

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)



Engenharia Sanitária e Ambiental:

Gestão de recursos hídricos e saneamento

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)



Engenharia Sanitária e Ambiental:

Gestão de recursos hídricos e saneamento

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2025 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2025 O autor

Copyright da edição © 2025 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelo autor.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo da obra e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do autor, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos ao autor, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Os manuscritos nacionais foram previamente submetidos à avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial desta editora, enquanto os manuscritos internacionais foram avaliados por pares externos. Ambos foram aprovados para publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
 Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Colégio Militar Dr. José Aluisio da Silva Luz / Colégio Santa Cruz de Araguaina/TO
 Profª Drª Cristina Aledi Felsemburgh – Universidade Federal do Oeste do Pará
 Prof. Dr. Diogo Peixoto Cordova – Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul
 Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
 Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
 Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
 Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
 Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Dr. Hauster Maximiler Campos de Paula – Universidade Federal de Viçosa
 Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
 Profª Drª Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento – Universidade Estadual de Santa Cruz
 Profª Drª Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
 Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
 Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
 Prof. Dr. Leonardo França da Silva – Universidade Federal de Viçosa
 Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
 Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
 Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira – Universidade Federal do Espírito Santo
 Profª Drª Maria Iaponeide Fernandes Macêdo – Universidade do Estado do Rio de Janeiro
 Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
 Profª Drª Mariana Natale Fiorelli Fabiche – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
 Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
 Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
 Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
 Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
 Profª Drª Priscila Natasha Kinas – Universidade do Estado de Santa Catarina
 Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
 Prof. Dr. Rafael Pacheco dos Santos – Universidade do Estado de Santa Catarina
 Prof. Dr. Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
 Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
 Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
 Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharia sanitária e ambiental: gestão de recursos hídricos e saneamento

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	<p>Engenharia sanitária e ambiental: gestão de recursos hídricos e saneamento / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-3255-5 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.555250703</p> <p>1. Engenharia sanitária e ambiental. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 628</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná – Brasil
 Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DO AUTOR

Para fins desta declaração, o termo 'autor' será utilizado de forma neutra, sem distinção de gênero ou número, salvo indicação em contrário. Da mesma forma, o termo 'obra' refere-se a qualquer versão ou formato da criação literária, incluindo, mas não se limitando a artigos, e-books, conteúdos on-line, acesso aberto, impressos e/ou comercializados, independentemente do número de títulos ou volumes. O autor desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação à obra publicada; 2. Declara que participou ativamente da elaboração da obra, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final da obra para submissão; 3. Certifica que a obra publicada está completamente isenta de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação da obra publicada, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. A editora pode disponibilizar a obra em seu site ou aplicativo, e o autor também pode fazê-lo por seus próprios meios. Este direito se aplica apenas nos casos em que a obra não estiver sendo comercializada por meio de livrarias, distribuidores ou plataformas parceiras. Quando a obra for comercializada, o repasse dos direitos autorais ao autor será de 30% do valor da capa de cada exemplar vendido; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), a editora não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como quaisquer outros dados dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O *e-book*: “Engenharia Sanitária e Ambiental: Gestão de recursos hídricos e saneamento” é constituído por cinco capítulos de livros que investigaram aspectos relacionados: *i*) saúde e bem-estar dos produtores de fumo (fumicultores) do Rio Grande do Sul; *ii*) avaliação da qualidade do serviço de água e esgoto do município de Pratápolis/MG; *iii*) planejamento urbano desordenado e os impactos nos corpos hídricos; *iv*) implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva no IFPA/Conceição do Araguaia e; *v*) aplicação da fitorremediação em águas residuárias da indústria de papel e celulose.

O primeiro capítulo realizou uma revisão da literatura em relação a saúde das famílias que cultivam folhas de fumo, para abastecer a indústria de tabaco, que residem no estado do Rio Grande do Sul. Os estudos demonstraram uma prevalência de ideação suicida e distúrbios psicológicos entre os homens, podem estar associados ao maior contato e exposição a diferentes agrotóxicos organofosforados aplicados durante o cultivo de folhas de fumo, bem como as condições precárias de trabalho.

O capítulo 2 avaliou a qualidade dos serviços de água e esgoto do município de Pratápolis/MG em relação ao estabelecimento do novo Marco Legal do Saneamento Básico. Os resultados apontaram que os serviços oferecidos atendem as exigências estabelecida pela legislação vigente, sendo proposto novas sugestões e diretrizes com o intuito de melhorar ainda mais a prestação de serviço e atender as metas no novo Marco Legal do Saneamento.






O terceiro capítulo investigou os inúmeros impactos ambientais ocasionados por loteamentos nas proximidades de corpos hídricos, no município de Peruíbe/SP. A revisão da literatura demonstrou alterações significativas em relação aos aspectos físicos, químicos e biológicos dos recursos hídricos em relação a legislação vigente. Sendo necessário o desenvolvimento de ações mais efetivas, a fim de proteger os corpos hídricos e melhorar o desenvolvimento sustentável no município paulista.

