assim seus usos múltiplos. Investir no tratamento adequado de esgoto não apenas contribui para a saúde ambiental, mas também representa uma medida estratégica para a redução dos custos do sistema de abastecimento de água (ANA, 2020).

Apesar do avanço quanto à coleta e tratamento do esgoto, os valores praticados atualmente estão distantes do planejado pelo Novo Marco do Saneamento - Lei nº 14.026/2020, onde em 2033, 99% dos brasileiros deverão contar com água tratada em suas torneiras, enquanto 90% deles deverão ter acesso à coleta e ao tratamento de esgotamento sanitário (BRASIL, 2020).

A Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, Região Hidrográfica III (RH-III), localizada no Estado do Rio de Janeiro, abrange um total de 19 municípios. Desses, 10 municípios encontram-se totalmente inseridos na área da bacia hidrográfica, já os outros 9 municípios estão parcialmente inseridos, possuindo apenas parte de seu território abrangido por essa região hidrográfica. A delimitação exata da abrangência dos municípios pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1: Área da RH-III



Fonte: Comitê de Bacias Hidrográficas Médio Paraíba do Sul, 2025.

O Panorama da RH-III em coleta e tratamento de esgoto de 2018 possuía parâmetros baixos, conforme Tabela 1. O que levou a que estudos e projetos visando mudança de cenário fossem implantados, considerando assim os crescentes apontamentos por parte dos municípios a necessidade de auxílio na elaboração e execução de projetos.

Tabela 1: Panorama de coleta e tratamento de esgoto da RH-III em 2018

Município	Esgoto Coletado	Coletado Tratado	Tratamento / Consumo
Barra do Pirai	64,49%	0,00%	0,00%
Barra Mansa	100,00%	3,00%	3,00%
Comendador Levy Gasparian	92,66%	0,00%	0,00%
Itatiaia	62,76%	-	0,00%
Mendes	19,98%	-	0,00%
Miguel Pereira	27,63%	100,00%	27,63%
Paraíba do Sul	-	-	0,00%
Paty do Alferes	66,00%	1,63%	1,08%
Pinheiral	81,02%	-	0,00%
Pirai	32,68%	55,73%	18,21%
Porto Real	80,05%	84,94%	67,99%
Quatis	89,10%	67,00%	59,70%
Resende	99,94%	62,07%	62,03%
Rio Claro	-	-	0,00%
Rio das Flores	77,30%	84,44%	65,27%
Três Rios	100,00%	3,17%	3,17%
Valença	64,72%	-	0,00%
Vassouras	25,75%	71,50%	18,41%
Volta Redonda	64,49%	0,00%	0,00%

Fonte: Adaptado de Atlas – Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul, 2018.

Tabela 2: Dados gerais de coleta e tratamento de esgoto da RH-III em 2018

Indicador	Valor
% de esgoto coletado na região	67,56%
% de esgoto coletado tratado na região	41,04%
% de esgoto tratado total na região	17,18%
% de municípios que não fazem tratamento	47,37%

Fonte: Adaptado de Atlas – Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul, 2018.

O panorama geral de coleta e tratamento de esgoto da RH-III, em 2018, apresentava parâmetros muito baixos, conforme Tabela 2. Este cenário demonstrou a necessidade da implementação de estudos e projetos que visassem a mudança da realidade dos municípios. A partir desse diagnóstico foi entendido que os municípios careciam de auxílio na elaboração e execução de projetos de esgotamento sanitário. Sendo assim, traz-se como objetivo desse artigo o desenvolvimento de Projetos de Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) na RH-III.

Diante desse contexto, o Comitê de Bacias Hidrográficas do Médio Paraíba do Sul, destinou recursos para a elaboração de Projetos de SES, através do lançamento de editais. Buscando assim ampliar o atendimento ao tratamento de esgoto, e consequentemente melhorando a qualidade da água na RH - III.

## OBJETIVOS

### Objetivo Geral

Elaboração de projetos técnicos de SES para os municípios da RH-III, com o objetivo de ampliar a coleta e tratamento de esgoto melhorando a qualidade da água e contribuindo para o cumprimento das metas no Novo Marco do Saneamento.

### Objetivos específicos

- I Diagnosticar como estão os sistemas de coleta e tratamento de esgoto dos municípios da RH-III, através dos dados obtidos.
- I Selecionar tecnicamente as áreas e propostas prioritárias para investimentos em SES.
- I Desenvolver os projetos necessários para que os municípios tenham capacidade de captação de recursos.
- I Promoção e integração da gestão de recursos hídricos e saneamento básico, melhorando a saúde pública e a sustentabilidade na RH-III.

## METODOLOGIA

O método utilizado pelo CBH-MPS para selecionar as propostas e desenvolver os projetos de SES foi um rigoroso processo constituído em duas etapas, habilitação (de caráter eliminatório) e hierarquização (de natureza classificatória), conforme os critérios definidos no Ato Convocatório referente, desenhados para garantir que os investimentos fossem direcionados para as áreas com maior necessidade na RH-III.

Na primeira etapa na fase de habilitação foram submetidas as propostas por meio de Formulário de Cadastramento de Demanda e avaliadas quanto à pertinência e conformidade com os requisitos do edital. Só foram habilitadas as propostas que cumpriram os critérios, sendo eles estar localizadas na RH - III do Médio Paraíba do Sul, estar adimplente com a cobrança da água, não possuir projetos similares em andamento ou recursos de outras fontes para esse fim, ter como objeto a implantação ou ampliação de sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário urbano e apresentar integralmente a documentação conforme estabelecido no edital (documentos para habilitação jurídica, regularidade fiscal, qualificação econômico-financeira, qualificação técnica e declarações complementares).

A segunda etapa na fase hierarquização das propostas habilitadas, onde foram aplicados critérios técnicos com pontuação específica para priorizar aquelas de maior relevância estratégica e socioambiental. Os critérios considerados para pontuação foram a população diretamente beneficiada, existência de Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), índice de coleta de esgoto (IN015), conforme dados do SNIS, índice de tratamento de esgoto (IN016), conforme dados do SNIS, índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), produto Interno Bruto (PIB) municipal, existência de concessão formal do serviço de esgotamento, existência de cobrança pelo serviço de água, coleta e tratamento de esgoto, localização geográfica do município dentro da RH-III e a participação prévia na Oficina RX do Esgotamento Sanitário promovida pelo CBH-MPS.

Seguindo esse processo foi possível assegurar maior transparência e racionalidade na alocação dos recursos disponíveis, além de garantir que se fosse investido em áreas com maior necessidade de esgotamento sanitário e com maior potencial de impacto positivo sobre a saúde pública e os recursos hídricos da região.

Após a finalização das etapas de habilitação e hierarquização, foram selecionadas as propostas que apresentaram maior pontuação dentro dos critérios estabelecidos. Essas propostas deram origem à contratação de empresas especializadas para a elaboração do projeto de esgotamento sanitário municipal. Cada projeto conta com a elaboração de um plano de trabalho, de estudos topográficos, de estudos de concepção, do projeto básico, de estudos geotécnicos, de estudos ambientais e, por fim, do projeto executivo. Até a presente data foram finalizados projetos em 3 municípios da RH-III, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Projetos de SES RH - III, municípios atendidos, custo, valor da obra e data base

Município	Custo Contrato	Valor da Obra	Data-base
Porto Real	R\$ 240.000,00	R\$ 13.588.019,66	Mar/23
Quatis	R\$ 162.754,34	R\$ 26.296.519,30	Mar/24
Rio das Flores	R\$ 159.815,15	R\$ 14.972.068,86	Fev/24

Fonte: Comitê de Bacias Hidrográficas Médio Paraíba do Sul, 2025.

RESULTADOS

A elaboração dos Projetos SES na Região Hidrográfica III, permitiu que os três municípios fossem contemplados com projetos completos, envolvendo desde o plano de trabalho até o projeto executivo. Esses projetos têm se mostrado ferramentas estratégicas importantes para a gestão municipal, pois possibilitam a captação de recursos junto a diversas fontes de financiamento, como a inscrição de propostas nos editais do CEIVAP (Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul), voltados à execução de obras e intervenções em saneamento. Além da possibilidade de apoio financeiro junto às instituições como a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), dentre outras.

Foi observado, que além de promover o planejamento técnico necessário para melhorar o sistema de esgotamento sanitário os projetos entregues criaram as condições para que os municípios buscassem efetivamente recursos financeiros, ampliando suas capacidades de investimentos em saneamento e contribuindo para a melhoria da qualidade da água nos corpos hídricos da bacia, para a saúde pública e para o cumprimento das metas previstas no Novo Marco do Saneamento.

REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 19 jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 8 jan. 2007.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000; a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003; a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005; a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007; e a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 158, n. 135, p. 1, 16 jul. 2020. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm). Acesso em: 11 jul. 2025.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL. Área de atuação. Disponível em: <https://www.cbhmedioparaiba.org.br/area-atuacao.php>. Acesso em: 10 jul. 2025.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL. Atlas das microbacias da região hidrográfica Médio Paraíba do Sul. Volta Redonda, 2018. Disponível em: <https://www.cbhmedioparaiba.org.br/conteudo/atlas-CBH-MPS.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2025.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL. Plano de Bacia da Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul. Ano 1, 2 e 3. Disponível em: <https://www.cbhmedioparaiba.org.br/plano-de-bacia.php>. Acesso em: 30 jun. 2025.

RIO DE JANEIRO. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro: PERHI-RJ. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente – INEA, 2014.



## TR A B A L H O 4 1

# TENDÊNCIAS E LACUNAS NA APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS NA PRODUÇÃO ORGÂNICA E AGROECOLÓGICA NO BRASIL: UMA ABORDAGEM BIBLIOMÉTRICA SOB A ÓTICA DA ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

Abel Victor Limpo

Carlos Rodrigues Pereira

Laura Luis Castelo

Naomi Kato Simas

Thelma de Barros Machado

**RESUMO:** A demanda por sistemas alimentares sustentáveis tem impulsionado a produção orgânica e agroecológica no Brasil. No entanto, são escassos os estudos sobre tecnologias sustentáveis aplicadas nesse contexto, especialmente sob a perspectiva da Engenharia de Biosistemas. Este trabalho realizou uma análise bibliométrica na base Scopus (2015–2025), utilizando o software VOSviewer, para mapear tendências e lacunas na literatura científica. Foram identificados cinco clusters temáticos, evidenciando a baixa integração entre inovação tecnológica e agricultura familiar, além da sub-representação do Brasil em redes globais. Os achados reforçam a importância de integrar ciência, tecnologia e sociobiodiversidade para promover sistemas agrícolas mais inclusivos, resilientes e sustentáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agroecologia, Agricultura orgânica, Tecnologias sustentáveis, Engenharia de Biosistemas, Análise bibliométrica.

## INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos saudáveis e produzidos de forma sustentável tem impulsionado o avanço da agricultura orgânica e agroecológica no Brasil. A agricultura constitui uma parcela significativa das economias do mundo e, portanto, pode contribuir para as principais prioridades continentais, como erradicação da pobreza, fome, rápida industrialização, diversificação econômica, recursos sustentáveis, investimentos e gestão ambiental.(Umesha et al., 2017)

A agricultura global ainda enfrenta vários desafios devido aos impactos ambientais adversos causados pela contaminação por herbicidas, tanto no local de aplicação quanto fora dele (Parven et al., 2025). A agricultura global está enfrentando desafios crescentes no nexo de sistemas interconectados de alimentos, energia e água, incluindo, mas não se limitando à, insegurança alimentar persistente e doenças relacionadas à dieta; demandas crescentes por energia e consequências para as mudanças climáticas; e declínio dos recursos hídricos, poluição da água, inundações e secas (Dönmez et al., 2024). Além disso, a degradação do solo e a perda de biodiversidade são gatilhos e consequências desses problemas. (DeLonge and Basche, 2017)

O objetivo de tornar a agricultura sustentável expressa um ideal para garantir que nossas práticas atuais não imponham desvantagens futuras. “Agricultura sustentável” às vezes se refere a práticas agrícolas que se acredita serem “naturais”, que não empregam tecnologias modernas (Mazorra Calero et al., 2024). Alternativamente, o termo às vezes é usado para se referir a práticas agrícolas que evitam o esgotamento de recursos ou que podem deixar às gerações futuras tão bem quanto a geração atual ou que evitarão diminuir as oportunidades futuras ou a capacidade das gerações posteriores de satisfazer suas necessidades (Wolf, 2018)

A transição para sistemas agrícolas sustentáveis requer estratégias inovadoras que equilibrem produtividade, conservação ambiental e resiliência às mudanças climáticas. A agricultura sustentável aproveita cada vez mais as inovações tecnológicas para aumentar a produtividade, a biodiversidade e a resiliência ao microclima (Nesterenko et al., 2022). A infraestrutura verde encontrou aplicação direta em agrossilvicultura, buffers de conservação, agricultura de precisão, sistemas de monitoramento da saúde do solo e soluções baseadas na natureza, como o manejo regenerativo do solo.

