



SUSTENTABILIDADE MEIO AMBIENTE RESPONSABILIDADE SOCIAL

ARTIGOS SELECIONADOS

(Organizador)
José Henrique Porto Silveira




Editora Poisson

VOLUME

9

José Henrique Porto Silveira
(Organizador)

Sustentabilidade, Meio Ambiente e
Responsabilidade Social:
Artigos Seleccionados
Volume 9

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2025

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade

Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos

Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC

Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy

MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S964

Sustentabilidade, Meio Ambiente e
Responsabilidade Social: Artigos
Selecionados – Volume 9/ Organização:
José Henrique Porto Silveira – Belo
Horizonte – MG: Editora Poisson, 2025

Formato: PDF

ISBN: 978-65-5866-559-5

DOI: 10.36229/978-65-5866-559-5

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Meio ambiente 2. Sustentabilidade.
3. Responsabilidade Social I. SILVEIRA, José
Henrique Porto II. Título

CDD-333.72

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896



O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.

Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterado.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br

Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Desafios da governança hídrica: experiências da costa norte do Perú .06

Elmer García Samamé, Antenor de Oliveira Aguiar Netto, Ricardo David Castillo Salazar, Toribio Sebastián Santayana Vela

DOI: 10.36229/978-65-5866-559-5.CAP.01

Capítulo 2: Papel da legislação ambiental na Agenda 2030: um olhar comparativo entre Brasil, Itália, Alemanha, Portugal e Espanha 25

Priscila Natasha Kinas

DOI: 10.36229/978-65-5866-559-5.CAP.02

Capítulo 3: Questão ecológica e pensamento fraco: uma ética do cuidado e da escuta do silêncio animal..... 40

Lucas Pereira da Silva Freitas

DOI: 10.36229/978-65-5866-559-5.CAP.03

Capítulo 4: Resíduos sólidos: reutilização do papel na produção de vasos biodegradáveis..... 50

Cristiano Tenorio-Santos, Sophia Lohane de Abreu Leite Nestor, Vinicius José de Paiva Nogueira, Ihasmy Vitória Bezerra de Sousa, Karinne Fonseca Ferreira, Martina Fonseca Martins, Sergio Dias da Costa Junior, Moabe Pina da Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-559-5.CAP.04

Capítulo 5: Aplicações da técnica combinada UV/H₂O₂ na degradação de poluentes emergentes, com ênfase em suas principais características: uma mini revisão 67

Luise Barreto Röpke, Ana Carolina Ferreira Piazzzi Fuhr, Elvis Carissimi, Jandira Leichtweis

DOI: 10.36229/978-65-5866-559-5.CAP.05

Capítulo 6: Aplicativo móvel para monitoramento e alerta de enchentes em Malhada - Bahia 78

Ana Carolina Sokolonski, Mateus dos Santos Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-559-5.CAP.06



SUMÁRIO

Capítulo 7: Monitoramento hidroenergético em pequenas centrais elétricas de Mato Grosso: análise hidrossedimentológica na Bacia do Rio Juruena..... 89

Rose Mary Teixeira de Lemos, Maria Fátima dos Santos, Wiully Luan Valverde de Queiroz, Rhayane Carvalho Roque, Frederico Fábio Mauad, Renato Billia de Miranda

DOI: 10.36229/978-65-5866-559-5.CAP.07

Autores..... 116

Capítulo 1

Desafios da governança hídrica: experiências da costa norte do Perú

Elmer García Samamé

Antenor de Oliveira Aguiar Netto

Ricardo David Castillo Salazar

Toribio Sebastián Santayana Vela

Resumo: Este capítulo analisa a gestão da água na costa norte do Perú, a partir de uma revisão da normativa hídrica nacional e do estudo do papel das Juntas de Usuários da Água como operadoras de infraestrutura hidráulica. O foco recai sobre situações de manejo inadequado da água e da administração das tarifas em diferentes organizações de usuários — Jequetepeque, Tumbes, San Lorenzo, Chancay Lambayeque e La Leche. A pesquisa foi desenvolvida por meio de levantamento bibliográfico e observação direta, complementados por estudos de caso. Os resultados revelam práticas que contrariam a legislação vigente, expressas no mau uso dos recursos hídricos, na gestão ineficiente das tarifas e na baixa transparência institucional. Tais evidências indicam a necessidade de fortalecer os mecanismos de fiscalização da Autoridade Nacional da Água (ANA), de modo a assegurar a correta aplicação dos recursos públicos e promover maior governança hídrica em âmbito regional.

Palavras-chave: Gestão da água, Governança hídrica, Juntas de Usuários, Perú, Infraestrutura hidráulica, políticas públicas.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso estratégico para a sobrevivência humana, o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ambiental. No entanto, em diversos países latino-americanos, a gestão desse recurso enfrenta sérios desafios decorrentes de práticas administrativas deficientes, baixa eficiência no uso agrícola, pressões antrópicas e lacunas institucionais. O caso peruano é emblemático: apesar de avanços legislativos importantes, como a criação da Autoridade Nacional da Água (2008) e a promulgação da Lei de Recursos Hídricos (2009), ainda persistem falhas na implementação prática das normas. Examinar as experiências das Juntas de Usuários torna-se, assim, fundamental para compreender os obstáculos da governança hídrica e propor caminhos para maior eficiência e transparência.

A recente Lei Nº 31801 (2023), que regula e reforça o papel das organizações de usuários como atores centrais na gestão da água; em seu artigo 29 do Regulamento da citada Lei, estabelece que as Juntas de Usuários são responsáveis por operar e manter a infraestrutura hidráulica sob sua administração, distribuir a água em seus setores, cobrar e administrar as tarifas de água — que são recursos públicos — e transferir as retribuições econômicas à ANA. Nesse sentido, a tarifa de água, prevista no artigo 105 do Regulamento, constitui a principal fonte de financiamento para a manutenção da infraestrutura e para o funcionamento das próprias organizações, vinculando diretamente a sustentabilidade financeira à eficiência administrativa dessas entidades.

Apesar do marco legal, há escassez de estudos que documentem casos práticos de gestão inadequada da água e das tarifas pelas Juntas de Usuários. As pesquisas disponíveis concentram-se, em geral, em análises conceituais ou em diagnósticos de limitações na gestão integrada dos recursos hídricos, o que revela a necessidade de aprofundar investigações sobre os efeitos concretos da aplicação das normas. Essa lacuna evidencia o desafio de transformar dispositivos legais em práticas efetivas de governança hídrica.

Neste capítulo, são analisadas situações concretas de gestão hídrica na costa norte do Perú, a partir de documentos oficiais da Autoridade Nacional da Água (ANA), da observação direta dos autores em sua experiência institucional e de denúncias públicas divulgadas pela imprensa nacional. O objetivo é evidenciar como determinadas práticas de mau uso da água, má administração das tarifas e fragilidade na transparência institucional comprometem a eficácia do marco regulatório, gerando riscos para a governança hídrica e para a adequada utilização dos recursos públicos. Ao apresentar esses casos, busca-se contribuir para o debate acadêmico e institucional sobre a necessidade de fortalecer os mecanismos de controle, transparência e responsabilização na gestão da água no país.

2. OBJETIVO

Este capítulo tem como objetivo analisar casos de gestão inadequada da água e da administração de tarifas públicas nas Juntas de Usuários localizadas na costa norte do Perú, destacando as implicações institucionais, sociais e econômicas dessas práticas. Busca-se demonstrar como tais irregularidades afetam a governança dos recursos hídricos e reforçar a necessidade de mecanismos mais eficazes de controle, transparência e responsabilização, com a finalidade de evidenciar que a sustentabilidade hídrica depende não apenas de arcabouços legais sólidos, mas também de práticas administrativas éticas e eficientes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÂMBITO DO ESTUDO

A ANA, tem presença em nível nacional por meio de seus órgãos desconcentrados: 14 Autoridades Administrativas da Água (AAA) e 72 Administrações Locais da Água (ALA).

O presente documento é desenvolvido no âmbito da AAA Jequetepeque Zarumilla (AAA JZ), cuja delimitação foi aprovada por meio da RJ N° 546-2009-ANA, contando com uma superfície de 62.155,67 km². Esse território é composto por 31 bacias hidrográficas, que abrangem áreas de cinco (05) Governos Regionais: Tumbes, Lambayeque, Cajamarca, La Libertad e Piura, sendo este último o que ocupa a maior proporção (54% da AAA JZ).

Dentro da AAA JZ, existem nove (09) Administrações Locais da Água (ALA), a saber: Tumbes, Alto Piura, Médio e Baixo Piura, Chira, San Lorenzo, Motupe Olmos La Leche, Chancay Lambayeque, Jequetepeque e Zaña. Também existem quatro (04) Conselhos de Bacia de Recursos Hídricos: Chira - Piura (DS N° 006-2011-AG, 14/06/2011), Chancay - Lambayeque (DS N° 008-2011-AG, 08/07/2011), Tumbes (DS N° 013-2012-AG, 27/09/2012); e Jequetepeque - Zaña (DS N° 016-2016-MINAGRI, 26/07/2016). As principais características da AAA JZ são mostradas na Tabela 1.

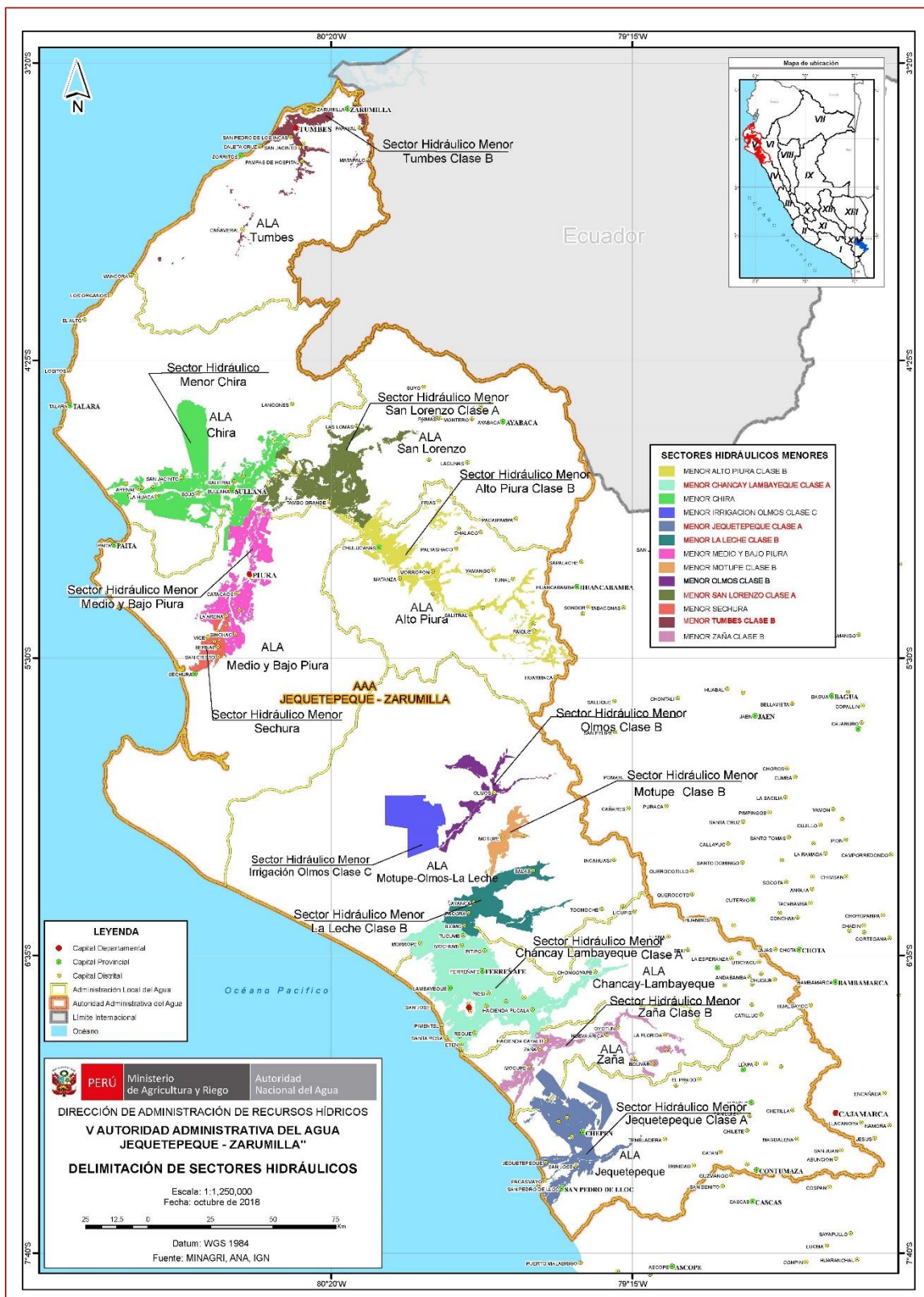
Tabela 1- Principais características da AAA Jequetepeque Zarumilla

Órgãos descentralizados					
ALA (Administração Local da Água)			Conselhos de Recursos Hídricos		
9			4		
Âmbito geográfico					
Âmbito (km²)	Juntas de Usuários Agrícolas	Área Irrigada (ha)	Quantidade de Usuários	Comissões de Usuários	Comitês de Usuários
62.158	13	418.897	153.383	148	470
Regiões					
Regiões		Províncias	Distritos		População
5		31	258		5.495.210
Sistemas Regulados		Reservatórios	Volume Inicial (MMC)	Volume Atual (MMC)	
Chira		Poechos	885	550	
San Lorenzo		San Lorenzo	258	191	
Chancay Lambayeque		Tinajones	320	293	
Jequetepeque		Gallito Ciego	638	386	
Irrigação Olmos		Palo Verde	0,6	0,6	

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com as normas vigentes, as JU são responsáveis por operar os Setores Hidráulicos Menores. Sua localização dentro da AAA JZ é apresentada na Figura 1.

Figura 1- Juntas de Usuarios e ALA localizadas dentro da AAA JZ



Fonte: Tomado de www.ana.gob.pe , adaptado pelos autores.

3.2. FONTES DE INFORMAÇÃO

A problemática da água no Peru tem sido abordada em diversos eventos; no entanto, são raríssimos os estudos de caso sobre a má gestão da água e das tarifas — ou, se existem, não são divulgados. Por isso, foi feita uma revisão de informações relacionadas à normativa hídrica do país e das JU, bem como de processos administrativos que deram origem a resoluções diretorais emitidas pela AAA JZ, como resultado das sanções aplicadas às JU por descumprirem suas funções. Também foram analisados recortes de jornais que demonstram preocupação constante com a forma como a água e os recursos financeiros são administrados.

Um documento importante que resume a problemática da água com fins agrícolas foi elaborado por Rivas (2009), que aponta que o maior consumo e a maior ineficiência na gestão da água ocorrem no setor agrícola. Portanto, um dos desafios da nova institucionalidade é alcançar maior eficiência no uso da água de irrigação por esse setor produtivo. O autor também indica que, no Peru, existem 110 juntas de usuários, sendo que não mais do que 10 realizam uma gestão aceitável. A maioria apresenta aspectos críticos, entre os principais:

- Extensão territorial crítica que impede a autossustentabilidade técnica, administrativa e financeira;
- Pouco ou mau uso de instrumentos de gestão;
- Captação, condução, distribuição e medição da água deficientes;
- Manutenção precária da infraestrutura hidráulica, drenagem e caminhos de vigilância;
- Escassez de programas de inovação. Quase inexistência de investimento em infraestrutura hidráulica e modernização da gestão técnico-administrativa;
- Capacitação, sensibilização e informação sobre o andamento da gestão em declínio;
- Incapacidade para resolver problemas internos;
- Falta de provisão para enfrentar fenômenos climáticos extremos;
- Desorganização administrativa;
- Ausência de associatividade e visão de agricultura empresarial;
- Baixa tecnificação da irrigação nas comissões de regantes e propriedades agrícolas.

Na dissertação intitulada “Conflitos de água pela ineficiência na gestão de recursos hídricos no âmbito da ALA Huancavelica”, desenvolvida por Chahuayo (2013), chegaram-se a conclusões importantes, entre elas: os conflitos relacionados à gestão da água, que colocam usuários contra as autoridades estatais, não se devem à quantidade ou qualidade da água, mas sim à forma como o recurso é governado, administrado ou gerido. A ANA deve fortalecer suas políticas para regular o uso da água, promovendo uma gestão equitativa e sustentável.

A Nota Informativa N° 00164-2017-CG/LEG, de 09 de junho de 2017, contém atualização da opinião legal sobre a natureza pública ou privada das tarifas de água cobradas pelas JU. Essa opinião foi enviada pela Sede Central da ANA a todos os órgãos desconcentrados do país, por meio do Memorando N° 034-2018-ANA-DOUA. Nas conclusões da referida Nota da Controladoria Geral da República, afirma-se: 3.1. – Com a entrada em vigor da Lei N°

30157 e seu Regulamento, as tarifas de água previstas no artigo 90º da Lei Nº 29338 – Lei de Recursos Hídricos (LRH), constituem de forma indubitável recursos públicos. Ainda que a Lei 30157 tenha sido revogada, e atualmente vigore a Lei 31801, nela permanece o caráter público das tarifas de água.

Por outro lado, a OCDE (2021) destaca que o Perú conta com um marco institucional baseado em uma legislação bastante sólida, especialmente após a aprovação da LRH e seu regulamento. A maioria dos desafios atuais está na implementação desse arcabouço legal para melhorar a gestão integrada dos recursos hídricos.

3.3. METODOLOGIA

Optou-se pela pesquisa do tipo “estudo de caso”, com base no que aponta Soler (2009), que menciona as seguintes situações em que tal abordagem é adequada:

- a) casos únicos: análise de organizações, acontecimentos históricos, líderes proeminentes, etc.
- b) casos pertencentes a uma classe de casos idênticos: ao estudar um, conhece-se as características dos demais;
- c) caso único de uma classe de casos: objetos arqueológicos que existiam em número, mas foi encontrado apenas um — como fósseis de animais extintos;
- d) casos complexos: comportamentos humanos, roubos, corrupção, atividades diversas.

Esta pesquisa se enquadra no grupo (d), casos complexos.

Utilizou-se a técnica de pesquisa de campo, com análise sistemática das funções tanto das JU quanto da ANA, com o objetivo de compreender seu funcionamento. Uma das características dessa técnica é a coleta de dados ou levantamento bibliográfico, por meio da busca, recuperação, análise, crítica e interpretação de informações de documentos como livros, relatórios técnicos, leis e normas.

Também foi usada a técnica de observação direta, definida por Tamayo e Tamayo (2002) como aquela em que o pesquisador observa e coleta dados por sua própria percepção, participando ativamente, uma vez que desempenha um papel dentro da comunidade investigada. Para aplicar essa técnica, foi utilizado como instrumento a lista de verificação, definida por Arias (2006) como uma ferramenta que indica a presença ou ausência de um aspecto ou comportamento a ser observado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ANA foi criada pelo Decreto Legislativo Nº 997, em 13 de março de 2008, no âmbito da organização e das funções do Ministério da Agricultura (MINAG), sendo, até hoje, um organismo público vinculado ao Ministério do Desenvolvimento Agrário e Irrigação (anteriormente MINAG, hoje MIDAGRI), responsável por estabelecer normas e procedimentos para a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos, exercendo também poder sancionador por infrações à normativa. Essas sanções são independentes da responsabilidade de natureza civil ou penal, podendo inclusive promover ações judiciais civis e penais.

Desde sua criação, a ANA foi incumbida de elaborar a Política e Estratégia Nacional de Recursos Hídricos (PENRH), o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), além dos Planos de Bacia, estes últimos sob a direção das AAA. Todos esses documentos constituem instrumentos de planejamento do Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (SNGRH), criado com o propósito de articular a atuação do Estado na condução dos processos de gestão integrada e conservação dos recursos hídricos nos âmbitos das bacias (conforme o Art. 9 da LRH).

A LRH detalha ainda os 11 princípios que regem a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), sendo eles:

- Princípio da valorização e gestão integrada da água;
- Princípio da prioridade no acesso à água;
- Princípio da participação da população e cultura da água;
- Princípio da segurança jurídica;
- Princípio do respeito aos usos da água por comunidades campesinas e nativas;
- Princípio da sustentabilidade;
- Princípio da descentralização da gestão pública da água e autoridade única;
- Princípio da precaução;
- Princípio da eficiência;
- Princípio da gestão integrada participativa por bacia hidrográfica;
- Princípio da tutela jurídica.

Por sua vez, o artigo 28 da LRH estabelece que a JU se organiza com base em um sistema hidráulico comum, conforme os critérios técnicos da ANA. As funções das JU são: (a) Operação e manutenção da infraestrutura hidráulica; (b) Distribuição da água; (c) Cobrança e administração das tarifas de água.

O exercício dessas funções, por tratarem de recursos de natureza pública, é avaliado segundo as normas do Sistema Nacional de Controle (Concordância: Art. 40 do RLRH; Art. 13 do RLOUA).

As JU desempenham o papel de operadoras de infraestrutura hidráulica, conforme estabelecem os artigos 33 e 42 do RLRH, em concordância com os artigos 29, 30 e 31 do RLOUA. As atribuições e responsabilidades das JU como operadoras estão descritas com maior detalhe nos artigos 3, 4 e 5 do ROIH. Ainda, em caso de descumprimento de suas funções, as JU incorrem em infrações relacionadas à operação e manutenção da infraestrutura hidráulica e ao Plano Plurianual de Investimentos (PPI), como ausência de instrumentos técnicos, definição de tarifas e contribuições, arrecadação e transferência da retribuição econômica, distribuição da água e falta de transparência institucional — conforme descrito nos artigos 121 a 128 do RLOUA.

Dentro do ROIH, destaca-se o instrumento de gestão denominado Plano de Operação, Manutenção e Desenvolvimento da Infraestrutura Hidráulica (POMDIH), considerado um instrumento de planejamento que reúne as atividades que o operador executará ao longo de um ano para prestar o serviço de fornecimento de água aos usuários. O POMDIH serve de base para o cálculo do valor da tarifa de água conforme metodologia aprovada pela ANA.

A tarifa de água é aprovada pelas ALA e proposta por cada operador. Operadores maiores, como os Projetos Especiais Jequetepeque Zaña (PEJEZA), Olmos Tinajones (PEOT), e Chira Piura, propõem o valor da tarifa maior. As JU propõem o valor da tarifa menor. Já a retribuição econômica é aprovada anualmente por Decreto Supremo, e representa uma contraprestação que todo usuário deve pagar, pois a água é um recurso natural patrimônio da Nação.

Assim, cada metro cúbico de água tem um custo equivalente à soma de:

- Tarifa pelo Uso da Infraestrutura Hidráulica Maior (TUIHMA)
- Tarifa pelo Uso da Infraestrutura Hidráulica Menor (TUIHME)
- Retribuição Econômica (RE).

As JU, ao realizar a distribuição da água, também ficam encarregadas da cobrança das tarifas e da distribuição dos componentes para os destinatários corretos: a TUIHMA vai para o operador maior; a TUIHME, para a própria JU; e a RE deve ser transferida à ANA, que utiliza esses recursos para financiar a gestão da água. Em áreas onde não há Projetos Especiais, utiliza-se apenas a TUIHME e a RE.

O POMDIH é um instrumento de gestão que abrange sete (07) eixos:

1. Operação da infraestrutura hidráulica
2. Manutenção da infraestrutura hidráulica
3. Desenvolvimento da infraestrutura hidráulica
4. Gestão administrativa da prestação do serviço
5. Conservação e proteção dos recursos hídricos
6. Prevenção de riscos à infraestrutura hidráulica e ao meio ambiente
7. Capacitação e comunicação para o uso eficiente da água

É nestes eixos que devem ser aplicados os recursos das tarifas de água.

4.1. CLASSIFICAÇÃO DOS SETORES HIDRÁULICOS

A classificação de setor hidráulico menor Classe A corresponde àqueles que, dentro de sua área, incluem obras de derivação em um ou mais pontos de infraestrutura hidráulica maior ou em uma fonte de água de regime permanente (exemplos: Jequetepeque, San Lorenzo, Chancay Lambayeque). O setor hidráulico menor Classe B compreende obras de armazenamento inferiores a 10 hm³ ou derivação em um ou mais pontos de uma fonte natural de regime não permanente (exemplos: Tumbes, La Leche). Já a Classe C se distingue por captar água de diferentes fontes naturais.

As funções das JU consistem basicamente em operar, manter e promover o desenvolvimento da infraestrutura hidráulica, distribuir a água, cobrar e administrar as tarifas. No entanto, ao comparar essas funções com o comportamento identificado nos estudos de caso, observa-se falta de transparência institucional, má gestão, entre outras irregularidades.

Tabela 2 - Características das Juntas de Usuários abordadas nos estudos de caso

Nº	Junta de Usuarios	Criacao	Región (Estado)	Área total (ha)	Usuarios
01	Jequetepeque	1979	La Libertad	65 158	12 698
02	Chancay Lambayeque	1972	Lambayeque	119 586	29 146
03	La Leche	1980	Lambayeque	13 882	7 549
04	San Lorenzo	1972	Piura	53 773	7 561
05	Tumbes	1980	Tumbes	10 387	3 971

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2.JUNTA DE USUÁRIOS DO SETOR HIDRÁULICO MENOR JEQUETEPEQUE-CLASSE A

Criada em 1979 como Junta de Usuários do Distrito de Irrigação Jequetepeque, essa organização é reconhecida hoje, conforme a nova legislação, como Junta de Usuários do Setor Hidráulico Menor Jequetepeque – Classe A. Possui 124,83 km de canais de derivação e 182,92 km de canais de distribuição de água. Sua área total é de 63.158,36 ha, das quais 56.807,72 ha estão sob irrigação, abrangendo 14 comissões de usuários ou subsectores hidráulicos.

Conforme os expedientes administrativos que deram origem às sanções impostas pela ANA, a ALA Jequetepeque realizou supervisões técnico-administrativas à JU nos anos de 2017 e 2018 para verificar o uso correto das tarifas de água. Constataram-se sérias irregularidades, como a omissão na cobrança das tarifas de usuários (gerando dívidas de S/. 1.812.827,06, afetando a retribuição à ANA), o uso indevido de recursos públicos para fins não aprovados pela ALA, despesas sem documentação comprobatória e outros gastos não previstos.

Por tais razões, a ANA, por meio da AAA JZ, aplicou duas sanções à JU, formalizadas nas Resoluções Diretorais Nº 2100 e 2273-2018-ANA-AAA.JZ.V (ambas confirmadas pelo Tribunal Nacional de Controvérsias Hídricas), por infrações à transparência institucional, descumprimento de recomendações e sugestões sobre:

- Montantes cobrados e transferidos à ANA como retribuição econômica;
- Observações aos balanços financeiros;
- Falta de detalhamento de despesas por conta bancária;
- Ausência de demonstrações contábeis auditadas e respectivas atas de aprovação;
- Falta de instrumentos de gestão;
- Realização de obras sem ficha técnica ou prestação de contas.

A terceira sanção consta na RD Nº 2291-ANA-AAA.JZ-V, por não apresentar informações relativas aos gastos excessivos realizados com recursos da tarifa. Já a quarta sanção, na RD Nº 2234-ANA-AAA.JZ-V, foi motivada pela falta de justificativas para despesas, como o gasto de S/. 888.371,33 no item de operação da infraestrutura, quando o aprovado foi de S/. 169.848,00. No item de gestão dos recursos econômicos, o valor programado foi de S/. 1.151.020,92, mas o gasto executado foi de S/. 1.904.540,14 — Diferença não justificada de S/. 735.519,22. Houve também incoerências entre volumes de água utilizados e valores arrecadados, além de atrasos injustificados na transferência da retribuição à ANA.

Paralelamente às ações da ANA, o Ministério Público de Pacasmayo, por meio da Disposição Nº 04-2019, de 24 de maio de 2019, abriu investigação preparatória contra os

4.3. JUNTA DE USUÁRIOS DO SETOR HIDRÁULICO MENOR SAN LORENZO – CLASSE A

Segundo Monjarás (2014), o Projeto San Lorenzo (1950–1955) completou seu desenvolvimento agrícola em 1969 e foi considerado a obra mais importante de irrigação e colonização agrícola em ambiente desértico da América do Sul. San Lorenzo é um caso especial: a JU atua como operadora maior e menor.

Os agricultores beneficiam-se das águas dos rios Quiroz e Chipillico, reguladas pelo reservatório San Lorenzo, situado no leito do rio Chipillico, que atende às suas demandas hídricas. A infraestrutura compreende 254 km de canais de derivação e 564,77 km de canais de distribuição, irrigando aproximadamente 46.000 ha. Segundo o estudo de delimitação da ALA San Lorenzo (ANA 2016), o vale possui 53.773 ha, dos quais 41.840,69 ha estão sob irrigação regular, atendendo 7.561 usuários.

O relatório de auditoria hídrica-financeira do Sistema San Lorenzo (2013–2018), elaborado por profissionais da ANA, AAA JZ e ALA SL, revelou preocupações internas. Com a mesma oferta hídrica de 2009 (676,11 hm³), a área irrigada aumentou para 57.192,05 ha em 2019 — um crescimento de 15.351,36 ha — não devido à modernização, mas à má distribuição da água pelas Comissões de Usuários, causando atrasos e prejuízos a agricultores regulares.

Em média, as perdas por condução e distribuição foram de 172,19 hm³, ou 39% do volume total liberado pelo reservatório. Como não existem estudos formais de perdas, os dados são estimativas do pessoal operacional, mas podem estar relacionados ao consumo de agricultores informais (sem direito de uso da água), prejudicando os usuários formais e impactando as tarifas — já que o volume “perdido” não é cobrado nem repassado à ANA.

A má gestão da água foi confirmada pela ANA. Comissões como Yuscay Tablazo Alto e Tejedores TJ 05 – TG Malingas receberam mais água do que o permitido. Por outro lado, oito comissões receberam menos água do que seus direitos estabeleciam. Destaca-se o caso da Comissão M – Malingas, que deveria receber 43,42 hm³, mas obteve apenas 19,58 hm³ (45%). O volume “economizado” pode ter sido utilizado por informais, não registrados na ANA, mascarado como perda, o que teria possibilitado o crescimento desordenado de mais de 15 mil hectares entre 2009 e 2019.

Outro ponto crítico, decorrente da má gestão, diz respeito às tarifas: as dívidas informadas até 31 de dezembro de 2018 somavam S/. 2.510.971, dos quais S/. 52.528,62 correspondiam à retribuição econômica devida à ANA. Somam-se a isso o pagamento de diárias e ajudas de custo indevidas a dirigentes, desembolsos irregulares não justificados, prestações de contas incompletas e fraca documentação de controle. Todos esses fatores motivaram a emissão de Parecer Adverso aos Estados Financeiros entre 2013 e 2016.

Figura 3 - Recorte de jornal sobre a situação econômica na JU San Lorenzo. As dívidas com o Banco Continental ultrapassariam 6 milhões de soles e 220 mil soles com trabalhadores, determinadas por ordem judicial

08 Junta San Lorenzo

Observan balance semestral de la junta San Lorenzo

La asamblea de agricultores asistió a la Junta de usuarios San Lorenzo para escuchar la exposición del primer balance semestral del 2019, pero no fue aprobado por una deuda que asciende a más de un millón de soles.

El presidente de la junta de usuarios, Bruno Fossa, dijo que el balance presentado indicaba que supuestamente la junta iba asumir una deuda por más de un millón de soles, ya que deben más de 700 mil soles a la empresa PiuraMac por los trabajos de descolmatación, limpieza y desbroce de canales que realizaron tras el fenómeno Costero y que Agro Rural hasta el momento no ha cancelado dicho monto, por lo que mantienen un juicio con la institución.

Esta situación también sucedió en la junta de Chira, pero el peritaje pasó regularmente; sin embargo en San Lorenzo el peritaje realizado por el Colegio de Ingenieros de Lima no aprobó en su mayoría los trabajos de descolmatación realizados por la empresa Piura Mac.

La junta de usuarios tiene un contrato con la empresa por el compromiso que asumió Agro Rural, luego desconoció dicho trato, por lo que vienen exigiendo el pago de las horas trabajadas por la maquinaria; en consecuencia han tenido que entablar una denuncia judicial contra Agro Rural.

DEUDA AL BANCO

Por otro lado, la Junta mantiene una deuda con el banco Continental y para poder dialogar la entidad financiera pidió que le adelanten 300 mil soles, lo que sería imposible pagar, mientras los intereses siguen avanzando. El saldo total que se debe al banco sería no menos de seis millones de soles y a los trabajadores se le adeuda 220 mil soles por empleados repuestos por orden judicial.

Hasta el momento no hay sanciones para los dirigentes que han pasado por la junta de usuarios San Lorenzo. No obstante, en el caso de los audios se denunciará a los responsables y asesoría legal serán los encargados de emitir la denuncia ante la Fiscalía.

Durante los audios se tocan los nombres del vicepresidente de la junta y el gerente, ante ello Fossa, dijo que mientras no existan pruebas no se puede tomar el nombre de ninguna persona.

GERENCIA DE JUNTA

En el caso del gerente, Eriberto Ruiz, a quien el directorio le quitó la confianza, a sido remplazado por el ingeniero Juan Gómez Murillo. La confianza se le ha quitado básicamente por la difusión de estos audios. Sin embargo, Fossa dijo que respeta la decisión democrática del directorio.

El balance ya está ejecutado, los gastos están hechos y no va a variar, hay algún tipo de observaciones que tendrán que ser presentadas por los presidentes de comisión, por lo que tienen 10 días hábiles para presentar sus observaciones. En tanto, la Autoridad Local del Agua ya tiene en sus manos el balance semestral del presupuesto 2019.

PROCURADOR DEL ANA

Agregó, que el 04 de octubre llegó un procurador de la Autoridad Nacional del Agua- ANA muy preocupado por una denuncia ante la Fiscalía, pero no tenía conocimiento de esta denuncia que abarca a muchos ex dirigentes por usurpación malversación apropiación ilícita de dinero, no pago de CTS, AFP y están tomando todas las medidas judiciales.

En una próxima reunión se van a informar sobre las denuncias que existen en la Fiscalía por la gestión de Tito Flores y sus ex dirigentes de esa gestión. "Cuando ingresamos a la Junta, solo encontramos 617 soles y con una deuda aproximada de seis millones de soles", criticó Bruno Fossa.

Inician trabajos para automatizar presa San Lorenzo

Cumpliendo con el compromiso de la instrumentación y modernización de nuestra represa San Lorenzo, el consorcio Geogrup inicio el pasado sábado los trabajos preliminares, que consisten en la habilitación de caminos de acceso, para la instalación de sensores en el dique principal del reservorio.

El jefe de la infraestructura hidráulica mayor Ing. Miguel Arica, informó que este proyecto permitirá entre otros aspectos conocer el asentamiento y/o deslizamiento del dique principal, cuyas acciones son implementadas bajo la normatividad vigente, según R.J N°272-2018- ANA del Reglamento de seguridad de presas públicas de embalses de agua.

Esta intervención de gran envergadura es financiada a través del banco mundial y ejecutada por la Autoridad Nacional del Agua, bajo su unidad de modernización para la gestión de los recursos hídricos, la misma que se implementará en 10 cuencas, para el caso de la zona norte se efectuará en el reservorio de Poechos, gallito ciego y tinajones.

Es preciso mencionar que estos trabajos están proyectados para su ejecución en un periodo de seis meses.

16 Años - Raíces Octubre 2019

Fonte: Revista Raíces. Piura, outubro de 2019.

Figura 4 – Recorte jornalístico alusivo à San Lorenzo

El Tiempo | Viernes 8 de febrero de 2019

Bruno Fossa: San Lorenzo debe estar en manos de una entidad del Estado

El dirigente asegura que los agricultores no pueden mantener un sistema tan deteriorado. Jorge Burneo, del Comité de Productores de Arroz, señala que la infraestructura es del Estado.

Teo Zavala Palacios

La propiedad de la infraestructura de San Lorenzo está en limbo legal. Aunque todos dan por hecho que pertenece al Estado, no hay alguna institución que se haga responsable de su mantenimiento y del manejo integral del sistema hidráulico.

Al respecto, el presidente de la Junta de Usuarios de San Lorenzo, Bruno Fossa, señala que la infraestructura mayor, por estar tan deteriorada, no puede ser manejada por los agricultores. Ello es muy caro y no tienen dinero para ello, por lo tanto debe estar en manos del Estado. "Mucha gente va a decir que no, pero sería un gran adelanto".

Ayer, el ingeniero Luis Zegarra Camminati señaló que con el tema de la reconstrucción San Lorenzo podría tener problemas porque si no se tiene establecido quién es el dueño no se podría invertir. Si es un ente privado, dijo, no es posible ponerle dinero público. En cambio, si pertenece al Estado, debe estar administrado por alguna entidad estatal, tal como lo está el Chira Piura, por ejemplo.

¿QUIÉN?
Fossa explica que toda la infraestructura es del Estado: "Peleamos para que nos entregaran todo, pero nunca hemos podido manejarlo". También es cierto que les

entregaron el manejo del reservorio, los canales y el agua, pero nunca hubo una transferencia legal; por lo tanto, no se puede decir que los agricultores sean los dueños.

"Somos una mixtura entre lo privado y estatal porque manejamos un recurso del Estado (agua). Es una obra pública y su manejo le corresponde al Ministerio de Agricultura, y podría ser la Autoridad Nacional del Agua (ANA), por ahí sería la salida", explicó.

El sistema San Lorenzo tiene más de 60 años y la Junta de Usuarios ha hecho algunas reparaciones con apoyo del Estado y de Cooperación Internacional. Sin embargo, en este momento necesita de una gran inversión para evitar el colapso total.

La Autoridad para la Reconstrucción con Cambios ha considerado una serie de obras en esta zona, sobre todo en los canales principales, como Quiroz y el túnel Culqui.

PARA SALVAR SAN LORENZO, SE NECESITA UNA INVERSIÓN MILLONARIA, PORQUE LA DESTRUCCIÓN VIENE DE MUCHOS AÑOS ATRÁS

Es del Estado

Jorge Burneo, expresidente del Comité de Productores de Arroz de San Lorenzo, considera que la infraestructura de riego es del Estado y los agricultores la han mantenido. En dos oportunidades le han hecho reparaciones importantes.

Le respondió a Luis Zegarra Camminati diciendo que sí pagan el agua.

Zegarra dijo ayer que

hay alta morosidad y poco se invierte en el mantenimiento de los canales; cuando ha habido dinero, ha ido otros proyectos, como la instalación de una planta procesadora de mango, que finalmente no dio resultado y dejó a la Junta de Usuarios con deudas y con embargos por parte de las entidades bancarias que financiaron la inversión.

Ordenan encarcelamiento preventivo a sujeto Instituto Alas

Fonte: Diário El Tiempo. Piura, 08 de fevereiro de 2019.

4.4. JUNTA DE USUÁRIOS DO SETOR HIDRÁULICO MENOR CHANCAY LAMBAYEQUE – CA

Foi criada com base no Decreto-Lei 17752 e reconhecida pela Resolução Ministerial Nº 5257-72-AG. Com o novo marco normativo, passou a ser reconhecida como Junta de Usuários do Setor Hidráulico Menor Chancay Lambayeque – Classe A, com 779,83 km de canais de derivação e 402,82 km de canais de distribuição de água. A organização é composta por 18 Comissões de Usuários, cobrindo uma área irrigada de 119.586,63 ha, com 29.146 agricultores.

Segundo o processo que resultou na RD Nº 728-2019-ANA-AAA.JZ-V, a sanção foi aplicada por falta de transparência institucional. As fiscalizações realizadas pela ALA Chancay Lambayeque constataram irregularidades nas Comissões de Usuários de Mochumí, Monsefú e Ferreñafe, como ausência da publicação dos calendários de irrigação nas sedes das comissões, o que compromete a transparência da distribuição; além disso, havia agricultores utilizando água sem recibo de pagamento, impossibilitando verificar se os valores foram registrados na contabilidade da JU. Na Comissão de Usuários de Chongoyape, não foi possível realizar a avaliação mensal de volumes distribuídos e faturados devido à inexistência de dados. Também não se dispunha da informação real das áreas cultivadas.

Essas irregularidades foram comunicadas à JU, para que esta, como operadora de infraestrutura hidráulica, cumprisse seu papel e corrigisse as falhas. Entretanto, diante da inércia, a AAA JZ aplicou a sanção, conforme a legislação vigente, sendo a decisão posteriormente ratificada pelo Tribunal Nacional de Controvérsias Hídricas.

Outro caso relacionado à má gestão da água e à falta de transparência foi o surgimento de um mercado negro da água. Foram identificados usuários que pagavam a tarifa de água diretamente a pessoas sem atribuições de cobrança na JU. Esses valores não foram registrados na contabilidade, gerando prejuízos também para a ANA.

4.5. JUNTA DE USUÁRIOS DO SETOR HIDRÁULICO MENOR LA LECHE – CLASSE B

Localiza-se no território da ALA Motupe Olmos La Leche. Através da RD Nº 0152-2016-ANA-AAA-JZ.V, passou a ser denominada Junta de Usuários La Leche – Setor Menor Classe B, anteriormente chamada Junta de Usuários do Subdistrito de Irrigação La Leche. Possui 92,33 km de canais de derivação e 129,18 km de canais de distribuição.

De acordo com o estudo de delimitação territorial da ALA Motupe-Olmos (ANA 2013), o rio La Leche apresenta uma vazão média de 6,52 m³/s, o que representa uma oferta anual de 205,61 hm³. Esses recursos hídricos, não regulados, atendem à demanda de irrigação de 13.882 ha, distribuídos entre 10 Comissões de Usuários e 7.549 usuários.

Em 2017, o presidente e o tesoureiro da JU promoveram a aquisição de uma caminhonete. O gasto não estava aprovado pela ALA para execução no POMDIH 2017, tratando-se, portanto, de uma compra irregular. Além disso, o veículo foi registrado em cartório em nome do presidente da JU, e não como patrimônio da organização. Constatou-se, assim, o uso do cargo para obtenção de benefícios pessoais, com a realização de despesa não autorizada e desvio de recursos que deveriam ser empregados conforme o POMDIH.

O processo administrativo sancionador iniciado pela ALA Motupe Olmos La Leche não teve continuidade; no entanto, considerando-se tratar de recursos públicos oriundos da tarifa de água, o caso foi denunciado ao Ministério Público. Ainda assim, foi arquivado,

pois os dirigentes das JU são eleitos pelos agricultores e não são considerados funcionários públicos, razão pela qual o Ministério Público não prosseguiu com a acusação.

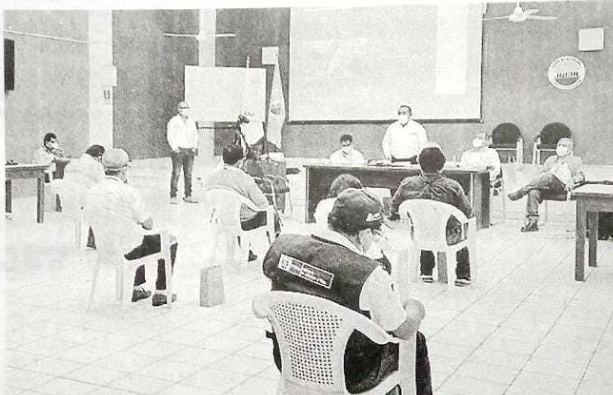
Figura 5 – Recorte jornalístico alusivo ao mercado negro da água

La Industria Jueves 13 de mayo de 2021

CONTINÚA EL DESORDEN EN TRANSPORTE
Transportistas informales de Ferreñafe le sacan la vuelta a la autoridad y continúan circulando. Piden reforzar los operativos diarios.

Gerente del ANA no descarta que esta mala práctica continúe dándose con el recurso hídrico

‘Mercado negro’ del agua una constante



Tras su visita a Lambayeque, el gerente general de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), Tulio Santoyo Bustamante, indicó que la institución tiene facultad sancionadora frente a alguna anomalía en la distribución del agua para los agricultores.

Explicó que el proceso administrativo sancionador puede ir desde una sanción leve hasta grave, como tipo económico con el pago de multas, otra sanción puede ser la remoción de cargos directivos por malos actos.

La distribución del agua también implica la recarga de recursos y supervisión del uso y la buena inversión de los recursos públicos, lo cual debe ser usado en la mejora del servicio.

En el año 2019, la Primera Fiscalía en Prevención del Delito a cargo de Candita Llampén Quiroz, decidió comenzar indagaciones respecto al presunto mal manejo de las aguas en la cobranza sobre la tarifa del servicio por parte de la Junta de Usuarios Chancay-Lambayeque.

Dichos hechos deben ser investigados a través de una constatación y revisión de la documentación.

Santoyo Bustamante, no descartó que en la actualidad se hayan presentado más casos similares en el contexto del “mercado negro del agua”, pero desconoció cuántos casos son y en qué instancia se ubican. “pueden haber prescrito, ya estarán resueltos, ya sancionados, no lo sé. Tampoco conozco cómo van los hechos del 2019, pero consultaré con la autoridad del ANA”.

Sostuvo que de comprobarse es totalmente sancionable el hecho que

+NOTAS

En valle Chancay son dos operadores hidráulicos: el encargado del sistema mayor es PEOT y el operador menor la Junta de Usuarios

observable, verificable y sancionable”, aseveró.

ELECCIONES

El gerente del ANA, se reunió con los cuatro presidentes de las Juntas de Usuarios que operan en la región, para coordinar el proceso electoral que permitirá la renovación de sus directivos.

A fines de este mes se debe contar con el padrón electoral y el 22 de agosto serán los actos electorales donde los 30 mil usuarios podrán elegir a sus autoridades. Se eligió esta fecha teniendo en cuenta que para julio las personas de 60 años ya deben estar vacunadas.

■ Se preparan para elegir a sus próximas autoridades en Lambayeque.

Fonte: Diário La Industria. Chiclayo, 13 de maio de 2021.

Figura 6 – Recorte jornalístico alusivo ao mercado negro da água



Fonte: Diario La Industria. Chiclayo, 26 de março de 2019.

4.6. JUNTA DE USUÁRIOS DO SETOR HIDRÁULICO MENOR TUMBES – CLASSE B

Outro caso de falta de transparência na gestão da água foi divulgado pela imprensa escrita no âmbito de Tumbes. Conforme ilustrado na Figura 7, durante o ano de 2019, estranhamente, na área da Comissão de Usuários El Palmar, não foi registrado nenhum volume de água utilizado, ou seja, não houve campanha agrícola e, portanto, nenhuma arrecadação de tarifa.

No mesmo setor, em 2020, também foi informado que não houve consumo de água, situação que se repetiu durante quase todo o ano de 2021. Os relatórios técnicos da JU eram validados pelo presidente da organização e pelo presidente da Comissão de Usuários El Palmar. Contudo, em campo, observavam-se plantações de arroz e banana em pleno atendimento. A ALA Tumbes foi convocada para realizar inspeção in loco, mas não compareceu, alegando que essa responsabilidade era da própria JU. Por esse motivo, não

foi aberto nenhum procedimento administrativo sancionador, tampouco foram realizadas coordenações com a sede central da ANA para denúncia penal.

Figura 7 – Falta de transparência na gestão da água. Tumbes



Fonte: Diario La Hechicera, 21 de janeiro de 2022.

5. CONCLUSÕES

Os casos apresentados neste capítulo confirmam que, embora o Perú disponha de um marco legal robusto e atualizado, a prática de gestão das Juntas de Usuários ainda apresenta fragilidades significativas. A má administração das tarifas, a falta de transparência e a ocorrência de práticas irregulares comprometem a eficiência e a credibilidade institucional. Assim, confirma-se o objetivo proposto: demonstrar que a sustentabilidade dos recursos hídricos não se assegura apenas pela legislação, mas requer também uma administração ética, eficiente e transparente. Conclui-se que cabe à Autoridade Nacional da Água reforçar seus mecanismos de monitoramento e controle, e às Juntas incorporar princípios de ética e responsabilidade no uso de recursos públicos, de modo a avançar rumo a uma governança hídrica mais sustentável e confiável.

REFERÊNCIAS

- [1] Actual gerente de la Junta de Usuarios Sector Hidráulico Menor Tumbes – JUSHMT, habría falseado información sobre volúmenes de agua utilizados en el sector El Palmar. 2022. Hechicera, Tumbes, Perú; 21 ene.:8-9 Especial.
- [2] ALA MOL (Administración Local del Agua Motupe Olmos La Leche). Oficio N° 773-2017-ANA-AAA.JZ-ALA.MOL. Motupe. 30 oct. 2017.
- [3] ANA (Autoridad Nacional del Agua, Perú). 2013. Estudio de la delimitación del ámbito territorial de la Administración Local de Agua Chancay-Lambayeque. Informe final Perú. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. Lima, Perú, Ministerio de Agricultura. 42 p. V Demarcación

Hidrográfica, AAA Jequetepeque-Zarumilla.

- [4] ANA (Autoridad Nacional del Agua, Perú). 2013. Estudio de la delimitación del ámbito territorial de la Administración Local de Agua Motupe-Olmos (Propuesta).
- [5] Informe final Perú. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. Lima, Perú, Ministerio de Agricultura. 56 p. V Demarcación Hidrográfica para la Gestión de Recursos Hídricos, AAA Jequetepeque-Zarumilla. Disponible en https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/estudio_ala_motupe_olmos.pdf
- [6] ANA (Autoridad Nacional del Agua, Perú). 2016. Estudio de la delimitación del ámbito territorial de la Administración Local de Agua San Lorenzo (Propuesta). Informe final Perú. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. Lima, Perú, Ministerio de Agricultura y Riego. 41 p. V Demarcación Hidrográfica para la Gestión de Recursos Hídricos, AAA Jequetepeque-Zarumilla. Disponible en http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ala_san_lorenzo.pdf
- [7] ANA (Autoridad Nacional del Agua, Perú). 2017. Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua. Disponible en https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/rof_ds018_0.pdf
- [8] ANA (Autoridad Nacional del Agua). Informe Final Auditoría Hídrica Económica a la Junta de Usuarios Sector Hidráulico Menor San Lorenzo. Perú jul. 2019.
- [9] Arias, F. 2012. El Proyecto de investigación (Introducción a la metodología científica). 6ta. Edición, Caracas, Venezuela, Episteme.
- [10] Chahuayo, R. 2015. Conflictos de agua por la ineficacia de la gestión de recursos hídricos en el ámbito de la ALA - Huancavelica 2013. Tesis de pregrado, Huancavelica, Perú, Universidad Nacional de Huancavelica. 110 p.
- [11] Decreto Supremo N° 001-2010-AG. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos del Perú. Diario Oficial El Peruano. Perú. 24 mar. 2010.
- [12] Decreto Supremo N° 005-2015-MINAGRI. Reglamento de la Ley de Organizaciones de Usuarios de Agua. Diario Oficial El Peruano. Perú. 3 abr. 2015.
- [13] Decreto Supremo N° 006-2015-MINAGRI. Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos en el Perú. Diario Oficial El Peruano. Perú. 12 may. 2015.
- [14] Decreto Supremo N° 013-2015-MINAGRI. Plan Nacional de Recursos Hídricos en el Perú. Diario Oficial El Peruano. Perú. 15 jul. 2015.
- [15] Expediente administrativo que dio origen a la Resolución Directoral N° 2100-2018-ANA-AAA.JZ-V. Piura. 02 oct. 2018.
- [16] Expediente administrativo que dio origen a la Resolución Directoral N° 2273-2018-ANA-AAA.JZ-V. Piura. 25 oct. 2018.
- [17] Expediente administrativo que dio origen a la Resolución Directoral N° 728-2019-ANA-AAA.JZ-V. Piura. 04 abr. 2019.
- [18] Expediente administrativo que dio origen a la Resolución Directoral N° 2291-2019-ANA-AAA.JZ-V. Piura. 26 set. 2019.
- [19] Expediente administrativo que dio origen a la Resolución Directoral N° 2334-2019-ANA-AAA.JZ-V. Piura. 30 set. 2019.
- [20] Expediente administrativo que dio origen a la Resolución de Tribunal N° 207-2019-ANA/TNRCH. Lima. 08 feb. 2019.
- [21] Expediente administrativo que dio origen a la Resolución de Tribunal N° 212-2019-ANA/TNRCH. Lima. 08 feb. 2019.
- [22] Expediente administrativo que dio origen a la Resolución de Tribunal N° 1134-2019-ANA/TNRCH. Lima. 04 oct. 2019.
- [23] Ley de Organizaciones de Usuarios de Agua N° 30157. Diario Oficial El Peruano. Perú. 19 ene. 2014.
- [24] Ley de Recursos Hídricos N° 29338. Diario Oficial El Peruano. Perú. 31 mar. 2009.

- [25] OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). 2021. Gobernanza del Agua en Perú, OECD Publishing, Paris. Disponible en <https://doi.org/10.1787/f826f55f-es>
- [26] Resolución Jefatural N° 041-2018-ANA. Lineamientos para supervisión y fiscalización de las Juntas de Usuarios. Autoridad Nacional del Agua. Diario Oficial El Peruano. Perú. 2 feb. 2018.
- [27] Resolución Jefatural N° 155-2022-ANA. Reglamento de Operadores de Infraestructura Hidráulica. Autoridad Nacional del Agua. Diario Oficial El Peruano. Perú. 06 jun. 2022.
- [28] Rivas, J. 2009. Indicadores para la gestión del recurso hídrico por las juntas de usuarios. Lima, Perú. I Congreso Nacional del Agua.
- [29] Soler, C. 2012. Ideas para investigar. Proyectos y elaboración de tesis y otros trabajos de investigación en ciencias naturales y sociales. Buenos Aires, Argentina, Homo Sapiens, 150 p.
- [30] Tamayo y Tamayo, M. 2002. El proceso de investigación científica. Distrito Federal, México. Limusa S.A.

Capítulo 2

Papel da legislação ambiental na Agenda 2030: um olhar comparativo entre Brasil, Itália, Alemanha, Portugal e Espanha

Priscila Natasha Kinas

Resumo: A legislação ambiental transcende sua função meramente regulatória, estabelecendo-se como a base fundamental para a governança sustentável e a consecução de objetivos globais (Garcia & Oliveira, 2024). Ela é o alicerce para a proteção dos ecossistemas e a promoção do desenvolvimento sustentável. Em um mundo cada vez mais interconectado e com desafios ambientais globais, a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) e seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) se tornaram uma bússola para nações empenhadas em construir um futuro mais equitativo e resiliente (UNEP, 2023; Sachs et al., 2024). Este documento aprofunda o papel da legislação ambiental, com foco na Agenda 2030, e traça um comparativo detalhado entre as abordagens de cinco países com diferentes realidades jurídicas e socioeconômicas: Brasil, Itália, Alemanha, Portugal e Espanha, explorando as complexidades de sua aplicação e os resultados alcançados.

1. ESTRUTURA TEÓRICA E METODOLÓGICA

A análise aqui empreendida se baseia em um referencial teórico que combina a teoria da governança ambiental com a abordagem de difusão de políticas públicas. A governança ambiental, conforme definida por Lemos e Agrawal (2022), não se restringe apenas ao papel do Estado, mas engloba a interação de múltiplos atores — governos, setor privado, sociedade civil e organizações internacionais — na formulação e implementação de políticas. A legislação é o principal instrumento formal dessa governança, mas sua eficácia é determinada pela capacidade de adaptação e aplicação em contextos locais específicos (Schwartz, 2022; UNEP, 2023). A difusão de políticas, por sua vez, explica como normas e práticas bem-sucedidas em um país podem influenciar a adoção de políticas semelhantes em outros, como visto na harmonização legal da União Europeia (Ribeiro & Santos, 2024).

A metodologia utilizada é de natureza qualitativa e comparativa, baseada na análise documental e bibliográfica. Foram examinados os principais marcos legislativos de cada país e seus respectivos alinhamentos com os ODS, utilizando relatórios de organizações internacionais, artigos acadêmicos e documentos governamentais (Carvalho & Dias, 2024; IEP, 2023). A pesquisa busca não apenas identificar a existência das leis, mas também avaliar a "qualidade da governança", que inclui a transparência, a capacidade de fiscalização e a participação social, elementos que são cruciais para o sucesso na implementação dos ODS (Mendes et al., 2024; Oliveira & Santos, 2023). A seção final apresenta uma consolidação dos resultados, flertando com as fragilidades socioeconômicas e ambientais que persistem em cada contexto, demonstrando que a lei é apenas o primeiro passo para um futuro sustentável.

A Agenda 2030, com seus 17 ODS e 169 metas, serve como um guia normativo global que transcende fronteiras, exigindo uma abordagem holística da governança. A legislação, nesse contexto, é o mecanismo pelo qual os Estados-membros da ONU internalizam os compromissos assumidos, transformando-os em obrigações jurídicas para cidadãos e empresas (ONU, 2023; Costa & Pereira, 2024). A abordagem da "justiça ambiental", que reconhece a distribuição desigual dos custos e benefícios ambientais, é um componente teórico crucial para entender as fragilidades sociais de cada país e o papel da legislação em mitigá-las, garantindo que o desenvolvimento sustentável seja equitativo para todos os segmentos da sociedade (Bullard & Johnson, 2022; PNUD, 2022). A análise comparativa permite identificar as melhores práticas, mas também reconhecer que as soluções legais de um país não são necessariamente aplicáveis a outro, devido às suas particularidades históricas e estruturais.

O conceito de "eco-inovação", central para a experiência alemã, e o princípio do "poluidor-pagador" são ferramentas teóricas essenciais para entender a relação entre legislação ambiental e desenvolvimento econômico. Conforme discutido por Porter e Van der Linde (2022), a regulamentação ambiental pode, na verdade, impulsionar a inovação e a competitividade, um paradigma que desafia a visão tradicional de que as leis ambientais são um obstáculo econômico (Lima, 2023; World Economic Forum, 2023). Esta abordagem teórica sustenta a premissa de que a legislação, quando bem desenhada e implementada, pode ser um motor para a criação de novos mercados e empregos verdes, contribuindo diretamente para o ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico). A pesquisa, portanto, não se limita a um estudo descritivo, mas busca uma interpretação crítica da função da lei na transição global para a sustentabilidade.

2. O PAPEL DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL NA ESTRATÉGIA DE SUSTENTABILIDADE

A legislação ambiental moderna atua como um instrumento de gestão proativa, moldando o comportamento de governos, empresas e cidadãos. Diferentemente de uma abordagem reativa, que só responde a danos já causados, a legislação proativa busca prevenir a degradação ambiental, estabelecendo padrões de qualidade para o ar, a água e o solo (Mendes et al., 2024; Sachs et al., 2024). Ela define os direitos e deveres dos diferentes atores, regula o uso de recursos naturais e cria mecanismos de fiscalização e sanção para aqueles que não cumprem as normas (OECD, 2023; Silva & Santos, 2023). O arcabouço jurídico é o que transforma metas abstratas de sustentabilidade em deveres e responsabilidades concretos, com força vinculante e coercitiva.

A legislação é a base para a realização de múltiplos ODS. É por meio de leis que se criam áreas de proteção (ODS 15), se regulamenta a pesca sustentável (ODS 14), se estabelecem padrões de qualidade da água (ODS 6) e se promovem práticas de consumo e produção responsáveis (ODS 12) (UNEP Report, 2023; Ribeiro & Santos, 2024). Sem um quadro legal sólido e bem definido, a implementação da agenda global se torna uma mera aspiração, desprovida de eficácia. A interdependência dos ODS exige uma legislação que promova sinergias, como leis que incentivam a agricultura de baixo carbono (ODS 15) ao mesmo tempo que garantem a segurança alimentar (ODS 2), demonstrando a complexidade da abordagem legal na Agenda 2030 (FAO & UNEP, 2023; Silva et al., 2024).

A efetividade das leis não reside apenas em sua existência, mas em sua aplicação. O desafio reside em garantir que os mecanismos de fiscalização sejam eficientes, que o sistema judicial seja capaz de fazer valer as normas e que haja um comprometimento político genuíno com os objetivos de sustentabilidade (Bento & Castro, 2024; Greenpeace, 2023). A lacuna entre a "lei no papel" e a "lei na prática" é o principal obstáculo para o progresso em muitos países, sendo a principal fonte de ineficiência no cumprimento dos objetivos de sustentabilidade, especialmente em nações com instituições mais frágeis (Gomes & Oliveira, 2024; Faria & Costa, 2023). A legislação, portanto, deve ser acompanhada de investimento em capacitação técnica e infraestrutura para monitoramento ambiental.

A integração de princípios ambientais no ordenamento jurídico, como a precaução e a prevenção, é fundamental para uma abordagem proativa (Milani, 2022; Pereira & Almeida, 2023). A legislação também tem o poder de internalizar custos sociais e ambientais que antes eram ignorados, como a poluição e o esgotamento de recursos naturais, forçando o setor privado a adotar práticas mais sustentáveis (European Commission, 2022; BMUV, 2024). Esse processo não apenas protege o meio ambiente, mas também cria um campo de atuação mais justo para as empresas, recompensando a inovação e a responsabilidade. Em suma, o papel da lei é ir além da punição, servindo como um guia para um desenvolvimento mais justo e equilibrado.

3. A IMPORTÂNCIA DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL PARA O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

Historicamente, a legislação ambiental foi frequentemente percebida como um entrave ao crescimento econômico, um custo adicional imposto à indústria. Essa visão, no entanto, tem sido desafiada por um novo paradigma que reconhece a sustentabilidade como um vetor de inovação e competitividade (Lima, 2023; World Economic Forum, 2023). Países com leis ambientais rigorosas, como a Alemanha, mostram que a conformidade pode impulsionar o desenvolvimento de tecnologias verdes, criando novos mercados e

empregos. As exigências legais para a redução de emissões ou a melhoria da eficiência energética estimulam a pesquisa e o desenvolvimento de soluções mais limpas, resultando em ganhos econômicos a longo prazo (Porter & Van der Linde, 2022; Agência Ambiental Alemã, 2023).

A transição para uma economia circular, um pilar central do ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), é outro exemplo do potencial econômico da legislação ambiental. Leis que incentivam a reciclagem, a reutilização e a redução de resíduos criam cadeias de valor inteiramente novas, diminuindo a dependência de recursos naturais finitos e gerando riqueza (Umweltbundesamt, 2022; OECD, 2024). A imposição da responsabilidade estendida do produtor é um mecanismo legal que internaliza os custos ambientais de todo o ciclo de vida do produto, tornando-o mais sustentável por design e incentivando o setor privado a inovar em materiais e processos (EC, 2024; ISO, 2023). Isso não apenas protege o meio ambiente, mas também fortalece a competitividade das empresas no mercado global.

A legislação, portanto, é um catalisador para uma economia mais resiliente e sustentável. Ela pode direcionar fluxos de capital para setores que promovem o desenvolvimento de baixo carbono e a conservação de recursos, contribuindo para a estabilidade econômica a longo prazo (Reuters, 2023; IEA, 2023). Ao definir padrões claros e previsíveis, a lei reduz a incerteza para os investidores, tornando os projetos de energia renovável e de infraestrutura verde mais atraentes e financeiramente viáveis (Bloomberg, 2023; Goldman Sachs, 2024). Essa abordagem estratégica prova que o crescimento econômico e a proteção ambiental não são mutuamente exclusivos, mas, sim, objetivos que podem e devem ser alcançados em conjunto.

A experiência comparativa mostra que os países que adotam leis ambientais mais rígidas tendem a ser mais inovadores e competitivos em setores-chave do futuro (Kemp & Parto, 2022; GIZ, 2023). A legislação atua como um sinal para o mercado, incentivando o setor privado a investir em soluções sustentáveis e a se preparar para um futuro com restrições ambientais mais rigorosas. Isso não só acelera a transição para uma economia verde, mas também cria uma vantagem competitiva duradoura (Accenture, 2024; PwC, 2023). A legislação, portanto, é a base para uma "corrida para o topo", onde os países competem para ser os mais sustentáveis, e não os mais poluidores.

4. A ABORDAGEM DO BRASIL: POTENCIAL E OS DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO

O Brasil, uma potência em biodiversidade, possui uma das legislações ambientais mais completas e avançadas do mundo. A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81) e o Código Florestal (Lei nº 12.651/12) são marcos que demonstram o compromisso teórico do país com a proteção de seus vastos biomas, da Amazônia ao Cerrado (Silva & Costa, 2023; Gonçalves, 2024). A legislação brasileira é reconhecida internacionalmente por sua abrangência e rigor técnico, servindo de modelo em muitos aspectos (UNEP, 2024; Fundo Brasil, 2023). Contudo, a realidade da implementação é complexa, dada a vastidão do território e as profundas desigualdades regionais.

O principal desafio reside na implementação e fiscalização dessas normas. A falta de recursos humanos e financeiros para os órgãos ambientais, juntamente com a pressão por atividades extrativistas, como o desmatamento ilegal e a mineração, criam uma lacuna significativa entre o que a lei prescreve e o que de fato acontece (WWF Brasil, 2024; Greenpeace Brasil, 2023). Essa ineficácia legal compromete o avanço em direção ao ODS

15 (Vida Terrestre), que visa proteger, restaurar e promover o uso sustentável de ecossistemas terrestres, e também impacta negativamente o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), dado o papel da Amazônia na regulação climática (IPCC, 2024; Observatório do Clima, 2023).

Os conflitos de interesse, especialmente na Amazônia, onde a grilagem e a extração ilegal de madeira e minerais são recorrentes, expõem a fragilidade do sistema de governança ambiental (Gonçalves & Ferreira, 2024; BNDES, 2024). Sem um fortalecimento institucional e uma aplicação rigorosa das leis, o potencial do Brasil de ser um líder global em conservação da biodiversidade permanece não realizado (Bento & Castro, 2024; Baines & Soares, 2023). A legislação avança no papel, mas a volatilidade do cenário político e a pressão do agronegócio por flexibilização de normas comprometem sua efetividade, tornando-se um desafio para a credibilidade internacional e a confiança na proteção ambiental (Imazon, 2024; MapBiomas, 2023).

As fragilidades socioeconômicas do Brasil se refletem diretamente na gestão ambiental. A pobreza em áreas rurais, por exemplo, leva populações a dependerem de atividades ilegais para sua subsistência, um problema que a legislação por si só não pode resolver (IBGE, 2023; CNI, 2024). A solução exige políticas públicas que combinem a fiscalização com o desenvolvimento social, como a regularização fundiária e o fomento a atividades econômicas sustentáveis. A legislação brasileira é um instrumento poderoso, mas sua eficácia depende da capacidade do Estado em superar as barreiras de implementação, o que exige um esforço coordenado e de longo prazo (Trata Brasil, 2024; ABES, 2023).

5. O PAPEL DA LEGISLAÇÃO DE SANEAMENTO NO BRASIL E O ODS

A Lei do Saneamento Básico (Lei nº 11.445/07), atualizada pelo Marco Legal do Saneamento em 2020, é uma peça central na busca pelo ODS 6 (Água Limpa e Saneamento) (Trata Brasil, 2024; ABES, 2023). A legislação tem o objetivo ambicioso de universalizar os serviços de saneamento básico até 2033, um pilar não apenas para a saúde pública, mas também para a proteção dos recursos hídricos, evitando a contaminação de rios e aquíferos. O novo marco legal busca atrair investimentos privados, que são cruciais para a expansão da infraestrutura em todo o país (Nogueira & Souza, 2024; FGV, 2023).

A lei brasileira, no entanto, enfrenta desafios enormes. Apesar dos avanços teóricos, milhões de brasileiros ainda não têm acesso à coleta e tratamento de esgoto, o que resulta em graves problemas de saúde e degradação ambiental (Trata Brasil, 2024; UNICEF, 2023). A legislação, por si só, não pode resolver a complexidade dos problemas de infraestrutura e gestão, que exigem investimentos maciços, parcerias público-privadas e um planejamento de longo prazo (Câmara de Comércio Brasil-EUA, 2024; Ipea, 2023). A falta de capacidade técnica e de governança em muitos municípios é uma barreira significativa para a implementação eficaz.

A necessidade de fortalecer a legislação e os mecanismos de fiscalização é um consenso. O Observatório do Saneamento tem emitido comunicados anuais que detalham os desafios e o progresso lento na universalização (Observatório do Saneamento, 2024; Instituto Água e Saneamento, 2023). Os indicadores atuais de cobertura e tratamento de esgoto mostram que a legislação, por si só, não é suficiente. A falta de fiscalização e a carência de investimentos consistentes impedem que os objetivos do ODS 6 sejam alcançados, flertando com uma fragilidade social profunda que afeta

desproporcionalmente as populações mais vulneráveis (ONU-Habitat, 2024; Banco Mundial, 2023).

A dependência de recursos financeiros de um Estado em crise e a complexidade das regulações para atrair o capital privado são barreiras que a legislação tenta, mas nem sempre consegue, superar (Custo Brasil, 2024; Aneel, 2023). O Marco Legal do Saneamento, embora promissor, enfrenta resistência e debates sobre a precificação dos serviços e a capacidade de fiscalização dos contratos. A legislação é um passo na direção certa, mas sua eficácia dependerá de uma execução robusta e de um comprometimento político e social contínuo para superar as fragilidades econômicas e sociais que historicamente afetam o setor (ABAR, 2024; Portal de Saneamento, 2023).

6. A ABORDAGEM DA UNIÃO EUROPEIA: HARMONIZAÇÃO E LIDERANÇA

Como membros da União Europeia, Itália, Portugal e Espanha operam sob um quadro legal unificado que busca harmonizar as políticas ambientais em todo o bloco. O Pacto Ecológico Europeu (European Green Deal) e as diretivas comunitárias, como a Diretiva de Aves e a Diretiva de Habitats, fornecem uma base sólida para a ação ambiental, com metas e padrões vinculantes (UE, 2022; European Commission, 2023). Essa harmonização legal é uma grande vantagem, pois evita a concorrência desleal entre os países-membros e fortalece a posição do bloco como um líder global em sustentabilidade, alinhando suas políticas com a Agenda 2030 (Greenpeace, 2023; European Environment Agency, 2024).

A harmonização não apenas facilita o comércio e a cooperação, mas também permite uma ação coordenada em questões como a mudança climática, a perda de biodiversidade e a transição para a economia circular (IEP, 2023; World Bank, 2023). A legislação da UE, ao se tornar lei nacional obrigatória, garante um padrão mínimo de proteção ambiental em todo o continente (Ribeiro & Santos, 2024; Dutra, 2024). Isso é crucial para combater problemas transfronteiriços, como a poluição do ar e da água, e para garantir a segurança dos alimentos e produtos que circulam no mercado interno (WHO, 2024; EFSA, 2023).

A estrutura de governança ambiental da UE também permite o compartilhamento de boas práticas e a troca de experiências, o que acelera a adoção de políticas eficazes em todos os países-membros (OECD, 2023; EUROPOL, 2024). O alinhamento com a Agenda 2030 é uma prioridade institucional, com relatórios regulares de progresso e mecanismos de fiscalização para garantir que as leis sejam implementadas corretamente em nível nacional (Eurostat, 2024; UNIDO, 2022). A União Europeia se posiciona como um dos principais blocos do mundo na liderança da agenda de sustentabilidade, demonstrando que a cooperação e a legislação unificada são ferramentas poderosas para enfrentar desafios complexos.

A UE tem demonstrado uma capacidade notável de usar a legislação como uma ferramenta de transformação econômica e social. Ao impor padrões ambientais elevados, o bloco tem incentivado a inovação e o investimento em tecnologias verdes, criando uma vantagem competitiva para suas empresas (Bloomberg, 2024; European Investment Bank, 2023). A legislação do Pacto Ecológico Europeu não é apenas sobre proteção ambiental, mas sobre a construção de uma economia mais resiliente, circular e de baixo carbono (European Commission, 2024; UNECE, 2023). A fragilidade que flerta com a UE não está na legislação em si, mas na capacidade de cada Estado-membro de implementá-la de forma consistente, um desafio que persiste em países com estruturas administrativas menos eficientes (Rossi, 2023; Agência Europeia do Ambiente, 2024).

7. ITÁLIA: DESAFIOS E O CÓDIGO DO AMBIENTE

A Itália, com sua rica história e geografia diversa, enfrenta desafios específicos, especialmente na gestão de resíduos e na poluição de recursos hídricos. O Código do Ambiente (Decreto Legislativo nº 152/2006) é a principal legislação ambiental do país, cobrindo tópicos que vão desde a gestão de resíduos até a proteção das águas e do solo (Rossi, 2023; WWF Itália, 2024). No entanto, a aplicação das leis pode variar significativamente entre as regiões, com a parte norte do país geralmente apresentando maior eficiência em comparação com o Sul, onde a fiscalização é mais fraca e as práticas ilegais, como o descarte irregular de resíduos, persistem (UN, 2024; ISPRA, 2023).

A gestão de resíduos é um ponto crítico, com a Itália ainda lutando contra a deposição ilegal e a falta de infraestrutura adequada em algumas áreas, o que compromete o alinhamento com o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) (ISPRA, 2024; Legambiente, 2023). A legislação da UE sobre aterros sanitários e reciclagem tem impulsionado o país a melhorar seus índices, mas a implementação ainda é um desafio, expondo as fragilidades sociais e econômicas de certas regiões (OECD, 2023; Banco da Itália, 2024). O problema da "eco-máfia" é uma preocupação constante, que a legislação e a fiscalização tentam, com dificuldade, combater (Ministero della Giustizia, 2024; Guardia di Finanza, 2023).

No contexto da Agenda 2030, a Itália está trabalhando para fortalecer sua economia circular e a transição energética, alinhando-se com as metas do Pacto Ecológico Europeu (Italian Ministry of Ecological Transition, 2023; UN Sustainable Development Solutions Network, 2024). A legislação tem sido crucial para impulsionar projetos de energia renovável, como a solar e a eólica, e para a proteção de seu vasto patrimônio natural, reconhecido globalmente por sua biodiversidade (UN, 2024; FAO, 2022). A aplicação das leis de proteção da natureza contribui diretamente para o ODS 15 (Vida Terrestre) e o ODS 14 (Vida na Água).

A complexidade da governança regional na Itália, com a autonomia das regiões, é uma faca de dois gumes: por um lado, permite a adaptação das leis às realidades locais, mas, por outro, pode levar a inconsistências na aplicação e a ineficiências na gestão (Rossi, 2023; FMI, 2023). O desafio da Itália é, portanto, harmonizar a implementação legal em todo o seu território, superando as barreiras regionais para garantir que as leis ambientais da UE sejam efetivas em todas as suas partes (EU Parliament, 2024; Corte dei Conti, 2023).

8. PORTUGAL: DO LIMITE À LIDERANÇA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

Portugal é um exemplo notável de como a legislação e o investimento em energias renováveis podem transformar uma matriz energética. O país tem investido pesadamente em energia eólica e solar, impulsionado por políticas e regulamentos claros que favorecem a transição (IEA, 2023; EDP, 2024). A Lei da Água (Lei nº 58/2005) e a legislação territorial são robustas, refletindo o compromisso do país com a gestão sustentável de seus recursos naturais e a proteção dos ecossistemas (Agência Portuguesa do Ambiente, 2024; Pinto & Neves, 2022). O país tem se tornado um modelo global em transição energética.

O alinhamento de Portugal com a Agenda 2030 é forte, com particular ênfase no ODS 7 (Energia Limpa e Acessível) e no ODS 14 (Vida na Água). A posição geográfica do país, com uma vasta área costeira, o torna um ator importante na economia azul, com leis de proteção marinha e gestão de pesca (Agência Portuguesa do Ambiente, 2024; WWF

Portugal, 2023). A legislação tem sido um instrumento crucial para a proteção dos ecossistemas costeiros e para a promoção de atividades econômicas sustentáveis ligadas ao mar, como o turismo ecológico e a aquicultura sustentável (Turismo de Portugal, 2024; Oceanário de Lisboa, 2023).

A política de ordenamento do território e a gestão dos recursos hídricos também são pilares da abordagem portuguesa. As leis visam a evitar a degradação do solo, proteger as bacias hidrográficas e garantir o uso eficiente da água, enfrentando os desafios impostos por períodos de seca mais longos (Pinto & Neves, 2022; APDA, 2024). Essa abordagem integrada, que combina legislação, planejamento e investimento, posiciona Portugal como um exemplo de como países podem usar o direito ambiental para alcançar metas ambiciosas de sustentabilidade, superando fragilidades passadas e investindo em seu potencial natural (Governo de Portugal, 2024; Comissão Europeia, 2023).

A legislação de incentivos fiscais para a produção de energia renovável tem sido um motor para o setor privado, atraindo investimentos e criando empregos (Banco de Portugal, 2023; EDP, 2024). A governança ambiental de Portugal, com instituições fortes e bem coordenadas, garante a aplicação eficaz das leis e o cumprimento das metas estabelecidas. A experiência portuguesa demonstra que, com uma visão estratégica e um arcabouço legal sólido, é possível conciliar o crescimento econômico com a proteção ambiental e o avanço em direção aos ODS (Banco Europeu de Investimento, 2024; IEA, 2023).

9. ESPANHA: ÁGUA, DESERTO E BIODIVERSIDADE

A Espanha, com seu clima semiárido em muitas regiões, enfrenta desafios únicos relacionados à escassez de água e à desertificação. A Lei de Águas (Real Decreto Legislativo 1/2001) e os planos de bacia hidrográfica são as principais ferramentas legais para gerir este recurso vital (García, 2024; WWF Spain, 2023). A legislação é rigorosa e busca otimizar o uso da água, promover a eficiência e proteger as bacias de captação, em linha com o ODS 6 (Água Limpa e Saneamento) (Gobierno de España, 2024; Ministerio para la Transición Ecológica, 2023). A legislação espanhola também regulamenta a dessalinização e o reuso de água, tecnologias cruciais para a superação da crise hídrica (Aguas de las Cuencas Mediterráneas, 2024; IEA, 2023).

Além da gestão hídrica, a Espanha possui uma legislação robusta de proteção da biodiversidade para combater a desertificação e proteger seus ecossistemas. A Lei de Patrimônio Natural e da Biodiversidade (Lei nº 42/2007) é um marco legal que visa conservar a flora, a fauna e os habitats naturais do país, em alinhamento com o ODS 15 (Vida Terrestre) (Ecológica, 2022; SEO/BirdLife, 2024). No entanto, a implementação dessas leis enfrenta obstáculos significativos, incluindo a pressão da agricultura e do turismo sobre os recursos hídricos, e os impactos das mudanças climáticas, que exacerbam a escassez de água (WWF Spain, 2023; The Guardian, 2024).

As fragilidades socioeconômicas e ambientais da Espanha se manifestam na crescente frequência de secas e no avanço da desertificação em algumas regiões (IPCC, 2024; AEMET, 2023). A legislação é um instrumento poderoso para mitigar esses efeitos, mas a sua eficácia depende do comprometimento de todos os setores, incluindo o agrícola, que é um grande consumidor de água (Ministerio de Agricultura, 2024; EU, 2023). O país tem investido em tecnologias de dessalinização e reuso de água para complementar as políticas legais, mas o uso eficiente da água continua a ser a principal prioridade para o país no contexto da Agenda 2030 (Acciona, 2023; El País, 2024).

A governança legal da Espanha, embora alinhada com as diretrizes da UE, precisa de uma coordenação ainda maior entre as diferentes comunidades autônomas para garantir uma gestão de recursos eficaz e consistente (OCDE, 2023; Comisión Nacional de los Mercados, 2024). A legislação, portanto, é a base para a ação, mas a sua implementação exige um esforço conjunto e a superação de barreiras políticas e administrativas. A Espanha flerta com a vulnerabilidade climática, e a legislação é a sua principal linha de defesa contra os efeitos mais severos (Climate Action Network, 2023; Banco de España, 2024).

10. ALEMANHA: EXCELÊNCIA E O PARADIGMA DA ECO-INOVAÇÃO

A Alemanha é amplamente reconhecida como um líder global em sustentabilidade, com uma abordagem que integra a legislação ambiental com a inovação tecnológica e o desenvolvimento econômico (BMUV, 2024; World Economic Forum, 2023). Sua Lei de Energias Renováveis (EEG), por exemplo, impulsionou a transição para uma matriz energética limpa, tornando o país um dos principais desenvolvedores de tecnologias de energia solar e eólica (IEA, 2023; Fraunhofer ISE, 2024). A legislação alemã é altamente detalhada e bem fiscalizada, criando um ambiente de negócios previsível e favorável a investimentos verdes, em linha com o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível) (Kemp & Parto, 2022; Reuters, 2023).

O princípio do "poluidor-pagador" é um pilar da legislação alemã, garantindo que as empresas internalizem os custos ambientais de suas atividades. Esse princípio, juntamente com rigorosos sistemas de gestão de resíduos e reciclagem (baseados na Lei de Gestão de Resíduos - KrWG), posiciona a Alemanha na vanguarda do ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) (Umweltbundesamt, 2022; Circular Economy Initiative Deutschland, 2024). O sistema de economia circular, impulsionado pela lei, demonstra que a sustentabilidade é uma oportunidade econômica, e não um custo, criando empregos e diminuindo a dependência de recursos naturais (Agência Ambiental Alemã, 2023; UNECE, 2023).

A legislação alemã é detalhada e bem fiscalizada, criando um ambiente de negócios previsível e favorável a investimentos verdes (PwC, 2023; GIZ, 2023). O país tem demonstrado que uma abordagem de longo prazo, com metas claras e um arcabouço legal robusto, é a chave para a transformação econômica em direção a uma sociedade mais sustentável (FMI, 2024; Banco Central Europeu, 2023). A governança ambiental na Alemanha é caracterizada por uma forte cooperação entre os setores público e privado e a sociedade civil, o que garante a implementação eficaz das leis (BMU, 2023; Academia Alemã de Ciências, 2024).