Essas aplicações são cruciais para melhorar a saúde do solo, a retenção de água e a biodiversidade, ao mesmo tempo em que mitigam os impactos microclimáticos (Ogwu and Kosoe, 2025). Esses sistemas, alinhados aos princípios da sustentabilidade, enfrentam desafios significativos relacionados à adoção e desenvolvimento de tecnologias apropriadas, especialmente em contextos de agricultura familiar.

Nesse cenário, a Engenharia de Biosistemas desempenha um papel estratégico ao integrar conhecimentos de ciências agrárias, ambientais e tecnológicas para propor soluções inovadoras e de baixo impacto ambiental. No entanto, ainda são limitadas as análises sistemáticas que permitam compreender o panorama da produção científica nacional sobre essas tecnologias. Assim, este estudo objetivou-se na realização de análise bibliométrica para identificar tendências, lacunas e oportunidades de pesquisa na aplicação de tecnologias sustentáveis na produção orgânica e agroecológica brasileira, sob a ótica da Engenharia de Biosistemas

## OBJETIVO

Realizar uma análise bibliométrica da produção científica sobre tecnologias sustentáveis aplicadas à agricultura orgânica e agroecológica no Brasil, sob a perspectiva da Engenharia de Biosistemas, identificando tendências, lacunas e oportunidades de pesquisa.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo utilizou a análise bibliométrica como metodologia principal para identificar as tendências e lacunas na produção científica relacionada à aplicação de tecnologias sustentáveis na agricultura orgânica e agroecológica no Brasil, considerando a atuação da Engenharia de Biosistemas. A bibliometria é uma ferramenta eficaz para mapear o desenvolvimento temático, as redes de colaboração e os campos emergentes dentro de uma área do conhecimento.

A busca de dados foi realizada na base Scopus, reconhecida por sua ampla cobertura em áreas científicas, tecnológicas e agrônômicas. A busca ocorreu em 19 de junho de 2025, utilizando os seguintes descritores em inglês, combinados por operadores booleanos:

“Agroecology” AND “Technology” AND “Sustainable agriculture”)

Foram incluídos artigos científicos publicados entre 2015 e 2025, restringindo-se a documentos revisados por pares. Teses, TRABALHOS de livros, anais de eventos e editoriais foram excluídos. Os dados extraídos incluíram título, autores, palavras-chave, resumo, ano de publicação, afiliações e referências.

Os arquivos foram exportados da base Scopus no formato CVS e processados por meio do software VOSviewer (versão mais recente disponível), especializado em visualização de redes bibliométricas. Foram utilizadas duas técnicas principais:

1. Análise de coocorrência de palavras-chave (author keywords), com o objetivo de identificar os termos mais frequentes e suas conexões temáticas;
2. Distribuição temporal de publicações, permitindo observar o comportamento da produção científica ao longo dos anos.

Para construção do mapa de coocorrência, foi estabelecido um critério mínimo de cinco ocorrências por palavra-chave, com o intuito de focar em termos mais relevantes e recorrentes. Os dados foram agrupados por clusters temáticos automaticamente gerados pelo algoritmo de agrupamento do VOSviewer, que utiliza a força dos vínculos de coocorrência para formar redes de significados.

TENDÊNCIAS E LACUNAS NA APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS NA PRODUÇÃO ORGÂNICA E AGROECOLÓGICA NO BRASIL: UMA ABORDAGEM BIBLIOMÉTRICA SOB A ÓTICA DA ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

TRABALHO 41



493

493

493

O termo *organic farming* formou um cluster autônomo (Cluster Azul), com conexões fortes com expressões como *transition*, *system thinking*, *environmentalism* e *bottom-up approach*. Esse grupo representa um pensamento sistêmico mais filosófico e político, relacionado à mudança de paradigma na agricultura. A Engenharia de Biosistemas pode contribuir nesse contexto com a concepção de sistemas produtivos integrados, que respeitem os princípios ecológicos, sociais e energéticos, fortalecendo a transição agroecológica por meio de ferramentas como análise de ciclo de vida e uso eficiente de recursos.

No cluster Amarelo a presença de termos como *integrated pest management*, *stakeholder* e *North Africa* sugere que parte da produção científica está voltada à articulação entre práticas sustentáveis e envolvimento social e institucional. No entanto, há carência de estudos que explorem essas conexões dentro da realidade brasileira, especialmente com relação ao papel das agroindústrias familiares e da sociobiodiversidade. A Engenharia de Biosistemas pode atuar na elaboração de estratégias tecnológicas participativas, adaptadas a contextos locais.

O cluster roxo, que inclui *ecosystem services*, *regenerative farming* e *agricultural robots*, representa tendências emergentes com forte potencial de impacto na sustentabilidade agrícola. A agricultura regenerativa, embora ainda pouco explorada no Brasil em termos tecnológicos, apresenta oportunidades para o desenvolvimento de soluções inovadoras, como sistemas de monitoramento da saúde do solo e tecnologias de sequestro de carbono. Estes caminhos apontam para novos horizontes de pesquisa e atuação da Engenharia de Biosistemas no campo agroecológico.

A agroecologia é reconhecida internacionalmente como uma poderosa alavanca para tornar a agricultura mais sustentável e resiliente às mudanças climáticas. Na África Subsaariana, muitos estudos mostraram que a agroecologia pode contribuir para o emprego, a segurança alimentar e a restauração de recursos e serviços ecossistêmicos (Cousin et al., 2021).

No estudo realizado por (Peng and Rajjou, 2024) Como resultado, a agroecologia de precisão oferece uma oportunidade única de sintetizar o conhecimento tradicional e novas tecnologias para transformar os sistemas alimentares. Ao fazer isso, a agroecologia de precisão pode oferecer soluções para os maiores desafios da agricultura em alcançar a sustentabilidade em um grande estado de mudança global (Nakbanpote et al., 2023) A esperança é fomentar o interesse pela agricultura sustentável e incentivar a adoção de práticas ecologicamente corretas no setor agrícola, contribuindo assim para um futuro mais sustentável e equitativo na agricultura (Vélez Duque et al., 2024).

Os desafios e oportunidades que os países da América Latina e do Caribe (ALC) enfrentam para atender ao desenvolvimento sustentável forçam as nações a buscar alternativas tecnológicas para garantir um melhor desenho de políticas. Também inclui a transferência de tecnologia para a inclusão produtiva da população rural da região (Durán et al., 2023)

A análise revelou que, apesar da crescente produção científica sobre *agroecologia* e *agricultura sustentável*, há baixa integração entre os temas tecnológicos e a realidade brasileira. Poucos estudos apresentam aplicação direta de tecnologias sustentáveis desenvolvidas ou adaptadas para pequenos produtores orgânicos. Além disso, o termo “Brasil” aparece com baixa densidade de conexão, sinalizando uma sub-representação da produção nacional nesse campo. Tais lacunas indicam a necessidade de:

- Maior investimento em pesquisa aplicada no contexto da agricultura familiar orgânica;
- Desenvolvimento de tecnologias apropriadas à agroecologia sob os princípios da Engenharia de Biosistemas;
- Promoção de colaborações interdisciplinares e transversais entre engenharias, ciências agrárias e ciências sociais;
- Valorização da sociobiodiversidade como vetor de inovação tecnológica e sustentabilidade.

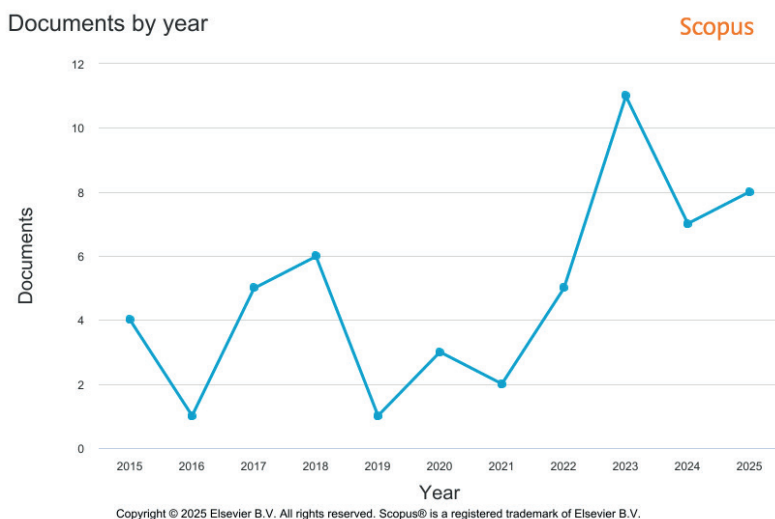


Figura 2: Mapa de distribuição das publicações por ano

A distribuição temporal dos documentos entre 2015 e 2025 revela uma trajetória irregular, mas com tendência de crescimento nas publicações relacionadas à aplicação de tecnologias sustentáveis na produção orgânica e agroecológica. Em 2015 e 2016, o número de publicações foi modesto (4 e 1, respectivamente), refletindo o estágio inicial de consolidação do tema. A partir de 2017 observa-se um aumento gradual, alcançando 6 documentos em 2018. Contudo, entre 2019 e 2021, houve

uma queda acentuada, com destaque negativo em 2019 (apenas 1 documento). A partir de 2022, verifica-se uma recuperação e forte crescimento em 2023, ano com o maior número de publicações (11 documentos). Esse pico pode estar associado à intensificação das discussões sobre transição agroecológica e sustentabilidade pós-pandemia, além do fortalecimento de políticas públicas e financiamento de pesquisas aplicadas. Em 2024 e 2025, o volume permanece relativamente alto (7 e 8 documentos), sinalizando uma tendência positiva de consolidação do tema.

Os dados temporais evidenciam que a temática das tecnologias sustentáveis aplicadas à agroecologia e produção orgânica está em expansão recente, porém ainda enfrenta desafios de regularidade e continuidade na produção científica. A variação ao longo da década pode indicar fatores externos influentes, como políticas governamentais, financiamento de pesquisa e visibilidade acadêmica do tema.

O crescimento observado a partir de 2022 sugere maior integração entre os setores de ciência, tecnologia e agricultura familiar, especialmente com a valorização da agroecologia como estratégia resiliente diante das mudanças climáticas. Apesar disso, o número total de publicações ainda é relativamente baixo, considerando a urgência global por sistemas alimentares sustentáveis. Isso aponta para uma lacuna de investimento e institucionalização do tema no Brasil, além da necessidade de ampliar a atuação de áreas como a Engenharia de Biosistemas, que pode oferecer soluções tecnológicas adaptadas à realidade dos pequenos produtores e fomentar a inovação inclusiva nos territórios rurais.

O uso de fertilizantes tem, no entanto, um custo ambiental, e os fertilizantes também não têm sido um fator de produção economicamente muito eficaz para tirar muitos agricultores pobres da pobreza, especialmente em países africanos onde a aplicação em solos pobres de composições desequilibradas de nutrientes em fertilizantes mostrou impacto limitado no aumento da produtividade (Bindraban et al., 2015)

Com base nos estudos realizados por (Kurniawati et al., 2023) revelou-se que os fertilizantes de base biológica (BBFs) foram promovidos como uma solução para ajudar a gerenciar problemas de biorresíduos e melhorar as condições de saúde do solo. Seu potencial é substituir fertilizantes minerais devido à dependência de energia não renovável e ao acúmulo que ameaça as questões ambientais.