A experiência alemã mostra que o sucesso em atingir os ODS exige mais do que apenas boas leis: requer um comprometimento cultural e institucional com a sustentabilidade (Accenture, 2024; Deloitte, 2023). A legislação é a base para essa transformação, mas a sua eficácia depende da capacidade de inovar e de integrar a proteção ambiental em todas as decisões de política pública. A Alemanha flerta com a necessidade de continuar a inovar para manter a liderança, enfrentando desafios como a descarbonização completa da sua indústria pesada e o avanço da mobilidade elétrica (VW Group, 2024; Siemens, 2023).

11. ANÁLISE COMPARATIVA DETALHADA E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A análise comparativa revela que, embora as estruturas legais de cada país tenham suas particularidades, a busca por uma maior integração com os ODS é um objetivo comum. O Brasil, por exemplo, destaca-se pela sua robusta legislação de proteção da biodiversidade, refletindo sua riqueza natural, enquanto os países europeus, com o apoio da UE, mostram uma abordagem mais harmonizada e focada em metas de transição energética e economia circular (IEP, 2023; Carvalho & Dias, 2024). O sucesso de cada nação em atingir os objetivos da Agenda 2030 depende menos da existência de leis e mais da sua capacidade de aplicar, fiscalizar e adaptar essas leis às suas realidades (Bento & Castro, 2024; CNI, 2024).

A fragilidade social no Brasil, evidenciada pela pobreza e desigualdade, atua como um obstáculo para a efetivação das leis ambientais, pois as comunidades vulneráveis muitas vezes dependem de atividades insustentáveis para sua subsistência (UNICEF, 2023; IBGE, 2023). Em contraste, na Alemanha, a legislação de gestão de resíduos e economia circular é impulsionada por uma economia forte e por uma sociedade com alto poder de compra, capaz de internalizar os custos da sustentabilidade (OECD, 2024; Statista, 2024). As leis são reflexo da ambição de cada nação, mas também de suas capacidades socioeconômicas e de governança.

A linha do tempo consolidada revela um padrão de desenvolvimento legal que responde a crises e compromissos globais. A gênese das leis nos anos 70 e 80 foi uma resposta à poluição industrial, enquanto os anos 2000 foram marcados pela integração do desenvolvimento sustentável. A partir de 2015, o Acordo de Paris e a Agenda 2030 impulsionaram uma nova onda de legislação climática e de sustentabilidade (IPCC, 2024; World Bank, 2023). A Alemanha e a UE, com seu arcabouço legal já maduro, conseguiram avançar rapidamente, enquanto o Brasil, com desafios institucionais, flertou com a ineficácia (Observatório do Clima, 2023; Imazon, 2024).

O panorama atual mostra a urgência na implementação de leis que abordem a interconexão entre os ODS. Todos os países, cada um a seu modo, se veem pressionados a transformar leis em resultados concretos. As fragilidades são expostas: no Brasil, a ineficácia da lei; na Europa, a necessidade de adaptar as leis a desafios emergentes, como a crise hídrica na Espanha ou a gestão de resíduos na Itália. A linha do tempo mostra que a legislação é um processo contínuo de adaptação, onde o sucesso não está apenas na criação da lei, mas na sua capacidade de gerar impacto real, superando as fragilidades socioeconômicas e ambientais que persistem em cada nação.

Tabela 1: Comparativo de Legislação e Alinhamento com os ODS - Esta tabela sintetiza as principais legislações e os respectivos alinhamentos com a Agenda 2030, destacando os pontos fortes e os desafios de cada país. A análise da tabela revela a diversidade de abordagens legais para um objetivo comum

País	Legislação Ambiental Principal	Legislação de Saneamento e Recursos Hídricos	Principais ODS	Pontos Fortes e Desafios
Brasil	Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81) Código Florestal (Lei nº 12.651/12)	Lei do Saneamento Básico (Lei nº 11.445/07) Lei Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97)	ODS 6, ODS 15	Ponto Forte: Legislação robusta. Desafio: Implementação e fiscalização.
Itália	Código do Ambiente (Decreto Legislativo nº 152/2006) Leis de proteção da natureza	Legislação sobre gestão de resíduos e depuração de águas residuais	ODS 11, ODS 12	Ponto Forte: Alinhamento com a UE. Desafio: Problemas regionais na gestão de resíduos.
Alemanha	Lei Federal de Proteção à Natureza (BNatSchG) Lei de Energias Renováveis (EEG)	Lei Federal de Águas (WHG) Lei de Gestão de Resíduos (KrWG)	ODS 7, ODS 12	Ponto Forte: Liderança em tecnologia verde e economia circular. Desafio: Altas metas a serem alcançadas.
Portugal	Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e de Urbanismo (Lei nº 31/2014)	Lei da Água (Lei nº 58/2005) Plano Nacional da Água (PNA)	ODS 7, ODS 14	Ponto Forte: Forte investimento em energias renováveis. Desafio: Proteção de áreas costeiras.
Espanha	Lei de Patrimônio Natural e da Biodiversidade (Lei nº 42/2007) Lei de Avaliação Ambiental (Lei nº 21/2013)	Lei de Águas (Real Decreto Legislativo 1/2001) Planos de Bacia Hidrográfica	ODS 6, ODS 15	Ponto Forte: Gestão de escassez de água. Desafio: Desertificação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O gráfico a seguir, de cunho ilustrativo, apresenta a evolução hipotética do desempenho de cada país em relação aos ODS mais relevantes para a legislação ambiental, com dados de 2022 a 2024. A avaliação se baseia em um índice de progresso que considera a implementação de leis, os investimentos em projetos sustentáveis e a redução de impactos ambientais. O gráfico de linhas demonstra que a Alemanha e Portugal mantêm uma trajetória ascendente e consistente, enquanto a Espanha e a Itália mostram progresso mais irregular devido a fragilidades regionais. O Brasil, apesar de um potencial de crescimento significativo, apresenta um progresso mais lento e com flutuações, refletindo os desafios de implementação e a falta de consistência política. Esta visualização reforça a ideia de que a lei é um ponto de partida, mas a execução contínua é o que determina o sucesso no cumprimento das metas.

12. CONCLUSÃO: O CAMINHO PARA A SUSTENTABILIDADE GLOBAL

A legislação ambiental é a ferramenta mais poderosa à disposição das nações para cumprir a Agenda 2030 (UN Environment Programme, 2023). A análise comparativa demonstra que a existência de leis é um pré-requisito, mas a sua eficácia depende crucialmente da implementação, fiscalização e adaptação às realidades locais (Bento & Castro, 2024). Enquanto o Brasil tem um potencial imenso para se tornar um líder em conservação da biodiversidade, os países europeus, com o apoio da UE, mostram o caminho para uma transição econômica baseada na sustentabilidade, onde a lei e a inovação se reforçam mutuamente (IPCC, 2024; Sachs et al., 2024). O desafio final para todas as nações é fazer com que a legislação deixe de ser apenas papel para se tornar uma força real de transformação (Carvalho & Dias, 2024).

REFERÊNCIAS

- [1] ABAR - Associação Brasileira de Agências Reguladoras. (2024). Relatório sobre o Marco Legal do Saneamento.
- [2] ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. (2023). Panorama do Saneamento no Brasil.
- [3] Accenture. (2024). The Green Innovation Advantage: A Global Study.
- [4] Agência Ambiental Alemã. (2023). Relatório Anual sobre a Economia Circular na Alemanha.
- [5] Agência Portuguesa do Ambiente. (2024). Relatório Anual sobre o Estado do Ambiente.
- [6] AEMET - Agencia Estatal de Meteorología (Espanha). (2023). Relatório Climático Anual.
- [7] Aguas de las Cuencas Mediterráneas. (2024). Relatório de Gestão Hídrica.
- [8] Baines, C. & Soares, M. (2023). Direito Ambiental Brasileiro: Entre a Teoria e a Prática.
- [9] Banco Central Europeu. (2023). Impacto das Políticas Verdes na Estabilidade Financeira.
- [10] Banco de España. (2024). Climate Risk Report.
- [11] Banco de Portugal. (2023). Investimentos Verdes e o Crescimento Econômico.
- [12] Banco Europeu de Investimento. (2024). Relatório sobre Financiamento Sustentável na UE.
- [13] Banco Mundial. (2023). Relatório sobre Saneamento e Pobreza na América Latina.
- [14] Bento, F. & Castro, L. (2024). A Lei como Instrumento de Sustentabilidade: Análise Comparativa.
- [15] Bloomberg. (2023). Green Bonds and the Renewable Energy Sector.
- [16] Bloomberg. (2024). The EU Green Deal: A Game-Changer for Finance.
- [17] BMU - Bundesministerium für Umwelt. (2023). Climate Action Report.
- [18] BMUV - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. (2024). Environmental Report of Germany.
- [19] BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2024). Relatório sobre Desmatamento e Atividades Econômicas na Amazônia.
- [20] Bullard, R. D. & Johnson, G. S. (2022). Environmental Justice and Global Law. Columbia University Press.
- [21] Câmara de Comércio Brasil-EUA. (2024). Relatório sobre o Mercado de Saneamento no Brasil.
- [22] Carvalho, A. & Dias, F. (2024). Adaptação Legal aos ODS: Desafios e Oportunidades.
- [23] Circular Economy Initiative Deutschland. (2024). Annual Report on Circularity.
- [24] Climate Action Network. (2023). Climate Vulnerability Index.

- [25] CNI - Confederação Nacional da Indústria. (2024). Desafios da Indústria Brasileira em Relação aos ODS.
- [26] Costa, R. & Pereira, J. (2024). The Role of Domestic Law in International Agreements.
- [27] Corte dei Conti (Itália). (2023). Relatório sobre a Gestão de Resíduos.
- [28] Custo Brasil. (2024). Relatório sobre Barreiras Regulatórias.
- [29] Deloitte. (2023). Sustainability and Corporate Strategy.
- [30] Dutra, F. (2024). Harmonização Legal na União Europeia.
- [31] EC - European Commission. (2024). Circular Economy Action Plan Report.
- [32] Ecológica. (2022). Legislação e Combate à Desertificação na Espanha.
- [33] EDP. (2024). Relatório de Sustentabilidade.
- [34] EFSA - European Food Safety Authority. (2023). Food Safety and Environmental Regulation.
- [35] El País. (2024). La Sequía en España.
- [36] EU - União Europeia. (2022). Pacto Ecológico Europeu: Relatório de Progresso.
- [37] EU. (2023). Water Stress in Southern Europe.
- [38] European Commission. (2022). The Link Between Green Policy and Economic Growth.
- [39] European Commission. (2023). Green Deal Implementation Report.
- [40] European Environment Agency. (2024). State of the Environment Report.
- [41] EUROPOL. (2024). Environmental Crime Report.
- [42] Eurostat. (2024). Data on EU SDG Progress.
- [43] FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. (2022). Relatório Florestal Mundial.
- [44] FAO & UNEP. (2023). The Future of Sustainable Agriculture.
- [45] Faria, P. & Costa, F. (2023). Governance and Legal Gaps in Environmental Protection.
- [46] FMI - Fundo Monetário Internacional. (2023). Economia Italiana e o Crescimento Verde.
- [47] FMI. (2024). German Economy and Climate Transition.
- [48] Fraunhofer ISE. (2024). Solar Energy in Germany Report.
- [49] Fundo Brasil. (2023). Relatório sobre Direitos Ambientais.
- [50] FGV. (2023). Análise do Marco Legal do Saneamento.
- [51] García, E. (2024). Water Management and Climate Change in Spain. *Journal of Environmental Law*, 25(1), 45-60.
- [52] Garcia, R. & Oliveira, S. (2024). Governança Ambiental e Legislação no Século XXI.
- [53] GIZ. (2023). Green Policy and Industrial Competitiveness.
- [54] Goldman Sachs. (2024). Sustainable Finance Report.
- [55] Gobierno de España. (2024). Estrategia Nacional de Sostenibilidad.
- [56] Gomes, A. & Oliveira, M. (2024). Fiscalização Ambiental e Corrupção.
- [57] Gonçalves, P. & Ferreira, R. (2024). Governança Florestal e Desafios da Fiscalização no Brasil.
- [58] Gonçalves, P. (2024). Análise do Código Florestal Brasileiro.
- [59] Greenpeace. (2023). Relatório sobre o Pacto Ecológico Europeu.
- [60] Greenpeace Brasil. (2023). Desmatamento e a Crise Climática.
- [61] Guardia di Finanza (Itália). (2023). Relatório sobre Crimes Ambientais.

- [62] IEA - International Energy Agency. (2023). Renewable Energy Report 2023.
- [63] Imazon. (2024). Relatório do Desmatamento da Amazônia.
- [64] IBGE. (2023). Censo Demográfico e Indicadores Sociais.
- [65] IEP - Instituto de Estudos Políticos. (2023). Relatório sobre a Convergência Legal e Ambiental na Europa.
- [66] Instituto Água e Saneamento. (2023). Indicadores de Saneamento.
- [67] IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. (2024). Relatório de Avaliação.
- [68] Ipea. (2023). Saneamento Básico e Desenvolvimento Econômico.
- [69] ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Itália). (2023). Relatório sobre Resíduos Urbanos.
- [70] ISPRA. (2024). Qualidade das Águas na Itália.
- [71] ISO. (2023). International Standards for Circular Economy.
- [72] Italian Ministry of Ecological Transition. (2023). Relatório de Sustentabilidade.
- [73] Kemp, R. & Parto, S. (2022). The Role of Environmental Policy in Innovation. Edward Elgar Publishing.
- [74] Legambiente (Itália). (2023). Relatório Ecomafia.
- [75] Lemos, M. C. & Agrawal, A. (2022). Environmental Governance in the Anthropocene. Annual Review of Environment and Resources.
- [76] Lima, P. (2023). Economia Verde: Mitos e Realidades.
- [77] MapBiomass. (2023). Relatório de Mapeamento do Uso do Solo no Brasil.
- [78] Mendes, C. et al. (2024). A Legislação Ambiental como Ferramenta de Gestão Proativa.
- [79] Milani, L. (2022). Princípios de Direito Ambiental. Editora Saraiva.
- [80] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Espanha). (2024). Relatório Anual de Consumo de Água.
- [81] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Espanha). (2023). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.
- [82] Ministero della Giustizia (Itália). (2024). Relatório sobre Crimes Ambientais.
- [83] Nogueira, F. & Souza, A. (2024). O Marco Legal do Saneamento e o Futuro dos Serviços Públicos.
- [84] Observatório do Clima. (2023). Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil.
- [85] Observatório do Saneamento. (2024). Relatório Anual de Desempenho.
- [86] OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. (2023). Relatório sobre a Governança Hídrica na Espanha.
- [87] OECD. (2023). Environmental Governance Indicators.
- [88] OECD. (2024). Circular Economy Policies in OECD Countries.
- [89] Oliveira, S. & Santos, M. (2023). Governance Quality and Legal Compliance.
- [90] ONU - Organização das Nações Unidas. (2023). Relatório da Agenda 2030.
- [91] ONU-Habitat. (2024). Relatório sobre Saneamento e Cidades.
- [92] Pereira, L. & Almeida, F. (2023). Princípios Ambientais no Direito Brasileiro.
- [93] Pinto, J. & Neves, R. (2022). Políticas Públicas e Transição Energética em Portugal.
- [94] PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. (2022). Relatório de Desenvolvimento Humano.
- [95] Portal de Saneamento. (2023). Análise do Mercado de Saneamento.

- [96] Porter, M. E. & Van der Linde, C. (2022). Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *Harvard Business Review*.
- [97] PwC. (2023). *The Green Transition: A Global Outlook*.
- [98] Reuters. (2023). *Germany's Renewables Law: A Global Model*.
- [99] Ribeiro, M. & Santos, P. (2024). *O Impacto das Diretivas Europeias na Legislação Ambiental Nacional*.
- [100] Rossi, D. (2023). Environmental Governance in Italy: Challenges of Implementation. *European Journal of Environmental Law*, 18(2), 112-128.
- [101] Sachs, J. D. et al. (2024). *Sustainable Development Report 2024*. Cambridge University Press.
- [102] Schwartz, A. (2022). *Global Environmental Commitments and National Legislation*.
- [103] SEO/BirdLife. (2024). *Conservation Report*.
- [104] Siemens. (2023). *Relatório de Sustentabilidade Corporativa*.
- [105] Silva, M. & Costa, L. (2023). *A Legislação Ambiental Brasileira e os Desafios da Implementação*.
- [106] Silva, V. & Santos, C. (2023). *Efetividade da Governança Ambiental*.
- [107] Silva, A., et al. (2024). *Sinergias entre ODS na Legislação Ambiental*.
- [108] Statista. (2024). *Waste Management and Recycling in Germany*.
- [109] The Guardian. (2024). *Spain's Drought Crisis*.
- [110] Trata Brasil. (2024). *Relatório sobre a Universalização do Saneamento no Brasil*.
- [111] Turismo de Portugal. (2024). *Relatório de Turismo Sustentável*.
- [112] UE - União Europeia. (2022). *Pacto Ecológico Europeu: Relatório de Progresso*.
- [113] Umweltbundesamt - Agência Ambiental Alemã. (2022). *Circular Economy in Germany: Report*.
- [114] UN. (2024). *Global Environmental Law Report*.
- [115] UNECE. (2023). *Report on Circular Economy Policies*.
- [116] UNEP - UN Environment Programme. (2023). *The Role of Law in Achieving the SDGs*.
- [117] UNEP. (2024). *Global Assessment of Environmental Law*.
- [118] UNIDO. (2022). *Report on Industrial Sustainability*.
- [119] UNICEF. (2023). *Relatório sobre Saneamento e Saúde Infantil*.
- [120] UN Sustainable Development Solutions Network. (2024). *Italy's SDG Progress*.
- [121] VW Group. (2024). *Relatório de Sustentabilidade*.
- [122] WHO. (2024). *Air Quality Report*.
- [123] World Bank. (2023). *Climate Action and National Legislation*.
- [124] World Economic Forum. (2023). *The Green Economy Transition: Policy and Innovation*.
- [125] WWF Brasil. (2024). *Relatório Anual sobre o Desmatamento na Amazônia*.
- [126] WWF Itália. (2024). *Proteção da Biodiversidade na Itália*.
- [127] WWF Portugal. (2023). *Relatório sobre Áreas Marinhas Protegidas*.
- [128] WWF Spain. (2023). *Report on Water Scarcity and Desertification*.

Capítulo 3

Questão ecológica e pensamento fraco: uma ética do cuidado e da escuta do silêncio animal

Lucas Pereira da Silva Freitas

Resumo: O presente artigo investiga a questão ecológica a partir do pensamento fraco de Gianni Vattimo e da crítica heideggeriana à metafísica, articulando-as com contribuições de Nietzsche, Kant, Derrida e Benjamin. O estudo adota o método hermenêutico-filosófico, sustentado em revisão bibliográfica, a fim de interpretar a crise ambiental não apenas como ameaça ao humano, mas também como violência contra a Terra, os animais e os seres silenciados. Argumenta-se que a racionalidade técnico-científica, ao reduzir o mundo a recurso calculável e disponível (Ge-stell), intensifica o esquecimento do ser e reforça um viés antropocêntrico e eurocêntrico. Em contraposição, propõe-se a constituição de modos de habitar a Terra orientados pela Sorge (cuidado) e pela escuta dos outros — humanos e não humanos — em diálogo com a kénosis cristã reinterpretada por Vattimo. Conclui-se que a ética do cuidado, fundada na memória e na escuta do silêncio, permite repensar a experiência religiosa frente ao mistério da vida animal e a responsabilidade ética no horizonte pós-metafísico, abrindo caminho para uma hermenêutica do cuidado como resposta à crise ecológica.

Palavras-chave: Pensamento fraco, Ecologia, Antropocentrismo, Questão animal, Metafísica.

1. INTRODUÇÃO

A crise ecológica contemporânea não é apenas um problema técnico ou ambiental, mas também uma questão filosófica. A exploração da Terra, a instrumentalização da vida animal e a redução do mundo a recurso calculável e disponível são sintomas de uma forma de pensar enraizada na metafísica ocidental. A tarefa que se impõe é repensar a nossa relação com o mundo e com os outros seres — humanos, animais, vivos ou não — a partir de uma perspectiva que desfaça os pressupostos antropocêntricos e eurocêntricos que ainda estruturam nossa visão.

O pensamento fraco de Gianni Vattimo (1936-2023), assim como a crítica heideggeriana ao esquecimento do ser, oferecem caminhos para a constituição de um modo de habitar a Terra fundado na *Sorge* (a essência do ser humano que se faz pelo cuidado), na escuta dos seres silenciados e na abertura a uma experiência religiosa que nasce do encontro com o mistério da vida animal, como podemos compreender em sua autobiografia:

Explicamos bem tudo isso e anunciamos nossos votos por um ‘pensamento capaz de se articular na meia-luz’ (uma das minhas interpretações de Heidegger), um caminho que não tente ‘reencontrar o Ser original, verdadeiro, que a metafísica esqueceu em seus efeitos cientificistas e tecnológicos’, mas ‘uma via para reencontrar o Ser como vestígio, lembrança, um Ser consumido e enfraquecido e somente por isso digno de atenção’, *uma ética da fraqueza* que sabíamos ser ‘não simples, muito mais árdua, menos tranquilizadora’. E ainda: ‘um equilíbrio difícil entre a contemplação abissal do negativo e a anulação de toda origem’. Estava eu, estávamos nós cientes de falarmos de uma ‘metáfora e, de certo modo, um paradoxo’. [...] O pensamento fraco era a ideia de utilizar o alívio das relações sociais, produto da tecnologia até realizar uma forma de libertação. Emancipação por meio da inflação: se você tem só um canal de televisão, o que lhe diz parece religião; se tiver vinte, você se lixa. E a Pós-modernidade, isto é, o fim da sociedade racionalizada, da sociedade com a racionalidade central, este sim é um desenvolvimento sério, em frente, a crise da razão. (Vattimo, 2018, p. 103).

Vattimo, propõe o pensamento fraco, uma ética da fraqueza para a escuta ativa daqueles que não tem voz no mundo pós-moderno, como alternativa à busca de um *ser* originário, insistindo em uma ética do enfraquecimento que pensa o *ser* como vestígio e memória. Nesse horizonte, a técnica deixa de ser apenas instrumento de exploração e pode ser interpretada como condição de possibilidade para a pluralização das vozes e para novas formas de habitar a Terra. Desse modo, a crise ecológica aparece não apenas como efeito da técnica, mas como oportunidade para repensar o vínculo entre ser humano, técnica e natureza em chave menos dominadora. O conceito de o conceito de *Ge-stell* advindo de Martin Heidegger (2007) designa o modo como a técnica moderna “enquadra” o real, reduzindo-o a mero recurso disponível e contribuindo, assim, para a crise ecológica contemporânea.

A filosofia de Vattimo oferece ferramentas conceituais singulares para pensar a ecologia a partir de uma perspectiva pós-metafísica. Por um lado, sua reflexão sobre animalidade aponta para um horizonte ético em que a humanidade, ao renunciar à arrogância antropocêntrica, reconhece a vida não humana como co-partícipe do mundo. O silêncio animal, condição anterior e posterior à humanidade, emerge como um espaço de sensibilidade que precede a linguagem e que só pode ser plenamente acessado por

sujeitos que voluntariamente se distanciam da dominação metafísica. Escutar esse silêncio é, portanto, um exercício ético-político e também religioso: significa reconhecer a vulnerabilidade e o valor intrínseco de outros seres, incorporando suas condições à reflexão e à ação humanas, como relata Picotti:

Com o enfraquecimento do sentido metafísico das categorias, abre-se espaço para uma hermenêutica emancipadora. Não hesita em afirmar que o encontro com o mistério da vida animal constitui um dos aspectos mais relevantes de nossa experiência religiosa, na medida em que remete a um mistério percebido, de algum modo, como divino. Não se trata de uma perspectiva suprahistórica, mas da própria época atual de consumação da metafísica, de plena realização da técnica moderna. Nesse mundo, *l'animal que je suis*, como expressava Derrida, um dos principais opositores ao especismo, faz-se sentir precisamente como aquilo que estamos perdendo e que, exatamente por isso, nos aparece como aquilo do qual não se quer, não se deve separar. (Picotti, 2015, p. 10, tradução nossa).

Essa proposta constitui a ontologia da atualidade e o conceito de *Verwindung* (que em Heidegger, significa uma “superação com torção”, isto é, um modo de ultrapassar a metafísica sem simplesmente negá-la, mas assumindo e transformando seus vestígios), permitem compreender a crise ambiental contemporânea de maneira situada e responsiva. A ontologia da atualidade, ao focar no *ser* como se apresenta na situação histórica concreta, propõe que a filosofia se engaje com a realidade presente, histórica e plural, sem recorrer a verdades universais ou eternas. Nesse contexto, a *Verwindung* representa o processo de transformação e superação criativa de valores e estruturas metafísicas, incluindo o antropocentrismo. Aplicada à ecologia, a *Verwindung* convida a repensar a relação com a natureza, promovendo uma abertura à pluralidade de existências e ao diálogo com o mundo não humano. Como relata Thomas:

Verwindung (cf. convalescença [*Verwindung*]) não é um acontecimento arbitrário. Argumenta-se que a “ontologia da atualidade” é o resultado do próprio “pensamento fraco”. Quando a metafísica é “superada” e nos “emancipamos de uma concepção eterna do ser”, nossos “preceitos filosóficos” já não podem reivindicar validade eterna; por conseguinte, a filosofia só pode tornar-se uma “ontologia da atualidade”. Isso se torna mais claro quando entendido no sentido de Foucault — de quem Vattimo retoma a expressão — que a definiu como um modo histórico de filosofar em oposição ao que chamava de “analítica da verdade”. Vattimo procura, na atualidade filosófica e histórico-social, ir além da fenomenologia em direção a uma ontologia da atualidade (FT, 23). Assim, a ontologia da atualidade é interpretada como “um pensamento cuja missão é definir as condições e o conteúdo de uma verdade não sujeita à mutação da tradição histórica, mas sempre tomada como instância crítica que a razão poderia opor à história” (FT, 22). Vattimo, entretanto, observa que “ontologia da atualidade” é uma expressão difícil e vaga, embora possua certa generalidade e o contorno nítido de termos como modernidade, pós-modernidade e assim por diante (FT, 23). Ele a emprega em um sentido heideggeriano, como “pensamento do Ser em ambos os sentidos, subjetivo e objetivo, do genitivo” (FT, 23). (Thomas, 2023, p. 142, tradução nossa).

A integração dessas duas dimensões revela uma abordagem filosófica para a ecologia que é ao mesmo tempo hermenêutica e ética. O reconhecimento da animalidade e a escuta do silêncio animal indicam uma responsabilidade direta diante da vulnerabilidade do mundo natural, enquanto a ontologia da atualidade e a *Verwindung* fornecem a metodologia conceitual para interpretar, compreender e agir sobre essa realidade. A vida humana e não humana são vistas como co-constituídas, interdependentes e historicamente situadas. Assim, proteger o ambiente não se reduz a uma gestão técnica de recursos, mas envolve transformar o próprio modo de ser humano, incorporando uma postura de escuta, cuidado e diálogo com todos os seres.

Em síntese, a filosofia de Vattimo propõe que a ação ecológica não pode se separar da reflexão ética e hermenêutica. Escutar o silêncio animal e interpretar a realidade histórica presente são passos complementares: ambos exigem a renúncia à pretensão de do mínimo, abrindo espaço para uma política de libertação que respeite a vida em sua pluralidade e contingência. A ecologia, sob esta perspectiva, torna-se uma prática de responsabilidade hermenêutica e transformação existencial, guiada pela escuta, pela historicidade e pela *Verwindung*.

2. O MUNDO CONSUMADO DA METAFÍSICA

Para Heidegger (2007), a modernidade se caracteriza pela consumação da metafísica, isto é, pela redução do *ser* ao *ente* disponível (*Ge-stell*), explorável e dominável pela tecnociência. A objetividade científica e a racionalidade instrumental convergem para uma lógica de controle e cálculo, que não só ameaça o humano, mas também devasta o ambiente e os animais.

Nesse horizonte, o mundo se torna um estoque de recursos, e o real é violentado pela vontade de assegurar, controlar e prever. A tarefa do pensamento, porém, não é reforçar esse movimento, mas contrapor-se a ele mediante um pensar meditativo, que escuta e rememora (*Andenken*) aquilo que foi silenciado.

A análise de Vattimo (2002, 2015) sobre a proliferação de realidades e a “falta de emergência” revela uma crise epistemológica que também se manifesta na relação humana com o ambiente natural. Em um contexto de informação fragmentada e ciclos contínuos de notícias, a percepção do sofrimento ambiental — desde a degradação de ecossistemas até a extinção de espécies — corre o risco de ser relativizada ou ignorada, como um “evento sem emergência”. Essa situação reflete o mesmo padrão que Vattimo identifica no mundo pós-verdade: múltiplos discursos competem por acesso à “realidade”, mas poucos conseguem se engajar efetivamente com o real impacto da ação humana sobre a Terra, nesse sentido, a maior emergência que temos hoje pode ser pensada como – a falta de emergência. Sim, há muitas emergências, mas as maiores são as que não se afrontam, das quais nem sempre respondemos e um grande exemplo disso é a questão ecológica somada as mudanças climáticas.

A hermenêutica, nesse sentido, se torna uma *koiné* relacional e surge como uma abordagem crucial para a ecologia, fundindo horizontes. Ao valorizar interpretações ativas e a pluralidade de perspectivas, ela permite que diferentes vozes — inclusive aquelas da ciência ambiental, da sabedoria tradicional e das comunidades não humanas, simbolicamente representadas pelo “silêncio animal” — sejam ouvidas e integradas. Em vez de se apoiar em uma visão única e metafísica da natureza, que legitima a exploração, a hermenêutica ecológica incentiva uma compreensão participativa e relacional do

mundo natural, reconhecendo que a vida humana está entrelaçada com a vida de outros seres e ecossistemas. Como relata Egginton:

Longe de ser um defensor de um relativismo do tipo “vale tudo”, Vattimo criticou de modo específico a condição de nosso tempo atual, segundo a qual cada indivíduo teria direito à sua própria realidade e à sua própria concepção de verdade. A proliferação de realidades que testemunhamos hoje se apoia, na verdade, em uma *koiné* hermenêutica achatada e niveladora, que Vattimo denomina de “falta de emergência”. Como ele observa, não é que falem acontecimentos; ao contrário, os ciclos noticiosos ininterruptos cultivam uma vigilância constante em relação ao próximo evento, à próxima crise, à próxima emergência. Mas esse fluxo contínuo de informações produz uma “resignação... que permanece inalterada mesmo quando há uma crise econômica como a que estamos vivenciando” (OR, 108). Embora a fragmentação das visões de mundo pelos meios de comunicação e a perda de um terreno comum tenham sido amplamente associadas a correntes pós-hermenêuticas — muitas vezes mal caracterizadas como “pós-modernas” —, para Vattimo essa fragmentação deriva logicamente do realismo. Nesse ambiente midiático, as posições individuais são sempre justificadas como enraizadas em uma realidade à qual os outros estariam cegos devido à propaganda. Assim, o chamado mundo da pós-verdade é, em verdade, uma extensão da crença realista em uma realidade fundamental independente da interpretação, apenas multiplicada por diferentes partes que reivindicam acesso à “real realidade”. A resposta a isso não é, evidentemente, mais realismo ou mais discursos sobre a realidade, mas sim a hermenêutica. A hermenêutica, como escreve Vattimo (com Zabala), é a essência da política, pois “se apoia em uma pluralidade de desenvolvimentos individuais, isto é, de interpretações ativas”. Além disso, tal filosofia “deve evitar não apenas toda pretensão metafísica a valores universais, que restringiriam os desenvolvimentos pessoais, mas também aquela natureza passivamente conservadora que caracteriza as filosofias descritivas em detrimento da ação” (HC, 77). A hermenêutica designa, assim, a circulação e a troca de interpretações ativas que ocorrem antes e fora do enquadramento metafísico que reivindica acesso a uma realidade última. Dessa maneira, longe de ser um sintoma da atual proliferação de realidades, o pensamento de Vattimo torna-se um instrumento de combate a ela, em favor de uma política de libertação e não de quietismo ou estagnação. (Egginton, 2023, pp. 164-165).

A crise ecológica, quando pensada a partir do realismo, tende a ser reduzida a dados objetivos que produzem paralisia diante do excesso de informações. Para Vattimo (2002, 2015) apenas a hermenêutica rompe com essa “falta de emergência”, permitindo interpretar o desastre ambiental não como fato neutro, mas como apelo ético. Assim, o enfrentamento ecológico exige superar o realismo e abrir-se a interpretações que mobilizem responsabilidade e ação coletiva, bem como pensar nos direitos dos animais, como argumenta:

A questão dos direitos dos animais pode ser considerada como a última consequência da crise da ética. Não somente podemos suspeitar que as nossas ideias morais são somente ideias próprias de uma cultura histórica determinada; mas pode ser que são somente ideias de uma espécie animal determinada, que sempre dominou o planeta e que

considerou óbvio, por exemplo, que os cães, os macacos etc., não são titulares de direitos. (Vattimo 2002, p. 92).

A reflexão sobre os direitos dos animais evidencia a historicidade e a contingência da ética humana, revelando como nossos princípios morais estão condicionados à perspectiva de uma espécie dominante. Assim, a crise ética se torna também uma oportunidade de reconfigurar a responsabilidade moral para além do antropocentrismo. O pensamento Vattimiano sugere que a verdadeira ação ecológica não depende de um “mais realismo” ou de uma tentativa de dominar a realidade natural, mas de um engajamento hermenêutico: ouvir, interpretar e responder à pluralidade de vozes e sinais que a natureza nos oferece. A escuta do silêncio animal e da Terra, portanto, se torna um exercício ético-político, em que o sujeito enfraquecido renuncia ao antropocentrismo e participa de um diálogo contínuo com o mundo natural. Nesse horizonte, ecologia e política convergem: proteger o ambiente não é apenas um ato técnico, mas um modo de viver que reconhece a interdependência e a vulnerabilidade compartilhada de todos os seres.

3. ANTROPOCENTRISMO, ANIMALIDADE E O SILÊNCIO

Um dos pontos mais significativos da crítica contemporânea ao pensamento metafísico é a questão animal. Jacques Derrida (1930-2004), ao narrar o pudor de se ver nu diante do olhar do animal, revela a presença de um mistério que escapa ao cálculo humano. Esse encontro é também uma experiência religiosa: o silêncio do animal não é o silêncio inanimado de uma pedra, mas o silêncio de um *zoon*, um ser vivo que compartilha conosco a condição de vulnerabilidade.

A hierarquia tradicional — mineral, vegetal, animal, humano — tranquiliza a consciência antropocêntrica, mesmo quando implica o sacrifício animal. Hoje, essa hierarquia se torna problemática: o animal, que nos olha em silêncio, reivindica cuidado e abre espaço para um antiespecismo que Derrida e Heidegger, cada um a seu modo, prenunciam (cf. Vattimo, 2015, pp. 19-24).

A reflexão de Vattimo acerca da animalidade, abre um horizonte fecundo para pensar a crise ecológica pós-moderna. A animalidade aparece, em seu percurso teórico, como um ponto de chegada implícito no processo de enfraquecimento da metafísica ocidental e na abertura para uma vida que não se sustenta mais sobre dualismos — entre ser humano e natureza, corpo e mente, imanência e transcendência. Nesse sentido, a ecologia, entendida como escuta e cuidado do “outro” não-humano, se insere de modo orgânico no horizonte do pensamento fraco, como relata Cimatti:

A questão da animalidade não é tratada como um problema filosófico central, mas como um caso particular da questão ética geral do “sofrimento” dos “outros esquecidos”. Entretanto, ao se considerar toda a trajetória teórica de Vattimo, a questão da animalidade aparece como ponto de chegada implícito de sua filosofia. Tal questão se coloca no extremo do processo de esvaziamento de si da metafísica ocidental. Nesse contexto, a animalidade representa a plena realização do processo de kénosis, isto é, a renúncia do sujeito à vontade de poder. Em *Il soggetto e la maschera* (1974), a questão da animalidade surge quando Vattimo discute o significado da controversa figura nietzschiana do Übermensch, que ele não traduz como “super-homem” (isto é, um homem dotado de

poderes sobre-humanos), mas como *oltreuomo* (“além-do-homem”, ou “sobrehumano”). O *Übermensch*, portanto, é o ser vivo que deixa para trás a humanidade “metafísica”, marcada pelo ressentimento, pela violência e pela vontade de dominar o mundo. Nesse sentido, esse *Übermensch* já não é humano, mas sim um animal pós-humano. A característica central do sujeito metafísico é o dualismo entre o ser humano, de um lado, e o restante do mundo, do outro, mundo este inteiramente à sua disposição. Esse dualismo cava um fosso — sendo a metafísica ocidental nada além desse fosso — entre a mente do sujeito e o corpo e a natureza. Em particular, trata-se de um dualismo entre a vida efetiva e o valor dessa vida, valor que se situa fora do nível básico da existência. É exatamente esse dualismo entre imanência e transcendência (corpo e mente, vida e essência, sujeito e objeto) que o *Übermensch*, como animal pós-humano, deixa para trás. (Cimatti, 2023, pp. 30-32).

A noção de *Übermensch* advinda do filósofo Friedrich Nietzsche (1844-1900), ou seja, o ser pós-humano que deixa para trás a dualidade humano/natureza e a vontade de dominar o mundo é fundamental para Vattimo. Sua animalidade representa a adesão plena à vida concreta, sem hierarquias nem antropocentrismo. Esse abandono do domínio humano sobre o mundo natural sugere uma ética de cuidado ecológico, na qual o dever humano não é controlar, mas coexistir com os seres vivos. Assim, a animalidade do *Übermensch* funda uma responsabilidade ambiental que emerge do reconhecimento do valor intrínseco da vida não humana. É uma filosofia que transforma a relação com a Terra em diálogo e respeito, não em exploração.

O “silêncio animal”, remete a uma experiência que é ao mesmo tempo anterior e posterior à humanidade: anterior, porque recorda a origem animal sempre reprimida do humano; posterior, porque se trata de uma condição que só pode emergir após a renúncia voluntária à arrogância do humanismo e do antropocentrismo. Esse silêncio não é simples ausência de palavra, mas proveniência originária e horizonte último de sentido — um espaço onde a linguagem humana se reconhece como derivada e finita. A escuta desse silêncio implica, portanto, uma conversão hermenêutica: o reconhecimento de que a existência não se funda em um sentido transcendente, mas na imanência da vida mesma, que compartilha destino com todas as formas viventes.

Assim, a perspectiva ecológica, ao ser pensada a partir de Vattimo, desloca-se de um paradigma técnico-instrumental (que vê a natureza como objeto de uso e exploração) para um paradigma hermenêutico de escuta e de abertura, a vocação do “além-do-homem”. A ecologia, nessa chave, não é apenas uma gestão racional de recursos, mas uma transformação do próprio modo de ser do sujeito: de um sujeito dominador para um sujeito enfraquecido, capaz de reconhecer a vulnerabilidade comum e de ouvir o “silêncio animal” que sustenta e precede a linguagem humana.

Portanto, relacionar animalidade e ecologia em Vattimo significa compreender que o cuidado ambiental não se reduz à defesa de espécies ou ecossistemas isolados, mas implica a superação da lógica metafísica que cavou o abismo entre humanidade e natureza. Escutar o silêncio animal é, em última instância, um exercício ético-político, bem como experiência religiosa hermenêutica de reconhecimento da alteridade radical que nos habita e nos cerca, e que pode abrir espaço para uma filosofia futura onde a vida, em sua integralidade, é assumida como valor em si mesma.

4. PENSAMENTO FRACO, KÉNOSIS E CUIDADO

O pensamento fraco de Vattimo encontra na *kénosis* — o abaixamento e esvaziamento de Deus em Cristo — uma chave hermenêutica para compreender o fim da metafísica e o enfraquecimento de toda pretensão de fundamento último. O “Deus metafísico” morreu, é o que podemos pensar pela expressão “Deus está morto” de Nietzsche, que não se refere simplesmente ao desaparecimento de uma crença religiosa, mas deve ser compreendida como a própria morte de Deus na cruz, mas o divino ainda por vir pode ser pensado como proximidade, como cuidado e escuta dos fracos e sofredores, das vítimas da história, assim como pensava Walter Benjamin (1892-1940) e dos seres silenciados — inclusive o mundo animal.

Habitar a Terra, como pensou Heidegger (2006) de modo não violento requer corrigir o viés antropocêntrico e instaurar relações de *Sorge* não só com os humanos, mas com todos os viventes. O cuidado se apresenta como resposta ética à violência contra a Terra e contra os “desabitados”, os seres explorados e privados de dignidade, está aqui também a proposta de *Übermensch*, como superação mesmo dos problemas de libertação.

5. O SILÊNCIO COMO VOZ DO SER

O silêncio que o animal opõe ao nosso olhar não é um vazio, mas uma linguagem outra, que exige ser ouvida. Heidegger (2015) caracteriza o fim da metafísica como tarefa de recordar o *ser* esquecido: trata-se de dar voz ao silêncio, de escutar aquilo que nunca teve voz. Nesse sentido, a questão ecológica e animal não é periférica, mas central para uma nova ética que não se ancora em princípios metafísicos, mas na escuta dos outros. Se houver progresso, ele não será medido pelo avanço técnico, mas pela capacidade de ouvir os silêncios — humanos e não humanos — e dar-lhes lugar no diálogo, isso é, reconhecer seu *ser*, sua linguagem e vestígio.

A reflexão de Vattimo sobre estética e hermenêutica oferece uma perspectiva filosófica para a ecologia, na qual o silêncio da natureza atua como expressão do *ser*. Assim como a experiência estética suspende a familiaridade e abre novos horizontes de significado, revelando a essência da obra (*Wesen*), o silêncio do mundo natural expõe dimensões da vida não perceptíveis quando há dominação ou exploração.

No pensamento de Vattimo, o *ser* não é fixo ou dado, é tempo, portanto, histórico e contingente. O silêncio ecológico, portanto, pode ser lido como uma forma de voz do *ser*, convocando o humano a uma escuta ética e responsável. A experiência estética, ao produzir estranhamento e novos modos de percepção, serve como analogia dessa escuta: perceber e respeitar a natureza exige sensibilidade e atenção semelhantes às exigidas na fruição da arte. Como relata Giorgio:

Vattimo argumenta que, como ocorreu ao longo da era moderna (EM, 31–47), é provável que mesmo hoje “o caráter distintivo da existência [...] apareça primeiro e mais claramente na experiência estética” (TS, 45). Nisso reside o interesse que o pensamento estético de Benjamin (Benjamin 1974–89a) assume na filosofia de Vattimo, que enfatiza a ideia central: “as novas condições de produção e apreciação artística que se estabelecem na sociedade dos meios de comunicação de massa modificam substancialmente a essência da arte, seu *Wesen*” (TS, 46). Na era da reprodutibilidade técnica, as condições de produção da obra de arte se alteram, pois a arte sofre a perda daquilo que a constituía como *monumentum aere perennius* (TS, 57): sua aura. Esse tipo de sacralidade

religiosa é retirado da obra de arte, uma vez que são precisamente os meios técnicos — Benjamin refere-se sobretudo à fotografia e ao cinema, e Vattimo, de modo mais geral, aos meios de comunicação de massa — que nos permitem detectar aspectos da obra acessíveis apenas por meio do instrumento técnico, e de acordo com suas possibilidades. Assim, o original perde sua força persuasiva e, graças à tecnologia, a obra revela aspectos de outra forma imperceptíveis, multiplicando sua riqueza ontológica à vontade, em contextos sempre mutáveis. Portanto, a arte deixa de se apresentar centrada na “obra” e passa a se concentrar na “experiência” dela (TS, 58). (Giorgio, 2023, pp. 42-43).

Assim, a ecologia deixa de ser apenas técnica ou utilitária e se torna uma prática hermenêutica, concentra-se na experiência ética e estética, em que ouvir o silêncio da natureza revela o *ser* e guia o humano a modos de existência mais atentos à interdependência e à pluralidade de seres.

6. KANT, NIETZSCHE E A QUESTÃO DA HISTÓRIA

Relata Vattimo (2015, pp. 19-24) que Immanuel Kant (1724-1804) sustentava a partir de sua crítica a razão prática que a união entre virtude e felicidade só poderia ocorrer por meio de um ser onipotente, capaz de assegurar no infinito a realização moral. Mas está mesmo em Nietzsche uma satisfação ampliada, por sua vez, pela denuncia da “morte de Deus”, desvelando a perda desse fundamento transcendente e relatando a doença da história que ocorre quando o excesso de memória e análise impede a ação vital, aprisionando o presente em reverências ao passado. Esse olhar histórico paralisante se relaciona com a ecologia ao refletir nossa incapacidade de agir diante da crise ambiental, retendo a humanidade em padrões de exploração que ignoram a urgência da vida natural. Superar essa doença implica um engajamento ativo e responsivo com o mundo, promovendo cuidado e coexistência com a natureza.

Hoje, à luz de Heidegger, Nietzsche, Benjamin, Derrida e Vattimo, podemos dispensar esse teleologismo teológico e pensar que o sentido histórico não está em uma ordem universal garantida por um Deus estático objetivamente dado, mas no processo humano (e pós-humano) de dar voz aos silenciados. O imperativo categórico pode ser reinterpretado não como lei universal inscrita no *ser*, mas como responsabilidade diante dos outros, humanos e não humanos, que nos convocam em sua vulnerabilidade.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No fim da metafísica, resta-nos o outro como interlocutor. A vida animal, o ambiente e os seres silenciados clamam pelo cuidado. Habitar a Terra exige superar a lógica da dominação técnica e instaurar um pensamento meditativo que escute o silêncio. A ética do futuro só poderá nascer do reconhecimento desse silêncio como voz do *ser*. Assim, a questão ecológica torna-se inseparável de uma tarefa filosófica e espiritual: dar lugar ao fraco, ao sofredor, ao animal, à Terra. Esse gesto não é apenas político ou moral, mas também religioso — no sentido de religar, pelo cuidado e pela escuta, aquilo que a metafísica separou.

Apesar do “ruído gigantesco” produzido pela expansão do *Ge-stell*, que reduziu a Terra a mera disponibilidade e recurso técnico, ainda é possível escutar, em meio a esse estado

de devastação, aquilo que poderíamos chamar de “o canto intocado da Terra”. Como argumenta Pobierzyn (cf. 2015, p. 120-124), a marca antrópica tornou-se global e irreversível, o que alguns autores identificam como a “morte da natureza” (McKibben), mas que, em sentido mais profundo, se conecta também à “morte de Deus” nietzschiana e ao esgotamento do paradigma metafísico que sustentou a modernidade.

O projeto moderno de matematização e mensuração da realidade conduziu à separação entre *res cogitans* e *res extensa*, agora transmutada em “recursos humanos” e “recursos naturais”. Trata-se de um processo civilizatório que trouxe conquistas científicas e técnicas inegáveis, mas que também engendrou um “lado obscuro”: a exploração ilimitada da Terra e o sofrimento dos seres vivos nela abrigados. O desenraizamento (*Heimatlosigkeit*) tornou-se um destino universal, afetando não apenas ecossistemas, mas também a própria corporeidade humana, desconectada de suas raízes.

Ainda assim, seguindo Heidegger, podemos reconhecer que a crise ecológica abre a possibilidade de um outro modo de pensar e habitar, no qual a Terra é compreendida não como objeto de cálculo, mas como dimensão originária de pertença, vinculada ao jogo quaternário entre céu, divino e mortais. A questão não é idealizar um retorno romântico a culturas pré-modernas ou a concepções míticas da *physis*, mas vislumbrar a emergência de comunidades de intérpretes capazes de acolher, no interior do mundo técnico, a dádiva do ser como cuidado e escuta. Derrida sugeria que o olhar silencioso do animal, assim como a voz das vítimas históricas (Benjamin), convoca-nos a uma sensibilidade ética marcada pelo respeito, compaixão e ternura para com todas as formas de vida. Nesse horizonte, a salvação não seria um evento futuro transcendente, mas algo já em curso, nas pequenas práticas de cuidado e preservação que respondem à violência da técnica.

Se há esperança, ela reside na abertura de uma morada poética, em que homens e mulheres possam habitar a Terra como amigos — dos outros humanos, dos animais, das águas, das plantas e das rochas. Assim, talvez ainda possamos escutar, em meio ao ruído da modernidade técnica, o canto silencioso da Terra em sua dignidade intocada.

REFERÊNCIAS

- [1] HEIDEGGER, M. **A questão da técnica**. *SCIENTIAE studia*, São Paulo, v. 5. n. 3. p. 375- 98, 2007. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6681472/mod_resource/content/1/2007%20Heidegger%20A%20quest%C3%A3o%20da%20t%C3%A9cnica.pdf. Acesso em: 18/08/2025.
- [2] HEIDEGGER, M. **Ensaio e conferências**. São Paulo: Perspectiva, 2006.
- [3] HEIDEGGER, Martin. **Ser e Tempo**. Tradução de Marcia Sá Cavalcante Schuback; posfácio de Emmanuel Carneiro Leão. 10. Ed – Petrópolis, RJ : Vozes, Bragança Paulista, SP: Editora Universitária São Francisco, 2015.
- [4] MORO, S. (Ed.). **The Vattimo Dictionary**. Edinburgh: University Press, 2023. Contribuições de Rogi Thomas, William Egginton, Felice Cimatti e Giovanni Giorgio.
- [5] VATTIMO, G; GIARDINA, M; POBIERZYN; Ricardo P; PICOTTI, D. **Heidegger y la cuestión ecológica**. Buenos Aires: Prometeo Libros, 2015.
- [6] VATTIMO, G. **Não ser Deus: Uma autobiografia a quatro mãos**. Tradução: Federico Carotti – Petrópolis, RJ: Vozes, 2018.
- [7] VATTIMO, G. **Técnica ed esistenza: una mappa filosofica del novecento**. Milano: Mondadori, 2002.

Capítulo 4

Resíduos sólidos: reutilização do papel na produção de vasos biodegradáveis

Cristiano Tenorio-Santos

Sophia Lohane de Abreu Leite Nestor

Vinicius José de Paiva Nogueira

Ihasmyn Vitória Bezerra de Sousa

Karinne Fonseca Ferreira

Martina Fonseca Martins

Sergio Dias da Costa Junior

Moabe Pina da Silva

Resumo: No Brasil, milhões de toneladas de resíduos sólidos são enterrados, incinerados ou descartados a céu aberto, muitas vezes devido ao desconhecimento sobre seu potencial de reutilização e os impactos negativos do descarte inadequado. A valorização desses materiais pode contribuir significativamente para o enfrentamento de graves problemas ambientais, como a degradação e erosão do solo, além das mudanças climáticas. Nesse contexto, além da ampliação da infraestrutura para compostagem e biometanização, é fundamental investir em programas de redução do de resíduos destinados à reciclagem. Assim, no presente trabalho, foram utilizados procedimentos metodológicos de abordagem qualitativo-quantitativa, com a produção de vasos, elaborados tendo como matéria prima papel coletado no IFRN – *Campus* Macau, borra de café e cana de açúcar, onde observou-se ótimos resultados com a produção de vasos resistentes. Também foram aplicados questionários a discentes e docentes da instituição, com o objetivo de investigar o uso do papel no ambiente acadêmico. Os resultados obtidos foram positivos, culminando na construção de vasos biodegradáveis, a partir do reaproveitamento de resíduos sólidos.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Resíduos Orgânicos, Reciclagem, Vasos biodegradáveis.

1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas, tanto em seus meios de produção quanto em suas formas de convivência e exploração dos recursos naturais, têm impactado de maneira significativa o meio ambiente. A escassez e a degradação dos ecossistemas são consequências diretas do estilo de vida consumista predominante, o qual tem gerado um desequilíbrio crescente nesses locais.

Nesse contexto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e regulamentada pelo Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022, estabelece diretrizes voltadas à mitigação dos impactos ambientais gerados por resíduos. Entre os principais objetivos da PNRS destacam-se: a redução, reutilização, reciclagem e tratamento adequado dos resíduos sólidos, bem como sua destinação final ambientalmente segura. Esses resíduos compreendem substâncias, objetos, materiais ou bens descartados pelas atividades humanas.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), em 2019 os municípios brasileiros geraram cerca de 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos, número que aumentou para 81 milhões em 2023. No entanto, desses apenas 58,5% receberam destinação adequada, e desses somente 6,7 milhões de toneladas foram encaminhadas para reciclagem.

Entre os diversos tipos de resíduos sólidos, o papel se destaca tanto pelo volume gerado quanto pela frequência de descarte, tornando-se um material prioritário nas discussões sobre reciclagem no Brasil e no mundo. Segundo a Bracelpa (2013), a indústria brasileira de celulose e papel ocupa posição de destaque no cenário florestal global, sendo o quarto maior produtor de celulose, o nono maior produtor de papel e o 13º em consumo per capita desse material. A competitividade brasileira no setor decorre, principalmente, das condições climáticas favoráveis, do investimento em tecnologias de arborização e manejo florestal, além da industrialização dos produtos derivados (Moreira e Oliveira, 2017).

Segundo a EPEA e a IEA (2022) hoje o Brasil é responsável por exportar mais de 70 milhões de toneladas de celulose e dessas cerca de 70% é destinada à exportação (IBÁ, 2018). Os dados indicam que:

Diante dessa realidade, torna-se essencial pensar em alternativas viáveis para o reaproveitamento do papel, de forma a reduzir o impacto ambiental do setor. Milhões de toneladas de resíduos são descartadas mensalmente no Brasil, mas apenas uma pequena parcela é reciclada. Segundo Rosa (2005), embora o número de municípios com programas de reciclagem tenha aumentado na última década, ainda representa menos de 20% do total de cidades brasileiras.

A reciclagem é uma das estratégias mais promissoras dentro do modelo de desenvolvimento sustentável, pois permite o reingresso de diversos materiais no ciclo produtivo. O papel, em especial, é um dos principais alvos da reciclagem devido à sua ampla aplicabilidade (Pinheiro, 2015). No entanto, para que o papel seja reciclado, ele não pode estar contaminado por resíduos como metais, plásticos ou substâncias químicas nocivas à saúde. Tipos como papel vegetal, papel carbono, papéis impermeáveis e papel higiênico usado são inadequados para o processo (Mano, Pacheco e Bonelli, 2005).

Segundo a Associação Brasileira de Árvores (2018), o Brasil recicla cerca de 5,1 milhões de toneladas de papel por ano, com um índice de recuperação estimado em 68%. Considerando apenas o papelão ondulado, esse índice chega a 85%, posicionando o país entre os líderes mundiais nesse setor. No entanto, eventos como a pandemia da Covid-19

afetaram negativamente o mercado de reciclagem, uma vez que grandes geradores de resíduos, como supermercados e shoppings, foram impedidos de operar durante os períodos de quarentena (Tissue, 2021).

Nesse cenário, uma alternativa sustentável é a produção de vasos biodegradáveis a partir de papel reciclado, como substitutos aos recipientes plásticos derivados de petróleo. No setor florestal, observa-se uma crescente busca por soluções sustentáveis, como o uso de materiais biodegradáveis. Esses vasos podem ser plantados diretamente com as mudas, dispensando a remoção do recipiente e reduzindo o estresse das raízes durante o plantio (Dias, 2011).

O uso de vasos biodegradáveis apresenta vantagens agronômicas e econômicas, como a obtenção de mudas com melhor desempenho no campo e a redução do tempo de produção, visto que o sistema radicular não precisa estar completamente formado para o transplante (Iatauro, 2001). Um exemplo de destaque é a empresa NagmoBio, localizada em Cotia (SP), que produz vasos biodegradáveis a partir de papel reciclado e fibra vegetal virgem, promovendo um plantio mais sustentável e com menor geração de resíduos (Iatauro, 2001).

Sendo assim, o presente trabalho objetivou criar um material alternativo para confecção de vasos biodegradáveis utilizando o papel reciclado associado a outros materiais para sua criação, tais como: cana de açúcar, borra de café e amido de milho. Complementarmente, procurou-se identificar e entender a percepção dos discentes e docentes do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia – Campus Macau quanto ao uso de papel em seu cotidiano.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto Federal do Rio Grande do Norte – Campus Macau, sendo estruturado em duas etapas principais.

A primeira consistiu na realização de um estudo com base no método do estudo de caso, que possibilitou a análise do uso e descarte do papel no ambiente escolar. De acordo com Martins e Santos (2003), o estudo de caso permite ao pesquisador examinar uma situação de forma aprofundada, com o objetivo de identificar todas as variáveis relevantes para a compreensão da história ou do desenvolvimento do objeto de estudo.

A segunda correspondeu a um estudo empírico, cujo objetivo foi a produção de vasos biodegradáveis utilizando, como materiais de base, papel, bagaço de cana-de-açúcar e borra de café. A seguir, cada uma dessas etapas é detalhada.

2.1. VERIFICAÇÃO DA PERCEPÇÃO DE DOCENTES E DISCENTES QUANTO AO USO DE PAPEL ANTES E APÓS A PANDEMIA

Com o objetivo de reunir dados sobre o reaproveitamento de papel utilizado por docentes e discentes do IFRN – Campus Macau, bem como verificar a percepção desses grupos sobre as mudanças nos hábitos de uso do papel nos períodos pré e pós-pandemia, foram realizadas entrevistas com os alunos do 4º ano dos cursos ofertados pela instituição, no ano de 2022. A escolha desse grupo deve-se à sua vivência mais ampla das transformações ocorridas, por terem cursado anos letivos tanto antes quanto após o período pandêmico.

Para isso, foram elaborados e aplicados dois questionários — um voltado para os discentes e outro para os docentes — contendo cinco perguntas de natureza qualitativa e quantitativa.

Em 2025, os mesmos questionários foram reaplicados, desta vez com participação aberta a todos os discentes do campus. O objetivo da reaplicação foi compreender a percepção atual dos alunos, considerando que muitos vivenciaram o período pandêmico ainda no ensino fundamental e, portanto, não experienciaram diretamente a realidade do campus naquele contexto. Além disso, buscou-se atualizar a percepção dos docentes frente às mudanças nos hábitos de uso do papel ao longo dos anos pós-pandemia.

2.2. PRODUÇÃO DOS BIOVASOS

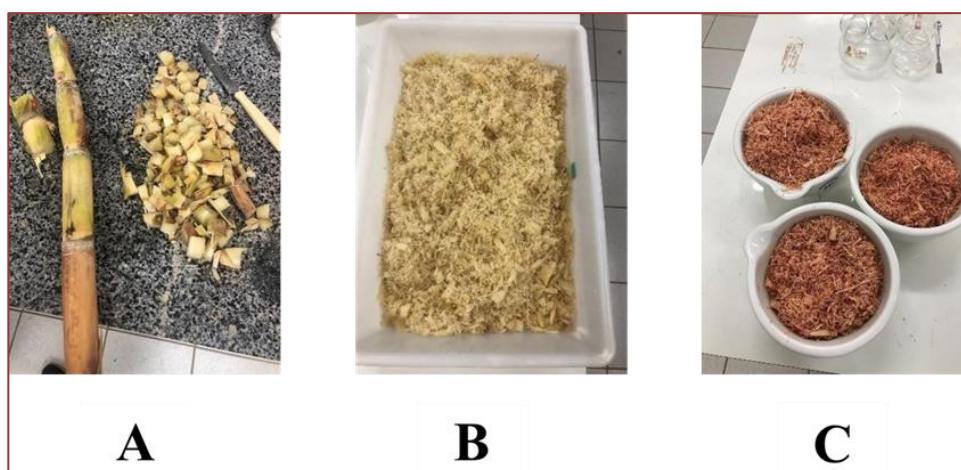
Para a produção dos vasos biodegradáveis, foram coletados resíduos de papel sulfite descartado no ambiente escolar. Adicionalmente, foram utilizados borra de café, cana-de-açúcar (planta típica da região) e amido de milho, todos obtidos por meio de doações da comunidade acadêmica.

A escolha desses materiais considerou sua disponibilidade e fácil acesso, aspectos relevantes para a viabilidade da construção dos vasos e sua possível implementação no cotidiano como alternativa sustentável.

O objetivo dessa etapa experimental foi a produção de 30 vasos biodegradáveis, utilizando diferentes proporções dos materiais, a fim de possibilitar uma análise mais ampla e comparativa quanto ao desempenho e à viabilidade das combinações utilizadas.

Após a separação dos materiais, iniciou-se o processo de produção dos vasos. A cana-de-açúcar foi primeiramente cortada e triturada com o auxílio de um liquidificador doméstico, com o intuito de se obter o bagaço. Em seguida, esse material foi reservado e submetido à secagem em estufa, visando à remoção da umidade (**Figura 1**).

Figura 1. (A) Cana de açúcar em processo de trituração; (B) Fibra vegetal obtida da cana de açúcar após procedimento de lavagem e trituração; (C) Material obtido após procedimento de lavagem



Inicialmente, 150 folhas de papel sulfite A4 foram submersas em água para tornar sua estrutura mais maleável. Após um período de 5 minutos, as folhas foram retiradas da água, colocadas no liquidificador para trituração e, em seguida, reservadas. Posteriormente, a borra de café foi dividida em três recipientes e levada à estufa para secagem (**Figura 2**). Após seis dias na estufa, a 80 °C, tanto a borra de café quanto o bagaço de cana estavam completamente secos.

Figura 2. (A) borra de café; (B) Papel após processo de moagem



O passo seguinte consistiu na preparação de uma cola biodegradável, obtida por meio do aquecimento de uma mistura de amido de milho com água, até alcançar uma consistência viscosa e homogênea. Foram utilizados 9 g de amido de milho e 250 mL de água para a produção de cola suficiente para aproximadamente três vasos. Para a produção total de 30 vasos, foram utilizados cerca de 2 litros de cola, considerando variações nas proporções adotadas.

Com os materiais já preparados, foram confeccionados inicialmente sete vasos para testes de proporções (**Tabela 1**). A partir desses testes, identificaram-se os três vasos com melhor desempenho em termos de resistência, e suas respectivas proporções foram selecionadas para a produção dos 30 vasos finais.

Tabela 1. Proporções iniciais dos materiais que compõem os vasos

Tratamento	Borra (g)	Bagaço de Cana (g)	Papel (g)	Cola (g)
1º	8	7	55	4
2º	8	7	110	2
3º	8	10,5	55	4
4º	8	7	55	6
5º	8	7	110	4
6º	8	3,5	124	4
7º	8	7	55	8

Após a seleção das proporções ideais, as misturas foram preparadas, depositadas nos moldes e desmoldadas manualmente. Em cada vaso recém-confeccionado, foi realizado um furo na parte inferior, visando permitir o escoamento da água durante o plantio. Em seguida, os vasos foram expostos ao sol para secagem (**Figura 3**).

Figura 3. Secagem dos vasos

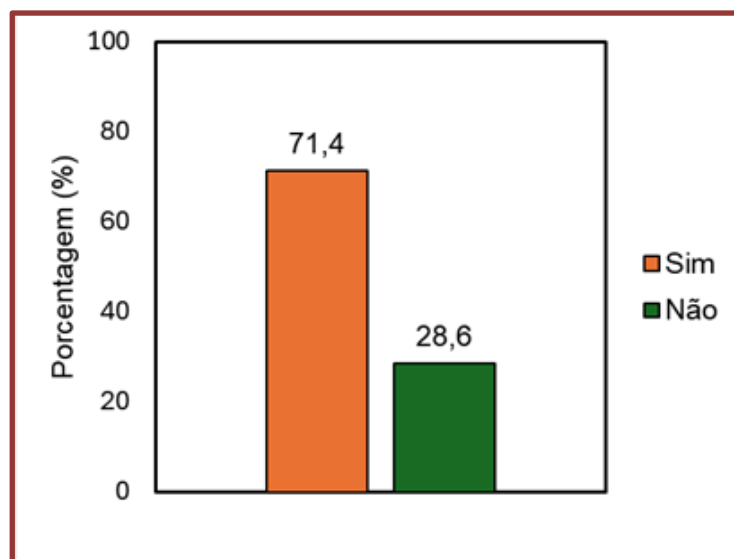


3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. PERCEPÇÃO DISCENTE DO USO DE PAPEL NO IFRN - CAMPUS MACAU

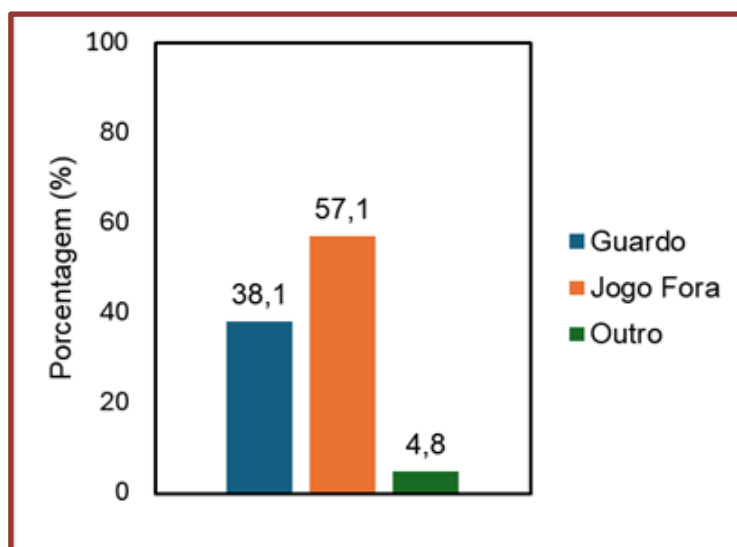
Foram registradas 21 respostas no questionário aplicado aos discentes. De acordo com a primeira pergunta, observou-se que a maioria dos alunos utiliza papel com frequência em seu cotidiano (**Figura 3**).

Figura 3. Resposta dos discentes quando a pergunta: sobre resíduos sólidos, especificamente o papel, você acha que utiliza muito papel no seu cotidiano?



Entretanto, quase 60% dos acadêmicos responderam que descartam o papel utilizado, havendo apenas uma resposta em que o entrevistado afirmou reutilizá-lo para outros fins (**Figura 4**). Uma forma de enfrentar ou mitigar esse problema é incentivar o uso consciente e o descarte adequado do papel. Produtos reutilizáveis e a prática da reciclagem devem ser amplamente abordados, especialmente nas escolas, com foco na preservação ambiental (Zanin, 2011).

Figura 4. Resposta dos discentes quando a pergunta: Qual destino final do papel utilizado no seu cotidiano?



Aproximadamente 90% dos entrevistados relataram uma redução no uso do papel na escola e em seu cotidiano após o período pandêmico (Figura 5). Eles também destacaram que, atualmente, os professores preferem o uso de formulários online para a realização de atividades acadêmicas, como avaliações e trabalhos (**Figura 6**).

Figura 5. Resposta dos discentes quando a pergunta: Depois da pandemia houve alguma redução no uso de papel?

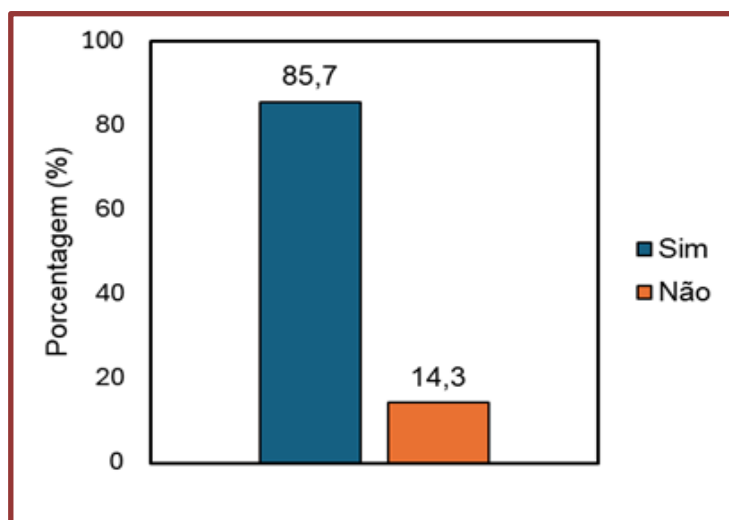
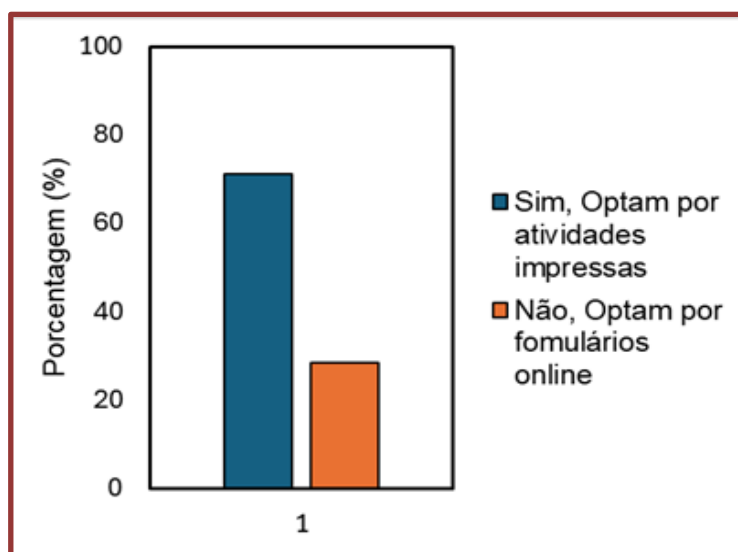


Figura 6. Resposta dos discentes quando a pergunta: No seu cotidiano escolar, é frequente a utilização de atividades impressas passadas pelos docentes?



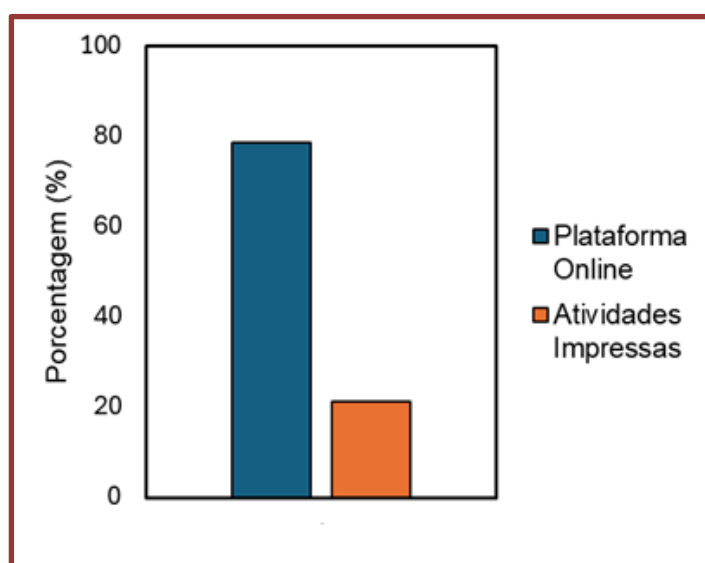
A pandemia provocou tendências globais com efeitos estruturais permanentes. O uso do ambiente digital para novas atividades se intensificou: o trabalho remoto tornou-se comum nas empresas, o ensino a distância passou a preencher o vazio causado pelo distanciamento social e o comércio eletrônico cresceu em diversas áreas. Essas mudanças impactam diretamente o consumo de papel (Cordeiro; Neves, 2021).

Questionados sobre o que fariam para reduzir o uso excessivo de papel no campus, uma discente do 4º ano do curso Técnico Integrado em Química relatou:

“Usaria mais ferramentas digitais e papéis recicláveis. Acredito que, por ser normalizado o uso de ferramentas digitais, o uso de papel foi reduzido por optar por utilizá-los ao invés de materiais feitos de papel.” - Relato de discente entrevistada.

O questionário aplicado aos docentes revelou que quase 80% afirmaram optar por atividades digitalizadas, o que corrobora os relatos dos discentes (**Figura 7**).

Figura 7. Resposta dos docentes quando a pergunta: No seu cotidiano escolar, como docente busca realizar mais atividades impressas ou em plataformas online para seus alunos?



Quando perguntados se houve redução no uso de papel após a pandemia, a resposta foi unânime: 100% dos docentes entrevistados disseram que sim. Esse dado reflete um novo contexto social pós-pandêmico, com maior uso e desenvolvimento de plataformas digitais para diversas atividades do cotidiano (Cordeiro; Neves, 2021).

Com relação à reutilização do papel em sala de aula, a maioria dos docentes afirmou reaproveitá-lo sempre que possível, seja como rascunho, anotações ou para impressão no verso.

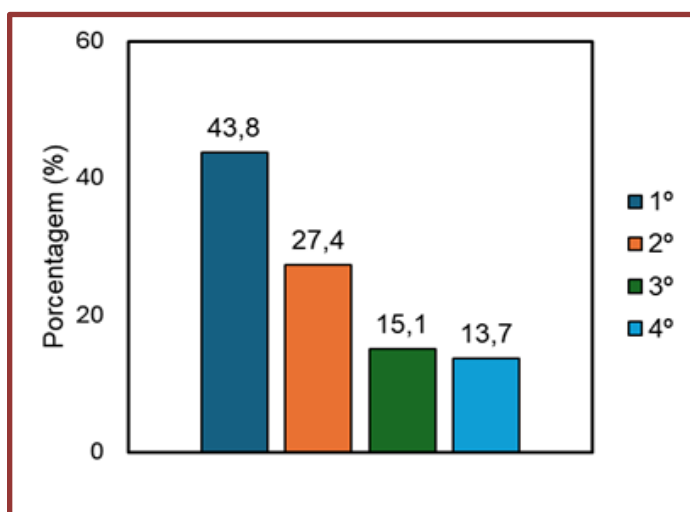
3.2. PERCEPÇÃO DOS NOVOS ENTREVISTADOS DOIS ANOS DEPOIS- *CAMPUS MACAU*

Foi aplicado um novo questionário para discentes e docentes do IFRN Campus Macau sobre a utilização do papel no ambiente acadêmico, com o objetivo de comparar os dados obtidos entre a pesquisa realizada no contexto pós-pandêmico (2023) e a atual (2025), quatro anos após o fim da pandemia global. Com base nessa comparação, é possível notar uma mudança nos hábitos, especialmente entre os novos alunos, que demonstram maior consciência ambiental e adotam práticas mais sustentáveis.

3.2.1. PERCEPÇÃO DISCENTE

Foram obtidas 73 respostas sobre a utilização do papel no ambiente acadêmico por parte dos discentes (**Figura 8**). Desse total, 43,8% correspondem a alunos do primeiro ano dos cursos técnicos.

Figura 8. porcentagem do período dos discentes que participaram da pesquisa



As perguntas abordaram tanto o uso do papel no cotidiano quanto no âmbito acadêmico. Com relação ao uso diário, cerca de 43% indicaram um consumo elevado e 34% relataram uso moderado (**Figura 9**). Quanto ao destino do papel utilizado, quase 58% afirmaram que o guardam (**Figura 10**).

Figura 9. Resposta dos discentes quando a pergunta: No seu cotidiano, é muito elevado à utilização do papel?

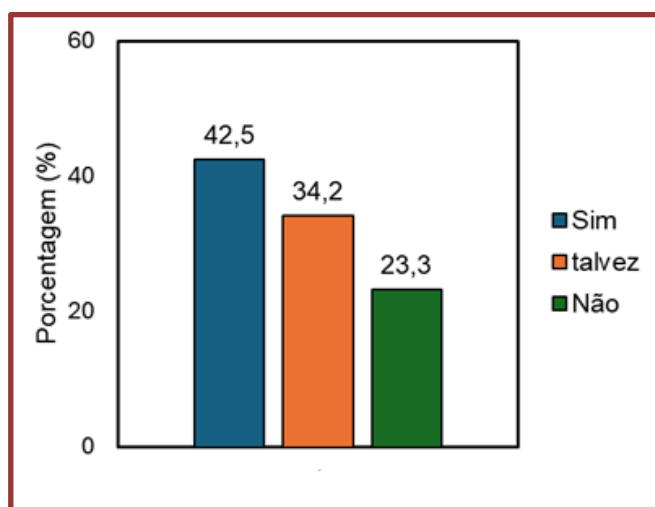
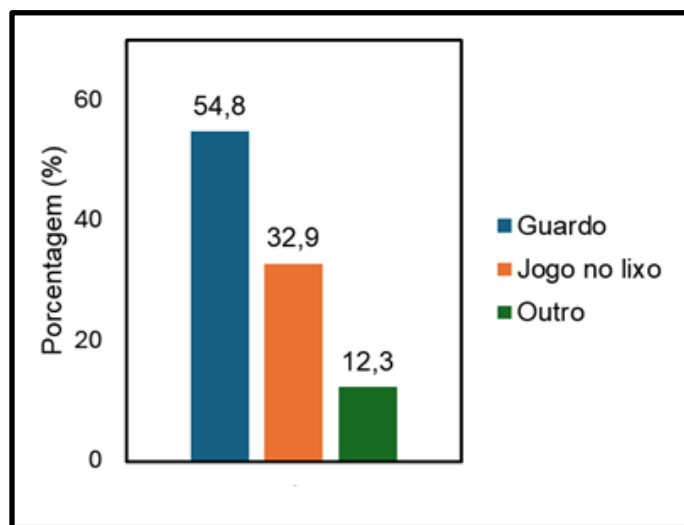
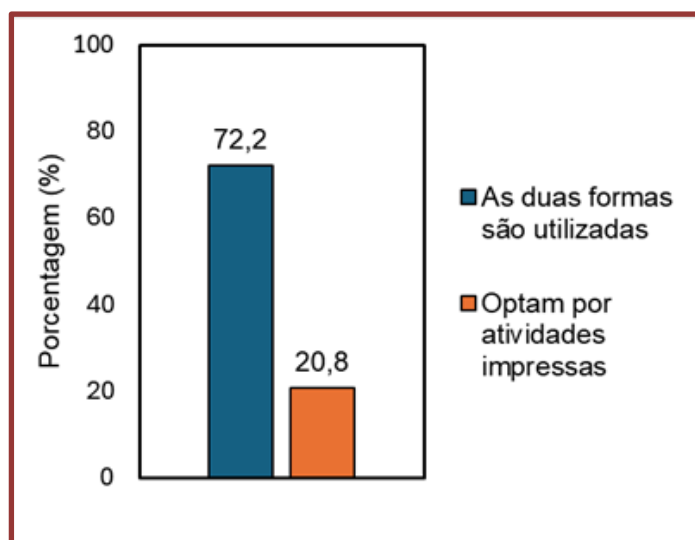


Figura 10. Resposta dos discentes quando a pergunta: Qual o destino final dado ao papel?



No contexto acadêmico — atividades como avaliações, listas e trabalhos — mais de 70% indicaram o uso misto de plataformas digitais e folhas impressas. Questionados sobre a forma preferida para o material didático, 87,7% demonstraram preferência pelo formato híbrido (**Figura 11**).

Figura 11. Resposta dos discentes quando a pergunta: é frequente a utilização de atividades impressas pelos docentes?



As respostas indicam que a maioria dos participantes utiliza o papel de forma consciente, empregando-o principalmente quando necessário, sobretudo em atividades escolares e estudos (**Figura 10**). Muitos destacaram que o avanço da tecnologia tem contribuído para

a redução do uso do papel, por meio da adoção de recursos digitais como celulares, computadores e aplicativos de anotações.

Várias estratégias já adotadas ou sugeridas para reduzir o consumo de papel incluem evitar impressões desnecessárias, realizar atividades online e substituir anotações físicas por digitais. A reutilização também é comum: uso do verso das folhas para rascunhos, reaproveitamento de cadernos antigos e transformação do papel usado em materiais artesanais.

Ainda que alguns discentes relatem não saber como reduzir ou reutilizar o papel, há uma preocupação geral com o meio ambiente e o desejo de minimizar o desperdício. O papel ainda é associado à praticidade e à eficácia da escrita manual para memorização, o que mostra que, apesar da expansão do digital, ele continua relevante.

Em síntese, as respostas revelam uma tendência ao uso equilibrado do papel, com iniciativas voltadas à economia, reutilização e substituição por meios digitais, refletindo uma crescente consciência ambiental.

Ao comparar os dados da pesquisa de 2023 com os atuais (2025), nota-se uma mudança significativa no comportamento dos discentes em relação ao uso do papel: em 2023, 60% das respostas indicaram descarte, enquanto em 2025 essa porcentagem caiu para 39%, sendo que 58% afirmaram guardar o papel.

3.2.2. PERCEPÇÃO DOS DOCENTES

Foram obtidos 16 formulários de docentes. Dentre essas respostas, 50% informaram que aplicam atividades exclusivamente online, e cerca de 44% utilizam tanto atividades digitais quanto impressas (**Figura 12**). Isso revela uma mudança em relação à primeira pesquisa, na qual 70% dos docentes usavam formulários online. Atualmente, observa-se um retorno gradual às atividades impressas, sem o abandono total do formato digital.

Figura 12. Resposta dos docentes quando a pergunta: No seu cotidiano escolar, como docente busca realizar mais atividades impressas ou em plataformas online para seus alunos?

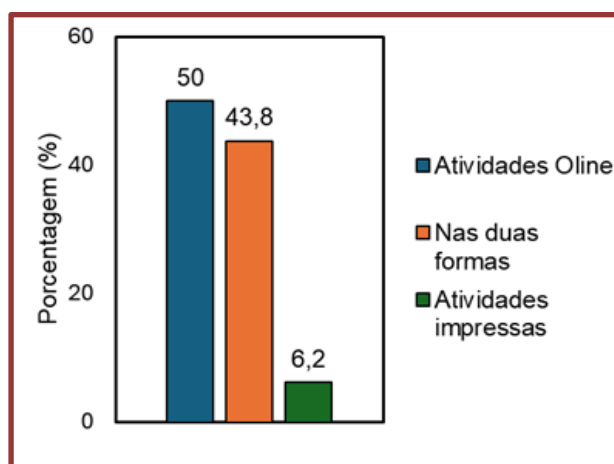
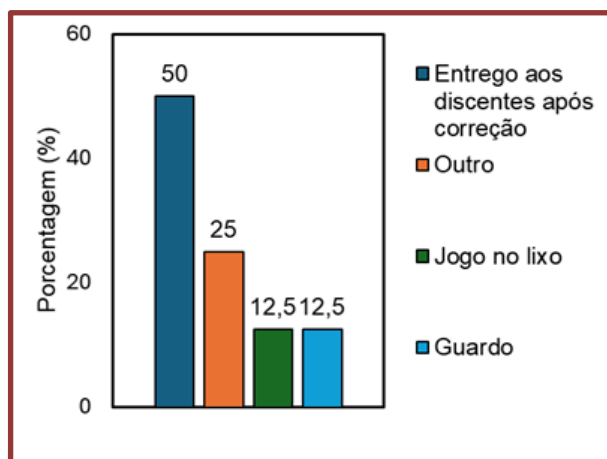


Figura 13. Resposta dos docentes quando a pergunta: qual o destino final dado ao papel utilizado nas atividades dos discentes?