A intensificação sustentável é uma visão idealista amplamente compartilhada para a agricultura, na qual a produção e outros serviços ecossistêmicos aumentam conjuntamente para atender às necessidades futuras da humanidade e da biosfera (Jordan and Davis, 2015)

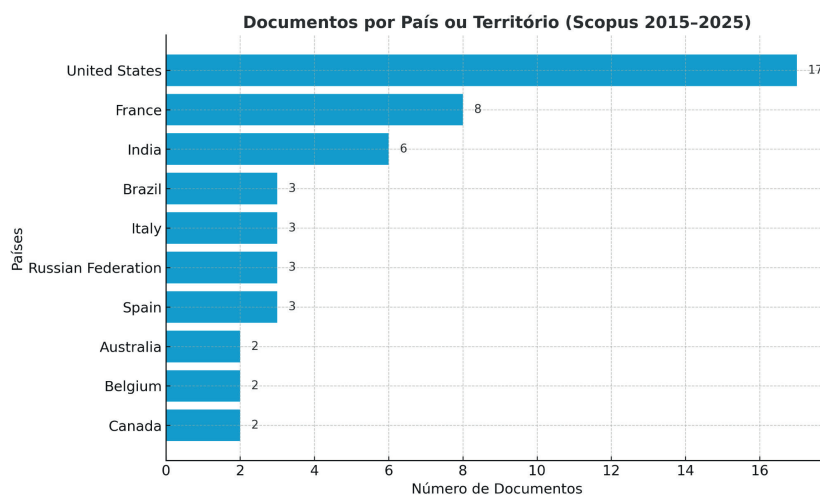


Figura 3: Distribuição de documentos por país

A análise da distribuição de documentos por país evidencia uma concentração da produção científica em nações do hemisfério norte, especialmente os Estados Unidos (17 documentos), França (8) e Índia (6). Esses três países lideram significativamente as publicações relacionadas à aplicação de tecnologias sustentáveis na agroecologia e agricultura orgânica, demonstrando maior institucionalização da temática e investimentos consistentes em pesquisa científica voltada à sustentabilidade.

O Brasil aparece com apenas 3 documentos, o que reforça a percepção de sub-representação da produção científica nacional nesse campo, conforme também identificado nos mapas de coocorrência. Esse dado é preocupante, considerando o potencial agroecológico brasileiro, a diversidade biocultural e a relevância estratégica da agricultura familiar no país.

Além disso, países como Itália, Federação Russa, Espanha e Austrália também registraram participação modesta, com 2 a 3 publicações. O baixo volume em territórios latino-americanos destaca uma lacuna regional que compromete o avanço de soluções adaptadas às realidades locais. Isso ressalta a necessidade de investimentos específicos em pesquisa aplicada, políticas públicas de fomento e ampliação da atuação da Engenharia de Biosistemas no Brasil, para alinhar ciência e tecnologia com os princípios agroecológicos e promover uma agricultura verdadeiramente sustentável e inclusiva.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura orgânica e agroecológica no Brasil está diante de um ponto de inflexão: ou avançamos na integração entre ciência, tecnologia e sustentabilidade, ou corremos o risco de perpetuar um modelo de produção excludente e ambientalmente insustentável. Os resultados desta análise bibliométrica revelam que, embora exista um crescente interesse científico pelo tema, a aplicação prática de tecnologias sustentáveis ainda é insuficiente, especialmente no contexto da agricultura familiar.

A Engenharia de Biosistemas se posiciona como uma ferramenta estratégica para transformar esse cenário, ao integrar inovação tecnológica com respeito aos princípios ecológicos e às realidades socioculturais locais. No entanto, para que essa transformação ocorra, é urgente ampliar o investimento em pesquisa aplicada, fomentar redes de colaboração interdisciplinares e valorizar os saberes da sociobiodiversidade como insumos tecnológicos.

Mais do que uma demanda acadêmica, trata-se de um imperativo ético e ambiental: garantir sistemas alimentares sustentáveis, inclusivos e resilientes não é apenas uma meta é uma necessidade vital para o futuro do planeta.

## REFERÊNCIA

Bindraban, P.S., Dimkpa, C., Nagarajan, L., Roy, A., Rabbinge, R., 2015. Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. *Biol. Fertil. Soils* 51, 897–911. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1039-7>

Cousin, P., Husson, O., Thiare, O., Ndiaye, G., 2021. Technology-enabled sustainable agriculture: The agroecology case, in: Cunningham M., Cunningham P. (Eds.), *IST-Africa Conf.*, IST-Africa. Presented at the 2021 IST-Africa Conference, IST-Africa 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

DeLonge, M., Basche, A., 2017. Leveraging agroecology for solutions in food, energy, and water. *Elementa* 5. <https://doi.org/10.1525/elementa.211>

Dönmez, D., Isak, M.A., İzgü, T., Şimşek, Ö., 2024. Green Horizons: Navigating the Future of Agriculture through Sustainable Practices. *Sustain. Switz.* 16. <https://doi.org/10.3390/su16083505>

Durán, Y., Gómez-Valenzuela, V., Ramírez, K., 2023. Socio-technical transitions and sustainable agriculture in Latin America and the Caribbean: a systematic review of the literature 2010–2021. *Front. Sustain. Food Syst.* 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1145263>

Jordan, N.R., Davis, A.S., 2015. Middle-way strategies for sustainable intensification of agriculture. *BioScience* 65, 513–519. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv033>

Kurniawati, A., Toth, G., Ylivainio, K., Toth, Z., 2023. Opportunities and challenges of bio-based fertilizers utilization for improving soil health. *Org. Agric.* 13, 335–350. <https://doi.org/10.1007/s13165-023-00432-7>

Mazorra Calero, C.A., Provenza, F.D., Arencibia Cuellar, A.C., González-García, E., 2024. Feasibility of using bean crop residues for feeding sheep during dry season shortage: implications for economic and environmental resilience. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 48, 789–806. <https://doi.org/10.1080/21683565.2024.2341255>

Nakbanpote, W., Srihaban, P., Chokkuea, W., Dungkaew, W., Taya, U., Khanema, P., Munjit, R., Jitto, P., Busababodhin, P., Khankhum, S., Somtrakoon, K., Prasad, M.N.V., 2023. Restoring Ecosystems: Guidance from Agroecology for Sustainability in Thailand, in: *Agroecological Approaches for Sustainable Soil Management*. Wiley, pp. 201–229. <https://doi.org/10.1002/9781119911999.ch8>

Nesterenko, N.Y., Kolyshkin, A.V., Iakovleva, T.V., 2022. Farm Size in Organic Agriculture: Analysis of European Countries and Russia, in: *Environ. Footpr. Eco-Des. Product Process*. Springer, pp. 189–199. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-8731-0\\_19](https://doi.org/10.1007/978-981-16-8731-0_19)

Ogwu, M.C., Kosoe, E.A., 2025. Integrating Green Infrastructure into Sustainable Agriculture to Enhance Soil Health, Biodiversity, and Microclimate Resilience. *Sustain. Switz.* 17. <https://doi.org/10.3390/su17093838>

Parven, A., Meftaul, I.M., Venkateswarlu, K., Megharaj, M., 2025. Herbicides in modern sustainable agriculture: environmental fate, ecological implications, and human health concerns. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 22, 1181–1202. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05818-y>

Peng, S., Rajjou, L., 2024. Unifying antimicrobial peptide datasets for robust deep learning-based classification. *Data Brief* 56. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110822>

Umesha, S., Singh, P.K., Singh, R.P., 2017. Microbial biotechnology and sustainable agriculture, in: *Biotechnol. for Sustain. Agric.: Emerg. Approaches and Strateg.* Elsevier, pp. 185–205. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812160-3.00006-4>

Vélez Duque, P., Centanaro Quiroz, P., Martillo, J.J., Alvarado Barzallo, A., 2024. Preparation of a thematic map of agroecological crops using Google Earth. *Salud Cienc. Tecnol.* 4. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20241018>

Wolf, C., 2018. Sustainable agriculture, environmental philosophy, and the ethics of food, in: *The Oxf. Handb. of Food Ethics*. Oxford University Press, pp. 29–52. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199372263.013.35>



## UM ESTUDO SOBRE COOPERATIVAS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS E O ICMS ECOLÓGICO: AS DEMANDAS DOS CATADORES E CATADORAS NA GESTÃO COMPARTILHADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

Tatiane Soares da Cunha Codeço

Maximiano Prates

Rafael Ângelo Fortunato

Ubirajara Aluizio de Oliveira Mattos

Valéria Pereira Bastos

**RESUMO:** A gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil é um desafio intensificado pela elevada geração de resíduos e pela desigualdade socioambiental. Este artigo analisa o papel das cooperativas de catadores no contexto da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e da possibilidade de obtenção dos recursos do o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços para fins ecológicos (ICMS-E) pelos catadores e catadoras no estado do Rio de Janeiro. Através de estudo de caso e entrevista realizada com lideranças de duas cooperativas, investigou-se o conhecimento acerca do ICMS-E, as demandas e os obstáculos à inclusão efetiva dos catadores nessas políticas públicas. O resultado apontou a urgência de ampliar o reconhecimento dos catadores como agentes ambientais e de regulamentar sua participação no acesso aos recursos do ICMS-E, promovendo justiça socioambiental e fortalecimento das suas organizações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cooperativas de materiais recicláveis, Resíduos Sólidos Urbanos, Catadores e Catadoras de materiais recicláveis, Gestão compartilhada, ICMS Ecológico.

## INTRODUÇÃO

A gestão dos resíduos sólidos no Brasil é uma atribuição constitucional, serviço mantido pelo estado, que confere à esfera municipal a competência para a sua execução e gerenciamento. Esse desafio se torna ainda mais complexo quando se considera que, em 2022, a geração de resíduos sólidos urbanos no país alcançou um total anual de aproximadamente 81 milhões de toneladas. Isso implica que, em média, cada brasileiro produziu 382 kg de resíduos naquele ano (ABREMA, 2023).

O Estado do Rio de Janeiro é o segundo estado com a maior densidade demográfica do Brasil e a segunda maior economia, e ainda possui o terceiro litoral mais extenso do país (IBGE cidades, 2019). Conhecido pelo seu desenvolvimento socioeconômico, com alto consumo, atividades ligadas ao setor terciário da economia, o que provoca o aumento da exploração dos recursos naturais e do descarte de resíduos sólidos urbanos. Desse modo, apresenta consideráveis desafios socioambientais a serem trabalhados pelas esferas do governo, tais como a necessidade de avançar nas taxas de saneamento e educação, além de aprimorar a gestão de resíduos sólidos urbanos e garantir o desenvolvimento socioambiental no território fluminense.

O Brasil recicla anualmente apenas 4% do total de resíduos recicláveis gerados. Em 2022, uma quantidade total de materiais coletados pelos catadores e catadoras e destinados para reciclagem foi de cerca de 1,77 milhão de toneladas (ICS, 2024), contribuindo para o aumento da vida útil de aterros e diminuição de consumo de matérias-primas virgens na fabricação de novos produtos e embalagens. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea, 2013), os catadores são responsáveis por aproximadamente 90% de tudo que é reciclado no Brasil. Nesse contexto, é relevante investigar como os catadores organizados devem ser relacionados nas políticas públicas como o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços para fins ecológicos, o ICMS Ecológico (ICMS-E), que podem beneficiar suas práticas e aumentar a sua renda, além de fortalecer a sua posição na cadeia da reciclagem. Esses trabalhadores são essenciais na coleta seletiva e na reciclagem.

O ICMS-E consiste na redistribuição de parte da arrecadação do ICMS entre os municípios de um estado, com base em critérios ecológicos previamente definidos por legislação estadual. De acordo com a legislação vigente, para que seja feito o cálculo do índice de repasse do ICMS - E são levados em conta os seguintes critérios: existência e nível de implementação de áreas protegidas (45%), qualidade ambiental dos recursos hídricos do município (30%) e resíduos sólidos com disposição final adequada (25%).

O conceito de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) está diretamente relacionado à noção de serviços ecossistêmicos, entendidos como externalidades positivas geradas pelos ecossistemas que oferecem benefícios à sociedade. Esses

serviços são frequentemente classificados como bens públicos, pois apresentam características de não exclusividade e não rivalidade no consumo, ou seja, não se pode impedir seu uso por terceiros e múltiplos indivíduos podem utilizá-los simultaneamente sem reduzir sua disponibilidade. Tais propriedades dificultam a definição de direitos de propriedade sobre esses bens (pois são bens de uso comum), o que contribui para falhas de mercado, como a ausência de remuneração aos produtores (agentes ambientais definidos por lei) e o consumo excessivo por parte dos usuários (SEEHUSEN, et al. 2007).

Este artigo consiste na análise de organizações de catadores de materiais recicláveis acerca do conhecimento sobre o instrumento ICMS-E, além de levantar as principais demandas dos catadores nesse sentido. Ainda, relaciona a questão do ICMS-E no quesito “resíduos sólidos” com as necessidades dos catadores (as) em relação a essa política pública.

A metodologia utilizada envolveu a revisão bibliográfica do tema, aplicado o instrumento questionário por meio entrevista. Foi utilizado o critério “Resíduos sólidos com disposição final adequada” como variável que inclui os catadores no quesito “coleta seletiva” para conhecer suas principais demandas e necessidades relacionadas a essa política pública e discutir os desafios enfrentados por essas cooperativas na gestão dos resíduos sólidos urbanos objetivando a obtenção dos recursos do ICMS-E.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### O ICMS ECOLÓGICO (ICMS-E)

O ICMS-E é um instrumento de política fiscal e ambiental utilizado no Brasil para incentivar os municípios a adotarem práticas de conservação ambiental e gestão sustentável dos recursos naturais. Também conhecido como ICMS Verde, ele surge originariamente no estado Paraná, em 1991. No estado do Rio de Janeiro, foi Instituído pela Lei Estadual nº 5.100/2007 e regulamentado pelo Decreto Estadual nº 41.844/2009. Este mecanismo condiciona parte do repasse do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) aos municípios ao cumprimento de metas ambientais. Um dos critérios de maior peso é a correta destinação de resíduos sólidos, que inclui a implementação de sistemas de coleta seletiva e a melhoria dos aterros sanitários. O ICMS-E é talvez o mais poderoso instrumento indireto de apoio aos catadores no estado. A pontuação dos municípios aumenta significativamente quando a coleta seletiva é realizada em parceria com cooperativas de catadores (coleta seletiva solidária). Isso cria um incentivo financeiro direto para que as prefeituras estruturem programas de reciclagem que integrem e remunerem as organizações de catadores, alinhando-se perfeitamente aos objetivos do Programa Pró-Catador.

No estado do Rio de Janeiro, a parcela de 2,5% é repartida pelos municípios com base no IFCA (Índice Final de Conservação Ambiental), calculado com base do desempenho do município em suas políticas de áreas protegidas, gestão de resíduos sólidos, além de coleta e tratamento de esgoto. O IFCA é calculado com base nas análises da Secretaria do Ambiente e Sustentabilidade (SEAS/RJ) e do Instituto Estadual do Ambiente (Inea/RJ) e apresentadas no sítio eletrônico do Observatório do ICMS-E.

## O INSTRUMENTO COLETA SELETIVA E A INCLUSÃO DE CATADORES

A coleta seletiva é instrumento definido na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, que visa viabilizar a separação na fonte geradora e a destinação correta dos resíduos, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e dos materiais, o aumento da vida útil dos aterros sanitários e a promoção da reciclagem. De acordo com a PNRS, a coleta seletiva deve ser implantada pelos municípios como parte integrante de seus Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), priorizando a inclusão socioeconômica de catadores organizados em cooperativas ou associações, reforçando o princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e exigindo o envolvimento de diferentes atores: poder público, setor empresarial e sociedade civil.

Além disso, a coleta seletiva, quando solidária, refere-se à doação, pelo poder público, de resíduos a cooperativas constituídas por catadores. Contudo, o Decreto Federal Nº. 10.936/2022 institui o Programa Nacional de Logística Reversa e o Programa Coleta Seletiva Cidadã, determinando que cooperativas de catadores deem destinação final adequada aos rejeitos da reciclagem, além do Planares (Plano Nacional de Resíduos Sólidos). No âmbito do estado do Rio de Janeiro temos o Decreto nº 40.645/07, que regulamenta a coleta seletiva de materiais recicláveis descartados por órgãos públicos estaduais, estabelecendo a destinação desses materiais para associações e cooperativas de catadores e a atuação das cooperativas de catadores e catadoras de materiais recicláveis, reconhecendo esses profissionais como protagonistas na gestão compartilhada dos resíduos sólidos urbanos.

## METODOLOGIA

Neste artigo, realiza-se a investigação através estudo de caso envolvendo duas cooperativas de catadores de materiais recicláveis - denominadas C1 e C2 -, ambas localizadas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Segundo os critérios de escolha das organizações foram feitos com base empírica, no processo de observação escolheu-se as que são chave no entendimento das

questões sobre a atual conjuntura pela qual vêm passando os catadores de materiais recicláveis, importantes atores sociais na cadeia da reciclagem. A área de estudo é fundamental na gestão dos RSU na RMRJ, sendo a Baixada fluminense área de forte territorialidade socioambiental e na qual se identifica racismo ambiental, além de ser assolada por questões sociais de relevância no cenário brasileiro relacionadas à temática da gestão compartilhada de resíduos sólidos e às políticas públicas de cunho socioambiental.

Este artigo refletiu uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório, com a apresentação de um estudo de caso. Por investigar um cenário recente e relativamente inédito, trata-se de uma pesquisa exploratória, que visa proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo explícito ou construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e Estudos de Caso (GIL, 1991, p. 26).

Foi realizada também pesquisa documental nos relatórios produzidos por instituições diversas e pelo poder público, além de termos de referência, leis, decretos, deliberações e resoluções a fim de obter dados e informações referentes à base legal concernente ao objeto de pesquisa. A etapa subsequente correspondeu à pesquisa de campo para coleta de dados.

Por ser uma técnica de investigação que busca apreender de que forma os entrevistados atribuem significados a problemas e situações previamente não estruturados com base nos pressupostos do pesquisador (Martins; Theóphilo, 2009), além de seu potencial de fazer virem à tona desejos, percepções, sentimentos, crenças e expectativas dos sujeitos de uma pesquisa (Gil, 2008), a entrevista será adotada como procedimento de campo para coleta de informações, evidências e dados de natureza qualitativa a respeito das percepções e opiniões de diversos atores sociais e, sobretudo, informantes-chave relacionados ao objeto de pesquisa, sendo sua eficácia projetada para o alcance tanto do objetivo geral quanto de todos os objetivos específicos. As entrevistas realizadas são do tipo semiestruturada, onde o pesquisador lança mão de um roteiro de perguntas previamente elaboradas, porém com flexibilidade para apresentar novas indagações conforme o andamento do processo (Martins; Theóphilo, 2009).

**Figura 1:** roteiro de perguntas das entrevistas

---

➤ Nome Completo do Respondente:

---



---

➤ Instituição:

➤ Função do respondente:

➤ Há quantos cooperados? Quantos homens ( ) quantos mulheres ( );

➤ O que reciclam?

➤ Quais são as características do entorno da cooperativa?

➤ Quanto a coleta regular e seletiva dos resíduos no bairro em que está localizada a cooperativa:

➤ Participa de algum programa de coleta seletiva solidária? ( ) SIM ( ) NAO

➤ Se sim, quais?

➤ Acessa edital público socioambientais? ( ) SIM ( ) NAO

➤ Se sim, quais?

➤ Conhece o ICMS-Ecológico? ( ) SIM ( ) NAO

➤ Se não, o que vem à mente quando pensa em ICMS-E?

➤ Já recebeu recurso sabendo que era oriundo de ICMS-E?

Fonte: elaborado pelos autores

Os respondentes-chave foram duas das principais lideranças (uma de cada cooperativa) das cooperativas de catadores de materiais recicláveis C1 e C2, que são representantes dos cooperativados conhecidos nos movimentos sociais de catadores. O roteiro foi aplicado presencialmente em cada uma das cooperativas no mês de março de 2024.

## RESULTADOS

### O estudo de caso

#### A Cooperativa de catadores do município de Mesquita

A primeira cooperativa pesquisada, aqui denominada **C1**, é atuante no município de Mesquita desde 1993, é uma organização pioneira nas atividades de coleta e

triagem de materiais no **Programa Municipal de Coleta Seletiva (PMCS)**, referência para a construção de políticas públicas no município de Mesquita e na inserção de catadores em grupos organizados, além de peça importante na implementação do Programa Coleta Seletiva Solidária do estado do Rio de Janeiro. O município de

Mesquita-RJ faz fronteira com os municípios Nova Iguaçu e Belford Roxo, ambos situados na Baixada Fluminense, na Região Metropolitana da cidade do Rio de Janeiro (RMRJ).

É composta por 13 cooperados, sendo 12 mulheres e 1 homem. Possui uma rede com diversos pontos de coleta seletiva nos municípios de Mesquita, Nova Iguaçu e Belford Roxo, entre residências, comunidades, escolas, comércios e empresas. Ainda, possui parceria com a prefeitura de Mesquita e, apesar de não participar diretamente da gestão pública municipal atual, mesmo constando no Plano Municipal de Coleta Seletiva (PMCS), não faz uso das rotas semanais, pois sua atuação é independente da Prefeitura. Durante a criação das novas cooperativas, ela foi protagonista do modelo de gestão de coleta seletiva municipal ao executar o treinamento das demais cooperativas do município. Apesar de coletarem e fixarem, os cooperados, assim como os catadores de materiais recicláveis, não recebem pagamento pelo serviço prestado. O pagamento por serviço ambiental (PSA) é demanda dos movimentos sociais de catadores pelo serviço que prestam enquanto agentes ambientais.

O modelo de empreendimento econômico solidário tem operado em produção e rateio entre os cooperados, e o rendimento tem sido menor que um salário e que a média estadual (RJ) R\$ 1.352,74 (um mil trezentos e cinquenta e dois e setenta e quatro centavos), números do anuário de reciclagem (2023). Ainda é descontada a contribuição de seguro social, os cooperados possuem seguro de vida e contam com horário fixo, que varia entre 6 a 8 horas por dia e entre 5 e 6 dias da semana. São realizadas reuniões frequentes e assembleias, e coletados por eles materiais das quatro famílias dos recicláveis: plástico, vidro, metal e papel.

Atualmente a organização coleta nos prédios públicos da empresa e atua em um projeto vencedor de um edital de apoio financeiro junto com outras cooperativas. Além disso, vem ao longo dos anos participando de editais de chamamento público como os da Casa da Moeda Brasil, Emlurb, Marinha do Brasil, Furnas Centrais Elétrica, etc.

## A Cooperativa de catadores do município do Rio de Janeiro

A Cooperativa de Catadores e Catadoras aqui denominada **C2** situa-se no município do Rio de Janeiro. No último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município do Rio de Janeiro apresentou uma população de 6.211.423 de pessoas, densidade demográfica de 5.265,82 hab/km<sup>2</sup>. habitantes

e uma área total de 1.200,26 km<sup>2</sup>. Localizada na zona norte do município do Rio de Janeiro –RJ, trata-se de uma cooperativa que iniciou em 2003 o trabalho de coleta seletiva de materiais recicláveis e, entre outras atividades, promove educação ambiental realizada por meio de parcerias.

De acordo com dados fornecidos pela instituição, atualmente ela é composta por 86 cooperados, sendo 47 mulheres e 39 homens, que atuam em funções variadas, dos quais dez haviam participado da fundação. Possui ainda a particularidade de possuir cooperados oriundos do extinto Aterro Metropolitano Jardim Gramacho (AMJG), que funcionava com um lixão e foi encerrado em 2012, às vésperas da Rio +20, no compromisso de legislação sociambiental de encerrar os lixões até 2014, e no âmbito estadual no programa lixão zero, no Rio de Janeiro.

O modelo de empreendimento econômico solidário tem operado em produção e rateio entre os cooperados, e o rendimento tem sido maior que um salário, sendo maior que a média estadual (RJ). Ainda contam com uma escala 12 X 36, incluindo os finais de semana, e com horário fixo de 8h às 17h. São realizadas reuniões frequentes e assembleias, sendo por eles coletados e triados materiais como: resíduo eletrônico, isopor, óleo vegetal e madeira.

Atualmente a organização coleta nos prédios públicos e atua em parceria na execução de um projeto vencedor de edital de apoio financeiro. Tem investido em capacitação e na logística, com a manutenção de veículos, galpões e equipamentos, o que impacta em melhorias nas condições de trabalho e vida dos catadores e cooperados.

## DISCUSSÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), correspondente à Lei Federal nº 12.305/2010, estabelece a responsabilidade e a gestão compartilhada de Resíduos Sólidos Urbanos e oferece apoio ao trabalhador catador, estimulando a sua organização e inclusão socioproductiva através de seu trabalho na cadeia da reciclagem. A PNRS considera e relaciona as variáveis cultural, social e ambiental, e contribui ainda para o alcance efetivo da sustentabilidade do gerenciamento de resíduos sólidos em escala local.

O sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos deve priorizar a participação de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis constituídas por pessoas físicas de baixa renda da categoria dos catadores.

Os catadores têm se organizado em movimentos sociais como: o Movimento Nacional de Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR) e o Movimento Eu Sou Catador (MESOC). Estes reuniram-se recentemente em evento inédito: o 1º Encontro

Nacional do Movimento “Eu sou catador”, realizado em Brasília, no âmbito das novas articulações com o atual governo Federal. Conforme notícias no sítio eletrônico do MESC, são apresentadas 23 demandas, dentre as quais destaca-se para fins deste artigo a de nº 23: fomento às cooperativas e associações de materiais recicláveis e coleta seletiva através do ICMS – E : que pode ser definido como “um instrumento econômico e de gestão ambiental que estimula os agentes a incorporarem uma conduta mais adequada do ponto de vista ambiental, por intermédio de incentivos financeiros, objetivando criar mudanças de comportamentos através incentivos e/ ou recompensas financeiras. (Fonte: <https://icmsecologicorj.com.br/>)

De acordo com os dados do Observatório do ICMS Ecológico do Estado do Rio de Janeiro (Figura 2), é possível observar a ainda flutuante e incipiente participação da coleta seletiva no cenário da cidade do Rio de Janeiro. Ainda que haja a existência de cooperativas de catadores, a baixa representatividade dos índices mostrados revela a desconexão entre o potencial de contribuição desses importantes atores sociais e a efetiva implementação de políticas públicas que os integrem. Tal cenário reforça a urgência de regulamentação e incentivo à inclusão dos catadores no acesso aos recursos do ICMS Ecológico, conforme preconizado pela PNRS, a fim de fortalecer a cadeia de reciclagem e promover justiça socioambiental.