Quanto ao destino do papel proveniente das avaliações impressas, 50% dos docentes afirmaram que devolvem o material aos alunos, e 25% relataram reaproveitá-lo para outros fins (**Figura 13**). Isso evidencia a importância de educar os discentes sobre práticas conscientes de reutilização, a fim de promover o reaproveitamento adequado desse resíduo.

Em resposta à pergunta discursiva sobre como utilizar o papel de forma ecológica, os docentes demonstraram otimismo quanto à reutilização. Entre as principais medidas adotadas destacam-se o uso do verso da folha para planejamento de aula e anotações. As respostas foram semelhantes às da pesquisa anterior.

3.3. RESULTADOS DOS VASOS BIODEGRADÁVEIS

Após a análise das respostas dos questionários e a finalização da produção dos vasos biodegradáveis, foram realizadas diversas observações para avaliar sua eficácia e características. Inicialmente, três proporções foram testadas (números 1, 3 e 5 da **Tabela 1**), gerando os primeiros modelos. Observou-se que essas proporções apresentaram boa resistência, servindo como base para o desenvolvimento de novas formulações.

Durante o processo, foram relatados imprevistos com o uso da borra de café. Alguns vasos desenvolveram fungos superficiais ao secar em locais pouco arejados (**Figura 14**), devido à umidade do material orgânico. Para remover os fungos, utilizou-se papel toalha com álcool 70%, seguido de secagem ao sol por dois dias, o que eliminou o problema.

Figura 14. Crescimento de fungos na borra do café armazenada ainda úmida

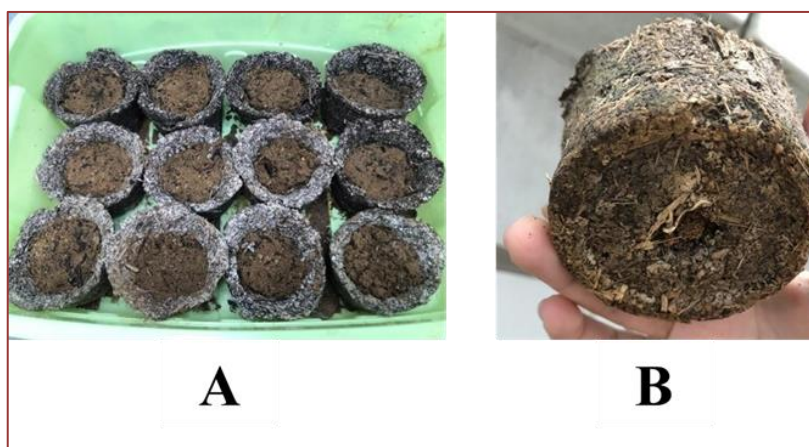


Os vasos feitos com a 7ª proporção da **Tabela 1** apresentaram boa resistência quando secos, porém, durante o plantio e a rega, sofreram deformações significativas. Uma hipótese é que essa proporção contém maior quantidade de cola, que, ao reagir com o amido e a água, torna-se um fluido não newtoniano, o que compromete sua rigidez.

Os vasos com melhor desempenho foram os da 6ª proporção, com maior quantidade de papel e menor de cana-de-açúcar. Após o plantio e regas diárias, esses vasos mantiveram sua estrutura sem deformações.

No entanto, as sementes plantadas não germinaram (**Figura 15**), sendo necessária uma nova investigação. Embora tenha havido crescimento de raízes em alguns vasos, as plantas não se desenvolveram completamente.

Figura 15. (A) Vasos após o plantio das mudas; (B) Observação do crescimento de raízes das mudas



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Retomando os objetivos propostos, conclui-se que o projeto obteve êxito ao demonstrar a viabilidade da reutilização do papel que seria descartado, transformando-o em

recipientes sustentáveis. Essa iniciativa evidencia uma alternativa viável para a reciclagem do papel, contribuindo para a redução da geração de resíduos sólidos e promovendo práticas mais ecológicas no plantio.

Destaca-se que a etapa do plantio foi essencial para avaliar a resistência dos vasos biodegradáveis à umidade. Observou-se que, embora algumas proporções apresentem boa resistência quando secas, podem perder estabilidade estrutural ao entrarem em contato com a água, tornando-se inadequadas para o cultivo.

De modo geral, o projeto reforça a importância da conscientização ambiental, ao propor soluções sustentáveis para o reaproveitamento de resíduos amplamente utilizados, como o papel. Espera-se que os resultados obtidos contribuam para o incentivo de práticas mais responsáveis, tanto no ambiente escolar quanto na sociedade em geral, estimulando a redução do desperdício e a adoção de alternativas ecológicas.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 16 de set de 2022.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA (ABRELPE). (2016) Panorama da gestão de resíduos sólidos no Brasil. São Paulo: ABRELPE.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA (ABRELPE). (2024) Panorama da gestão de resíduos sólidos no Brasil. São Paulo: ABRELPE.
- [4] Kiyasudeen et al. (2016 KIYASUDEEN, K.S.; IBRAHIM, M.H.; QUAIK, S.; ISMAIL, S.A. (2016) Introduction to Organic Wastes and Its Management. In: KIYASUDEEN, K.S.; IBRAHIM, M.H.; QUAIK, S.; ISMAIL, S.A. Prospects of organic waste management and the significance of earthworms. Nova York: Springer. p. 1-21., p. 2).
- [5] MOREIRA, J.M.M.A.P.; OLIVEIRA, E.B. Importância do setor florestal brasileiro com ênfase nas plantações florestais comerciais. Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental. Brasília: Embrapa, 2017.
- [6] IBÁ – INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. Sumário executivo 2018. São Paulo:
- [7] IBÁ, 2018. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digitalsumarioexecutivo2018.pdf>. Acesso em: 18 de set. de 2022.
- [8] EPE; IEA. *A indústria de papel e celulose no Brasil e no mundo*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética; International Energy Agency, 2022. Com colaboração da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ). https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-650/Pulp%20and%20paper_EPE+IEA_Portugu%C3%AAs_2022_01_25_IBA.pdf Acesso em: 01/08/2025
- [9] SANQUETTA, Carlos Roberto et al. ANÁLISE DA PRODUÇÃO, IMPORTAÇÃO, EXPORTAÇÃO E CONSUMO APARENTE DE PAPEL NO BRASIL ENTRE 1961 E 2016. BIOFIX Scientific Journal, v. 4, n. 2, p. 110-115, 2019.
- [10] LARA, Caroline Schmaedeck. Resíduos Sólidos: Papel. 2020. 11 f. TJAMEASTJAM, Amazonas. Disponível em: <https://www.tjam.jus.br/index.php/documentos/eastjam-diversos/educacaoambiental/9821-ods-dia-7-papel/file>. Acesso em: 04 de out. de 2022.
- [11] EPE - Empresa de Pesquisa Energética. BEN 50 anos. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/ben-50-anos>. Acesso em: 04 de out. de 2022.
- [12] CRUZ FILHO, Paulo Bastos. Controle ambiental em fábricas de papel celulose. Revista do Serviço Público, v. 40, n. 4, p. 141-146, 1983.

- [13] KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan Sulato de; HERNANDEZ, José Anzaldo. **Polpa e Papel**. 118 f. UFPR - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/manualpolpa2013.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.
- [14] MALAGONI, Ricardo Amâncio. **A indústria de papel e celulose no Brasil: produtividade, competitividade, meio ambiente e mercado consumidor**. 51 f. UFU - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/26863/1/IndustriaPapelCelulose.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.
- [15] MIELI, João Carlos de Almeida. **Sistemas de avaliação ambiental na indústria de celulose e papel**. 2007.
- [16] ROSA, B.N; MORAES, G.G.: A importância da reciclagem do papel na melhoria da qualidade do meio ambiente. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, 25., 2005, Porto Alegre-RS. Anais.Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2005_Enegep1004_1116.pdf. Acesso em: 23 out 2022.
- [17] ROSA, Bruna Nogueira et al. A importância da reciclagem do papel na melhoria da qualidade do meio ambiente. ENEGEP, nº XXV, p. 6, 2005.
- [18] PINHEIRO, Daniel José Lins Leal et al. Importância da reciclagem do papel para o desenvolvimento sustentável-produção de papel reciclado com fibra secundária de bagaço de cana de açúcar. Janus, v. 10, n. 18, 2015.
- [19] IATAURO, R.A. Avaliação de tubetes biodegradáveis para a produção e o acondicionamento de mudas de Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden. Botucatu, 2001. 33p. Monografia. Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.
- [20] IATAURO, A. R. Avaliação energética da substituição de tubetes de plástico por tubetes biodegradáveis na produção de mudas de aroeira- Schinus terebinthifolius Raddi. 2004. 73p. Dissertação (Mestrado em Energia na agricultura). Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.
- [21] BRESSAN, Flávio. O método do estudo de caso. Administração on-line, v. 1, n. 1, jan./fev./mar. 2000. Disponível em: https://www.fecap.br/adm_online/art11/. Acesso em: 12 nov 2022.
- [22] SILVA, G. L. F. KNECHTEL, Maria do Rosário. Metodologia da pesquisa em educação: uma abordagem teórico-prática dialogada. Curitiba: Intersaberes, 2014. Práxis Educativa, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 531–534, 2017. DOI: 10.5212/PraxEduc.v.11i2.0013. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/praxiseducativa/article/view/8846>. Acesso em: 7 dez 2022.
- MANFREDI, V., Curso sobre refinação de celulose, ABTCP, São Paulo, 2010, p.78- 156.
- [23] SMOOK, G. A. Manual para técnicos de pulpa y papel, Vancouver, 1990, p. 397.
- [24] BAKER, C. F. Optimization of paper Mill refining systems. In: 3rd International Conference and Exhibition, Atlanta, 1995, Paper 13.
- [25] MASSUCATO, Felipe; MERENDINO, Edy; NEVES, Fernando; PIVA, Marcelo. **Comparação de processos de desagregação de embalagens cartonadas assépticas e seus reflexos nas propriedades mecânicas da polpa celulósica**. 2012. 10f. Disponível em: https://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/2012_Desagregacao_embalagens_cartonadas2.pdf. Acesso em: 15 dez 2022.
- [26] SILVA FILHO, Carlos Roberto Vieira da; ROMERO, Fernanda Cristina; BATISTA, Lorena Gonzaga Dobre; SANTOS, Wagner José Odilon dos; MARIA, Gabriel Gil Brás; SANTOS, Maria Cristina Soares dos; ROMITO, Ana Lúcia. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2022. 0. 60 f. Abrelpe - Associação Brasileira de Empresa de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2022. Disponível em: [file:///C:/Users/karin/Downloads/Panorama_Abrelpe_2022%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/karin/Downloads/Panorama_Abrelpe_2022%20(1).pdf). Acesso em: 28 dez. 2022.
- [27] BIODEGRADÁVEIS, Nagmbio Vasos. Produtos 100% biodegradáveis. 2021. Cotia, 2021. Disponível em: <https://nagmbio.com.br/>. Acesso em: 28 dez. 2022.
- [28] BORTOLAN, Rafael Henrique. Estudo do efeito do tipo de celulose utilizada e da intensidade de refino no processo de refino da polpa celulósica. 2012. 58 f. Monografia (Especialização) - Curso de Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Tecnologia de Celulose e Papel, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/bitstream/handle/10899/243/RAFAEL%20HENRIQUE%20B%20ORTOLAN.pdf>

TOLAN1.pdf; jsessionid=C9ABCAD7857CEBB3CC187E0499C28395?sequence=1. Acesso em: 29 dez 2022.

[29] FINEBAR AIKAWA GROUP. Treinamento - O papel da refinação, 2008.

[30] BAKER, C. F. Refining Technology. 1st ed, United Kingdon. Pira International Ltd, 2000, p.139-149.

[31] ZANIN, C.I.C.B. et al. Tratamento de Resíduos Sólidos. UNIFIA, 2011. Disponível em: http://unifia.edu.br/revista_eletronica/revistas/gestao_foco/artigos/ano2011/gestao_foco_tratamento_residuos_solidos.PDF. Acesso em: 12 dez. 2023.

[32] CORDEIRO, João; NEVES, Manoel. Efeitos da pandemia por Covid-19 no setor de Celulose e Papel. 2021. Disponível em: <https://www.poyry.com.br/artigos/efeitos-da>
<http://www.poyry.com.br/artigos/efeitos-da-pandemia-por-pandemia-por-covid-19-no-setor-de-celulose-e-papel>. Acesso em: 12 dez. 2022.

[33] TISSUE. Perda de coleta e queda na geração de aparas afetam mercado de tissue, diz presidente da Anap: Pedro vilas boas comentou que o segmento de aparas vem passando por dificuldades com o fechamento de escritórios e as restrições no comércio, 2021. Disponível em: <https://tissueonline.com.br/perda-de-coleta-e-quedana-geracao-de-aparas-afetam-mercado-de-tissue-diz-presidente-da-anap/>. Acesso em: 28 dez. 2022.

Capítulo 5

Aplicações da técnica combinada UV/H₂O₂ na degradação de poluentes emergentes, com ênfase em suas principais características: uma mini revisão

Luise Barreto Röpke

Ana Carolina Ferreira Piazzzi Fuhr

Elvis Carissimi

Jandira Leichtweis

Resumo: Poluentes emergentes estão sendo cada vez mais encontradas em corpos hídricos, esses tipos de contaminantes são de difícil degradação, possuindo baixa biodegradabilidade. Dessa forma, técnicas convencionais não são eficazes para sua completa remoção. Assim, surgem os processos oxidativos avançados (POAs) como técnicas alternativas de tratamento de águas residuais contendo poluentes persistentes. Esses processos geram o radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$) que é altamente reativo, não seletivo, sendo capaz de degradar até os poluentes mais persistentes/recalcitrantes. Dentre os POAs um processo amplamente utilizado é UV/H₂O₂ que gera o $\cdot\text{OH}$ a partir da oxidação do H₂O₂ na presença de UV. A geração do $\cdot\text{OH}$ nesse processo depende de diversos fatores, que serão abordados nessa revisão, assim como os reatores mais usuais, e relatos de estudos que investigaram esse processo para degradação de diferentes poluentes orgânicos.

Palavras-chave: Poluentes orgânicos, Processos oxidativos avançados, radical hidroxila, UV/H₂O₂

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos seguros estão cada vez mais escassos, o que prejudica a qualidade da água potável e dos ecossistemas aquáticos (Du Plessis, 2022). Uma das causas da deterioração dos corpos d'água advém da incorporação de resíduos domésticos/esgotos, industriais, agrícolas, dentre outros (Saravanan et al., 2021). São considerados poluentes emergentes substâncias químicas sintéticas, as quais podem estar presentes em águas residuárias (Ahmed et al., 2021) e englobam diversos compostos, como fármacos, produtos de higiene pessoal, pesticidas e nanomateriais (Khan et al., 2023). Embora os efluentes recebam tratamento, a degradação desses poluentes ainda não foi totalmente alcançada, havendo a possibilidade de que os mesmos se convertam em formas mais tóxicas após entrarem no ambiente (Ahmed et al., 2021).

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm sido empregados como uma alternativa promissora para o tratamento primário ou complementar de águas residuárias (Kumar, Singh, Shah, 2021), sendo utilizados principalmente para tratar efluentes industriais e farmacêuticos (Yang et al., 2024). Os POAs se destacam dos demais tratamentos por sua capacidade de degradar poluentes persistentes (Ameta, 2018). Os POAs apresentam elevado potencial para tratar uma ampla variedade de poluentes emergentes, uma vez que qualquer contaminante orgânico que reaja com o radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$) pode ser degradado por esses métodos. Alguns exemplos de processos são o Fenton, o Foto-Fenton, a fotocatalise, a radiólise, a sonólise, o UV/O_3 e o $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ (Khan et al., 2023; Ameta, 2018). A eficiência de degradação de contaminantes pode ser aprimorada pela união de diferentes POAs, podendo até mesmo alcançar a mineralização completa do composto. Essa associação diminui a dosagem de reagentes exigida e o tempo de reação (Vieira et al., 2021).

Os POAs buscam inicialmente a formação de oxidantes fortes, como o $\cdot\text{OH}$, os quais irão reagir com os poluentes orgânicos presentes nos efluentes para convertê-los em compostos biodegradáveis. Por fim, ocorre a oxidação dos compostos intermediários gerados, promovendo a sua mineralização completa em água, dióxido de carbono e sais inorgânicos (Ameta, 2018). O uso do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) evita a produção de resíduos, pois é composto apenas por água e oxigênio, que reduz o risco de contaminação. Ao ser diluído em água, apresenta alta eficiência de mistura, resultando em uma aplicação mais eficaz (Pratiwi, Hadiyanto, Widaya, 2024).

Conforme Mierzwa, Rodrigues, Teixeira (2018), no sistema $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ ocorre a adição de H_2O_2 na presença de luz UV buscando promover a geração de radicais $\cdot\text{OH}$. Os $\cdot\text{OH}$ são responsáveis pela reação de oxidação e a sua produção afeta a eficiência do processo. Pratiwi, Hadiyanto, Widaya (2024) relatam que a quantidade de radicais $\cdot\text{OH}$ liberados depende da concentração de H_2O_2 , do espectro de emissão e da intensidade da fonte UV aplicada.

Este método tem como vantagens a solubilidade do H_2O_2 em água, a geração de radicais $\cdot\text{OH}$ pela molécula de H_2O_2 fotolisada, a estabilidade térmica, a ausência de problemas de transferência de massa e o fato de ser um procedimento de operação simples. As desvantagens dessa técnica incluem o custo do processo, a equivalência entre a taxa de oxidação química do poluente e a taxa de formação dos radicais $\cdot\text{OH}$, a possibilidade de o H_2O_2 atuar como um “capturador” de radicais $\cdot\text{OH}$ (Fioreze, Dos Santos, Schmachtenberg, 2014).

O método $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ aplicado em sistemas de água e esgoto é benéfico pois a radiação

UV age como desinfetante, desativando fisicamente microrganismos, ao passo que auxilia o processo de fotólise do H_2O_2 , gerando radicais $\cdot OH$ altamente reativos (Mierzwa, Rodrigues, Teixeira, 2018). Assim sendo, esta pesquisa buscou relatar os mecanismos de ação e os principais fatores que influenciam a eficiência do método UV/ H_2O_2 , destacando as suas aplicações em efluentes reais e sintéticos para degradação de uma vasta gama de poluentes emergentes.

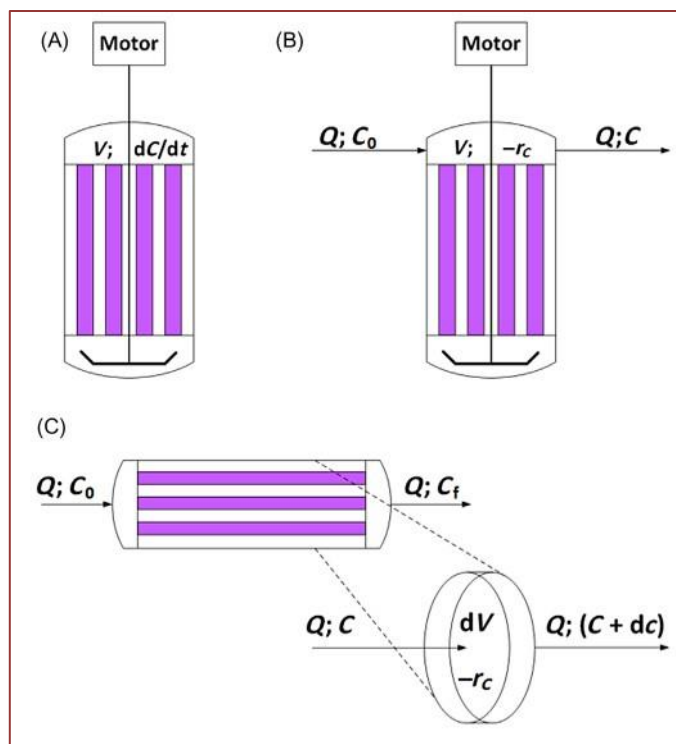
2. MODELOS DE REATORES

Para a reação de oxidação química do processo UV/ H_2O_2 pode-se utilizar o designer de reator em batelada, de mistura completa contínua e tubular, os quais são descritos a seguir (Mierzwa, Rodrigues, Teixeira, 2018):

- A. Reator em batelada - A operação deste reator ocorre na ausência de fluxo, ou seja, a composição da mistura é alterada ao longo do tempo, até que se obtenha o equilíbrio da reação ou a conversão desejada dos reagentes. Ao final, o conteúdo do reator é retirado para dar início a um novo ciclo de operação.
- B. Reator de mistura completa contínua - Apresenta fluxo contínuo de reagentes na entrada e de produtos na saída, sendo o conteúdo mantido homogêneo por meio de um agitador mecânico. Em condições ideais, a mistura ocorre de forma completa, de modo que a composição da mistura da reação se mantém uniforme. Para que ocorra a conversão desejada, o tempo de residência no reator deve ser suficiente. O funcionamento do reator somente pode ser interrompido em casos de necessidades operacionais.
- C. Reator tubular - Assim como no modelo anterior, este reator possui fluxo contínuo de reagentes e produtos, no qual não ocorre mistura axial ou reversa de seu conteúdo. Pode-se descrever o reator de fluxo pistão como sendo um conjunto de reatores de batelada operando em série, onde o conteúdo de cada um é transferido para o seguinte. Neste caso, o primeiro reator recebe a mistura de reagentes prendendo-a por um curto período de tempo para que ocorra a reação, e em seguida, seu conteúdo é direcionado para o próximo reator, repetindo este mecanismo até que a mistura alcance o último reator e então, saia como produto final.

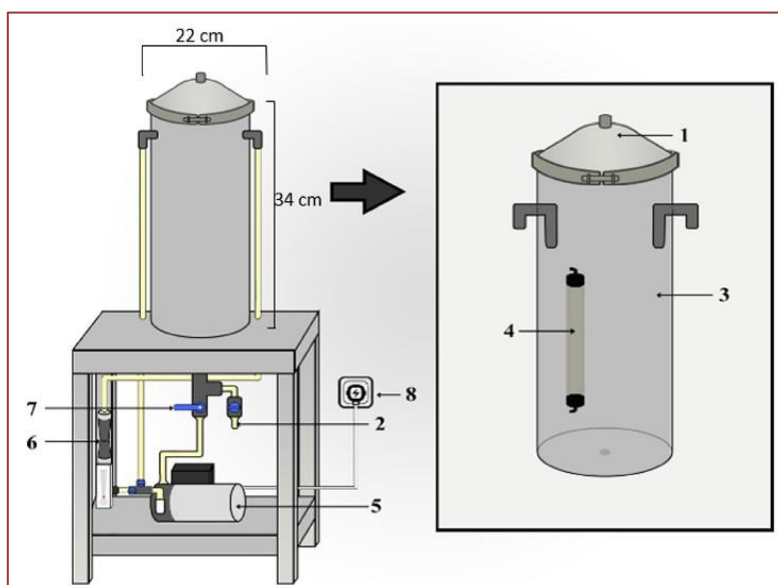
A Figura 1 representa uma ilustração de cada um dos três designers de reatores possíveis. E a Figura 2 representa uma ilustração de um modelo de reator UV/ H_2O_2 em batelada utilizado por Pratiwi, Hadiyanto, Widayat (2024) para degradar amoxicilina.

Figura 1 – Ilustração dos três reatores químicos tipicamente utilizados no processo de oxidação UV/H₂O₂, onde (A) reator em batelada, (B) reator de mistura completa contínua e (C) reator tubular



Fonte: Mierzwa, Rodrigues, Teixeira, 2018.

Figura 2 – Modelo de reator UV/H₂O₂ em batelada onde: 1) Entrada, 2) Saída, 3) Tanque, 4) Lâmpada UV, 5) Bomba, 6) Venturi, 7) Válvula (controle de vazão), 8) Liga/desliga



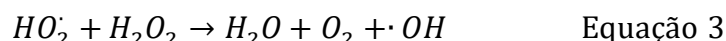
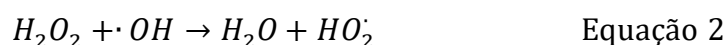
Fonte: Pratiwi, Hadiyanto, Widayat, 2024.

3. MECANISMOS DE AÇÃO DO SISTEMA UV/H₂O₂

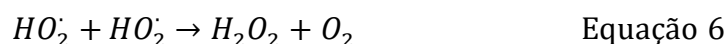
O sistema de UV/H₂O₂ é uma variante do processo convencional Fenton, onde utiliza-se uma fonte de luz UV para elevar a geração de radicais $\cdot OH$ pela decomposição direta de H₂O₂, como demonstra a equação 1 abaixo (Khan et al., 2023).



O mecanismo de cadeia radicalar proposto por Haber-Weiss (1932) explica a decomposição fotoinduzida do H₂O₂ em água pura, onde a clivagem homolítica da ligação é responsável por produzir radicais $\cdot OH$. Esses radicais dão origem a uma sequência reacional composta por uma etapa de iniciação (Equação 1), seguida pelas etapas de propagação (Equação 2 e 3) (Mierzwa, Rodrigues, Teixeira, 2018).



Por fim, diferentes reações de terminação implicam na recombinação radical- radical, como expresso abaixo nas equações (Mierzwa, Rodrigues, Teixeira, 2018):



Pratiwi, Hadiyanto, Widayat (2024), ao compararem a degradação de amoxicilina aplicando somente H₂O₂ e o sistema combinado UV/H₂O₂, observaram menor eficiência no processo que utilizou H₂O₂ isolado, onde o H₂O₂ atuou como oxidante primário. A eficiência de produção de radicais $\cdot OH$ varia conforme a capacidade do H₂O₂ de absorver radiação UV, bem como das características físicas e químicas do fluido a ser tratado. Quanto menor o comprimento de onda UV, maior é a absorção de energia pelo H₂O₂, elevando a capacidade de geração de radicais $\cdot OH$ (Mierzwa, Rodrigues, Teixeira, 2018).

Cada poluente apresenta uma afinidade maior com a fotólise direta ou com a oxidação por H₂O₂, assim sua degradação a partir do processo combinado é variável. Zhou et al. (2012), buscando degradar nitrosaminas (NAs) a partir do processo combinado UV/H₂O₂, aplicou os processos individualmente para verificar o seu efeito e observou que menos de 10% das NAs pode ser degradada apenas por H₂O₂, comprovando que não eram sensíveis ao oxidante. O sistema combinado de UV/H₂O₂ mostrou melhor desempenho, com eficiência entre 80% e 95% para a maioria das NAs. A sua degradação foi atribuída à geração de radicais $\cdot OH$ a partir da fotólise do H₂O₂, como demonstra a equação 7 a seguir.



4. FATORES QUE AFETAM A PRODUÇÃO DO RADICAL HIDROXILA

Lâmpada UV: A lâmpada UV adotada é um dos fatores a serem observados no desenvolvimento de um reator de oxidação eficiente, a qual deve apresentar um espectro

de emissão de comprimento de onda abaixo de 260 nm. Para o sistema UV/H₂O₂ pode-se adotar lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão (comprimento de onda de aproximadamente 254 nm) e lâmpadas excrímer UV-vácuo (comprimento de onda de aproximadamente 172 nm) (Mierzwa, Rodrigues, Teixeira, 2018). Foram encontradas diversas pesquisas que utilizaram lâmpada de mercúrio com emissão de comprimento de onda de 254 nm em um sistema de UV/H₂O₂ buscando degradar uma vasta gama de poluentes (Asheghmoalla, Mehvar, 2025; Cibati et al., 2022; Pai, Wang, 2022; Pratiwi, Hadiyanto, Widayat, 2024; Sommaggio et al., 2022; Zhang et al., 2024; Zhou et al., 2012).

Características do efluente: Outro fator que pode afetar a eficiência do tratamento por UV/H₂O₂ são as características do efluente. A presença de sólidos suspensos compromete suas propriedades ópticas, sobretudo a capacidade de transmissão da radiação UV, portanto, altos níveis de turbidez prejudicam o processo e podem exigir um pré-tratamento (Mierzwa, Rodrigues, Teixeira, 2018). Além disso, o efluente pode conter compostos inorgânicos, como bicarbonatos e carbonatos, capazes de atuar como sequestradores dos radicais $\cdot\text{OH}$ e/ou de absorver a radiação UV. A identificação de ferro e manganês solúveis, pode exigir um pré-tratamento (Mierzwa, Rodrigues, Teixeira, 2018). Fato verificado por Zhou et al. (2012), que utilizou o sistema UV/H₂O₂ para estudar os efeitos na degradação das NAs de quatro ânions inorgânicos comumente encontrados na água natural, sendo eles o carbonato, o nitrato, o cloreto e o sulfato. Foi constatado que a presença dos ânions reduziu a degradação das NAs pois atuaram como sequestradores de radicais $\cdot\text{OH}$ (espécie reativa de oxigênio dominante). O efeito competitivo do sulfato foi menor em comparação aos outros ânions. Destaca-se também a formação de produtos intermediários a partir da degradação do poluente alvo, os quais podem competir pelos radicais $\cdot\text{OH}$, participando de reações químicas, assim desacelerando o processo de degradação (Pratiwi, Hadiyanto, Widayat, 2024).

Carbono orgânico dissolvido: Outro parâmetro relevante é o carbono orgânico dissolvido (COD), que impacta tanto a transmissão de radiação UV quanto a disponibilidade de H₂O₂ e consequentemente a geração de radicais $\cdot\text{OH}$, afetando a intensidade da radiação UV necessária para o processo de oxidação (Mierzwa, Rodrigues, Teixeira, 2018). Cibati et al. (2022) analisando o processo UV/H₂O₂ em diferentes efluentes, constatou que as águas residuais urbanas detiveram menor COD e por consequência apresentaram maior transmitância UV. De acordo com Mierzwa, Rodrigues, Texeira (2018) quanto maior a transmitância do efluente a ser tratado, menor a intensidade de radiação UV necessária para uma eficiência adequada do processo de oxidação UV/H₂O₂. A elevação da carga orgânica e da complexidade das águas residuais resulta na menor fluência do UV no fotorreator e possibilita uma maior captura de radicais $\cdot\text{OH}$, reduzindo a eficiência do processo (Cibati et al., 2022).

5. PARÂMETROS OPERACIONAIS

Além das condições abordadas anteriormente, outros parâmetros afetam a eficiência de degradação de poluentes pelo sistema combinado de UV/H₂O₂, tais como o pH, a dosagem de H₂O₂, a concentração inicial do poluente e a intensidade da radiação UV. Diferentes autores abordaram a influência desses parâmetros nesse sistema para a degradação de poluentes variados, como descrito a seguir.

5.1. pH

Em geral, processos que utilizam H_2O_2 demonstram baixa eficiência em pH alcalino, com exceção de alguns compostos. Isto ocorre pois em pH alcalino há uma redução do potencial oxidante do H_2O_2 e ocorre a sua decomposição em H_2^- . A eficiência dos tratamentos é elevada quando o pH da solução é neutro ou ácido (Boczka, Fernandes, 2017). Zhang et al. (2024) ao estudar a degradação de dois pesticidas, o 2,4-D e o 4-CPA, identificaram que o pH foi um dos fatores críticos na degradação destes poluentes pelo radical $\cdot OH$. Para o 4-CPA, maior eficiência do processo foi obtida no pH ideal 5, enquanto para o 2,4-D o pH ideal foi 4.

Pratiwi, Hadiyanto, Widayat (2024) relatam que a degradação de amoxicilina pelo processo de UV/ H_2O_2 é fortemente influenciada pelo pH da solução. Os autores observaram aumento da degradação do poluente a partir do decréscimo do pH e a de degradação ideal foi encontrada em na faixa de pH inicial entre 4,0 e 5,2 (pH ideal = 4,2). Da mesma maneira, Zhou et al. (2012) constatou uma redução na degradação de NAs por UV/ H_2O_2 com o aumento do pH.

Asheghmoalla, Mehvar (2025) ao monitorar a degradação de poluentes de um efluente sintético similar a águas residuárias de indústrias farmacêuticas, detectaram que o pH diminui à medida que o processo UV/ H_2O_2 ocorre e estabiliza conforme a reação avança. O pH inicial era de 5,7 e passou a 4,5, o decréscimo no pH e a desaceleração da degradação podem ocorrer devido a formação de produtos intermediários, como também reportado por Pratiwi, Hadiyanto, Widayat (2024).

Em contrapartida, Pai, Wang (2022), analisando o tratamento UV/ H_2O_2 para degradar produtos de cuidado pessoal (PCP), verificaram que o pH não exerceu efeito significativo sobre a degradação da maioria dos PCPs, com exceção do ácido acetilsalicílico, E2, oxibenzona e DEET, que tiveram suas degradações reduzidas em pH neutro.

5.2. DOSAGEM DE H_2O_2

Aumentar a dosagem de H_2O_2 promove maior geração de radicais $\cdot OH$ e consequentemente maior eficiência de degradação. Entretanto, a partir de um certo ponto, o desempenho da maior concentração do oxidante no processo de oxidação varia conforme as características do contaminante alvo. Além disso, em concentrações excessivas, o H_2O_2 pode agir como um sequestrador de radicais $\cdot OH$ produzidos, aumentando a geração do radical hidroperoxil (menos oxidante) e dificultando a degradação dos poluentes (Pratiwi, Hadiyanto, Widayat, 2024).

Asheghmoalla, Mehvar (2025) afirmam que a elevação da dosagem de H_2O_2 na entrada do reator não necessariamente reflete em benefícios para a eficiência do processo. Cibati et al. (2022) ao comparar a degradação de compostos farmacêuticos bioativos (CFBs) por sistema UV e UV/ H_2O_2 observaram que, ao adicionar o H_2O_2 houve um aumento da degradação média dos CFBs de 70% para 93% para os compostos foto-suscetíveis, de 17% para 73% para os compostos moderadamente foto-suscetíveis e de 1% para 46% para compostos foto-resistentes.

Pratiwi, Hadiyanto, Widayat (2024) também relataram aumento da degradação de amoxicilina em concentrações maiores de H_2O_2 , devido a geração mais elevada de radicais $\cdot OH$. Em concordância com Pai, Wang (2022), que identificaram um aumento na

degradação de PCPs após elevar a concentração de oxidantes. Zhou et al. (2012) verificaram o mesmo efeito na degradação de NAs e apontaram como possível causa o fato de a concentração de H_2O_2 não ter sido elevada a um nível suficientemente alto para provocar efeitos negativos.

Ao pesquisar o sistema UV/ H_2O_2 na degradação de dois pesticidas, Zhang et al. (2024) constataram que o incremento de H_2O_2 aumentou a degradação de 2,4-D, entretanto em níveis excessivos houve uma redução da taxa de degradação. Enquanto que a degradação do 4-CPA não foi significativamente afetada pelo H_2O_2 , o que indica uma degradação principal por fotólise direta.

5.3. CONCENTRAÇÃO INICIAL DO POLUENTE

A concentração inicial de poluente é outro fator que afeta diretamente a eficiência do processo UV/ H_2O_2 , uma vez que concentrações muito elevadas podem tornar a solução turva e impedir a penetração de UV. Por outro lado, concentrações muito baixas, podem tornar a degradação difícil, pois o radical $\cdot OH$ não é seletivo, e pode ter dificuldade de encontrar o poluente alvo e interagir com o H_2O_2 presente na solução. Pratiwi, Hadiyanto, Widayat (2024) observaram que a eficiência de degradação de amoxicilina foi reduzida com o aumento da concentração inicial do poluente. Zhou et al. (2012) também relataram que ao elevar a concentração inicial de NAs ocorre uma redução da eficiência de degradação por UV/ H_2O_2 .

5.4. INTENSIDADE DA RADIAÇÃO UV

Conforme Pratiwi, Hadiyanto, Widayat, (2024), a radiação UV contribui para a geração de radicais $\cdot OH$ no sistema UV/ H_2O_2 . Em concordância com Zhou et al. (2012) que confirmaram aumento da degradação de NAs em intensidades mais elevadas de UV, devido a maior quantidade de radicais $\cdot OH$ produzidos.

6. APLICAÇÕES PRÁTICAS

Nesta análise foram reunidos estudos que utilizaram UV/ H_2O_2 para degradação de uma variedade de poluentes, incluindo fármacos, pesticidas, produtos de cuidados pessoais, NAs e a verificação do processo na inativação de bactérias. As principais informações e resultados de cada pesquisa estão reunidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Aplicações do método combinado UV/H₂O₂ para diferentes poluentes

Autores/Ano de Publicação/Localização	Tipo de Amostra/ Poluente removido	Designer do reator	Lâmpada utilizada	Parâmetros aplicados	Condições Ideais	Eficiência do processo
Asheghmoalla, Mehvar, 2025 - Canadá	Efluente farmacêutico sintético (EFS) simulando águas residuais de indústria farmacêutica/ Benzeno, diclorometano, anilina, 4-aminofenol e ácido sulfanílico	Fotorreator em escala piloto Sistema Contínuo	Duas lâmpadas de baixa pressão: 110W Comprimento de onda: 254 nm Pré-aquecimento: 15 min	Relação de massa H ₂ O ₂ /COT = 0,5; 4 e 8 mgH ₂ O ₂ /mgC Tempo de retenção hidráulica (TRH) = 7, 30 e 60 min Dosagem de H ₂ O ₂ = 2.350 mg/L	Relação de massa H ₂ O ₂ /COT = 4 TRH = 60 min	Em condições otimizadas de degradação de COT superior a 60%
Marino et al., 2024 Itália	Águas residuais terciárias de uma ETAR municipal. / 12 contaminantes de preocupação emergentes selecionados como compostos-alvo	Fluxo contínuo	-	Dosagem de H ₂ O ₂ = 9 mg/L Dosagem de UV = 150 mJ/cm ² a 1.600 mJ/cm ²	UV = 1.620 Mj/cm ²	UV = 1620 Mj/cm²: Degradação superior a 60% para a maioria dos compostos detectados Degradação Completa para 11 compostos
Pratiwi, Hadiyanto, Widayat, 2024 - Indonésia	Sintético. / Amoxicilina	Batelada	Lâmpada de mercúrio de baixa pressão Comprimento de onda máximo de 254 nm Pré-aquecimento: mínimo 1 h	Tempos de irradiação = 0 a 90 min pH inicial = 4 a 7	pH inicial = 4,2 Dosagem de H ₂ O ₂ = 10 mM Concentração inicial de poluente = 45,85 mg/L	Após 90 min: UV/ H ₂ O ₂ (10Mm) = 62,43%
Zhang et al., 2024 China	Sintético / 2,4-D e 4-CPA	-	Lâmpada de mercúrio UV: 40 W	pH = 3; 5; 7 e 9 Relação molar de [H ₂ O ₂] / [2,4-D] = 0,5, 2,5; 4,5; 6,5; 9,5; 12,5 e 15 Concentração de 2,4 D = 50 mg/L	Para 4-CPA, pH = 5 Para 2,4-D, Ph = 4 Relação molar de [H ₂ O ₂] / [2,4-D] = 6,5	2,4-D = melhor degradação no UV/H ₂ O ₂ comparado a somente UV 4-CPA = Melhor degradação pela luz UV – fotólise direta. H ₂ O ₂ inibiu a sua degradação
Cibati et al., 2022 - Espanha	Efluente secundário de duas ETAs urbana (ESETAU 1 e 2) Água cinza de hotel (ACH) Água residuais de hospital psiquiátrico (ARHP) Água residuais de indústria farmacêutica produtora de metoprolol (ARIF) Efluente sintético (ES) / Compostos farmacêuticos bioativos (CFBs)	Fluxo contínuo	Lâmpada de mercúrio de baixa pressão: 45W Comprimento de onda máximo de 253,7 nm Pré-aquecimento: 30 min	Dosagem de H ₂ O ₂ = 30 mg/L Q = 60; 120; 240 L/h Dosagem de UV = 30 a 1500 mJ/cm ²	-	ESETAU1 e 2: Degradação total de CFBs de 86% e 69%; consumo de H ₂ O ₂ de 18% e 27% ACH: Degradação total de CFBs de 59%; consumo de H ₂ O ₂ de 54% ARHP: Degradação total de CFBs de 36%; consumo de H ₂ O ₂ de 13%
Pai, Wang, 2022 - Taiwan	Água tratada de uma ETA municipal (ATETAM) Efluente sintético (ES) / Produtos de cuidados pessoais (PCP)	-	Lâmpada UV de baixa pressão: 14 W Comprimento de onda: 254 nm	Concentração de PCP = 2500 ng/L Dosagem de H ₂ O ₂ = 0,85 e 2,55 mg/L pH = 5; 7 e 9 Tempo de contato do ES = 2,5; 5,0 e 10,0 min	Dosagem de H ₂ O ₂ = 2,55 mg/L Tempo de contato do ES = 10 min	+

Fonte: Autores do trabalho, 2025.