**Figura 2:** Índices de coleta seletiva do município do Rio de Janeiro

Coleta Seletiva							
	Ano Fiscal	Unidade de Triagem e Compostagem	Coleta Seletiva	Coleta Seletiva Solidária	Resíduos Recicláveis Coletados Seletivamente (%)	Arrecadação Coleta Seletiva (R\$)	Arrecadação Coleta Seletiva Solidária (R\$)
1	2009	Não	Não	Não	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2	2010	Não	Não	Não	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
3	2011	Não	Não	Não	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
4	2012	Não	Não	Não	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5	2013	Não	Não	Sim	0,27	R\$ 0,00	R\$ 141.935,79
6	2014	Não	Não	Sim	0,30	R\$ 0,00	R\$ 142.448,55
7	2015	Não	Não	Sim	0,43	R\$ 77.201,08	R\$ 77.201,08
8	2016	Não	Não	Sim	0,71	R\$ 190.876,87	R\$ 63.625,62
9	2017	Não	Não	Sim	0,89	R\$ 127.132,87	R\$ 63.566,44
10	2018	Não	Sim	Sim	1,08	R\$ 173.580,16	R\$ 57.860,05
11	2019	Não	Sim	Não	1,58	R\$ 207.310,71	R\$ 0,00
12	2020	Não	Sim	Não	1,12	R\$ 256.695,32	R\$ 0,00
13	2021	Não	Não	Sim	0,57	R\$ 25.945,12	R\$ 51.890,24
14	2022	Não	Sim	Sim	0,02	R\$ 106.231,18	R\$ 70.820,78
15	2023	Não	Não	Sim	0,00	R\$ 43.599,78	R\$ 87.199,57

**Fonte:** <https://icmsecologicorj.com.br/o-icms-ecologico>

No entanto, o município de Mesquita é um contraponto ao cenário supramencionado e arrecadou mais em coleta seletiva solidária do que a cidade do Rio de Janeiro no ano de 2023 (Figuras 3), mesmo sendo um município menor em população e tamanho. No último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) apresentou uma população de 167.127 mil pessoas e com uma densidade demográfica de 4.059,54 hab./km<sup>2</sup>, área total de 41.169 km<sup>2</sup> e taxa de abastecimento de esgoto de 93,3 %. É importante apontar que mais de 50%

do território municipal é de espaços verdes, caracterizada pela Área de Proteção Ambiental (APA) de Gericinó-Mendanha.

Figura 3: Índices de coleta seletiva do município de Mesquita

Coleta Seletiva						
Ano Fiscal	Unidade de Triagem e Compostagem	Coleta Seletiva	Coleta Seletiva Solidária	Resíduos Recicláveis Coletados Seletivamente (%)	Arrecadação Coleta Seletiva (R\$)	Arrecadação Coleta Seletiva Solidária (R\$)
1	2009 Não	Não	Não	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
2	2010 Não	Não	Não	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
3	2011 Não	Não	Não	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
4	2012 Não	Não	Não	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
5	2013 Não	Sim	Sim	1,80	R\$ 141.935,79	R\$ 141.935,79
6	2014 Não	Sim	Sim	1,76	R\$ 142.448,50	R\$ 142.448,50
7	2015 Não	Sim	Sim	1,20	R\$ 77.201,08	R\$ 77.201,08
8	2016 Não	Sim	Sim	1,25	R\$ 122.558,69	R\$ 61.279,35
9	2017 Não	Não	Não	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
10	2018 Não	Não	Sim	0,76	R\$ 173.580,16	R\$ 57.860,05
11	2019 Não	Sim	Sim	6,82	R\$ 207.310,71	R\$ 69.103,57
12	2020 Não	Não	Não	0,58	R\$ 0,00	R\$ 0,00
13	2021 Não	Não	Sim	0,67	R\$ 0,00	R\$ 51.639,56
14	2022 Não	Não	Sim	0,00	R\$ 0,00	R\$ 70.139,82
15	2023 Não	Não	Sim	0,00	R\$ 0,00	R\$ 89.714,94

Fonte: <https://icmsecológicoj.com.br/o-icms-ecológico>

Ainda quanto a previsão de recebimento de recursos do ICMS, pelo município de Mesquita, no ano de 2025, na categoria “áreas protegidas municipais”, a maior arrecadação do estado foi de Mesquita: R\$ 3.569.932 sendo Silva Jardim o último com R\$ 35. Ainda o município de Mesquita-RJ apresenta-se no *ranking* da estimativa de recebimento do ICMS Ecológico 2025 no 4º lugar geral, com arrecadação prevista de R\$ 9.228.177, de acordo com o projeto de Lei Orçamentária do estado.

CONCLUSÕES

A política pública ocorre de maneira mais efetiva através do marco e da regulamentação da PNRS, que é uma das poucas legislações no mundo que implementou a responsabilidade compartilhada para os agentes envolvidos na cadeia da reciclagem da logística reversa dos resíduos sólidos. Nos países desenvolvidos, vigora o sistema de responsabilidade estendida do produtor (REP). Fabricantes, comerciantes e importadores pagam aos governos taxas que compõem um fundo para a coleta seletiva. O sistema opera na esfera B2B (*Business to Business*), eliminando o aspecto mais social da coleta seletiva. O modelo também não engloba a categoria de catadores informais, agentes comuns em países em desenvolvimento. Por isso, a PNRS é tão importante e referência na América Latina. Como a responsabilidade é compartilhada, torna-se necessário prover recursos para os agentes que atuam na esfera social e ambiental. A elaboração de propostas e políticas públicas que façam acontecer a inclusão dos catadores no recebimento de parte da parcela da destinação final de resíduos.

Após um período de pacote de cortes do Governo anterior (2016- 2022), houve a extinção de importantes decretos<sup>4</sup> para a inclusão dos catadores na PNRS, entre

eles o Decreto Federal 7405/2010, que regulamentava a PNRS, criava o o Comitê Interministerial para Inclusão Socioeconômica de Catadoras e Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis (CIISC) e o antigo pró-catador. Após o Decreto 7405/2010 ter sido revogado, a categoria dos catadores perdeu a exclusividade do repasse de recursos, da coleta em órgãos públicos e o seu principal programa de capacitação. Perdeu ainda a exclusividade do repasse de recursos, da coleta em órgãos públicos e o seu principal programa de capacitação. O Decreto Federal nº 10.936/2020, que regulamentou a PNRS, deu ênfase na Logística Reversa através de um sistema em que empresas se tornavam competidoras das cooperativas.

Somente em 2023 houve a retomada do Programa Diogo de Sant'Ana Pró-Catadoras e Pró-Catadores para a Reciclagem Popular (pró-catador) pelo Decreto nº 11.414/2023, que recriou o CIISC e visa a expansão: da coleta seletiva de resíduos sólidos, coleta seletiva solidária, reutilização, reciclagem, logística reversa e da educação ambiental. E possui também a finalidade de integrar e articular as ações, os projetos e os programas da administração pública federal, estadual, distrital e municipal voltados à promoção e à defesa dos direitos humanos das catadoras e dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, sendo voltado à articulação de ações integradas em prol da inclusão socioeconômica dos catadores. Contempla ações como o fortalecimento da capacidade de organização, melhoria das condições de trabalho, financiamento público, educação ambiental e a ampliação da coleta seletiva e da inclusão na logística reversa (BRASIL, 2023b).

Complementarmente, o Decreto nº 11.413/2023 criou mecanismos de incentivo econômico à cadeia da reciclagem, como o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, que traz como critério de validade a participação direta dos catadores. O decreto determina os projetos estruturantes, que devem envolver em mais de 50% a meta de recuperação de embalagens, parcerias formais e mais duradouras com catadores, além de prever diagnóstico, plano de ação, investimentos, qualificação e formalização dessas organizações (BRASIL, 2023a).

A aplicação dos recursos do ICMS-E nas cooperativas de catadores e catadoras carece ainda de legislação específica a respeito do tema, entre outros instrumentos legais ao nível governamental que contemplem a categoria. Os movimentos sociais de catadores vêm em busca das demandas e a ideia é fortalecer as iniciativas para transformar as ações em políticas efetivas que perpassem governos, através de uma lei que garanta o acesso dos mesmos aos recursos do ICMS-E. Foi observado na pesquisa que as lideranças entrevistadas têm conhecimento sobre o instrumento, sabem da sua importância, mas nunca souberam se acessaram recursos oriundos do referido tributo. É prática prestar conta de todo o volume de resíduo reciclável recebido das prefeituras, que certamente amplia seus números em reciclagem. Tais trabalhadores têm consciência de que os movimentos sociais são engajados, mas para muitas demandas ainda não receberam o retorno, já que o trabalho de

organização nas cooperativas é demorado e necessita persistência, além de não caminhar com a mesma urgência das necessidades diárias das instituições para fecharem as contas no fim do mês.

A coleta seletiva, articulada com a logística reversa e a educação ambiental, fortalece a economia circular e contribui para o cumprimento das metas nacionais de redução, reutilização e reciclagem dos resíduos. Nesse contexto, sua efetivação não deve ser vista apenas como um serviço

técnico-operacional, mas como uma ação estruturante que promove cidadania, trabalho digno e sustentabilidade socioambiental. Ainda, a inclusão social de catadores e suas cooperativas nos sistemas de logística reversa deixou de ser apenas uma diretriz legal para se tornar uma realidade operacional e com crescente impacto financeiro no Rio de Janeiro. Hoje, existem mecanismos estabelecidos e auditáveis que permitem a transferência de recursos das empresas privadas para as cooperativas, remunerando-as pelo serviço ambiental que prestam.

O sistema se baseia em um princípio claro: as empresas que colocam embalagens no mercado têm a obrigação de garantir a reciclagem de um percentual desse material. Para cumprir essa meta, elas remuneram as cooperativas de catadores, que são a base da coleta e triagem desses resíduos.

Os desafios para o alcance das demandas pleiteadas pelos catadores organizados em cooperativas envolvem seus mecanismos e instrumentos exigidos atualmente pela lei e carecem de lei e regulamentação de todas as suas demandas. Na conjuntura atual, para o alcance dos recursos nas situações que têm envolvido as cooperativas de catadores e catadoras de materiais recicláveis, os editais de fomento socioambientais que contratam cooperativas, por exemplo, exigem consistência das organizações, que devem possuir pré-requisitos como documentação, formalização e adequação para acesso a tais políticas e recursos. Entender os desafios do processo, prover meios e investir na sustentabilidade socioeconômica das cooperativas são obrigações dos governos, tendo em vista a ampliação da legislação sobre o tema. ONG, setor público e sociedade civil são relevantes e devem atuar juntos, em parceria e governança. Somente desta forma os catadores e catadoras verão transformação socioeconômica em suas vidas.

## REFERÊNCIAS

ABREMA. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. Panorama 2023: Parte1. ABREMA, 2023. Disponível em: [https://www.abrema.org.br/pdf/Panorama\\_2023\\_P1.pdf](https://www.abrema.org.br/pdf/Panorama_2023_P1.pdf)  
Acesso em: 12 mai 2025.

BRASIL. Presidência da República. Legislação federal brasileira: Constituição, leis e decretos. Brasília, DF. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/gestao-na-camara-dos-deputados/responsabilidade-social-e-ambiental/ecocamara/legislacao-sustentavel/legislacao-aplicavel>. Acesso em: 24 jun 2025.

SEEHUSEN, Sigrid. Pagamentos por serviços ambientais: elementos para projetos de PSA na Mata Atlântica. In: OLIVEIRA, José Augusto Pádua de; MORAES, Luiza; BRITO, Maria Cristina Gomes de. *Pagamento por serviços ambientais: perspectivas para a conservação ambiental e desenvolvimento rural no Brasil*. Rio de Janeiro: MMA, 2007. p. 23-36.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 200p., 2008. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades: Mesquita e Rio de*

*Janeiro(RJ)*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/mesquita/panorama>. Acesso em: 28 jul. 2025.