7. CONCLUSÕES

Essa mini revisão abordou os designers de reatores aplicáveis para o sistema combinado de UV/H₂O₂ (batelada, fluxo contínuo, tubular), os seus mecanismos de ação, os fatores que afetam a produção do radical ·OH (lâmpada UV utilizada, características do efluente a ser tratado, presença de compostos inorgânicos, concentração de COD, transmitância UV), bem como descreveu a influência dos principais fatores interferentes na eficiência desta técnica (pH, dosagem de H₂O₂, concentração inicial do poluente e intensidade da radiação UV). Além disso, foram relatadas as aplicações do UV/H₂O₂ para degradação de uma ampla variedade de poluentes emergentes em diferentes águas residuais, incluindo outros propósitos como a inativação de bactérias para desinfecção de efluentes. Dessa forma, foi possível elucidar a versatilidade dessa técnica e sua importância na degradação de contaminantes emergentes que afetam a qualidade dos corpos hídricos, comprometem a água potável e prejudicam os ecossistemas aquáticos. Comprovando assim os benefícios ambientais e de saúde pública que podem ser obtidos ao utilizar o tratamento por UV/H₂O₂ em águas residuárias e efluentes para degradação de poluentes emergentes.

REFERÊNCIAS

- [1] AHMED, S. F.; MOFIJUR, M.; NUZHAT, S.; CHOWDHURY, A. T.; RAFA, N.; UDDIN, M. A.; INAYAT, A.; MAHLIA, T. M. I.; ONG, H. C.; CHIAI, W. Y.; SHOW, P. L. Recent developments in physical, biological, chemical, and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 416, p. 125912, 2021.
- [2] AMETA, S. C. Advanced oxidation processes for wastewater treatment. Udaipur: PAHER University; Elsevier, 2018.
- [3] ASHEGHMOALLA, M.; MEHRVAR, M. Photodegradation of aqueous pharmaceuticals in a continuous UV/H₂O₂ system: photoreactor modeling. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 2025, 117115. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.117115>.
- [4] BOCZKAJ, G.; FERNANDES, A. Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes at basic pH conditions: a review. **Chemical Engineering Journal**, v. 320, p. 608–633, 2017.
- [5] CIBATI, A.; GONZALEZ-OLMOS, R.; RODRIGUEZ-MOZAZ, S.; BUTTIGLIERI, G. Unravelling the performance of UV/H₂O₂ on the removal of pharmaceuticals in real industrial, hospital, grey and urban wastewaters. **Chemosphere**, v. 290, p. 133315, 2022.
- [6] DU PLESSIS, A. Persistent degradation: global water quality challenges and required actions. **One Earth**, v. 5, 18 fev. 2022.
- [7] FIOREZE, M.; SANTOS, E. P. dos; SCHMACHTENBERG, N. Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 79–91, abr. 2014.
- [8] KHAN, N. A. et al. A state-of-art-review on emerging contaminants: environmental chemistry, health effect, and modern treatment methods. **Chemosphere**, v. 344, p. 140264, 2023.
- [9] KUMAR, V.; SINGH, K.; SHAH, M. P. Advanced oxidation processes for complex wastewater treatment. In: Advanced oxidation processes for effluent treatment plants. [S. l.]: Elsevier, 2021.
- [10] MARINO, Luigi; GAGLIANO, Erica; SANTORO, Domenico; ROCCARO, Paolo. Online control of UV and UV/H₂O₂ processes targeted for the removal of contaminants of emerging concern (CEC) by a fluorescence sensor. **Journal of Hazardous Materials**, v. 480, 2024. Art. 136075.
- [11] MIERZWA, J. C.; RODRIGUES, R.; TEIXEIRA, A. C. S. C. UV-hydrogen peroxide processes. São Paulo: University of São Paulo; Elsevier, 2018.
- [12] PAI, C.-W.; WANG, G.-S. Treatment of PPCPs and disinfection by-product formation in drinking water through advanced oxidation processes: comparison of UV, UV/chlorine, and UV/H₂O₂.

Chemosphere, v. 287, p. 132171, 2022.

[13] PRATIWI, W. Z.; HADIYANTO, H.; WIDAYAT, W. Response surface optimization of UV/H₂O₂-based photo-oxidative degradation of amoxicillin. **Results in Engineering**, v. 21, p. 101836, 2024.

[14] SARAVANAN, A. et al. Effective water/wastewater treatment methodologies for toxic pollutants removal: processes and applications towards sustainable development. **Chemosphere**, v. 280, p. 130595, 2021.

[15] SOMMAGGIO, L. R. D. et al. Assessment of phytotoxic potential and pathogenic bacteria removal from secondary effluents during ozonation and UV/H₂O₂. **Journal of Environmental Management**, v. 318, p. 115522, 2022.

[16] VIEIRA, W. T.; FARIAS, M. B.; SILVA, M. G. C.; SPAOLONZI, M. P.; VIEIRA, M. G. Latest advanced oxidative processes applied for the removal of endocrine disruptors from aqueous media – a critical report. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, p. 105748, 2021.

[17] YANG, Y. et al. Ecological risk assessment methods for oxidative by-products in the oxidation degradation process of emerging pollutants: a review. **Science of the Total Environment**, v. 950, p. 175401, 2024.

[18] ZHANG, J. et al. UV/H₂O₂-produced degradation of 2,4-D and 4-CPA. **Journal of Cleaner Production**, v. 457, p. 142440, 2024.

[19] ZHOU, C. et al. Factors affecting ultraviolet irradiation/hydrogen peroxide (UV/H₂O₂) degradation of mixed N-nitrosamines in water. **Journal of Hazardous Materials**, v. 231–232, p. 43–48, 2012.

Capítulo 6

Aplicativo móvel para monitoramento e alerta de enchentes em Malhada - Bahia

Ana Carolina Sokolonski

Mateus dos Santos Silva

Resumo. O crescimento populacional no Brasil e o agravamento das mudanças climáticas, evidenciado por 2023 — o ano mais quente já registrado —, têm intensificado eventos extremos, como as enchentes na bacia do Rio São Francisco. Um dos municípios mais impactados é Malhada (BA), onde a ocupação desordenada de áreas de várzea tem gerado graves perdas humanas e materiais. O sistema atual de alerta, baseado em medições manuais, mostra-se ineficaz frente à urgência desses eventos. Para enfrentar esse desafio, foi desenvolvido um aplicativo móvel que oferece um sistema de alerta contra enchentes com base no monitoramento em tempo real de dados hidrometeorológicos, como o índice pluviométrico e o nível do rio. A abordagem adotada foi prática e quantitativa, envolvendo a instalação de sensores — como o HC-SR04 —, coleta e integração de dados e o desenvolvimento de uma interface intuitiva. O sistema demonstrou eficiência na medição do nível do rio, embora tenha apresentado limitações sob condições climáticas adversas, apontando a necessidade de sensores mais robustos. A comunicação por Wi-Fi foi eficaz em áreas com boa conectividade, mas instável em regiões com sinal fraco, sugerindo a adoção futura de tecnologias como LoRa ou GSM. O aplicativo foi bem avaliado pelos usuários, destacando-se pela interface intuitiva e sistema de alertas visuais. Entre as melhorias sugeridas estão: notificações regionais personalizadas, armazenamento histórico de dados, uso de inteligência artificial para previsão de riscos e ampliação do conteúdo educativo. Além da contribuição técnica, o projeto demonstrou impacto social significativo, oferecendo uma solução acessível e replicável para comunidades vulneráveis, com potencial de expansão para outras regiões afetadas por enchentes, reforçando o papel das tecnologias digitais na gestão de desastres.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao aquecimento global, tem ocorrido um aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como enchentes, que causam danos significativos em diversas comunidades ao redor do mundo, especialmente nas mais vulneráveis. No Brasil, esse problema é ainda mais grave em cidades localizadas às margens de grandes rios, como o Rio São Francisco, onde a falta de infraestrutura adequada e sistemas de monitoramento eficientes amplifica os impactos. A cidade de Malhada, na Bahia, enfrenta há anos as consequências devastadoras das enchentes, resultando em perdas materiais, interrupção de serviços essenciais e, em casos extremos, tragédias com a perda de vidas humanas [IBGE 2022].

Atualmente, o sistema de monitoramento em Malhada é manual, com medições pontuais do nível do rio e informações transmitidas por rádio. Essa abordagem limita a rapidez e a precisão necessárias para prevenir os impactos das enchentes. Essa realidade evidencia a urgência de adotar soluções tecnológicas que integrem dados climáticos em tempo real, emitam alertas antecipados e facilitem a preparação da população.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um aplicativo móvel para o monitoramento e alerta de enchentes em Malhada. O sistema utiliza sensores ultrassônicos e placas ESP32 para medir, em tempo real, o nível do Rio São Francisco, complementado pela coleta de dados climáticos das principais cidades da bacia, como Delfinópolis, Manga, Januária, Pirapora, Três Marias e São Francisco. Essas informações são integradas ao aplicativo, que gera alertas classificados por níveis de gravidade, utilizando notificações push para manter os usuários informados em tempo real. Os alertas são coloridos para indicar a gravidade da situação: amarelo para atenção, laranja para risco moderado e vermelho para situação crítica, exigindo respostas imediatas.

Além do monitoramento e alertas, o aplicativo móvel inclui uma plataforma educacional para conscientizar a população sobre a preservação ambiental e as medidas preventivas para evitar futuras enchentes. Essa abordagem visa não apenas minimizar os impactos das enchentes, mas também transformar a forma como as comunidades vulneráveis lidam com eventos climáticos extremos, incentivando a prevenção e a sustentabilidade.

A metodologia de desenvolvimento combina análises quantitativas de padrões históricos e climáticos com o uso de tecnologias modernas para coleta de dados em tempo real. A validação do sistema foi realizada em ambiente controlado e em implantação piloto local, com resultados que permitem avaliar precisão, latência e resiliência. Este trabalho visa contribuir para a redução de perdas humanas e materiais em Malhada, oferecendo uma solução tecnológica replicável para outras localidades que enfrentam desafios semelhantes.

A seção 2 apresenta e discute trabalhos relacionados; a seção 3 contextualiza Malhada; a seção 4 detalha as fontes e a integração de dados climáticos; a seção 5 descreve o sistema de monitoramento e a arquitetura; a seção 6 trata do desenvolvimento do aplicativo, testes e validação; a seção 8 apresenta métricas e discussões; por fim, a seção 9 reúne conclusões e direções futuras.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Sistemas de alerta de desastres têm sido amplamente estudados, com enfoques variados: integração de SIG com dados ambientais [Costa 2012], descentralização de alertas para

aumentar autonomia local [Luz 2018], e implantação de redes de sensores em vales e bacias hidrográficas [Viana 2017, Amboni 2015]. Estes trabalhos fornecem uma base teórica e prática para projetos de monitoramento, porém apresentam lacunas que este trabalho busca preencher:

1. **Foco em comunidades pequenas e infraestrutura limitada:** muitas soluções relatadas visam centros urbanos maiores, com infraestrutura estável; há menos estudos sobre adaptações para municípios de pequeno porte com conectividade intermitente. Este trabalho prioriza adaptabilidade ao contexto de Malhada (BA) e estratégia de baixo custo.
2. **Integração com previsão meteorológica em pontos a montante da bacia:** alguns projetos monitoram apenas o nível local do rio; integrar previsões de precipitação em cidades que influenciam o curso do São Francisco melhora antecipação de eventos.
3. **Componente educacional e usabilidade local:** a literatura enfatiza tecnologia, mas dedica menos atenção à alfabetização do usuário e à incorporação de conteúdos educativos [Barth et al. 2019, Hermuche 2002].

Em termos de escolha de plataformas/hardware, a eficiência do ESP32 em redes WSN já foi demonstrada [Sampedro et al. 2022]; no entanto, é necessário discutir limitações práticas (sensibilidade do HC-SR04 a clima, alcance do WiFi, consumo energético) e alternativas (LoRaWAN, GSM, sensores industriais) — tema que será tratado nas seções de metodologia e discussão. A revisão bibliográfica aqui apresentada foi ampliada em relação à versão anterior: além de citar trabalhos, buscamos analisar onde esta proposta se insere no espectro de soluções, justificando a contribuição prática e as oportunidades futuras de pesquisa.

3. O CASO DE MALHADA

Malhada, município do sudoeste da Bahia situado no Médio São Francisco, possui uma população estimada de 15.398 habitantes [IBGE 2022] e uma área de 1979.193 km². Apesar de seu clima quente, com temperatura média de 29°C e baixa pluviosidade na maior parte do ano, a cidade enfrenta enchentes sazonais devido à proximidade com o Rio São Francisco e afluentes como o Rio Verde Grande. Essas cheias, agravadas pela ocupação irregular do leito maior do rio e pela remoção das matas ciliares, impactam significativamente os moradores, destruindo lavouras, desalojando famílias e trazendo riscos à saúde pública.

Um exemplo histórico ocorreu em 2007, quando uma cheia excepcional do Rio São Francisco devastou 95% das culturas de subsistência na zona rural de Malhada, levando o município a decretar estado de calamidade [da Agricultura Pecuária Irrigação Pesca e Aquicultura da Bahia 2007]. Relatos locais indicam mais de 288 famílias afetadas, fome, e surtos de doenças como leptospirose e dengue [Souza 2007]. Esses eventos reforçam a necessidade de sistemas de monitoramento e alerta, capazes de reduzir danos e sustentar respostas coordenadas entre autoridades e a população.

Figura 1. Malhada (BA) em período de cheia



Fonte: <https://alertabahia.com.br/>

4. COLETA DE DADOS CLIMÁTICOS

4.1. FONTES E SELEÇÃO DAS CIDADES A MONTANTE

As previsões meteorológicas são obtidas via *API OpenWeatherMap*¹. Seleccionamos as cidades que historicamente influenciam o escoamento da bacia do Alto e Médio São Francisco: Delfinópolis, Manga, Januária, Pirapora, Três Marias e São Francisco. A justificativa é hidrológica — precipitações nestas cabeceiras e sub-bacias impactam o fluxo e, conseqüentemente, o nível em Malhada com um intervalo de horas a dias, dependendo do ponto de chuva e do regime de abertura de reservatórios.

4.2. ESTRATÉGIA DE INTEGRAÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO

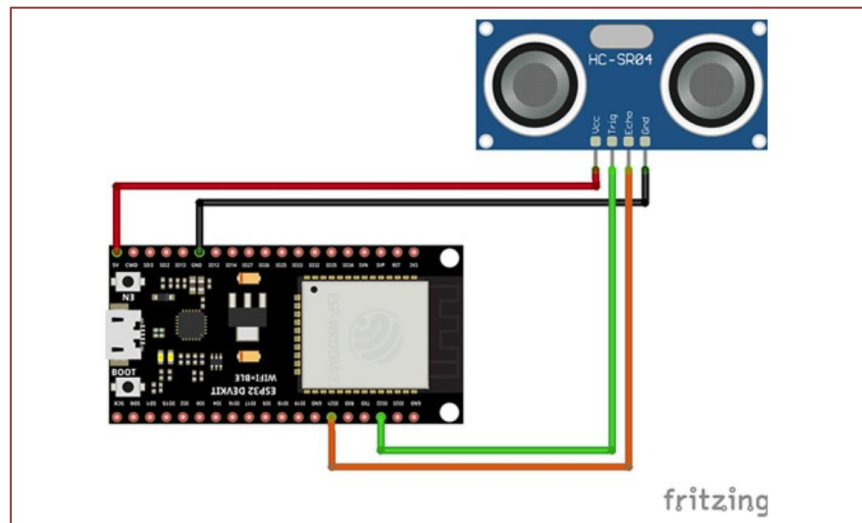
O *backend* ingere previsões (1 dia, 5 dias e acumulado de precipitação), normaliza unidades, aplica filtros para remover spikes de curto prazo e armazena séries temporais para análise. Para detecção de eventos críticos, definimos regras heurísticas (limiares de precipitação acumulada e tendências ascendentes combinadas com elevação local do nível) e um módulo de correlação tempo-lag entre precipitações a montante e resposta observada no sensor local. Estas regras serviram inicialmente na implantação piloto; como trabalho futuro, propomos substituir/acompanhar estas heurísticas por modelos estatísticos/ML treinados com séries históricas mais longas.

5. SISTEMA DE MONITORAMENTO

A arquitetura segue o fluxo: **sensor** → **ESP32** → **API/NestJS** (processamento e armazenamento em PostgreSQL) → **WebSockets / Expo Push** → **App React Native**. O diagrama de integração é apresentado na Figura 2.

¹ <https://openweathermap.org/api>

Figura 2. Diagrama de integração e fluxo de dados: sensores HC-SR04 em pontos críticos conectados ao ESP32; dados enviados via WiFi para API em NestJS; processamento, armazenamento e notificação ao aplicativo

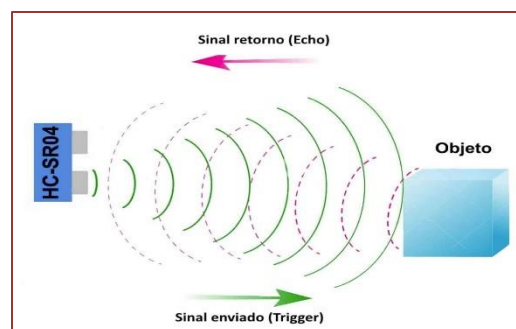


5.1. SENSOR HC-SR04

O HC-SR04 é um sensor de medição de distância sem contato, apropriado para prototipação e estudos piloto devido ao baixo custo e facilidade de integração. Opera emitindo pulsos ultrassônicos e medindo o tempo de retorno do eco. Características essenciais:

- Alcance prático: 2cm a 400cm (varia conforme montagem);
- Precisão declarada: ± 3 mm (no papel), observada em testes: erro médio de 2.5%;
- Sensibilidade a vento, chuva pesada e bolhas/espumas na superfície da água.

Figura 3. HC-SR04 — esquema de Trigger/Echo



Fonte original usada para documentação do sensor.

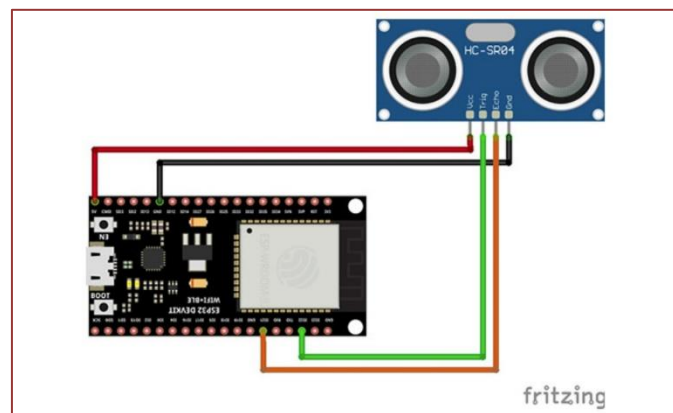
Considerações de implantação: para mitigar interferências ambientais, foi projetada uma gaiola de proteção (capô) e adotado um filtro de média móvel e detecção de outliers no firmware. Em campo, os erros aumentam sob chuva intensa — razão pela qual

recomendamos, em produção, a migração para sensores industriais (ex.: VEGAPULS C 11) ou complementação com medidores de pressão hidrostática.

5.2. INTEGRAÇÃO COM O ESP32

O *ESP32* foi escolhido por possuir WiFi e Bluetooth integrados, bom custo-benefício e capacidade de executar stacks HTTP/WebSocket com custos energéticos aceitáveis. No protótipo o HC-SR04 foi ligado a VCC, GND, GPIO26 (Trigger) e GPIO27 (Echo) do *ESP32*. O firmware faz leituras a cada 3s (configurável), aplica filtro e empacota os dados em JSON para envio via HTTP POST.

Figura 4. Esquema físico lógico: HC-SR04 → ESP32 → API. (reaproveita Figura 2 como diagrama de integração físico lógico)



5.3. COMUNICAÇÃO COM A API E SEGURANÇA

A comunicação foi implementada com HTTPClient no ESP32 e *NestJS* no backend. Para autenticar dispositivos, usamos uma chave secreta (*esp32Key*) por dispositivo e assinatura HMAC do payload em ambiente de produção para evitar falsificação de leituras. Logs do servidor registram recebimento, latência do processamento e taxa de perda de pacotes detectada.

5.4. MODELAGEM DO BANCO DE DADOS

O esquema relacional contempla tabelas para users, devices, measurements, alerts e educational_content. Campos createdAt e updatedAt asseguram auditoria; índices em colunas temporais e de dispositivo otimizam consultas para dashboards e relatórios.

5.5 BACK-END: NESTJS E WEBSOCKETS

O backend em NestJS foi estruturado em módulos:

- **Nível da Água:** valida leituras, aplica filtros, persiste medições e avalia gatilhos de alerta (20cm de mudança como gatilho de exemplo para níveis críticos, parametrizável);

- **Clima:** integra previsões e calcula métricas acumuladas;
- **Notificações:** gerencia tokens Expo e envio de alertas push;
- **Real-time:** implementa socket.io para dashboards e atualizações instantâneas.

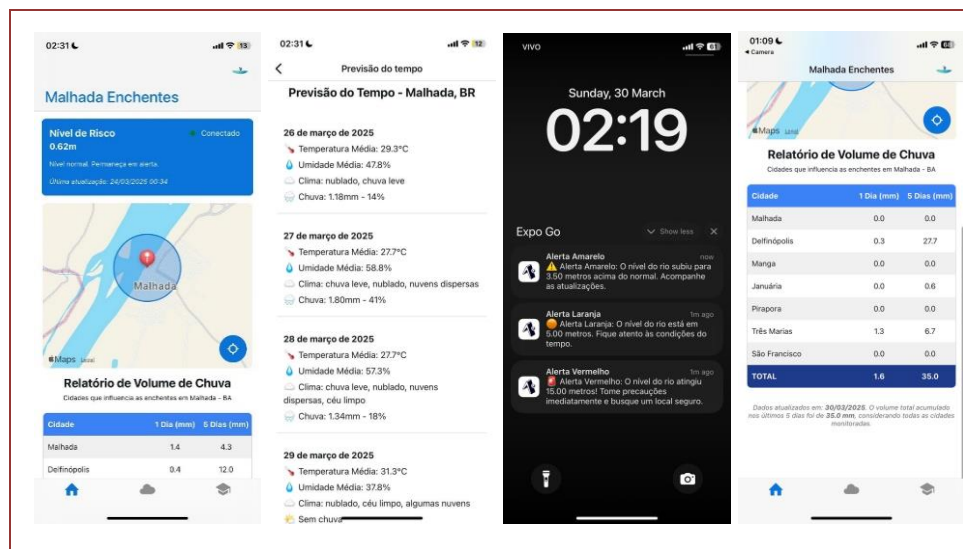
6. DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO MÓVEL

O aplicativo foi desenvolvido em *React Native* com *TypeScript* e Expo, adotando:

- **Context API** para estado global;
- **axios** para chamadas REST;
- **socket.io-client** para dados em tempo real;
- **Expo Push Notifications** para alertas.

A interface prioriza acessibilidade (contraste, navegação por leitores de tela) e clareza visual: status do rio em cards, histórico de medições, módulo educacional e configurações de perfil/alerta.

Figura 5. Telas do aplicativo: dashboard, detalhes de medição, gráficos de precipitação e módulo educacional



6.1. MECANISMO DE ALERTAS

Alertas são gerados com base em:

1. **Leituras locais:** saltos de nível e limiares absolutos;
2. **Dados climáticos a montante:** precipitação acumulada acima de limiar em cidades selecionadas;
3. **Correlação tempo-lag:** padrões recentes que historicamente antecedem elevações locais.

Os níveis de alerta usam codificação por cores: amarelo (atenção), laranja (risco moderado) e vermelho (crítico). O mote foi projetado para permitir respostas graduais da comunidade.

6.2. REGISTRO E RESILIÊNCIA

Ao ativar o aplicativo, o token push é registrado no backend. Em situações de falta de conectividade, o aplicativo mantém cache local dos últimos eventos e mostra mensagens de tentativa de reconexão. No backend, caches e políticas de retry asseguram tolerância a falhas temporárias.

7. TESTES E VALIDAÇÃO

A avaliação foi dividida em duas fases: **laboratorial** (tanque controlado e Wokwi) e **piloto em campo** (instalação em pontos selecionados de Malhada). A seguir, métricas e procedimentos principais:

7.1. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO

- **Precisão do sensor:** comparação de leituras do HC-SR04 com régua metálica e sensor industrial de referência (quando disponível) em múltiplos níveis;
- **Latência de transmissão:** tempo entre leitura do sensor e recepção no backend (medido via timestamps no payload);
- **Perda de pacotes:** contagem de leituras esperadas versus recebidas no servidor;
- **Resiliência em condições ambientais:** exposição dos sensores a chuva leve/média, vento e variações de temperatura e observação de falhas/ruído.

7.2. RESULTADOS QUANTITATIVOS

Tabela 1 resume os principais resultados do piloto (valores médios e desvios observados):

Tabela 1. Resumo das métricas do sistema (piloto em campo)

Métrica	Valor médio	Observação
Erro médio do HC-SR04	2,5%	sem chuva, com capô protetor
Latência média (sensor → backend)	150 ms	medido em rede WiFi local
Perda de pacotes	< 0, 5%	em 72 h de teste contínuo
Tempo de entrega de push	< 3 s	Android e iOS (varia por rede)
Conexões simultâneas testadas	1.000+	cenário de stress em servidor cloud
Custo por ponto (estimado)	R\$ 480	HC-SR04 + ESP32 + montagem

Interpretação dos resultados e questões levantadas pelos pareceristas Os pareceristas questionaram: “150 ms é considerada uma latência baixa?” — em aplicações de monitoramento ambiental de escala comunitária, latências abaixo de 200–300 ms entre sensor e backend são geralmente consideradas adequadas para alertas não-estratosféricos (não se trata de controle em real-time hard). Entretanto, a latência

percebida pelo usuário final depende também do tempo de processamento, enfileiramento e entrega de notificações push (aqui observamos até 3 s). Em sistemas críticos, essa camada também deve ser otimizada: uso de filas rápidas, priorização de mensagens e redundância de envio (push + SMS) são práticas recomendadas.

Sobre “*transmissão estável*”: adotamos métricas de perda de pacotes e variação de latência (jitter). O valor de perda menor que 0,5% foi observado no piloto; sob chuva intensa e em redes compartilhadas esse valor sobe — motivo pelo qual recomendamos mecanismos de retransmissão e alternativas de conectividade.

A testagem com 1.000 conexões simultâneas buscou avaliar escalabilidade do backend (threads, pool de conexões, limites de socket). A população de Malhada (15398 pessoas) é menor que esse número; contudo, a razão para testar 1.000+ conexões é garantir operação se o sistema for replicado em múltiplas cidades ou integrar muitos dispositivos/monitores. A relação entre população e conexões depende do número de dispositivos e consumidores simultâneos (por ex., dashboards em prefeituras, agentes de saúde, e usuários). Portanto, recomendamos métricas adicionais de dimensionamento com base em cenários reais de implantação.

7.3. LIMITAÇÕES OBSERVADAS

- **Sensores HC-SR04:** degradação da precisão sob chuva intensa e vento; tendência a reflexos falsos;
- **Conectividade WiFi:** cobertura limitada em pontos remotos — alternativa LoRa/GSM deve ser considerada para redundância;
- **Duração dos testes:** piloto teve duração inicial de semanas; testes sazonais prolongados são necessários para validar robustez em todas as condições meteorológicas;
- **Análise preditiva:** atualmente baseada em heurísticas; ausência de modelo ML robusto treinado com séries longas limita antecipação além de alertas reativos.

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema demonstrou viabilidade técnica em ambiente controlado e desempenho promissor em piloto local. Em comparação com trabalhos de referência (por exemplo, [Costa 2012, Luz 2018]), nossa solução apresenta:

- **Custo reduzido** por ponto de monitoramento, favorecendo replicação em municípios de baixa renda.
- **Integração de previsões meteorológicas** a montante, o que melhora a janela de antecedência potencial.
- **Abordagem centrada no usuário**, com módulo educativo e usabilidade testada com moradores.

Contudo, a contribuição científica na forma atual ainda é predominantemente prática — conforme observado por avaliadores —. Para reforçar o mérito acadêmico, propomos duas linhas imediatas:

1. **Desenvolver e validar modelos preditivos** (por exemplo, regressão temporal, modelos ARIMA, ou redes neurais recorrentes) que combinem séries de precipitação a montante e leituras locais para prever elevações do nível com horizonte de 6–48 h.
2. **Avaliar sensoriamento híbrido** (ultrassom + pressão hidrostática + pluviômetro) para aumentar robustez e reduzir falsos positivos.

Além disso, discutimos a manutenção operacional: custos recorrentes incluem substituição de sensores (vida útil e exposição), conectividade (SIM/LoRa gateways) e operação do backend (costs de cloud). A Tabela 2 apresenta estimativa simplificada de custo inicial por ponto (valores aproximados).

9. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Reescrevemos e ampliamos o manuscrito original para responder aos pareceres recebidos. O sistema proposto para Malhada (BA) provou ser uma solução prática, de baixo custo

Tabela 2. Estimativa simplificada de custos (por ponto)

Item	Quantidade	Custo estimado (R\$)
HC-SR04 (protótipo)	1	30
ESP32	1	60
Estrutura mecânica e fixação	1	120
Fonte / gabinete	1	70
Mão de obra / instalação	1	150
Total aproximado	–	430–480

e com potencial de impacto social real. As contribuições imediatas do trabalho são: 1) um pipeline operacional completo (sensoriamento → backend → app) adaptado a contextos de infraestrutura limitada; 2) validação inicial de precisão, latência e usabilidade; 3) proposta de práticas para robustez e segurança (HMAC, caching, reconexão).

Para fortalecer a contribuição científica e viabilizar publicação em trilhas de pesquisa, recomendamos priorizar:

- Desenvolvimento e validação de modelos preditivos baseados em séries históricas (incluir comparação com benchmarks);
- Testes longitudinais (ciclo anual) em múltiplos pontos e condições climáticas diversas;
- Estudo comparativo entre sensores (HC-SR04 vs. sensores industriais vs. pressão hidrostática) com análise estatística das leituras;
- Avaliação socioeconômica detalhada sobre impacto das notificações na redução de danos e custos.

REFERÊNCIAS

- [1] Amboni, P. H. M. (2015). Proposição de um sistema de alerta de enchentes para o município de

criciúma/sc. Master's thesis, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, Santa Catarina. Disponível em: <http://200.18.15.28/bitstream/1/1267/1/Paulo>

[2] Barth, C. A., Varela, G. M., Valle, R., Steinke, L., SANTOS, A. H., Machado, A. A., Gomes, A. L. C., Stuepp, C., Silva, J. R. G. d., Rosa, M. L. d., Jesus, R. d., and Dolla, R. (2019). Qualificação em tecnologia para jovens através do ensino lúdico e da robótica. *Anais 37ª SEURS - Educação*, 1(1):1–10.

[3] Costa, J. A. d. (2012). Desenvolvimento de um Sistema de Alerta de Enchente Aplicado aos Planos de Defesa Civil em Áreas de Risco no Estado do Pará utilizando Sistema de Informações Geográficas (SIG), Caso: Cidade de Marabá. *Universidade Federal do Pará - Belém, PA*.

[4] da Agricultura Pecuária Irrigação Pesca e Aquicultura da Bahia, S. S. (2007). Enchente e seca no sudoeste. *Jornal da Secretaria da Agricultura - Salvador, Bahia, 10 jan. 2007*. Disponível em: <http://cpu002572.ba.gov.br/noticias/2007/01/10/enchente-e-seca-no-sudoeste>. Acesso em: 20 mar. 2025.

[5] Hermuche, P. M. (2002). Cartilha sobre o rio São São Francisco. *Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba*.

[6] IBGE (2022). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/malhada/panorama> - Acessado em 18 de abril de 2024.

[7] Luz, M. B. d. (2018). Sistemas de Alerta de Risco a Desastres: Aplicabilidade para o Município de João Pessoa-PB. *Universidade Federal da Paraíba - João Pessoa, PB*.

[8] Sampedro, I. M., González, R., Ramírez, R. L., and Gálvez, A. M. (2022). Implementación del módulo esp32 como herramienta para el desarrollo de prácticas enfocadas al iot. *Research in Computing Science*, 151. Disponível em: https://rsc.cic.ipn.mx/2022_151_12/Implementacion

[9] Souza, J. (2007). Moradores enfrentam fome e doença após enchente em malhada. *A Tarde - Salvador, Bahia, 31 jan. 2007*. Disponível em: <https://atarde.com.br/bahia/bahiasalvador/moradores-enfrentam-fome-e-doenca-apos-enchente-em-malhada-284097>. Acesso em: 31 mar. 2025.

[10] Viana, J. (2017). Projeto de dispositivo de monitoramento e alerta de inundações do vale do taquari. Master's thesis, Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/14819469-b93d-4b49-a70a-95d1a405f6c2/content> . Acesso em: 4 mar. 2025.

Capítulo 7

Monitoramento hidroenergético em pequenas centrais elétricas de Mato Grosso: análise hidrossedimentológica na Bacia do Rio Juruena

Rose Mary Teixeira de Lemos

Maria Fátima dos Santos

Wiuilly Luan Valverde de Queiroz

Rhayane Carvalho Roque

Frederico Fábio Mauad

Renato Billia de Miranda

Resumo: O Estado de Mato Grosso ocupa posição estratégica na matriz energética nacional, com destaque para o uso intensivo de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e tecnologias de automação. A modernização tem ampliado a eficiência operacional na gestão hídrica. Contudo, persistem lacunas no monitoramento sistemático e na análise técnica de dados operacionais, especialmente relacionados à dinâmica sedimentar, comprometendo a sustentabilidade e o planejamento de longo prazo. Este estudo teve como objetivo apresentar aplicações práticas e análises técnicas da descarga sólida total em cinco PCHs situadas na bacia hidrográfica do rio Juruena (MT), evidenciando a importância da aquisição sistemática de dados para a gestão integrada dos recursos hídricos. A metodologia consistiu na realização de campanhas hidrossedimentológicas entre 2010 e 2014, em trechos sob influência direta das PCHs estrategicamente selecionadas. Foram considerados critérios como a sua importância estratégica no contexto energético regional, assim como os impactos sobre os recursos hídricos e os ecossistemas associados. Os resultados evidenciam que a descarga sólida total foi fortemente influenciada pela interação entre a vazão média e a concentração de sedimentos. Eventos extremos, especialmente nos períodos chuvosos, intensificaram o transporte de sólidos, concentrando os maiores picos de descarga. Enquanto concentrações isoladas, por si só, não representaram risco significativo quando a vazão se manteve estável. Observou-se também uma elevada variabilidade espaço-temporal no comportamento hidrossedimentológico entre as PCHs analisadas. Concluiu-se que a gestão integrada da bacia, com foco na conservação do solo, é essencial para o controle da erosão, para a sustentabilidade operacional das PCHs e para a qualidade dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Pequenas Centrais Hidrelétricas, Sedimentos em Suspensão, Descarga Sólida, Gestão Integrada, Bacia do Rio Juruena.

1. INTRODUÇÃO

A busca por maior eficiência nos processos produtivos tem impulsionado investimentos significativos em modernização tecnológica, especialmente em setores estratégicos como o de geração hidroenergética. No âmbito das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), a integração de tecnologias voltadas à automação tem contribuído para otimizar o desempenho operacional, na redução de custos e no aumento da confiabilidade na gestão dos recursos hídricos. Conforme destacado por Gaidzinski (2003), tais avanços tecnológicos estão diretamente vinculados ao aprimoramento contínuo de processos. No entanto, a automação eficaz, sobretudo em sistemas complexos como aqueles relacionados ao transporte de sedimentos e à dinâmica do regime hidrológico exige, como etapa prévia e essencial, a realização de monitoramento sistemático e preciso das variáveis envolvidas. Esse monitoramento constitui a base técnica necessária para o controle operacional, a modelagem de processo e a tomada de decisão em tempo real.

O estado de Mato Grosso, Brasil, destaca-se na matriz energética nacional pelo expressivo aproveitamento de seu potencial hidráulico, sustentado por uma densa rede hidrográfica e pela adoção de tecnologias modernas aplicadas à geração de energia em PCHs. Esse cenário, contudo, é resultado de um processo histórico de evolução tecnológica. No final do século XIX e início do século XX, a geração de energia no estado era baseada exclusivamente na utilização de vapor, tecnologia então empregada para suprir a demanda energética da cidade de Cuiabá a capital estadual e de diversos estabelecimentos urbanos (CEMAT, 2011). A transição para sistemas hidrelétricos automatizados representa, portanto, não apenas uma modernização técnica, mas também um avanço estratégico na sustentabilidade e na eficiência energética regional.

2. OBJETIVOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar aplicações práticas e lições técnicas aprendidas a partir do monitoramento hidroenergéticos em reservatórios de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) na gestão eficiente dos recursos hídricos e na otimização da geração de energia.

Busca-se evidenciar a relevância do monitoramento sistemático como instrumento de suporte à gestão integrada dos recursos hídricos, especificamente em contexto marcados por elevada variabilidade climática. São descritos os métodos e os equipamentos hidroenergéticos utilizados para a aquisição de dados técnicos essenciais à compreensão do comportamento hidrológico dos reservatórios.

Apresentam-se e analisam-se dados empíricos coletados nos anos de 2013 e 2014 em reservatórios de PCHs situadas em Mato Grosso, destacando sua aplicabilidade na avaliação das condições operacionais.

Adicionalmente, demonstra-se como os dados monitorados subsidiam decisões técnicas, favorecendo maior eficiência na operação das PCHs e contribuindo para mitigação de impactos ambientais. Por fim, ressalta-se a importância da implementação de sistemas de monitoramento contínuo como ferramenta estratégica para a sustentabilidade ambiental e energética desses empreendimentos.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada constituiu na realização de campanhas de levantamento hidrossedimentológico na bacia hidrográfica do rio Juruena, localizado no Estado de Mato Grosso, entre os anos de 2010 até 2014. A área de estudo abrange trechos do rio sob influência direta de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs): especificamente as unidades designadas nesse trabalho como **A, B, C, D e E**.

A seleção dessas PCHs para o estudo fundamentou-se na relevância de seus reservatórios no contexto do sistema hidroenergético regional, considerando tanto a capacidade de geração quanto os impactos potenciais sobre os recursos hídricos e os ecossistemas associados.

3.1. BACIA DO RIO JURUENA

Conforme descrito pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2010), a bacia hidrográfica do rio Juruena abrange uma área estimada em 190.931 km², e uma extensão longitudinal de cerca de 1.080 km. Apresenta-se localizada predominantemente no Estado de Mato Grosso, entre os paralelos 7°20' e 14°43' de latitude sul e os meridianos 49°15' e 54°03' de longitude oeste. Apenas uma pequena fração de sua porção inferior estende-se ao Estado do Amazonas, correspondendo a aproximadamente 5% de sua área total, e uma área ainda menor (inferior a 0,2%) alcança o município de Vilhena, no Estado de Rondônia (Figura 1).

Seus principais afluentes pela margem direita são os rios do Sangue, Arinos e dos Peixes, que desempenham papel relevante na dinâmica hidrológica regional. A bacia abrange 29 municípios. Destaca-se a presença de 23 Terras Indígenas, que representam aproximadamente 27% da área da bacia. A diversidade étnica é expressiva, abrigando 12 dos 31 povos indígenas identificados no estado de Mato Grosso (EPE, 2017).

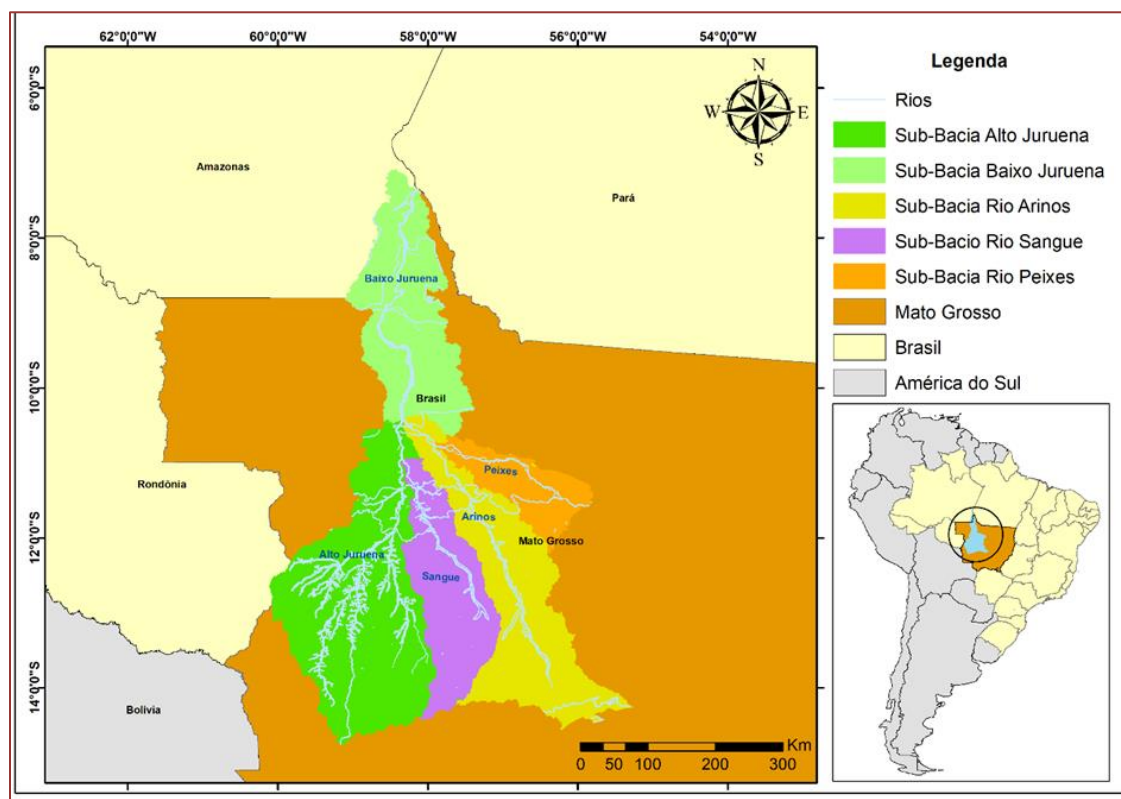
Embora o Censo Demográfico de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) ainda não disponibilize recortes territoriais para a bacia hidrográfica do rio Juruena, diagnósticos recentes, elaborados por instituições como a Operação Amazônia Nativa (OPAN) e o Ministério Público do Estado de Mato Grosso, reforçam a importância socioambiental da região. A bacia permanece caracterizada por significativa diversidade étnica e cultural, abrigando diversas comunidades indígenas e tradicionais, além de enfrentar pressões territoriais associadas a empreendimentos hidrelétricos e atividades minerárias.

A bacia hidrográfica do rio Juruena compreende a área de drenagem do próprio rio e seus principais afluentes, entre os quais se destacam os rios Arinos, Sangue, Papagaio e São João da Barra. O rio Juruena atua como o eixo principal do sistema de drenagem, recebendo contribuições significativas desses cursos d'água, fundamentais para regime hidrológico regional (Figura 1).

De acordo com o Relatório Final dos Estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia do Rio Juruena (EPE, 2010), os elementos físicos, bióticos e antrópicos dessa bacia apresentam uma distribuição predominantemente latitudinal. Essa disposição reflete uma forte interação entre fatores climáticos, geológicos, litológicos, vegetacionais e de uso do solo, que, em conjunto, influenciam significativamente a configuração dos ecossistemas e das dinâmicas socioeconômicas locais.

Para fins de análise integrada, conforme ilustrado na figura 1, tais fatores foram organizados em subáreas representativas, comuns aos componentes-síntese do meio físico, dos ecossistemas terrestres e da dimensão socioeconômica. A adoção dessas subdivisões tomou como referência, em parte, a estrutura proposta no Plano Estadual de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado de Mato Grosso, que compartimentaliza a bacia do rio Juruena em Unidades de Gestão e Planejamento (UGPs), sendo elas: Alto Rio Juruena, Rio do Sangue, Rios Arinos e dos Peixes (agrupados em uma única unidade) e Baixo Rio Juruena (EPE, 2010).

Figura 1: Localização da Bacia do Rio Juruena



Fonte: Adaptado pelos autores do EPE (2010).

A análise por sub-bacias, por sua vez, representa a desagregação da bacia principal em unidades menores, o que facilita o monitoramento, a modelagem e o planejamento de ações específicas em escala regional. Tal abordagem também permite uma avaliação mais detalhada das dinâmicas locais de uso e ocupação do solo, dos regimes de vazão e das pressões ambientais (OPAN, 2024).

Ao aplicar essa divisão na presente pesquisa proporcionou um refinamento analítico e contribuiu para a estruturação lógica do texto, favorecendo o encadeamento das ideias e o aprofundamento das especificidades regionais.

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) analisadas neste estudo localizam-se ao longo do rio Juruena, no estado do Mato Grosso, um dos principais formadores do rio Tapajós, inserido na bacia hidrográfica amazônica. A disposição estratégica dessas hidrelétricas ao

longo do curso do rio possibilitou uma análise representativa das condições hidrológicas e ambientais da região.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO DAS PCHS

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) **A, B, C, D e E** estão localizadas no estado de Mato Grosso, Brasil, ao longo do rio Juruena, afluente pela margem esquerda do rio Teles Pires, que por sua vez, forma o rio Tapajós, integrante da bacia hidrográfica do rio Amazonas. A saber, a PCH **A** está situada no município de Campos de Júlio (MT), enquanto as demais PCHs — **B, C, D e E** encontram-se nos municípios de Campos de Júlio e Sapezal. As referências ambientais e hidrológicas foram extraídas de estudos acadêmicos e relatórios técnicos disponíveis em bases públicas.

A campanha de campo teve como objetivo obter de dados para o monitoramento da dinâmica hidrossedimentológica, mediante medição de vazão líquida, a determinação da descarga sólida e análise granulométrica dos sedimentos. As atividades desenvolvidas compreenderam:

- I. Execução de campanha de campo para a coleta de dados e amostras de água e sedimentos em suspensão;
- II. Realização de análises laboratoriais para determinações das concentrações de sólidos suspensos nas amostras coletadas;
- III. Processamento e análise dos dados obtidos em campo, visando à quantificação da vazão e da carga sólida transportada;
- IV. Discussão de aspectos metodológicos e consideração das limitações e interferências nos processos de monitoramento.

3.2.1. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DAS ESTAÇÕES DE MEDIÇÕES DAS PCHS: A, B, C, D E E

Optou-se por realizar as medições o mais próximo possível da régua linimétrica. As coordenadas geográficas tanto da seção de medição quanto da régua foram registradas individualmente, de modo a permitir a replicação de campanhas futuras, preferencialmente no mesmo ponto ou em áreas adjacentes, garantindo a continuidade dos dados hidrossedimentológicos.

Na Tabela 1 estão relacionadas às coordenadas da régua linimétrica, bem como dos pontos inicial (PI) e final (PF) da seção de medição da Estação de Monitoramento Hidrossedimentológico da PCHs. Essas informações são fundamentais para garantir a replicabilidade das campanhas futuras e a compatibilidade dos dados ao longo do tempo, conforme recomendação metodológica da Agência Nacional de água e Saneamento Básico (ANA, 2009).

Tabela 1 Coordenadas das réguas linimétricas dos pontos de coletas nas PCHs

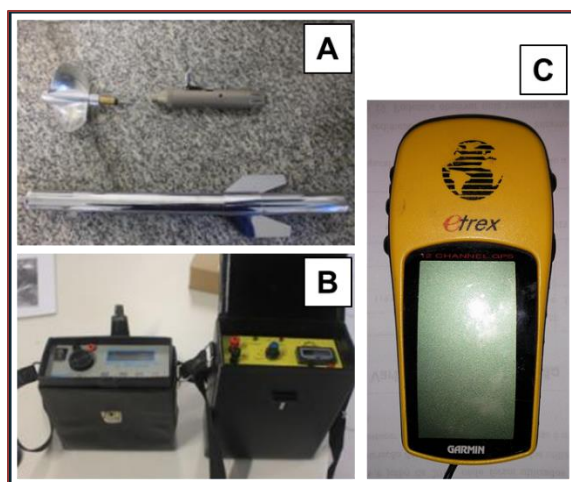
Estação de Medição	Coordenadas do P _i	Coordenadas do P _f	Coordenadas da régua linimétrica
PCH A	281.892 E	281.855 E	281.809 E
	8.521.254 S	8.521.238 S	8.521.188 S
PCH B	285.690 E	285.655 E	285.577 E
	8.554.234 S	8.554.242 S	8.553.898 S
PCH C	281.348 E	281.317 E	281.309 E
	8.532.696 S	8.532.716 S	8.532.532 S
PCH D	292.446 E	292.401 E	292.359 E
			8.573.002 S
PCH E	290.756 E	290.706 E	290.700 E
	8.579.202 S	8.579.168 S	8.579.050 S

Fonte: Relatório Interno do Núcleo de Hidrometria da EESC-USP.

3.3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS EM CAMPO

A etapa de campo representou uma fase essencial para a aquisição de dados primários em estudos hidrossedimentológicos, permitindo a coleta de amostras representativas e a realização de medições *in situ* que subsidiaram as análises laboratoriais e a modelagem dos processos. Para garantir a confiabilidade e a padronização dos dados obtidos nos reservatórios das PCHs estudadas, foi empregado um conjunto de equipamentos especializados, voltados à medição de vazões, coleta de sedimentos em suspensão e posicionamento georreferenciado dos pontos de amostragem, conforme descrito a seguir:

1. Molinete fluviométrico do tipo Newton (Figura 2 A): empregado para a determinação da velocidade da corrente em diferentes seções do rio;
2. Contador de rotações (Figura 2 B): acoplado ao molinete, permitiu a medição precisa das rotações por unidade de tempo, fundamentais para o cálculo da velocidade do fluxo;
3. GPS manual (Figura 2 C): utilizado para o posicionamento georreferenciado dos pontos de coleta de água e sedimentos.

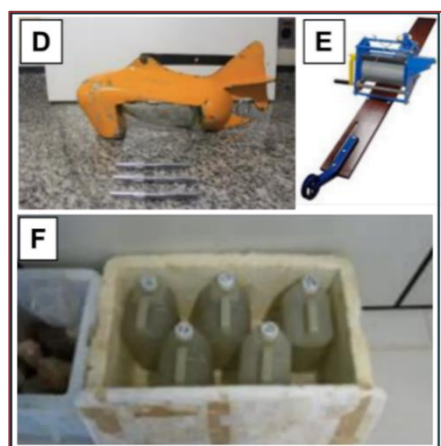
Figura 2 – Instrumentos de medições de vazão e georreferenciamento

(A), Molinete para medição de vazão; (B) Contadores de rotações; (C) GPS Manual.

3.3.1. INSTRUMENTOS DE COLETA E ARMAZENAMENTO

1. Amostrador DH-59 (Figura 3 D): equipamento empregado para coleta de sedimentos em suspensão diretamente na coluna d'água;
2. A Figura 2 E: Guincho hidromérico;
3. Frascos de polietileno de 5 litros (Figura XF); utilizado para o acondicionamento das amostras coletadas, assegurando a preservação até seu processamento em laboratório.

Figura 3 Instrumentos de coleta e armazenamento



(D) Amostrador de sedimentos em suspensão DH-59; (E) Guincho hidrométrico e (F) Frascos para armazenamento das amostras.

Devido à velocidade da correnteza e ao fundo rochoso do Rio Juruena, na Estação de monitoramento a montante, não foi possível coletar material no fundo do rio.

3.4. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO LABORATÓRIO

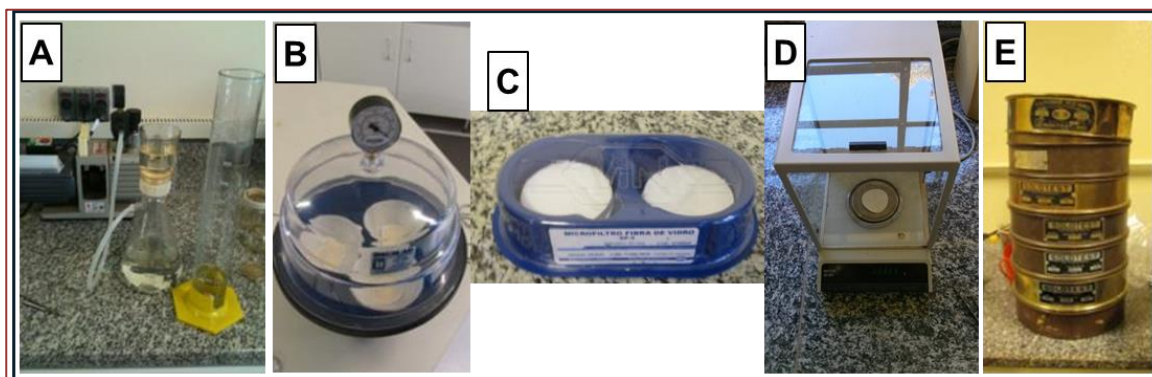
Para a realização das análises físico-químicas e granulométricas das amostras coletadas nos reservatórios das PCHs estudadas, foram empregados equipamentos laboratoriais descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Equipamentos utilizados nas análises laboratoriais

Etapa	Equipamento	Descrição
Separação da fração sólida	Bomba de vácuo e proveta de 1000 mL	Separação de sedimentos em suspensão
Retenção de sólidos	Filtros de fibra de vidro, 0,12 mm	Retenção de partículas sólidas
Eliminação de umidade	Dessecador com sílica gel	Secagem preliminar das amostras
Pesagem	Balança analítica, precisão 0,0001 g	Determinação da massa dos sólidos coletados
Secagem de amostras	Estufa com termostato	Remoção de umidade para massa seca
Queima de matéria orgânica	Mufla com controle termostático	Determinação da fração orgânica residual
Análise granulométrica	Conjunto de peneiras (#10, #16, #30, #140, #200)	Classificação das partículas por tamanho

A utilização desses equipamentos garantiu a precisão dos dados obtidos em todas as etapas de processamento, desde a separação da fração sólida até a caracterização granulométrica dos sedimentos (Figura 4).

Figura 4 Equipamentos e acessórios de laboratório



(A) Bomba de vácuo e proveta graduada de 1000 ml; (B) Dessecador com sílica gel; (C) Filtros de fibra de vidro de 0,12 mm; (D). Balança analítica com precisão de 0,0001 g; (E) Peneiras para análise Granulométrica, #10, #16, #30, #140, #200.

3.5. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO

A medição de descarga líquida (vazão) compreende o conjunto de procedimentos utilizados para determinar o volume de água que atravessa uma seção transversal de um curso d'água por unidade de tempo (Santos *et al.*, 2001).

O estudo do regime hidrológico de um curso de água requer o conhecimento da variação da sua vazão ao longo do tempo. Porém, a medição diária da vazão por métodos diretos é, na maioria dos casos, onerosa e, muitas vezes, complexa. Para contornar esse contratempo, adota-se, comumente, o registro diário do nível da água, realizado geralmente duas vezes ao dia ou de forma contínua, permitindo a construção de uma relação entre o nível de água (cota) e a vazão. A periodicidade das medições varia conforme as necessidades locais e as exigências específicas do projeto.

A vazão (Q) corresponde ao volume (V) de água que escoar por uma seção do rio, durante um intervalo de tempo (Δt). Desta forma, a vazão pode ser expressa pela Equação 1.

$$Q = V / \Delta t \quad (\text{Equação. 1})$$

Sendo:

Q: vazão [m^3/s];

V: volume escoado pela seção [m^3];

Δt : intervalo de tempo considerado [s].

A vazão também pode ser expressa em função da velocidade do escoamento e da área da seção transversal do curso d'água, relação conhecida como Equação da Continuidade. Essa expressão é representada pela Equação 2.

$$Q = v \cdot A \cdot C \quad (\text{Equação. 2})$$

Sendo:

Q: vazão [m^3/s];

v: velocidade do fluxo [m/s];

A: área da seção [m^2].

C: coeficiente de correção de velocidade superficial para velocidade na seção de medição. Considera-se $C = 0,80$.

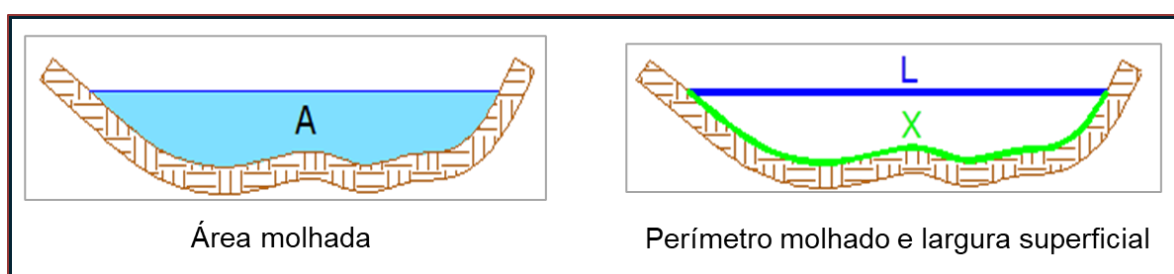
A Equação 2 é amplamente utilizada na Hidrometria, considerando que os métodos de medição direta de vazão baseiam-se na determinação da velocidade do fluxo associada à área de uma seção transversal.

Durante a campanha realizada anteriormente a esta (maio de 2011), a utilização de equipamento acústico para determinação de vazão apresentou dificuldades, em razão das altas velocidades do escoamento, que geram riscos de danos ao equipamento e interferência nas leituras devido à oscilação provocada pela correnteza. Assim, evidenciou-se a necessidade de empregar um suporte mais adequado para a estabilização Sonda S5 da Sontek, durante as medições. Na ausência deste suporte, optou-se pela medição de vazão utilizando o molinete.

Antes de apresentar a metodologia para medição de vazão com molinete, é importante definir algumas grandezas essenciais para o entendimento dos cálculos envolvidos. A área molhada é definida como a área da seção transversal efetivamente ocupada pela água (Figura 5).

A largura superficial (L) é definida como o comprimento da linha horizontal que delimita a área molhada na interface água-ar (Figura 5).

Figura 5 – Área molhada



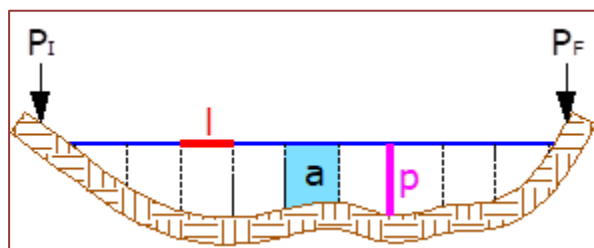
Fonte: Adaptado de Mauad *et al.* (2017).

O ponto inicial (PI) corresponde ao ponto localizado em uma das margens do curso d'água, adotado como origem para as medições horizontais da seção, geralmente materializado por um marco de concreto ou estaca. O ponto final (P_F), por sua vez, é o ponto situado na margem oposta à do P_I, utilizado para o alinhamento da seção hidrométrica.

A vertical é a linha imaginária, localizada na seção hidrométrica, perpendicular à superfície livre da água, ao longo da qual são efetuadas as medidas de velocidade. A distância entre duas verticais (I) é a distância horizontal entre duas verticais consecutivas, expressa em metros [m].

A profundidade da vertical (p) é a distância vertical entre a linha d'água e o leito do rio, medida exatamente abaixo da respectiva vertical [m]. Por fim, a área entre duas verticais (a) corresponde à porção da área molhada delimitada entre duas verticais consecutivas. (Figura 6).

Figura 6 – Ponto inicial e final, distância entre verticais, área entre verticais e profundidade da vertical



Fonte: Mauad *et al.* (2017).

3.6. DETERMINAÇÃO DE VAZÃO POR MOLINETE

De acordo com Mauad *et al.* (2017), as medições realizadas pelo método dos flutuadores, embora apresentem menor risco ao equipamento e maior facilidade de execução, são significativamente menos precisos do que aquelas obtidas com o uso do molinete fluviométrico.

Os molinetes são instrumentos com hélices que giram ao serem impulsionados pela passagem da água. Esses dispositivos são projetados para girar em diferentes velocidades, de acordo com a velocidade da água. Existem modelos de molinetes específicos para diferentes condições hidráulica, ou seja, para locais com baixa velocidade de escoamento e outros para regiões com elevado fluxo de vazão. Os dados obtidos podem ser registrados de forma digitais ou analógicos. O equipamento pode ser instalado em suportes fixo ou suspenso por cabos (Miranda, et al., 2019).

O princípio de funcionamento dos molinetes é relativamente simples: ao girar, as hélices geram impulsos elétricos que são convertidos em sinais sonoros ou registrados por contadores digitais. Cada impulso corresponde a uma rotação completa da hélice. As rotações são contabilizadas durante um intervalo de tempo pré-definido (por exemplo, 40 ou 60 segundos). Dividindo-se o número total de rotações pelo tempo de medição, obtém-se o valor em rotações por segundo (RPS).

Cada molinete, ao ser adquirido, é acompanhado de uma curva de calibragem e uma equação própria, semelhante a Equação 3.

$$v = a \cdot n + b \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

v : velocidade [m/s];

n : número de rotações por segundo [RPS];

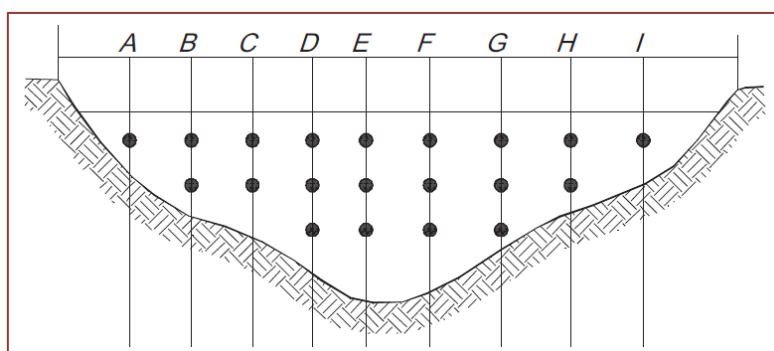
a e b : constantes do molinete.

Com isso, de posse do valor de n , obtém-se a velocidade no ponto considerado. É importante destacar que esta equação é fornecida pelo fabricante, porém deve ser verificada periodicamente, uma vez que pode sofrer alterações devido ao desgaste das peças.

Outro aspecto relevante é que o perfil de velocidade em um rio não é uniforme, apresentando, geralmente, velocidade mais elevadas no centro do canal em comparação com as margens. De modo semelhante, a velocidade costuma ser menor no fundo do rio do que na superfície. Dessa forma, utilizar apenas uma única medição pode levar a uma estimativa incorreta da velocidade média do escoamento.

Dessa forma, para se obter uma estimativa representativa da velocidade média, realizam-se medições em diversas seções verticais distribuídas ao longo da seção transversais, bem como em diferentes profundidades em cada uma dessas verticais. A Figura 7 representa uma seção de medição com largura “L”, indicando as verticais e os respectivos pontos de coleta de dados.

Figura 7 – Exemplo de verticais e pontos de medição



Fonte: Mauad et al. (2017).

A Tabela 2, adaptada da ANA (2009), apresenta o número recomendável de pontos de medição por vertical, de acordo com a profundidade do curso d'água. Essa tabela fornece orientação específica para determinação da velocidade da corrente em diferentes níveis da coluna d'água. No entanto, em prática de campo, é comum a adoção de apenas dois pontos de medição por vertical, mesmo em profundidades superiores a 1,20 m, visando à otimização do tempo e dos recursos.

Tabela 2 – Profundidades de medição de acordo com a profundidade do rio

Número de pontos	Posição na vertical em relação à profundidade (p)	Cálculo da velocidade média (V_m) na vertical	Profundidade (m)
1	0,6p	$V_m = V_{0,6}$	0,15 – 0,6
2	0,2 e 0,8p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,8})/2$	0,6 – 1,2
3	0,2; 0,6 e 0,8p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8})/4$	1,2 – 2,0
4	0,2; 0,4; 0,6 e 0,8p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8})/6$	2,0 – 4,0
6	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8p e F	$V_m = [V_s + 2(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + V_f]/10$	> 4,0

Fonte: ANA (2009); Mauad, et al. (2017).

A Tabela 3 indica o número recomendado de seções verticais conforme a largura do rio, permitindo uma amostragem representativa da vazão em diferentes cenários de campo (ANA, 2009).

Tabela 3 – Distância recomendada entre verticais, de acordo com a largura do rio

Largura do rio (m)	Distância das verticais (m)
< 3	0,3
3 a 6	0,5
6 a 15	1
15 a 30	2
30 a 50	3
50 a 80	4
80 a 150	6
150 a 250	8
> 250	12

Fonte: Santos et al. (2001).

Essa simplificação visa otimizar o tempo de coleta, minimizando o risco de alterações no regime hidrológico durante o processo de medição. O procedimento consiste em posicionar o molinete hidrométrico em diferentes verticais ao longo da seção transversal do rio, registrando-se o número de rotações da hélice em um intervalo fixo de 60 segundos. Esses dados são posteriormente convertidos em valores de velocidade da água por meio da equação de calibração específica do molinete utilizado. A estimativa da vazão baseia-se na integração das velocidades médias registradas em cada vertical com a respectiva área molhada representada por essa vertical. Dessa forma, obtém-se uma estimativa confiável da descarga líquida do curso d'água.

A área de uma sub-seção é dada pela Equação 4.

$$A_i = p_i \cdot \left(\frac{(d_i + d_{i+1})}{2} - \frac{(d_{i-1} + d_i)}{2} \right) = p_i \cdot \left(\frac{(d_{i+1} - d_{i-1})}{2} \right) \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo:

i : a vertical que está sendo considerada;

p_i : profundidade no ponto i ;

d : distância da vertical até a margem.

Como mencionado anteriormente, a vazão é determinada pela integração do produto entre a velocidade e a área de cada subseção da seção transversal (Equação 5) (ANA, 2009).

$$Q = \sum_{i=1}^N v_i \cdot A_i \quad (\text{Equação 5})$$

3.7. AMOSTRAGEM DE ÁGUA COM SEDIMENTO EM SUSPENSÃO

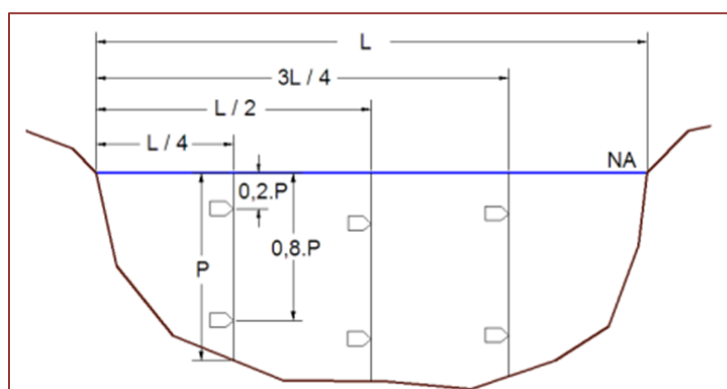
Para a determinação do material em suspensão, foi utilizado o amostrador de garrafa modelo DH-59, um dispositivo integrador que permite a coleta da amostra ao longo de

alguns segundos por meio de um bico, com armazenamento em um frasco com volume aproximado de 500 mL.

A coleta dos sedimentos em suspensão foi realizada em duas profundidades relativas padronizadas 20% e 80% da profundidade total nas verticais posicionadas a $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ da largura da seção de medição de cada estação, conforme ilustrado na Figura 10 (ANA, 2009).

Nessa figura 8, P representa a profundidade da vertical e L a largura da Estação de Medição. Devido à baixa concentração de sólidos em suspensão observada visualmente durante as atividades de campo, optou-se por realizar três coletas consecutivas em cada profundidade, totalizando aproximadamente 1,5 L de amostra por nível amostrado.

Figura 8 – Detalhe do esquema de coleta de sedimentos em suspensão



Fonte: Mauad *et al.* (2017).

3.8. DETERMINAÇÃO DA DESCARGA SÓLIDA

A determinação da descarga sólida está diretamente relacionada ao assoreamento de reservatórios, processo que envolve a geração, o transporte e a deposição de sedimentos, e que é frequentemente confundido com erosão ou sedimentação isoladamente (Coiado, 2001). A erosão hídrica, desencadeada pela ação mecânica do fluxo de água sobre superfícies minerais, resulta da desagregação de partículas sob influência de agentes físicos, químicos e biológicos, intensificada por condições como declividade, tipo de solo e ausência de cobertura vegetal (Emmerich e Marcondes, 1975).

Os cursos d'água naturais possuem capacidade de transportar sedimentos, volume que depende diretamente das características fisiográficas da bacia hidrográfica. Os sedimentos transportados são constituídos por partículas de rochas, solos e matéria orgânica, variando conforme as condições ambientais da região (Branco *et al.*, 1977). A construção de barragens interfere significativamente nessa dinâmica, reduzindo a velocidade do escoamento e favorecendo a deposição de sedimentos no interior dos reservatórios (Carvalho *et al.*, 2000). Esse acúmulo provoca a redução do volume útil dos reservatórios e compromete atividades como abastecimento público, a irrigação, a navegação e a geração de energia elétrica.

Para estimar o volume assoreado, é necessário dispor de informações sobre a descarga sólida afluente, a eficiência de retenção do reservatório e as propriedades físicas dos

sedimentos depositados (Coiado, 2001). Dessa forma, os estudos sedimentológicos tornam-se indispensáveis durante a fase de planejamento de empreendimentos hidrelétricos, tanto para subsidiar os projetos quanto para atender às exigências legais estabelecidas nos processos de licenciamento ambiental.

A descarga sólida total é composta por duas parcelas distintas, conforme representado na Equação 6.

$$Q_{ST} = Q_{SS} + Q_{SL} \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo:

Q_{ST} : Descarga Sólida Total [t/dia];

Q_{SS} : Descarga Sólida em Suspensão [t/dia];

Q_{SL} : Descarga Sólida do Leito [t/dia].

As dificuldades operacionais associadas às medições diretas da descarga sólida do leito impulsionaram avanços nas pesquisas teóricas e experimentais na área (Santos *et al.*, 2001). Diante das condições observadas no presente estudo optou-se pela aplicação de uma metodologia indireta para o cálculo da descarga sólida de leito. A metodologia adotada corresponde ao Método de Colby, conforme demonstrado por Santos *et al.* (2001), e está representada na Equação 7.

$$Q_{ST} = q_{SL} \cdot L \cdot K + 0,0864 \cdot C_s \cdot Q_L \quad (\text{Equação 7})$$

Sendo:

Q_{ST} : Descarga Sólida Total [t/dia];

q_{SL} : Descarga Sólida do Leito por unidade de largura [t/dia.m];

L : Largura da Seção [m];

K : Fator de Correção;

C_s : Concentração de Sedimentos em Suspensão [mg/L];

Q_L : Vazão Líquida [m³/s].

A descarga sólida do leito por unidade da largura é definida por meio da Equação 8

$$q_{SL} = 39 \cdot V^{3,36} \quad (\text{Equação 8})$$

Sendo:

q_{SL} : Descarga Sólida do Leito por unidade de largura [t/dia.m];

V : Velocidade Média do Fluxo na Seção [m/s].

Já o fator de correção (K) é obtido a partir da Equação 9.

$$K = 1,18 \cdot \sqrt{\frac{C_s}{C_r}} \quad (\text{Equação 9})$$

Sendo:

C_s : Concentração de Sedimentos em Suspensão [mg/L];

C_r : Concentração relativa, em função da velocidade e profundidade da seção.

3.9. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS

A determinação da concentração de sedimentos em suspensão realizada conforme a norma ASTM D3977 - *Standard Test Methods for Determining Sediment Concentration in Water Samples* (ASTM, 2010). O método é baseado na filtração da amostra de água e é recomendado para concentrações inferiores a 10.000 ppm de areia ou 200 ppm de argila.

O procedimento consiste, inicialmente, na lavagem dos filtros com água destilada para remoção de compostos solúveis residuais. Em seguida são secos em estufa a 105°C por, no mínimo uma hora e posteriormente pesados em balança analítica com resolução de 0,0001 g. Após essa etapa, monta-se o sistema de filtração, e um volume conhecido do filtrado.

Concluído a filtração, os filtros são novamente levados à estufa para secagem completa e, em seguida, pesados novamente. A concentração de sedimentos suspensos é obtida pela diferença entre as massas final e inicial do filtro, dividido pelo volume de amostra filtrado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 9 (i), (ii), (iii), (iv) e (v) apresenta a variação temporal da vazão registradas nas Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) A, B, C, D e E entre os anos de 2010 à 2014. A análise permite avaliar a dinâmica hidrológica interanual, identificando padrões de sazonalidade e possíveis oscilações atribuídas a eventos climáticos ou mudanças no uso e cobertura da terra nas respectivas bacias hidrográficas.

Figura 9 (i), (ii), (iii), (iv) e (v) – Resultados da variação temporal da vazão das Estações de monitoramento das PCHs A, B, C, D e E

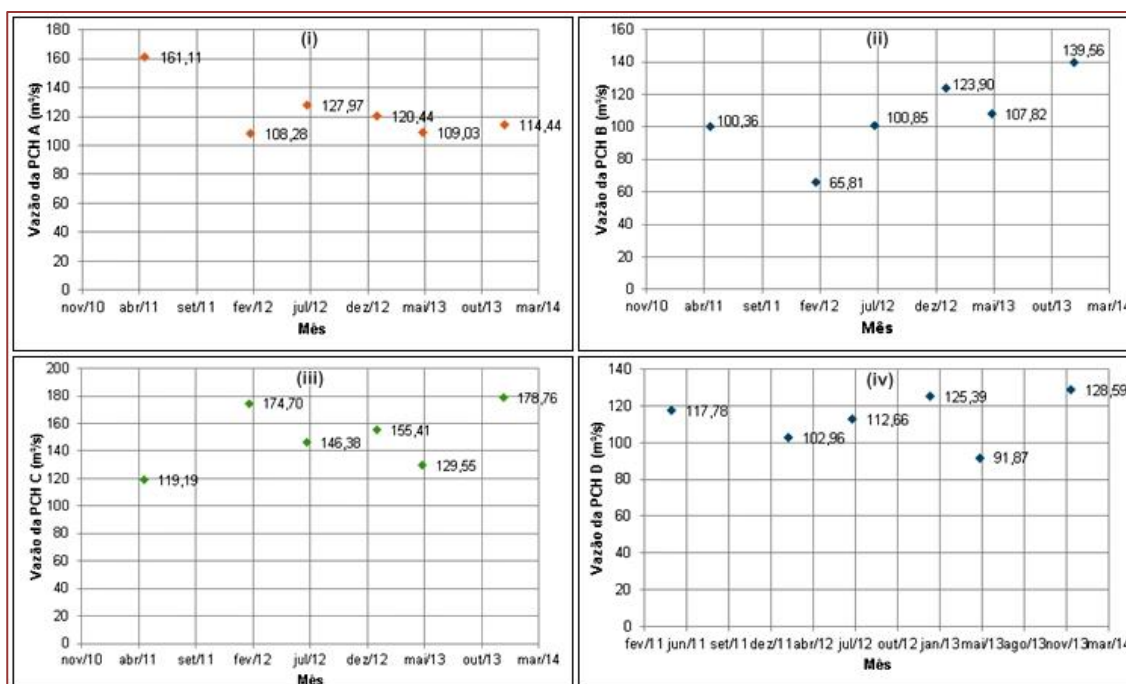
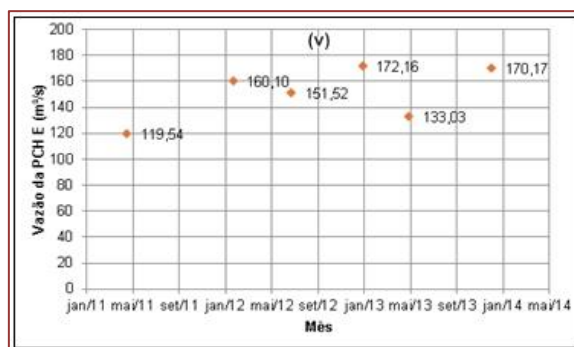


Figura 9 (i), (ii), (iii), (iv) e (v) – Resultados da variação temporal da vazão das Estações de monitoramento das PCHs A, B, C, D e E. (continuação)



Fonte: Relatório Interno do Núcleo de Hidrometria-EESC-USP (2014).

É importante destacar que o dado referente ao mês de maio de 2011 da PCH A foi obtido por meio do método dos flutuadores. Já nas campanhas de fevereiro e julho de 2012, foram aplicados tanto o método de flutuadores quanto o molinete hidrométrico, verificou-se uma diferença de até 28,98% entre os valores medidos, reforçando a superioridade técnica do molinete, cuja precisão é significativamente maior (ANA, 2009; Santos et al. 2001).

4.1. ANÁLISE DA VARIAÇÃO TEMPORAL DA VAZÃO DA PCH A (2010 - 2014)

A Figura 11(i) apresenta a variação temporal da vazão média (m^3/s) registrada entre novembro de 2010 e março de 2014. O comportamento da série histórica demonstra uma tendência de declínio progressivo da vazão ao longo dos anos analisados, com oscilações associadas a eventos hidrológicos sazonais. A maior vazão foi registrada da PCH A foi em abril de 2011, com $161,11 \text{ m}^3/\text{s}$, indicando condições de escoamento típicas de período chuvoso. A partir desse ponto, observou-se uma queda significativa para $108,28 \text{ m}^3/\text{s}$ em fevereiro de 2012, seguida de uma recuperação parcial em julho de 2012 ($127,97 \text{ m}^3/\text{s}$).

Os valores subsequentes mantêm-se em um intervalo mais estreito, variando de $109,03 \text{ m}^3/\text{s}$ (maio 2013) a $114,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (março de 2014), refletindo relativa estabilidade em patamares inferiores à média inicial; a oscilação no período indica possível redução da contribuição hídrica da bacia, com episódios pontuais e essa tendência pode estar associada a alteração regionais ou aumento da captação upstream (rio acima).

4.2. ANÁLISE DA VARIAÇÃO TEMPORAL DA VAZÃO DA PCH B

A Figura 11(ii) apresenta a série temporal da vazão observada na PCH B, abrangendo o período de novembro de 2010 à março de 2014. A análise revela um padrão de alta variabilidade interanual, refletindo a forte influência das condições hidrológicas sazonais sobre a bacia de contribuição. A vazão mínima foi registrada em fevereiro de 2012 ($65,81 \text{ m}^3/\text{s}$) compatível com período de estiagem. Após esse mínimo, observa-se uma recuperação progressiva, culminando em uma vazão máxima que foi observado em março de 2014, atingindo $139,56 \text{ m}^3/\text{s}$, o que indica recuperação significativa da vazão após eventos secos.

As vazões intermediárias, como 100,36 m³/s (abril/2011), 100,85 m³/s (julho/2012), e 123,90 m³/s (dezembro/2012), indicam que o sistema responde de forma rápida às chuvas, com variações entre os períodos úmidos e secos. A alternância entre esses extremos demonstra que a PCH **B** opera em um sistema hidrológico caracterizado por alta sazonalidade e possível vulnerabilidade a eventos extremos.

A bacia hidrográfica apresenta comportamento hidrológico altamente responsivo à variabilidade climática; o valor mínimo de 2012 pode indicar ocorrência de um evento extremo de estiagem; o aumento contínuo da vazão após 2012 sugere a recuperação do sistema fluvial com a retomada das chuvas.

4.3. ANÁLISE DA VARIAÇÃO TEMPORAL DA VAZÃO DA PCH C

A Figura 11(iii) apresenta a variação da vazão média m³/s na PCH **C** m³/s entre novembro/2010 m³/s e março de 2014. A série indica uma tendência com valores elevados na maior parte do período analisado, refletindo uma bacia com boa disponibilidade hídrica em resposta estável ao regime de chuvas. A menor valor da série ocorreu em abril de 2011, com 119,19 m³/s. Observa-se uma elevação acentuada entre o mínimo e o pico de 174,70 m³/s em fevereiro de 2012, seguido por uma oscilação moderada: 146,38 m³/s (julho/2012), 155, 41 m³/s (dezembro/2012), e 129,55 m³/s (maio;2013).

A recuperação da vazão em março de 2014, após uma leve queda em 2013, demonstra a capacidade da bacia de responder rapidamente aos eventos chuvosos. A ausência de quedas bruscas, mesmo nos períodos tipicamente secos evidencia estabilidade hidrológica interanual, característica de sistemas fluviais com maior resiliência ou menor interferência antrópica a montante, o que pode refletir maior capacidade de armazenamento da bacia ou presença de áreas de recarga bem preservadas.

O sistema apresentou vazões elevadas e relativamente constantes, mesmo em anos hidrológicamente distintos; além disso há pouca vulnerabilidade a estiagem severas, o que favorece a confiabilidade energética da usina; sendo assim, com regeneração rápida após quedas moderadas o que indica boa capacidade de recarga da bacia hidrográfica.

4.4. ANÁLISE DA VARIAÇÃO TEMPORAL DA VAZÃO DA PCH D

Figura 11(iv) apresenta a série temporal da vazão média m³/s na PCH **D** cobrindo o período entre fevereiro de 2011 e março de 2014. A análise demonstra um padrão de oscilações moderadas, com variações associadas principalmente ao regime hidrológico sazonal da região. O valor mínimo da série foi de 91,87 m³/s em maio de 2013, compatível com a transição para o período seco.