OBSERVATÓRIO DO ICMS ECOLÓGICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. *O que é o ICMS Ecológico*. Disponível em: <https://icmsecologicorj.com.br/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

INSTITUTO CAMINHOS SUSTENTÁVEIS. Anuário da Reciclagem 2024. Brasília, 2023. Disponível em: [https:// ics.eco.br/](https://ics.eco.br/). Acesso em: 25 jun 2025

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Situação Social dos Catadores e Catadoras de Material Reciclável e Reutilizável. Brasília, 2013.

MARTINS, G. de A.; THEÓPHILO, C. R. Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas. São Paulo: Atlas. Acesso em: 30 dez. 2023, 2009.



## USO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA O INCREMENTO DAS PROPRIEDADES DA MISTURA PLA/PBAT EM EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS BIODEGRADÁVEIS

Iasmyn de Souza Lipkit

Gisele Cristina Vale Iulianelli

Luciana da Cunha Costa

**RESUMO:** Misturas de polímeros biodegradáveis, como o poli(ácido láctico) (PLA) e o poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT), além de combinarem propriedades funcionais, são alternativas ambientalmente amigáveis para embalagens alimentícias. No entanto, esse sistema apresenta limitações de desempenho. Nesse contexto, a incorporação de resíduos agroindustriais (RAI) tem sido estudada como estratégia para aprimorar suas propriedades, gerando materiais totalmente biodegradáveis e alinhados à economia circular. Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica recente sobre sistemas PLA/PBAT modificados com RAI, como borra de café, folhas de chá e casca de ovo. De modo geral, os estudos indicam que esses resíduos podem melhorar propriedades mecânicas, térmicas, de barreira e hidrofóbicas, além de atuarem como compatibilizantes naturais. Assim, a incorporação de RAI em sistemas PLA/PBAT mostra grande potencial para o desenvolvimento de embalagens sustentáveis, agregando valor a subprodutos agrícolas e contribuindo para soluções mais ecológicas na indústria alimentícia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Embalagens Alimentícias. PLA. PBAT. Resíduos Agroindustriais.

### INTRODUÇÃO

As embalagens alimentícias exercem uma função crucial na preservação, no transporte e na proteção dos alimentos durante toda a cadeia produtiva e de consumo (ZHANG *et al.*, 2022). No entanto, a predominância de materiais derivados de recursos fósseis e não biodegradáveis na produção dessas embalagens, como polietileno (PE) e polipropileno (PP), tem gerado preocupações ambientais crescentes. Apesar de amplamente utilizados pela indústria por sua eficiência e praticidade, esses

plásticos apresentam elevada resistência à degradação, contribuindo diretamente para o acúmulo de resíduos sólidos e para a formação de microplásticos no ambiente (NCUBE *et al.*, 2020).

Esse uso intensivo de plásticos convencionais na indústria alimentícia evidencia não apenas a dependência desses materiais, mas também a necessidade urgente de alternativas ambientalmente mais responsáveis. Segundo Ncube e colaboradores (2020), cerca de 50% dos plásticos derivados de combustíveis fósseis são utilizados na indústria alimentícia, permanecendo no ambiente por séculos e fragmentando-se em partículas, como os microplásticos e nanoplásticos, que contaminam os ecossistemas terrestres e marinhos, além de já trazer reflexos na saúde humana (YIN *et al.*, 2021)

Nesse contexto, os polímeros biodegradáveis, como o poli (ácido láctico) (PLA) e o polibutileno adipato-co-tereftalato (PBAT), destacam-se como alternativas promissoras para a fabricação de embalagens mais sustentáveis, já que apresentam a capacidade de se decompor rapidamente em condições adequadas, diminuindo o acúmulo de resíduos persistentes no meio ambiente. A transição para o uso desses polímeros biodegradáveis atende à crescente demanda por sustentabilidade, além de impulsionar a criação de tecnologias que exploram as propriedades únicas desses materiais (ANDRADE *et al.*, 2022).

Entretanto, o uso destes polímeros de forma isolada, não atende às exigências do mercado quanto às propriedades requeridas. Neste sentido, a mistura polimérica PLA/PBAT apresenta-se como uma alternativa promissora na produção de embalagens alimentícias, tendo em vista que estes polímeros apresentam propriedades complementares. O PLA, derivado de fontes renováveis como o milho, apresenta alta rigidez, transparência e resistência térmica, sendo amplamente utilizado em embalagens rígidas (LI *et al.*, 2023; ANDRADE *et al.*, 2022). Já o PBAT, um copoliéster sintético proveniente de petroquímicos, é valorizado por sua flexibilidade e resistência mecânica, sendo frequentemente combinado ao PLA para formação de filmes biodegradáveis (CHAVES; FECHINE, 2016; ANDRADE *et al.*, 2022). No entanto, a mistura destes polímeros apresenta como desafio sua limitada miscibilidade, o que exige o uso de estratégias como adição de agentes compatibilizantes e/ou de cargas ou nanocargas, de modo a promover uma melhor interação entre as fases e aprimorar propriedades funcionais, resistência mecânica e estabilidade térmica, fortalecendo seu uso no setor de embalagens alimentícias (ANDRADE *et al.*, 2022).

Dentre as estratégias atualmente exploradas para aprimorar as propriedades da mistura PLA/PBAT, destaca-se a incorporação de cargas de reforço oriundas de resíduos agrícolas. Essa abordagem, além de contribuir para o aprimoramento do desempenho mecânico e funcional do sistema polimérico, também reforça os princípios de sustentabilidade e viabilidade econômica. Isso porque os resíduos

utilizados são materiais naturais, biodegradáveis e de baixo impacto ambiental, que, ao invés de serem descartados no ambiente ou queimados, passam a ter um destino mais nobre e com maior valor agregado.

Entre as cargas estudadas, destacam-se na literatura o bagaço de cana-de-açúcar, as cascas de milho e as cascas de ovos. O bagaço de cana-de-açúcar é uma fonte de nanocelulose capaz de melhorar significativamente a resistência mecânica dos filmes (ANDRADE *et al.*, 2022), enquanto as fibras de milho contribuem para o aumento da estabilidade térmica (LI *et al.*, 2023). Já as cascas de ovos, quando associadas à nanopartículas de prata, conferem propriedades antimicrobianas que favorecem a conservação de alimentos (TIIMOB *et al.*, 2017).

## OBJETIVO

O presente trabalho buscou explorar na literatura recente, particularmente dos últimos 10 anos, a influência da incorporação de resíduos agroindustriais em mistura de PLA/PBAT para formar compósitos sustentáveis, contribuindo para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis que combinem eficiência técnica e responsabilidade ambiental. As propriedades desses compósitos foram investigadas a fim de analisar possíveis melhorias nas propriedades da mistura PLA/PBAT após a incorporação de resíduos agroindustriais e seus derivados e a viabilidade destes materiais como substitutos aos polímeros convencionais não biodegradáveis, na indústria de embalagens de alimentos, alinhando-se aos desafios globais de sustentabilidade e à transição para uma economia circular.

## METODOLOGIA

Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica com abordagem qualitativa, fundamentada na análise de artigos científicos publicados nos últimos anos sobre o uso de resíduos agroindustriais em compósitos biodegradáveis à base de poli(ácido láctico) (PLA) e poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT), voltados à aplicação em embalagens alimentícias. A seleção dos estudos foi realizada por meio de buscas em bases de dados científicas como ScienceDirect, Scopus, Web of Science e Google Scholar, utilizando as palavras-chave PLA/PBAT; biodegradable packaging; agro-industrial residues; circular economy. Foram priorizados artigos em inglês e português, com foco em pesquisas experimentais que abordassem propriedades técnicas, desempenho funcional, aspectos ambientais e inovações tecnológicas. A análise buscou identificar tendências, vantagens e limitações das diferentes estratégias, considerando sua relevância para a transição para materiais sustentáveis e a promoção da economia circular. preciso trabalhar melhor a metodologia.

## RESULTADOS

A mistura de PLA e PBAT tem sido amplamente recomendada na literatura por combinar resistência mecânica e propriedades de barreira essenciais para a preservação de alimentos. No entanto, a imiscibilidade desses polímeros limita o desempenho do material. Para contornar esse problema, a incorporação de resíduos agroindustriais tem sido investigada como estratégia para melhorar as propriedades do compósito, aliando viabilidade econômica e sustentabilidade. Diversas abordagens vêm sendo estudadas para superar tanto a imiscibilidade entre PLA e PBAT quanto à heterogeneidade causada pela adição desses bioenchimentos. A seguir, são discutidos trabalhos recentes que exploram a aplicação de resíduos agroindustriais no aprimoramento de compósitos PLA/PBAT, com foco no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis alinhadas aos princípios da economia circular.

O estudo realizado por Andrade *et al.* (2022), teve como objetivo investigar a produção de filmes de PLA/PBAT (70:30) reforçados com nanocristais de celulose (CNCs - *Cellulose Nanocrystals*) obtidos do bagaço de cana-de-açúcar. Os filmes foram processados por extrusão-sopro, técnica compatível com escalas industriais voltadas à produção de embalagens. Os CNCs foram incorporados em concentrações de 1% e 2% (m/m), sem o uso de agentes compatibilizantes, sendo a miscibilidade avaliada por meio de análises morfológicas, térmicas e mecânicas. A incorporação dos CNCs resultou em melhorias significativas nas propriedades mecânicas dos filmes. O sistema PLA/PBAT puro apresentou tensão na ruptura de 29,6 MPa, alongamento na ruptura de 370% e módulo de Young de

136 MPa. Com 1% de CNCs, esses valores aumentaram para 37,3 MPa, 460% e 220 MPa, respectivamente. A adição de 2% elevou esses valores para 44,7 MPa, 478% e 296 MPa, confirmando o potencial reforçador dos CNCs em matriz polimérica compatível com aplicações flexíveis. Resultados semelhantes já haviam sido observados por Rahmaniar e Susanto (2019), os quais obtiveram impacto positivo de fibras lignocelulósicas em propriedades mecânicas e de barreira em filmes à base de PLA puro.

A estabilidade térmica dos filmes também foi favorecida com a incorporação dos CNCs. A amostra sem reforço apresentou Tonset (Temperatura em que a degradação térmica começa - *Onset temperature*) de 341 °C, Tmax (Temperatura em que a taxa de degradação é máxima - *Maximum degradation temperature*) de 395 °C e Tfinal (Temperatura em que a degradação se encerra - *Final degradation temperature*) de 406 °C. Com 1% de CNCs, essas temperaturas foram elevadas para 347 °C, 399 °C e 410 °C, respectivamente. Já com 2% (m/m) de CNCs os valores foram ainda mais expressivos, alcançando 368 °C, 400 °C e 415 °C, nos valores de Tonset, Tmax e Tfinal, respectivamente. Esse comportamento pode ser atribuído à elevada cristalinidade dos CNCs e à sua morfologia que atua como barreira na degradação térmica.

As propriedades hidrofóbicas e de barreira também foram influenciadas pela presença dos CNCs. O ângulo de contato (AC) do filme com a água aumentou de 50,5° (filme puro) para 71° com 1% de CNCs, evidenciando uma redução importante na hidrofiliidade deste sistema, que reflete maior resistência à penetração de umidade. Para o sistema com 2% (m/m) de CNCs, a influência foi muito pouco significativa, aumentando o AC para 54°, o que foi atribuído à formação de aglomerados neste sistema, que comprometem a uniformidade da superfície. Ainda assim, os resultados do teste de absorção de água por imersão, realizado com base na variação de massa dos filmes antes e após exposição à água destilada, indicaram reduções de 55% e 70% na absorção para os filmes com 1% e 2% de CNCs, respectivamente, reforçando a eficácia dos nanocristais como barreira contra a umidade. Essa diferença nos resultados menos expressivos para o sistema com 2% (m/m) de CNCs foi atribuída à formação de aglomerados observados em imagens de microscopia (FE-SEM) das superfícies crio-fraturadas dos filmes.

Por fim, os autores destacaram que a presença dos CNCs, mesmo sem o uso de agentes compatibilizantes, contribuiu para a formação de um sistema com desempenho mecânico, térmico e de barreira compatível com aplicações em embalagens alimentícias biodegradáveis.