O valor máximo ocorreu em março de 2014, atingindo 128,59 m³/s, sugerindo uma recuperação significativa no regime de vazão, possivelmente ligada ao retorno das chuvas no período úmido. Os valores intermediários, como 117, 78 m³/s (fevereiro/2011), 112,66 m³/s (outubro/2012) e 125,39 m³/s (janeiro/2013), indicam relativa estabilidade hidrológica com flutuações dentro de um intervalo previsível, embora com tendência de queda em meados de 2013.

A bacia apresentou resiliência hidrológica moderada, com recuperação rápida da vazão após período de estiagem. A queda significativa em maio de 2013 pode indicar influência de eventos climáticos pontuais ou alterações na dinâmica da bacia (uso do solo, captação

a montante). Porém, o sistema demonstra menor variabilidade que PCHs **A** e **B**, o que favorece a possibilidade da operação da usina. A elevação da vazão em março de 2014 reforça o papel dos eventos de recarga sazonal no comportamento hidrológico local.

4.5. ANÁLISE DA VARIAÇÃO TEMPORAL DA VAZÃO DA PCH E

Os dados evidenciam oscilações significativas ao longo do tempo, refletindo a influência direta do regime hidrológico da bacia de contribuição. A menor vazão da PCH **E** foi registrada em janeiro de 2011 (119,54 m³/s), enquanto os valores mais elevados ocorreram em janeiro de 2013 (172,16 m³/s) e janeiro de 2014 (170,17 m³/s), demonstrando a influência do ciclo sazonal chuvoso nos primeiros trimestres dos anos subsequentes. Observa-se também uma queda acentuada da vazão em setembro de 2013 (133,03 m³/s), possivelmente relacionada ao período de estiagem, comum nessa época do ano na região Centro-Oeste.

Essa oscilação reforça a característica de forte sazonalidade da bacia hidrográfica, com maior disponibilidade hídrica nos meses de verão e significativa redução durante o inverno e início da primavera. A tendência geral demonstra recuperação da vazão nos períodos úmidos subsequentes, sugerindo que a bacia mantém certa capacidade de recarga e regulação, ainda que sujeita a variações climáticas e à influência de usos antrópicos do solo conforme Figura 11(v).

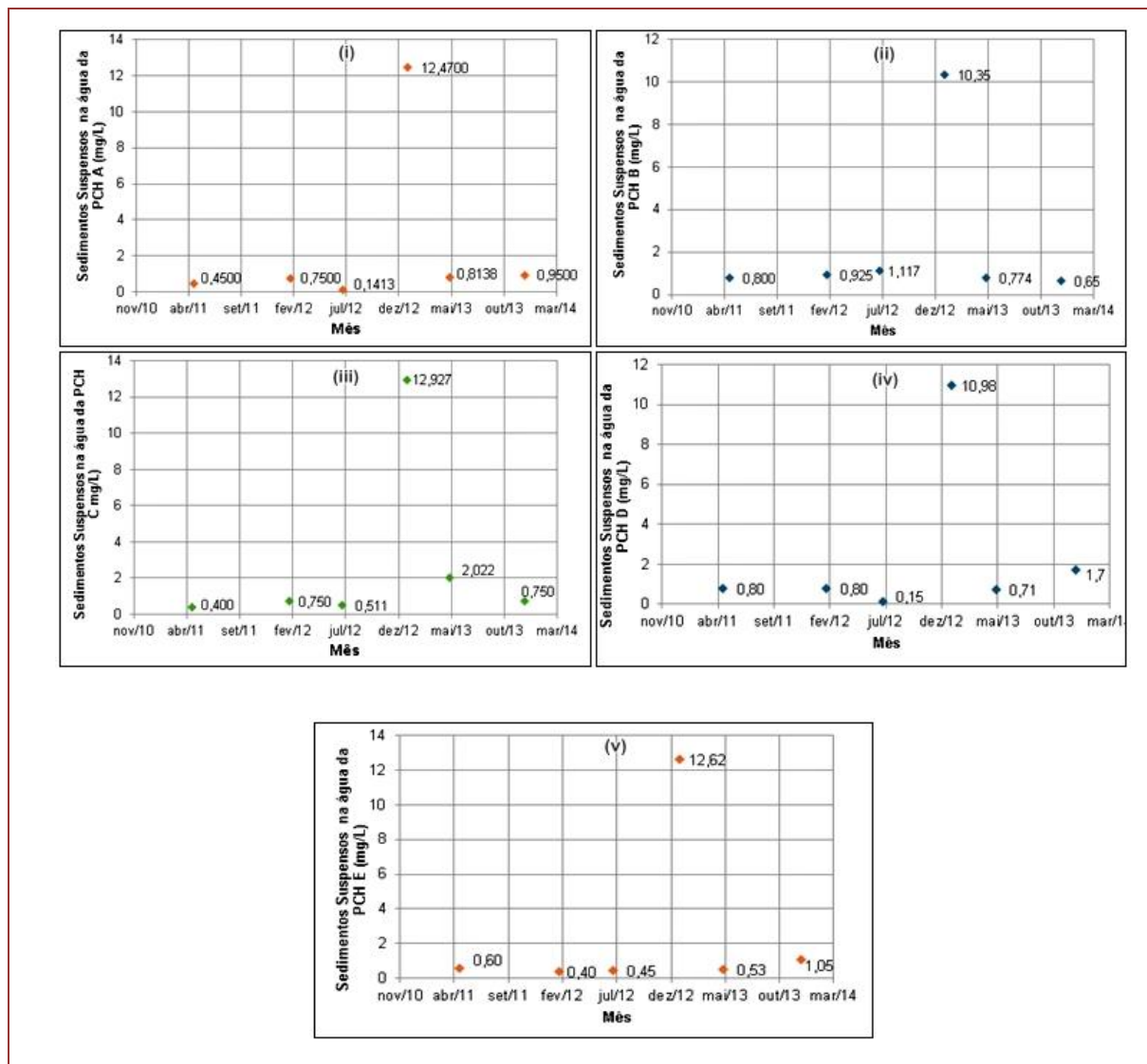
O sistema apresentou resposta hidrológica típica de regiões tropicais sazonais, com pico de vazão nos períodos chuvosos (verão). A regularidade relativa nos picos anuais sugere estabilidade hidrológica interanual moderada.

4.6. CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA ÁGUA DAS PCHS

A determinação foi realizada de acordo com a norma ASTM D3977 – *Standard Test Methods for Determining Sediment Concentration in Water Samples* (ASTM, 2010), reconhecida internacionalmente por sua precisão na quantificação de sólidos suspensos em amostras de água.

A Figura 10 (i), (ii), (iii), (iv) e (v) apresenta a concentração de sedimentos em suspensão registradas nas Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) **A**, **B**, **C**, **D** e **E** entre os anos de 2010 e 2014. Estes valores refletem as cargas de partículas finas transportadas na coluna d'água no momento das medições.

Figura 10 (i), (ii), (iii), (iv) e (v) – Resultados das concentrações de sedimentos suspensos nas PCHs



Fonte: Relatório Interno do Núcleo de Hidrometria da EESC – USP (2014)

Devido à velocidade da correnteza e à presença de fundo predominantemente rochoso no rio Juruena, não foi possível coletar amostras de sedimento de fundo na estação de monitoramento a montante.

4.6.1. CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS - PCH A (2010 - 2014)

A Figura 12 (i) apresenta a variação temporal da concentração de sedimentos suspensos (mg/L) na água da PCH A, no período de abril de 2011 a março de 2014.

Os valores obtidos indicam baixa turbidez na maior parte do período analisado, com exceção de um pico abrupto em dezembro de 2012, quando a concentração atingiu 12,47 mg/L, valor significativamente superior aos demais.

Nos demais meses, os resultados se mantiveram em níveis muito reduzidos, variando entre 0,14 mg/L (jul/12) e 0,95 mg/L (mar/14), evidenciando uma condição de boa

qualidade da água em termos de sólidos suspensos. Isso pode ser reflexo de práticas de conservação do solo a montante, cobertura vegetal preservada ou menor perturbação hidrossedimentológica naquele período.

O valor anômalo de dezembro de 2012 sugere um evento isolado de elevada carga sedimentar, possivelmente causado por: erosão superficial intensificada por chuvas torrenciais, desmatamento ou obras em áreas próximas ao curso d'água e atividades agrícolas mal manejadas na bacia hidrográfica.

4.6.2. CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS - PCH B (2010 - 2014)

Figura 12 (ii) ilustra a variação das concentrações de sedimentos suspensos (mg/L) na água da PCH B ao longo de diferentes campanhas de amostragem entre novembro de 2010 e março de 2014. Os dados indicam predomínio de baixas concentrações de sólidos suspensos, com valores inferiores a 1,2 mg/L na maioria dos pontos amostrados. A exceção notável ocorreu em dezembro de 2012, quando foi registrado um pico de 10,35 mg/L — valor significativamente superior aos demais.

Esse aumento pontual pode estar relacionado a eventos hidrossedimentológicos excepcionais, como fortes chuvas ou intervenções antrópicas na bacia de contribuição, aumentando a carga de material particulado na coluna d'água. Tal variação destaca a importância do monitoramento contínuo para a identificação de episódios críticos que podem comprometer a qualidade da água e a operação dos sistemas hidrelétricos.

A persistência de valores baixos em outras campanhas reforça a hipótese de estabilidade hidrológica no trecho monitorado, à exceção do evento isolado em 2012. A manutenção desses padrões ao longo do tempo é favorável à operação da usina hidrelétrica reduzindo o risco de assoreamento e desgaste mecânico nos equipamentos.

4.6.3. CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS - PCH C (2010 - 2014)

A Figura 12 (iii) evidencia os dados de concentração de sedimentos suspensos (mg/L) na água da Pequena Central Hidrelétrica PCH C, entre novembro de 2010 e março de 2014. Em geral, os valores permaneceram abaixo de 1 mg/L ao longo da maioria das campanhas, com exceção de dois episódios específicos: dezembro de 2012, com concentração de 12,927 mg/L, e maio de 2013, com 2,022 mg/L.

O pico registrado em dezembro de 2012 caracteriza uma anomalia significativa, sugerindo aporte súbito de sedimentos, provavelmente em função de eventos pluviométricos intensos, erosão acelerada na bacia de drenagem ou intervenções antrópicas como desmatamentos ou movimentações de solo nas proximidades do reservatório. A elevação secundária em maio de 2013 pode indicar um efeito residual ou continuidade da instabilidade hidrossedimentológica.

Nos demais meses analisados, as concentrações permaneceram entre 0,400 e 0,750 mg/L, caracterizando uma condição de baixa turbidez e relativa estabilidade ambiental. Tais níveis são compatíveis com padrões típicos de corpos hídricos pouco impactados, sendo favoráveis também à operação da PCH com menor risco de assoreamento e desgaste hidráulico.

4.6.4. CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS - PCH D (2010 - 2014)

A Figura 12 (iv) ilustra as variações na concentração de sedimentos suspensos (mg/L) na água da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) D ao longo de campanhas realizadas entre novembro de 2010 e março de 2014. Os dados evidenciam, em geral, baixa carga de sólidos suspensos, com valores oscilando entre 0,15 e 1,7 mg/L, excetuando-se o ponto de dezembro de 2012, no qual foi registrado um pico significativo de 10,98 mg/L.

Esse valor atípico de dezembro de 2012 provavelmente decorre de um evento hidrológico extremo, como enxurradas ou aumento abrupto no escoamento superficial associado à intensificação do uso do solo, desmatamentos ou obras na área da bacia. Tais eventos tendem a promover a mobilização de sedimentos e matéria particulada para o corpo hídrico, refletindo diretamente na qualidade da água e no regime de operação da usina.

Nos demais períodos analisados, a estabilidade das concentrações, notadamente nos anos de 2011, 2012 e 2013, com valores ao redor de 0,71 a 0,80 mg/L, indica um padrão de baixa turbidez e relativa preservação das condições ambientais do manancial.

4.6.5. CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS SUSPENSOS - PCH E (2010 - 2014)

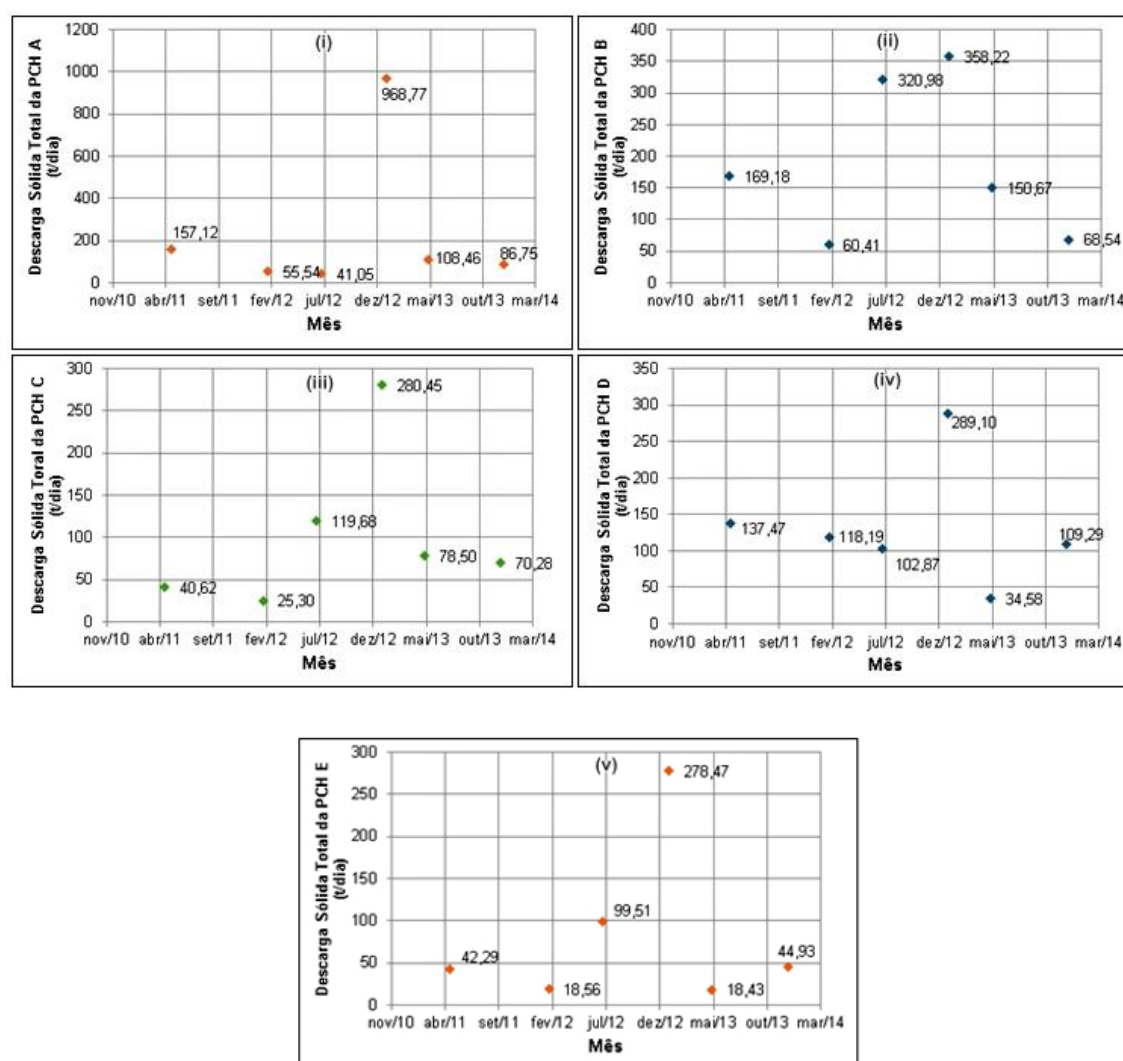
A Figura 12 (v) apresenta a série de dados sobre a concentração de sedimentos suspensos (mg/L) na água da Pequena Central Hidrelétrica PCH E entre novembro de 2010 e março de 2014. Observa-se que, ao longo do período, os valores permaneceram, em sua maioria, abaixo de 1,1 mg/L, indicando baixa carga de sólidos em suspensão no corpo hídrico.

Entretanto, em dezembro de 2012, foi registrada uma concentração anômala de 12,62 mg/L, valor substancialmente superior aos demais registros da série histórica. Esse pico indica um episódio crítico de aporte de sedimentos, possivelmente associado a eventos extremos de precipitação, erosão acentuada na bacia de drenagem, ou ainda atividades antrópicas intensas nas margens e áreas adjacentes ao reservatório, como desmatamento ou movimentação de solo.

Nos demais meses monitorados, as concentrações variaram de 0,40 a 1,05 mg/L, caracterizando uma condição de relativa estabilidade ambiental e baixo potencial de assoreamento, o que favorece a operação eficiente da usina com menor desgaste dos equipamentos hidráulicos.

4.7. DESCARGA SÓLIDA TOTAL NA PCHS A, B, C, D E E (2010 - 2014)

A estimativa da descarga sólida foi realizada com base nos dados de concentração de sedimentos suspensos e da vazão média diária, conforme metodologia descrita por Tucci (2012) e complementada por Dantas & Di Bernardo (2006), Método de Colby, representada na Equação 7 como suporte na norma ASTM D3977-97, que normatiza a determinação de sedimentos em suspensão. (Figura 11 (i), (ii), (iii), (iv) e (v)).

Figura 11 (i), (ii), (iii), (iv) e (v): Descarga Sólido Total nas PCHs A, B, C, D, E (2010 – 2014)

Fonte: Relatório Interno do Núcleo de Hidrometria da Escola de Engenharia de São Carlos.

4.7.1. DESCARGA SÓLIDA TOTAL NA PCH A (2010 – 2014)

A Figura 13 (i) apresenta os valores estimados de descarga sólida total (DST), expressos em toneladas por dia (t/dia), registrados na PCH A entre novembro de 2010 e março de 2014. A série demonstra uma predominância de valores baixos ao longo dos períodos amostrados, com exceção notável em dezembro de 2012, quando foi registrado o maior pico da série: 968,77 t/dia.

Esse aumento abrupto sugere a ocorrência de evento hidrossedimentológico extremo, provavelmente associado a chuvas intensas e aumento do escoamento superficial, intensificando o transporte de material particulado para o canal fluvial. Essa situação pode ter sido agravada por processos erosivos acelerados, desmatamento ou intervenções de uso do solo na bacia hidrográfica de contribuição da usina.

Nos demais períodos, os valores oscilaram entre 41,05 t/dia (julho de 2012) e 157,12 t/dia (abril de 2011), mantendo-se dentro de uma faixa considerada moderada de aporte

de sólidos. Destacam-se também os valores de maio de 2013 (108,46 t/dia) e março de 2014 (86,75 t/dia), que indicam descargas intermediárias, mas sem ultrapassar limites críticos.

A descarga sólida total é uma variável chave para avaliar o potencial de assoreamento dos reservatórios e o impacto sobre a vida útil das estruturas hidráulicas da usina. Valores elevados, como o de dezembro de 2012, exigem atenção especial para medidas de manejo de bacia e conservação de solos.

4.7.2. DESCARGA SÓLIDA TOTAL NA PCH B (2010 - 2014)

A Figura 13 (ii) representa os valores de descarga sólida total (DST) da PCH B, expressos em toneladas por dia (t/dia), obtidos entre novembro de 2010 e março de 2014. O comportamento dos dados ao longo do tempo revela três momentos distintos: períodos de baixa, moderada e alta carga de sedimentos transportados.

Os maiores valores foram observados em dezembro de 2012 (358,22 t/dia) e julho de 2012 (320,98 t/dia), indicando forte aporte de material sólido ao canal da usina. Esses picos podem estar diretamente relacionados a eventos extremos de precipitação e consequente intensificação do escoamento superficial, além de possíveis distúrbios no uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica de contribuição, o que favorece processos erosivos.

Em contrapartida, observam-se valores bem inferiores em fevereiro de 2012 (60,41 t/dia) e março de 2014 (68,54 t/dia), caracterizando momentos de menor aporte de sedimentos, associados a estabilidade hidrológica e maior proteção vegetal da bacia.

A média da maioria dos períodos situa-se em torno de 150 a 170 t/dia, como nos meses de abril de 2011 (169,18 t/dia) e maio de 2013 (150,67 t/dia), o que caracteriza uma condição intermediária de descarga sólida. Essa oscilação reforça a importância do monitoramento periódico da carga sedimentar, visando à prevenção do assoreamento e à garantia da operação eficiente da usina.

4.7.3. DESCARGA SÓLIDA TOTAL NA PCH C (2010 - 2014)

A Figura 13 (iii) exibe os valores de descarga sólida total (DST), em toneladas por dia (t/dia), na PCH C, obtidos em campanhas entre novembro de 2010 e março de 2014. Os dados revelam um comportamento predominantemente de baixa a moderada carga sedimentar, com um evento de pico registrado em dezembro de 2012.

O maior valor da série foi observado em dezembro de 2012, com uma descarga de 280,45 t/dia, indicando significativa mobilização de sedimentos — possivelmente causada por chuvas intensas, aumento do escoamento superficial ou intervenções antrópicas recentes na bacia hidrográfica (como supressão vegetal ou obras civis). Este valor representa um risco potencial de assoreamento e requer atenção para medidas de conservação do solo.

Nos demais meses, os valores variaram de 25,30 t/dia (fevereiro de 2012) a 119,68 t/dia (julho de 2012), com destaque para a estabilidade relativa nos anos de 2013 e 2014, com 78,50 t/dia (maio de 2013) e 70,28 t/dia (março de 2014), respectivamente. Esses valores refletem uma situação intermediária em termos de aporte sólido e indicam a relevância de manter o monitoramento contínuo.

A menor descarga foi verificada em fevereiro de 2012 (25,30 t/dia), refletindo condições hidrológicas mais estáveis e menor contribuição erosiva da bacia. A oscilação registrada na série reforça a importância da avaliação temporal para fins de planejamento e operação de reservatórios hidrelétricos de pequeno porte.

A metodologia de cálculo da descarga sólida total baseou-se na multiplicação da concentração de sedimentos suspensos pela vazão média diária, conforme procedimentos descritos por Tucci (2012) e respaldados pela norma ASTM D3977-97, que normatiza a quantificação de sedimentos em suspensão em corpos hídricos.

4.7.4. DESCARGA SÓLIDA TOTAL NA PCH D (2010 - 2014)

A Figura 13 (iv) apresenta os dados de descarga sólida total (DST) da PCH D, medidos em toneladas por dia (t/dia), entre novembro de 2010 e março de 2014. A série evidencia variações significativas ao longo do período, com destaque para o pico registrado em dezembro de 2012, quando o valor atingiu 289,10 t/dia.

Esse valor expressivo indica um episódio de elevada mobilização de sedimentos, com fortes indícios de ter sido causado por eventos hidrológicos extremos ou modificações intensas no uso do solo — como desmatamentos ou atividades agrícolas/mecanizadas — na bacia de drenagem da usina. A elevação abrupta da carga sólida nesse mês sugere risco acentuado de assoreamento e impacto direto na vida útil do reservatório.

Nos demais períodos, os valores oscilaram entre 34,58 t/dia (maio de 2013) e 137,47 t/dia (abril de 2011), representando uma condição de descarga moderada. Os dados de março de 2014 (109,29 t/dia) e julho de 2012 (102,87 t/dia) indicam que a bacia apresenta comportamento hidrossedimentológico variável, exigindo monitoramento contínuo para identificar tendências e prevenir impactos.

A menor descarga foi observada em maio de 2013, com 34,58 t/dia, o que reflete condições mais estáveis do ponto de vista climático e erosivo naquele período. Apesar disso, a amplitude entre os valores máximos e mínimos reforça a necessidade de medidas preventivas de manejo do solo na bacia.

4.7.5. DESCARGA SÓLIDA TOTAL NA PCH E (2010 - 2014)

A Figura X apresenta os valores da descarga sólida total (DST) da PCH E (Telegráfica), expressos em toneladas por dia (t/dia), com base em campanhas realizadas entre novembro de 2010 e março de 2014. A série temporal demonstra predominância de baixos valores de transporte sólido, com um pico isolado em dezembro de 2012.

O valor mais elevado foi registrado em dezembro de 2012, com 278,47 t/dia, refletindo um evento excepcional de incremento de sedimentos ao curso d'água. Tal ocorrência pode estar relacionada a chuvas intensas, eventos erosivos severos ou perturbações na cobertura vegetal da bacia hidrográfica. Esse tipo de pico representa alto risco para a operação da usina, podendo gerar assoreamento acelerado do reservatório e obstrução em estruturas hidráulicas.

Nos demais meses, os valores situaram-se em níveis significativamente mais baixos, como observado em maio de 2013 (18,43 t/dia) e fevereiro de 2012 (18,56 t/dia). Esse padrão de variação acentuada indica que a bacia da PCH E apresenta uma dinâmica

hidrossedimentológica sensível a eventos extremos, com tendência de estabilidade na ausência de chuvas ou perturbações antrópicas.

A média dos demais valores da série está na faixa entre 42,29 t/dia (abril de 2011) e 99,51 t/dia (julho de 2012), apontando para uma situação de transporte moderado de sedimentos em períodos regulares.

4.8. ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

A análise integrada dos dados revela que a descarga sólida total (DST) em cada PCH é resultado direto da interação entre a concentração de sedimentos suspensos e a vazão média do curso d'água. Embora concentrações elevadas estejam associadas a picos de DST, a vazão desempenha papel decisivo no volume total transportado (Figura 12).

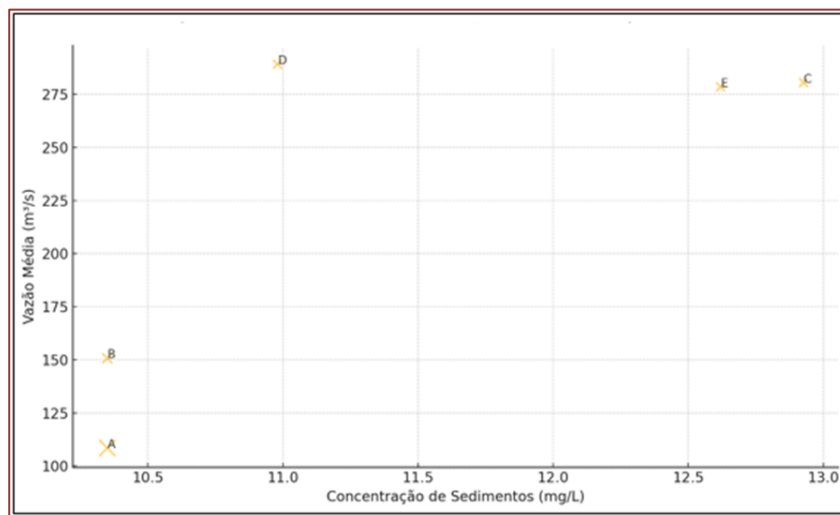
A PCH **A**, mesmo com concentração relativamente baixa de sedimentos (10,35 mg/L), apresentou o maior valor de DST (968,77 t/dia), evidenciando o efeito amplificador da vazão nesse contexto. Em contraste, PCHs como **B** e **D**, com concentrações semelhantes (cerca de 10,4–11 mg/L), apresentaram valores moderados de DST (entre 280–360 t/dia), pois operam com vazões mais estáveis ou levemente inferiores.

Já a PCH **C**, que apresentou a maior concentração entre as cinco usinas (12,927 mg/L), apresentou DST inferior à de A, reforçando que a carga sólida depende mais da vazão do que da concentração isoladamente. As PCHs **D** e **E** apresentaram comportamento semelhante, com concentrações elevadas (acima de 10 mg/L) e DST considerável, porém inferiores ao pico de **A**.

Essa relação tridimensional evidencia a necessidade de considerar múltiplos fatores simultaneamente: a concentração de sedimentos expressa o potencial de transporte, a vazão regula a capacidade de movimentação desses sedimentos, e a DST integra ambos em um indicador de impacto direto sobre as estruturas hidráulicas e o reservatório.

Além disso, eventos extremos observados nos meses de dezembro indicam padrões sazonais, provavelmente ligados à intensificação das chuvas no período chuvoso da região Centro-Oeste, o que deve ser considerado em planos de operação e manutenção das PCHs.

A integração entre concentração de sedimentos e vazão é determinante para o entendimento do transporte de sedimentos. Picos de DST são geralmente associados a chuvas intensas e atividades antrópicas, como desmatamento e uso inadequado do solo. O comportamento variável entre as PCHs evidencia a necessidade de monitoramento individualizado. Além disso, a sazonalidade também foi evidente, com os maiores valores ocorrendo em dezembro o que aponta para a importância do planejamento preventivo no período chuvoso.

Figura 12 – Análise cruzada: Sedimentos, vazão e descarga sólida nas PCHs A, B, C, D e F

Fonte: Relatório Interno do Núcleo de Hidrometria da EESC – USP (2014)

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos evidenciam que a descarga sólida total nas Pequenas Centrais Hidrelétricas está fortemente condicionada à dinâmica conjunta entre concentração de sedimentos e vazão média. A análise das cinco PCHs estudadas demonstrou que:

- 1) Vazões elevadas amplificam a carga sólida transportada, mesmo em cenários com concentrações moderadas;
- 2) Concentrações altas de sedimentos podem não representar risco significativo se a vazão estiver controlada;
- 3) Eventos extremos, especialmente no período chuvoso, são os principais responsáveis por picos de descarga sólida;
- 4) Existe alta variabilidade espacial e temporal no comportamento hidrossedimentológico das usinas analisadas;
- 5) A norma ASTM D3977 provou ser adequada para subsidiar estudos técnicos e estratégias operacionais em empreendimentos hidrelétricos.

Conclui-se que o monitoramento sistemático e contínuo desses parâmetros é essencial para a operação eficiente e segura das PCHs. Além disso, é imperativo que sejam adotadas práticas de gestão integrada da bacia hidrográfica, com foco na conservação do solo, controle da erosão e preservação das áreas de recarga, de modo a assegurar a sustentabilidade operacional das usinas e a qualidade dos corpos hídricos associados.

REFERÊNCIAS

- [1] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. D3977 **Standard Test Methods for Determining Sediment Concentration in Water Samples**. West Conshohocken, PA. 2010.
- [2] BRANCO, S.M.; ROCHA, A.A. *Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas*. Editora Edgard Blucher/CETESB, São Paulo, 1977.
- [3] CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de Avaliação de**

Assoreamento de Reservatórios. Brasília, ANEEL, 2000.

- [4] Centrais Elétricas Matogrossenses S.A (CEMAT) Cinquenta anos da Implantação da Energia Elétrica em Mato Grosso. Cuiabá AMISCIM, Carlini & Caniato Editorial. 2011. ISBN. 978-85-8009-036-9. 144p.
- [5] COIADO, E.M., Assoreamento de Reservatórios, In: PAIVA J.B.D.; PAIVA E.M.C.D. (Orgs.), **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, p. 395-426, 2001.
- [6] DANTAS, E. B.; DI BERNARDO, L. **Qualidade da água e controle de sedimentos em reservatórios de usinas hidrelétricas**. In: REBOUÇAS, A. C. et al. (Orgs.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras, 2006.
- [7] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Estudo de Componente Indígena da UHE Castanheira. MRS Estudos Ambientais 2017.
- [8] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Estudos de inventário hidrelétrico da Bacia do Rio Juruena: relatório final. Volume 25, Apêndice E – Avaliação ambiental integrada da alternativa selecionada. Tomo 1/3 – Texto – Parte 1. Rio de Janeiro: EPE, 2010.
- [9] GAIDZINSKI, V.H. A Tecnologia da Informação no Chão de Fábrica: As Novas Ferramentas e a Gestão Integrada da Informação (2003). Dissertação (Mestrado) - UFSC, Florianópolis.
- [10] IBGE. Instituto brasileiro de geografia e estatística. Biblioteca. Acervo dos municípios brasileiros. 2025
- [11] KRAMER D. O, L. **O processo de poluição ambiental e alimentar por agrotóxicos em municípios da bacia do rio Juruena, Mato Grosso**. Dissertação (mestrado), 248 páginas, Universidade Federal do Mato Grosso, Instituto de Saúde Coletiva, Programa de Pós-graduação em Saúde Coletiva, Cuiabá, 2016.
- [12] MAUAD, F. F.; FERREIRA, L. C.; TRINDADE, T. C. G. **Energia renovável no Brasil: análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras**. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, 2017.
- [13] MIRANDA, R. B.; RUEZZENE, C. B.; SANTOS, B. B.; MAUAD, F. F. **Batimetria e medição de vazão na Bacia do rio Ji-Paraná – RO**. As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 2. Editora Atena, 2019.
- [14] MORAIS, F. M.; PINOTTI, A. J.; KNOLSEISEN, A. B.; NOGUEIRA, A. Sistema supervisor didático para monitoramento de uma pequena central hidrelétrica.: **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia** - COBENGE 2008At: São Paulo, capital.
- [15] OPERAÇÃO AMAZÔNIA NATIVA (OPAN). Boletim de pressões e ameaças às terras indígenas na bacia do Rio Juruena. Boletim de pressões e ameaças às terras indígenas na bacia do Rio Juruena. Cuiabá, abril de 2024.
- [16] SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R.V.B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. C. **Hidrometria Aplicada**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, Editora Lactec. 2001. 372p. ISBN: 8588519011
- [17] TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2012. 944 p. ISBN: 978857025924-0

Autores

JOSÉ HENRIQUE PORTO SILVEIRA (ORGANIZADOR)

Bacharel e licenciado em Psicologia pela UFMG, Especialização em Percepção e Planejamento Urbano. Mestre em Gestão e Auditoria Ambiental, especialização em educação ambiental. Consultor em percepção e educação ambiental. Sócio diretor da Alternativa Educação e Manejo Ambiental.

ANA CAROLINA PIAZZI FUHR

Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

ANA CAROLINA SOKOLONSKI

Mestre em Mecatrônica, Bacharel em Ciência da Computação, Professora de Ciência da Computação do IFBA

ANTENOR DE OLIVEIRA AGUIAR NETTO

Graduado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal da Bahia (1989), Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem) pela Universidade Estadual Paulista (1993) e Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem) pela Universidade Estadual Paulista (1997). Pós-doutor em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Santa Catarina (2010) e pelo Instituto de Agricultura Sustentável na Espanha (2016). Atualmente é Professor Titular da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Atuou como coordenador do curso de Engenharia Agrônoma entre o ano de 1997 e 1999. Foi coordenador de pesquisa da UFS no período de 1999 a 2004 e dirigiu o Mestrado em Recursos Hídricos da UFS, entre 2012 e 2014. No momento, está como Coordenador do Mestrado em Rede ProfÁgua na UFS. Trabalha na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Irrigação e Drenagem, atuando principalmente nos seguintes temas: manejo de irrigação, irrigação por aspersão e evapotranspiração. No campo multidisciplinar pesquisa, também, na área de Recursos hídricos: modelagem ambiental.

ELMER GARCÍA SAMAMÉ

Engenheiro Agrícola pela Universidade Nacional Pedro Ruiz Gallo e Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Nacional Agrária La Molina (Peru). Possui 20 anos de experiência profissional em temas relacionados à hidrologia superficial, gestão de recursos hídricos e organizações de usuários de água, experiência adquirida em diferentes regiões do Peru. Ex-funcionário da Autoridade Nacional da Água, onde atuou como profissional especialista, Administrador Local de Água e Diretor da Autoridade Administrativa de Água. Atualmente, exerce atividades como consultor independente em recursos hídricos.

ELVIS CARISSIMI

Professor na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

FLÁVIA DE CAMPOS MARTINS

É licenciada em Ciências Biológicas pela UNESP, mestre em Ecologia e Recursos Naturais pela UFSCar e doutora em Ecologia pela UnB. Atua no ensino de graduação e pós-graduação, incluindo gestão acadêmica. Tem experiência em pesquisa em Ecologia de Comunidades e Populações de Aves e Educação para a Conservação, abordando estrutura de comunidades, monitoramento de ecossistemas aquáticos, bioindicadores, dimensões humanas, estudos de gênero, ensino de ecologia e educação ambiental. É professora adjunta da UPE (Campus Petrolina) e coordena o Projeto Ecoar (@projetoecoarr), voltado à divulgação científica socioambiental.

FREDERICO FÁBIO MAUAD

Graduação em Engenharia Agrícola (1990), Especialização em Projeto e Construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas - Eletrobrás/UNIFEI, Mestrado em Engenharia Mecânica- Energia pela Universidade Federal de Itajubá (1995), PDEE Junto ao Instituto Superior Técnico - Lisboa 1998. Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos pela Universidade Estadual de Campinas (2000. Livre-Docente pela Universidade de São Paulo na área de conhecimento de planejamento de sistemas hidroenergéticos (2013)

JANDIRA LEICHTWEIS

Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

LUCAS PEREIRA DA SILVA FREITAS

Licenciado e bacharel em Ciências Sociais pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Tecnólogo em Gestão de Recursos Humanos pelo SENAC, licenciado em Filosofia pela Claretiano, graduado em História e Letras-Inglês pela Faculdade IBRA e mestre em Ciências da Religião pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

LUISE BARRETO RÖPKE

Graduanda do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

MARIA FÁTIMA DOS SANTOS

Possui graduação em licenciatura em ciências biológicas pela Universidade Federal de Mato Grosso. Especialização em Educação Ambiental. Faculdades Integradas Mato-Grossense de Ciências Sociais e Humanas, ICE. Especialização em Saneamento Ambiental e Mestre em Recursos Hídricos pela UFMT. Mestre em Recursos Hídricos pela UFMT. Pesquisadora a nível de Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede BIONORTE (PPG-BIONORTE)

MATEUS DOS SANTOS SILVA

Estudante de Bacharelado em Sistemas de Informação

PRISCILA NATASHA KINAS

Com uma trajetória acadêmica e profissional sólida, sou Professora titular na Universidade do Estado de Santa Catarina, com foco em Ciências Ambientais. Minha formação inclui Licenciatura Plena em Ciências Biológicas (Centro Universitário Leonardo da Vinci, 2007), Mestrado em Engenharia Ambiental (FURB, 2012) e Doutorado em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental (UDESC, 2021). Minha expertise se concentra em monitoramento e elaboração de programas ambientais, além de gestão de resíduos e sustentabilidade. Tenho experiência prática em abordar desafios ambientais complexos e desenvolver soluções eficazes. Além da minha atuação na área ambiental, sou apaixonada pelo universo cervejeiro. Sou Mestre Cervejeira (Pós-Graduação em Tecnologia Cervejeira e ESCM), BierSommelier Doemens / ESCM, Mestre em Destilados, e possuo diversas qualificações práticas, como Cervejeiro Prático em Adega, Malteiro e Cervejeiro Prático de Brassagem, complementadas por um curso de graduação/tecnológico em Cervejaria. Essa combinação de conhecimentos me permite uma visão multidisciplinar e inovadora, especialmente na intersecção entre sustentabilidade e processos produtivos

RENATO BILLIA DE MIRANDA

Graduado em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - USP (2008), Mestre (2011) e Doutor (2015) em Ciências da Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - USP

RHAYANE CARVALHO ROQUE

Engenheira Ambiental graduada pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. Mestranda no PPG-SEA, na Escola de Engenharia de São Carlos da USP, área de concentração de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

RICARDO DAVID CASTILLO SALAZAR

Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo (2004), formação técnica em Mecânica de Manutenção de Equipamentos Industriais pelo SENATI (1994) e mestrado em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Sergipe (2016). Atualmente, exerço o cargo de Chefe da Administração Local da Água Caplina Locumba na Autoridade Nacional da Água (ANA – Peru). Já atuei como Chefe das Administrações Locais da Água de Chicama e Chancay Lambayeque. Tenho experiência consolidada na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Recursos Hídricos e Irrigação, atuando principalmente em atividades técnicas e de assessoramento em Gestão e Planejamento de Recursos Hídricos, incluindo assessoria a Organizações de Usuários de Água no âmbito da Lei 29338 e Lei 31801, elaboração de estudos de delimitação de faixas marginais, preparação de expedientes técnicos para obtenção de direitos de uso da água, bem como a concepção e implementação de projetos de irrigação.

ROSE MARY TEIXEIRA DE LEMOS

Graduada em Geologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); mestrado em Geologia e Geofísica Marinha pela Universidade Federal Fluminense (UFF); pós-graduada em Análise de Bacias para Petróleo e Gás, pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) e MBA em Gerenciamento de Projetos pelo Instituto Brasileiro de Mercado de Capitais (IBMEC-RJ). Atualmente pesquisadora a nível de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP/EESC); Integrante do núcleo de pesquisa Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA/EESC/USP) na área de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos

TORIBIO SEBASTIÁN SANTAYANA VELA

Engenheiro Agrícola e Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos. Professor Titular da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Nacional Agrária La Molina (1993-2023). Docente nos programas de mestrado em Recursos Hídricos e Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas (UNALM-EPG). Decano da Faculdade de Engenharia Agrícola (1996-1999). Especialista em recursos hídricos, com 45 anos de experiência profissional.

WIULLY LUAN VALVERDE DE QUEIROZ

Engenheiro Florestal - Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) Msc. Ciências Florestais – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) Especialista em Georreferenciamento de Imóveis Rurais - Faculdade Unyleya Coordenadoria de Infraestrutura – CINF Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Mato Grosso - SEMA

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson



<https://www.facebook.com/editorapoisson>