A pesquisa conduzida por Songtipya *et al.* (2019) teve como objetivo desenvolver compósitos de PLA/PBAT reforçados com resíduos lignocelulósicos, como borra de café (SCG - *Spent Coffee Grounds*) e de folhas de chá (TL - *Tea Leaves*) em matriz de PLA/PBAT 70:30, visando aplicações em embalagens alimentícias biodegradáveis. As cargas foram adicionadas nas proporções de 20%, 30% e 40% (m/m) e foi avaliado também a influência dos agentes de acoplamento TDI (tolueno diisocianato), MDI (difenilmetano diisocianato) e TESPT (bis[3-(trietoxisilil)propil] tetrasulfeto), adicionados em concentrações de 0 a 7% (m/m) de polímero. As misturas foram preparadas em moinho de dois rolos, seguidas de moldagem por compressão. Para os sistemas de PLA/PBAT (70:30) sem agente de acoplamento, observou-se que os compósitos contendo TL apresentaram resistência à tração superior aos com SCG em todas as proporções testadas. Os autores não forneceram valores específicos para TL sem agente de acoplamento, mas relataram desempenho superior ao SCG em todas as proporções, enquanto o com SCG o valor foi de 19,6 MPa. Essa diferença foi atribuída à composição química diferenciada das folhas de chá, especialmente à presença de compostos fenólicos, que favorecem interações com a matriz polimérica.

Os autores selecionaram a proporção de 30% como ideal para os testes com agentes de acoplamento, por apresentar melhor equilíbrio entre desempenho mecânico e processabilidade, evitando aglomeração excessiva e perda de integridade estrutural observadas em proporções mais elevadas. A adição de agentes de acoplamento promoveu melhorias mecânicas mais significativas, especialmente

nos sistemas com TL. O uso de 3% (m/m) de TDI aumentou a resistência à tração para 37,4 MPa e o alongamento na ruptura para 10,5% para o sistema TL, e para os sistemas SGC esses valores foram de 25,2 MPa e 10,6%, respectivamente.

Embora os resultados indiquem melhorias com o uso das cargas e agentes de acoplamento, os autores não apresentaram os valores da blenda pura de PLA/PBAT (sem reforço), o que limita a comparação direta com o sistema base. Os sistemas compatibilizados com TESPT apresentaram desempenho inferior nos compósitos com SCG, com resistência à tração de 18,7 MPa e ganhos pouco expressivos na ductilidade. Não foram reportados dados para TL com esse agente. Já os sistemas contendo MDI mostraram desempenho semelhante aos com TDI nos compósitos com SCG, com pequenas variações entre os dois agentes.

Em todos os casos, o uso de compatibilizantes favoreceu tanto a resistência quanto a deformabilidade dos materiais, indicando melhora na interação entre a matriz polimérica e as cargas lignocelulósicas. Adicionalmente, a segurança dos materiais foi verificada por testes de migração global com os simulantes alimentares ácido acético 3% e etanol 10%. Todos os sistemas, inclusive aqueles contendo agentes de acoplamento, apresentaram valores de migração abaixo do limite regulamentar europeu de 10 mg/dm<sup>2</sup>, confirmando a segurança dos compósitos para contato com alimentos.

Com o objetivo de desenvolver embalagens ativas para a conservação de alimentos, Tiimob e colaboradores (2017) investigaram a produção de filmes biodegradáveis à base de PLA/PBAT na proporção de 70:30, adicionando como resíduo agroindustrial, a casca de ovo em pó incorporada com nanopartículas de prata (ES-Ag - *Eggshell-silver nanoparticles*) sintetizada pelos autores, usando o nitrato de prata como precursor das nanopartículas de prata. As partículas de ES-Ag foram adicionadas à mistura PLA/PBAT nas concentrações de 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0% (m/m). Os nanocompósitos foram preparados por extrusão em extrusora monorotacional, seguida de impressão 3D, e os sistemas desenvolvidos foram amplamente caracterizados quanto aos aspectos estruturais, térmicos, morfológicos, mecânicos e microbiológicos.

O ensaio de tração revelou que o filme puro de PLA/PBAT apresentou uma resistência à tração de 22,4 MPa e alongamento na ruptura de 110,2%. A adição de 2,0% de ES-Ag comprometeu significativamente o desempenho mecânico, reduzindo a resistência para 17,5 MPa e o alongamento para 93,3%, possivelmente devido ao excesso de carga particulada que interfere na integridade da matriz. Por outro lado, a formulação com 1,0% de ES-Ag alcançou o melhor equilíbrio, reduzindo ligeiramente a resistência à tração para 20,7 MPa e aumentando o alongamento na ruptura para 129,4%, sendo considerada a mais adequada em termos de desempenho mecânico para aplicações em embalagens flexíveis biodegradáveis.

Os resultados morfológicos obtidos tanto por microscopia eletrônica de transmissão (TEM) como por MEV evidenciaram que a concentração de 1,0% de ES-Ag apresentou uma melhor dispersão na matriz com partículas predominantemente esféricas e tamanhos variando entre 10 e 30 nm, bem distribuídas ao longo da estrutura polimérica. Em contraste, à formulação com 2,0% de ES-Ag resultou em maior heterogeneidade, com aglomerações visíveis e partículas com variação de tamanho entre 50 e 100 nm, o que comprometeu a integridade estrutural do compósito. Esses achados corroboram o melhor desempenho mecânico obtido para os filmes contendo 1,0% de ES-Ag.

Com relação à estabilidade térmica, os filmes com 1,5% e 2,0% (m/m) de ES-Ag apresentaram um melhor resultado comparados ao sistema sem carga. O Tonset do filme puro foi de 306,5 °C, enquanto os filmes com 1,5% e 2,0% de ES-Ag alcançaram 313,1 °C e 314,2 °C, respectivamente. Já os filmes com 0,5% e 1,0% de ES-Ag não apresentaram variações significativas no Tonset, indicando que apenas os teores mais elevados da carga foram eficazes na melhoria da estabilidade térmica. Esse aumento foi atribuído à ação protetora das nanopartículas de prata, que atuam como barreiras à difusão térmica e retardam a degradação da matriz polimérica.

Os ensaios antimicrobianos, realizados pelo método de disco-difusão em ágar, avaliaram a atividade dos filmes contra as bactérias *Salmonella enteritidis* e *Listeria monocytogenes*. Os filmes contendo 1,0% de ES-Ag apresentaram os melhores resultados, com halos de 13,5 mm para *Listeria monocytogenes* e 11,5 mm para *Salmonella Enteritidis*. Enquanto os filmes com 2,0% de ES-Ag apresentaram eficácia inferior, com halos de 11,0 mm e 9,5 mm, respectivamente. Esse desempenho foi atribuído à melhor dispersão das nanopartículas de prata na matriz no sistema contendo 1,0% de ES-Ag, o que favoreceu o aumento da área de contato com o meio bacteriano. Em suma, os autores concluíram que a formulação com 1,0% (m/m) de ES-Ag apresentou o melhor equilíbrio entre propriedades térmicas, mecânicas e antimicrobianas e que a incorporação de casca de ovo derivada de resíduos agroindustriais funcionalizada com nanopartículas de prata mostrou-se uma estratégia promissora para o desenvolvimento de embalagens ativas com potencial para aplicação alimentar.

Shankar e Rhim (2018) investigaram a incorporação de extrato de semente de toranja (GSE - *Grapefruit Seed Extract*) em filmes de PLA/PBAT, avaliando os efeitos sobre as propriedades mecânicas, térmicas, óticas e antimicrobianas. Os filmes de PLA/PBAT na proporção 98:2 e concentrações de GSE variando entre 3%, 5% e 7% (m/m) foram obtidos por moldagem por solução (*casting*). O GSE utilizado foi um extrato comercial contendo 50% de glicerol, 0,48% de naringina e outros compostos fenólicos, como flavonoides e ácidos orgânicos, o que permitiu que atuasse como plastificante, sem exercer atividade antimicrobiana direta, enquanto os compostos

fenólicos do extrato GSE, como flavonoides e ácidos orgânicos, apresentam como função bioativa, a ação antimicrobia. As imagens de MEV revelaram que o filme PLA/PBAT puro apresentava superfície rugosa e distribuição heterogênea de PBAT, típica de sistemas imiscíveis. Com a adição de GSE, observou-se uma melhora progressiva na compatibilidade da blenda, de modo que o sistema com apenas 3% mostrou uma leve redução na rugosidade superficial, enquanto as formulações com 5% e 7% apresentaram morfologia mais homogênea e contínua, atribuída à ação plastificante do glicerol.

No ensaio mecânico sob tração, a incorporação do GSE promoveu aumento significativo na resistência e na ductilidade dos filmes. A formulação com 3% de GSE elevou a resistência à tração de 27,1 MPa (controle) para 32,2 MPa, com alongamento na ruptura passando de 6,4% para 17,3%. Com 5%, esses valores foram de 34,4 MPa e 24,2%, enquanto com 7% foram observados valores de 31,1 MPa e 29,6%, respectivamente. Paralelamente, o módulo elástico caiu de 1690 MPa (filme puro) para 1570 MPa, 1540 MPa e 1530 MPa com 3%, 5% e 7% de GSE, respectivamente, reforçando o efeito plastificante do extrato.

As propriedades óticas e de barreira também foram influenciadas. A transparência dos filmes caiu de 77,3% (controle) para 33,6%, 25,7% e 28,8% para os filmes com 3%, 5% e 7% de GSE, respectivamente. Por outro lado, a barreira aos raios UV foi significativamente aprimorada, com redução na transmitância a 280 nm de 2,4% (controle) para aproximadamente 1,2% nas três formulações, efeito atribuído aos compostos fenólicos do GSE, como pode ser observado na Figura 5.

A atividade antimicrobiana foi avaliada contra *Listeria monocytogenes* e *Escherichia coli* por meio do método de contagem de células viáveis em meio líquido, com monitoramento da cinética de crescimento bacteriano por 12 horas. Os filmes com GSE apresentaram eficácia crescente com o aumento da concentração do extrato, sendo mais eficazes contra *L. monocytogenes* (Gram-positiva). As formulações com 3%, 5% e 7% eliminaram totalmente a bactéria após 9, 6 e 3 horas, respectivamente. Para *E. coli*, observou-se apenas efeito bacteriostático parcial. Embora as formulações com GSE tenham reduzido o ritmo de crescimento da bactéria, não impediram sua multiplicação, mesmo com concentrações mais elevadas (7%) de GSE. Esse comportamento foi atribuído à maior resistência das bactérias Gram-negativas à ação dos compostos fenólicos.

Em suma, os resultados obtidos neste estudo demonstram que o extrato da semente de toranja atua de forma multifuncional no sistema PLA/PBAT, promovendo melhorias estruturais, mecânicas, óticas, de barreira e antimicrobianas. A formulação com 7% de GSE se destacou pela ação antimicrobiana e maior flexibilidade, enquanto a de 5% apresentou o melhor desempenho mecânico e ótico. Já o sistema com

3% mostrou melhorias moderadas, mas consistentes, em todas as propriedades. A escolha da concentração pode ser ajustada conforme a prioridade funcional da aplicação, reforçando o potencial do sistema como embalagem ativa biodegradável.

Além da incorporação de resíduos agroindustriais diretamente na matriz polimérica PLA/PBAT, outra abordagem estudada para melhorar o desempenho funcional destes sistemas biodegradáveis consiste na aplicação de revestimentos ativos na superfície destes sistemas. Essa estratégia permite a adição de propriedades antimicrobianas e de barreira sem alterar a composição interna dos filmes, mantendo sua processabilidade e biodegradabilidade. Um exemplo desta abordagem é o estudo conduzido por Panariello e colaboradores (2022), que investigou o uso de nanofibrilas de quitina, derivada de fungos e exoesqueletos de camarões, na superfície de alguns filmes poliméricos, incluindo o sistema PLA/PBAT 80:20, visando desenvolver revestimentos funcionais com propriedades antimicrobianas e de barreira. Para tal, os autores aplicaram por *casting* suspensões de nanofibrilas de quitina (CN - *Chitin Nanofibrils*) sobre os filmes de PLA/PBAT, utilizando 2 mL de solução aquosa contendo 1,5% de CN. Em seguida, os filmes foram secos a 40 °C por 24 horas para promover a formação do revestimento. O ácido láctico oligomérico (OLA - *Oligomeric Lactic Acid*) foi adicionado como agente compatibilizante para favorecer a adesão e dispersão das nanofibrilas na superfície dos filmes PLA/PBAT.

Nos testes de barreira ao oxigênio (OTR - *Oxygen Transmission Rate*), os revestimentos contendo CN + OLA promoveram uma redução de aproximadamente 20% na permeabilidade ao oxigênio do sistema PLA/PBAT, evidenciando melhora na propriedade de barreira gasosa. Por outro lado, a permeabilidade ao vapor de água (WVTR - *Water Vapor Transmission Rate*) não foi significativamente afetada. A presença do OLA também contribuiu para o aumento da componente polar da energia superficial, favorecendo a distribuição homogênea das nanofibrilas e potencializando o desempenho antimicrobiano dos revestimentos.

A atividade antimicrobiana foi avaliada por meio do método de difusão em ágar, utilizando *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* como microrganismos-alvo. Os filmes revestidos com CN + OLA apresentaram halos de inibição médios de 1,4 mm para *S. aureus* e 1,1 mm para *E. coli*, com desvio padrão de aproximadamente 0,1 mm em cada caso, enquanto o filme PLA/PBAT sem revestimento não exibiu qualquer atividade antimicrobiana. Foi observado ainda que os sistemas mantiveram sua biodegradabilidade, com o PLA/PBAT revestido, degradando mais de 90% em compostagem industrial a 58°C em 6 meses. Esses resultados confirmam a viabilidade técnica e ambiental da aplicação de revestimentos funcionais à base de nanofibrilas de quitina oriundas de resíduos agroindustriais em embalagens biodegradáveis.

No estudo conduzido por *Li et al.* (2023), foi incorporado na matriz polimérica PLA/PBAT (80:20), o resíduo lignocelulósico de milho (*corn stover*), um subproduto amplamente disponível da agroindústria. O resíduo foi adicionado nas proporções de 5%, 10% e 20% (m/m) em relação à massa da matriz, sem o uso de compatibilizantes sintéticos. A carga foi utilizada tanto in natura (LCS - *Lignocellulosic Corn Stover*) quanto após tratamento com peróxido de hidrogênio alcalino (MLCS - *Modified Lignocellulosic Corn Stover*). Os filmes foram obtidos por meio da técnica de moldagem por compressão a quente, sob pressão de 10 MPa a 180 °C por 6 minutos, seguida de resfriamento sob a mesma pressão em temperatura ambiente. O objetivo do tratamento foi reduzir a coloração escura do resíduo, eliminar o odor característico do material bruto remover compostos fenólicos e reduzir o teor de lignina e hemicelulose, promovendo uma fibra de coloração mais clara e com maior exposição de grupos hidroxilas, facilitando a interação com a matriz polimérica.

Os filmes foram caracterizados comparativamente em relação à morfologia, propriedades mecânicas, térmicas, ópticas, hidrofobicidade e biodegradabilidade. Os resultados mostraram que a incorporação do resíduo tratado (MLCS) resultou em melhorias significativas nas propriedades mecânicas dos filmes PLA/PBAT em relação ao resíduo in natura (LCS). A resistência à tração na ruptura da matriz sem o reforço foi de 26,7 MPa, aumentando para 30,4 MPa com 10% de LCS e para 32,6 com 10% de MLCS. O módulo de Young também foi aumentado, passando de 475 MPa no filme puro para 495 MPa com LCS e 512 MPa com MLCS, refletindo maior rigidez estrutural nos dois casos, com superioridade do material tratado. O alongamento na ruptura, por sua vez, foi reduzido de 61,4% (controle) para 48,3% (LCS) e 50,5% (MLCS), permanecendo ainda compatível com aplicações flexíveis.

Em termos de propriedades térmicas, os compósitos com MLCS apresentaram valores de Tonset superior (305,2°C) ao dos filmes com LCS (301,3°C) e também ao da matriz PLA/PBAT pura (297,3°C), indicando que o tratamento alcalino contribuiu para aumentar a estabilidade térmica do sistema. Além disso, a modificação do resíduo conferiu melhor aparência visual aos filmes, com redução da coloração amarronzada e do odor característico das fibras cruas, aspectos essenciais para sua aceitação em embalagens alimentícias. No que diz respeito à hidrofobicidade, o ângulo de contato com água aumentou de 63,7° (PLA/PBAT puro) para 66,2° com LCS e 71,5° com MLCS nos filmes com 10% de carga, confirmando que o tratamento promoveu menor afinidade com a umidade. Esses resultados demonstram o efeito positivo da modificação química do resíduo, não apenas nas propriedades funcionais, mas também nas características estéticas dos filmes.

Em conclusão, o estudo demonstrou que a incorporação de resíduo lignocelulósico de milho tratado (MLCS) em filmes de PLA/PBAT é uma estratégia eficaz para aliar desempenho técnico, viabilidade econômica e sustentabilidade. As formulações com

10% de MLCS se destacaram por apresentar o melhor equilíbrio entre resistência mecânica, estabilidade térmica, hidrofobicidade e aparência visual, atendendo aos critérios da norma chinesa GB/T 10004-2008 para filmes plásticos em contato com alimentos. A valorização desse subproduto agrícola por meio de uma rota de modificação simples e ambientalmente amigável reforça o potencial da abordagem para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis com alta aceitação comercial.

Resíduos agroindustriais e seus derivados têm sido investigados como alternativas sustentáveis, também para aprimorar a compatibilização de blendas PLA/PBAT. Nesta perspectiva, Silva e Soares (2021) investigaram o uso de um pré-polímero epoxidado derivado do cardanol (ECP - *Epoxidized Cardanol-based Prepolymer*), um composto extraído do líquido da casca da castanha de caju, que é descartada durante o processamento industrial para obtenção da amêndoa comestível, como agente compatibilizante *bio-based*. O desempenho do ECP foi comparado ao de um compatibilizante comercial derivado de petróleo, o copolímero estireno-acrílico epoxidado Joncryl® ADR4300 (ADR). As blendas foram preparadas na proporção PLA/PBAT de 80:20 e compatibilizadas com 1%, 3% e 5% (m/m) de ECP ou ADR, com adição de 1% de trifetilfosfina como catalisador. A caracterização abrangeu propriedades mecânicas, térmicas, reológicas, morfológicas e dinâmico-mecânicas.

A análise mecânica sob tração mostrou que a incorporação de ECP resultou em melhorias significativas na tensão ao escoamento, alongamento na ruptura e no módulo de Young. Comparado à blenda de PLA/PBAT 80:20 sem compatibilizante, que apresentou módulo de Young de 1,7 GPa, o sistema com 3% (m/m) de ECP alcançou um valor de 1,8 GPa, indicando ganho na rigidez estrutural. O sistema contendo 3% (m/m) de ECP apresentou o melhor desempenho, com 46 MPa de tensão ao escoamento e de 190% no alongamento na ruptura.

A morfologia das amostras foi avaliada por MEV, que revelou a formação de domínios de PBAT menores e bem aderidos, caracterizando a morfologia marilha refinada, especialmente nas amostras com 1% e 3% do ECP, indicando boa compatibilidade interfacial.

As análises dinâmico-mecânicas revelaram dois picos de transição vítrea ( $T_g$ ), em 59,8 °C e -27,5 °C relativos aos polímeros PLA e PBAT, respectivamente, indicando a presença de fases distintas. A presença de ECP e ADR não tiveram influência significativa nesses valores. A cristalização a frio ( $T_{cc}$ ) apresentou elevação progressiva com a adição dos compatibilizantes, sugerindo redução da cristalinidade do PLA, passando de 16,0% na blenda pura, para 15,0% com ADR, e 14% com ECP, correspondendo a reduções relativas de aproximadamente de 8,75% a 15%. A análise térmica (DSC) indicou que tanto ADR quanto ECP promoveram leve redução na cristalinidade da fase PLA, reforçando a eficácia da compatibilização reativa em restringir a ordenação segmentar.

De forma geral, os resultados demonstraram que o pré-polímero epoxidado de cardanol é um compatibilizante eficaz, capaz de melhorar as propriedades mecânicas, morfológicas e térmicas das blendas PLA/PBAT. Além de apresentar desempenho comparável ao compatibilizante comercial ADR, o ECP se destaca por sua origem renovável e potencial de valorização de resíduos agroindustriais, representando uma alternativa promissora para formulações de embalagens biodegradáveis e ambientalmente responsáveis.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente demanda por soluções ambientalmente amigáveis na indústria de embalagens alimentícias têm impulsionado o desenvolvimento de compósitos biodegradáveis. A mistura polimérica PLA/PBAT incorporada com resíduos agroindustriais e seus derivados tem se mostrado uma alternativa promissora, ao reunir melhorias nas propriedades dos materiais e alinhamento com os princípios da sustentabilidade e da economia circular.

Este estudo evidenciou que sistemas PLA/PBAT reforçados com bioenrichments provenientes de resíduos agroindustriais não apenas apresentam ganhos em propriedades mecânicas, térmicas e de barreira, como também promovem a valorização de subprodutos agrícolas. A incorporação de nanocristais de celulose, extrato de semente de toranja e nanofibrilas de quitina demonstrou potencial para conferir aos compósitos melhorias adicionais, como resistência mecânica, estabilidade térmica, funcionalidade e atividade antimicrobiana. Agentes compatibilizantes derivados desses resíduos, como o cardanol epoxidado, também têm contribuído para uma melhor interação interfacial entre as fases poliméricas, favorecendo a morfologia e o desempenho global destes materiais.

Apesar dos avanços, ainda persistem desafios, como limitações na biodegradação em condições naturais, custos de produção elevados e a ausência de sistemas adequados de descarte. No entanto, os resultados disponíveis na literatura reforçam o potencial desses compósitos como alternativa viável aos polímeros convencionais, atendendo às crescentes exigências ambientais e regulatórias.

Dessa forma, os compósitos biodegradáveis à base de PLA/PBAT reforçados com resíduos agroindustriais representam uma estratégia promissora, que integra sustentabilidade, inovação, funcionalidade e valorização de subprodutos. Pesquisas futuras devem se concentrar na otimização dos processos de compatibilização, na padronização das rotas de processamento e na avaliação da estabilidade dos materiais ao longo do tempo. Além disso, estudos de viabilidade em escala industrial, segurança para contato com alimentos e análise de ciclo de vida são essenciais para consolidar esses sistemas como alternativas reais no setor de embalagens. O objetivo é garantir o equilíbrio entre desempenho técnico, viabilidade econômica, impacto ambiental positivo e aceitação pelo mercado.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. S.; ISHIKAWA, O. H.; COSTA, R. S.; SEIXAS, M. V. S.; RODRIGUES, R. C. L. B.; MOURA, E. A. B. Development of sustainable food packaging material based on biodegradable polymer reinforced with cellulose nanocrystals. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 31, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100807>. Acesso em: 11 set. 2024.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 147, p. 3, 3 ago. 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/Lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Lei/l12305.htm). Acesso em: 30 maio 2025.
- GUILARD, V.; GAUCEL, S.; FORNACIARI, C.; ANGELLIER-COUSSY, H.; BUCHE, P.; GONTARD, N. The next generation of sustainable food packaging to preserve our environment in a circular economy context. **Frontiers in Nutrition**, v. 5, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00121>. Acesso em: 22 nov. 2024.
- INFURNA, G.; BOTTA, L.; INGARGIOLA, I.; MANISCALCO, M.; CAPUTO, G.; DINTCHEVA, N. T. Biochar from digestate pyrolysis as a filler for biopolymer blends: Effect of blend composition. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 32, p. 1921–1936, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10924-023-03108-1>. Acesso em: 12 set. 2024.
- LI, R.; ZHU, X.; PENG, F.; LU, F. Biodegradable, colorless, and odorless PLA/PBAT bioplastics incorporated with corn stover. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 11, p. 8870–8883, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c00691>. Acesso em: 09 out. 2024.
- NCUBE, L. K.; UDE, A. U.; OGUNMUYIWA, E. N.; ZULKIFLI, R.; BEAS, I. N. Environmental impact of food packaging materials: a review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid based materials. **Materials**, v. 13, n. 21, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma13214994>. Acesso em: 06 dez. 2024.
- SHANKAR, S.; RHIM, J.-W. Preparation of antibacterial poly(lactide)/poly(butylene adipate-co-terephthalate) composite films incorporated with grapefruit seed extract. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 120, p. 846–852, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.004>. Acesso em: 21 nov. 2024.
- SILVA, J. M. F.; SOARES, B. G. Epoxidized cardanol-based prepolymer as promising biobased compatibilizing agent for PLA/PBAT blends. **Polymer Testing**, v. 93, p. 106973, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106889>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- TIIMOB, B. J.; MWINYELLE, G.; ABDELA, W.; SAMUEL, T.; JEELANI, S.; RANGARI, V. K. Nanoengineered eggshell–silver tailored copolyester polymer blend film with antimicrobial properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 7, p. 1967–1976, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00133>. Acesso em: 15 out. 2024.

# Anais

do 2º Congresso Internacional  
de Resíduos e Saneamento  
em Búzios 2025

**CIRS**  
Búzios



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

**Atena**  
Editora  
Ano 2025

**Masterplan**  
ENGENHARIA CONSULTIVA E AMBIENTAL

# Anais

do 2º Congresso Internacional  
de Resíduos e Saneamento  
em Búzios 2025



**CIRS**  
Búzios



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

**Atena**  
Editora  
Ano 2025

**Masterplan**  
ENGENHARIA CONSULTIVA E AMBIENTAL