O capítulo 4 apresentou um estudo de viabilidade para se implementar um sistema de coleta de água de chuva no IFPA localizado na cidade de Conceição do Araguaia/PA. Os resultados indicaram uma redução de até 30% no consumo de água, demonstrando ser uma alternativa sustentável e econômica para a instituição de ensino.

Por fim, o quinto capítulo realizou uma revisão da literatura em relação a aplicação de fitorremediação para remoção de inúmeros metais pesados presentes em águas residuárias provenientes da indústria de papel e celulose. Os resultados são promissores, mas necessitam de maiores estudos em termos de aplicação em larga escala, condições reais e a complexidade dos efluentes gerados.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países, a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

CAPÍTULO 1	1
IDEAÇÃO SUICIDA E TRANSTORNOS MENTAIS DECORRENTES DA INTERAÇÃO COM AGROTÓXICOS NO CULTIVO DE <i>Nicotiana tabacum</i> NO ÂMBITO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAMAQUÃ-RS: UMA REVISÃO	
Luciana Rodrigues Nogueira Gabriela da Silva Rodrigues Manuella Lisackoski	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5552507031	
CAPÍTULO 2	12
OCUPAÇÕES SEM PLANEJAMENTO E SEUS DANOS AOS CORPOS HÍDRICOS DO ENTORNO - ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE PERUÍBE	
Rodrigo Augusto Ferreira de Brito Paulo da Silva Juliana Valitutti Romero	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5552507032	
CAPÍTULO 3	43
ÁGUA, ESGOTO E DRENAGEM DE PRATÁPOLIS/MG: DIAGNÓSTICO E PERSPECTIVAS FRENTE AO MARCO LEGAL DO SANEAMENTO BÁSICO DE 2020	
Vinícius Augusto Ribeiro Borges	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5552507033	
CAPÍTULO 4	65
VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA - CONCEIÇÃO DO ARAGUAIA-PA	
Kariny Silva de Oliveira Mirian Santos Alves Ana Paula Brandão Leal Eva Silvestre Araújo Jheiry Barbosa dos Santos Adria Lorena de Moraes Cordeiro Antônio Jorge Silva Araújo Junior Addyson Macedo Silva Laila Rover Santana	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5552507034	
CAPÍTULO 5	80
FITORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE PRODUÇÃO DE CELULOSE NO CONTEXTO DE REMOÇÃO DE METAIS PESADOS	
Eder Carlos Lopes Coimbra Alisson Carraro Borges	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.5552507035	
SOBRE O ORGANIZADOR	101

ÍNDICE REMISSIVO..... 102

IDEAÇÃO SUICIDA E TRANSTORNOS MENTAIS DECORRENTES DA INTERAÇÃO COM AGROTÓXICOS NO CULTIVO DE *Nicotiana tabacum* NO ÂMBITO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAMAQUÃ-RS: UMA REVISÃO

Data de submissão: 25/02/2025

Data de aceite: 05/03/2025

Luciana Rodrigues Nogueira

<http://lattes.cnpq.br/1766144731238366>

Gabriela da Silva Rodrigues

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Sul Rio Grandense Campus
Camaquã Curso Técnico Integrado em
Controle Ambiental Camaquã
<http://lattes.cnpq.br/8223406743718199>

Manuella Lisackoski

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Sul Rio Grandense Campus
Camaquã Curso Técnico Integrado em
Controle Ambiental Camaquã
<http://lattes.cnpq.br/2513023609229583>

***“Todo mundo é um gênio.
Mas, se você julgar um peixe
por sua capacidade de subir
em uma árvore, ela vai passar
toda a sua vida acreditando
que ele é estúpido.”***

Albert Einsten

RESUMO: O Brasil é o segundo maior produtor das folhas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) no mundo, sendo o Rio Grande

do Sul responsável pela maioria da produção. A baixa na demanda do produto afeta principalmente as famílias produtoras, extremamente dependentes dessa cadeia produtiva. Possuindo os maiores índices de mortes autoprovocadas, os municípios fumicultores do Rio Grande do Sul estão entre aqueles que mais registram suicídios e contabilizam, ao longo dos anos, índices superiores à média nacional. Pensamentos e tentativas de suicídio são problemas de saúde mental entre os fumicultores, os quais também estão associados com as intoxicações por agrotóxicos no meio rural. Considerando a produção de tabaco uma cultura extremamente predominante no cenário brasileiro, este projeto objetivou compreender, no âmbito da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, as condições de trabalho sob as quais a fumicultura é desenvolvida, suas relações com as intoxicações por agrotóxicos e a precarização da saúde mental e física dos trabalhadores. Trata-se de uma revisão bibliográfica de literatura, realizada por meio de artigos de bases de dados Portal de Periódicos Capes, Scientific Electronic Library Online (SCIELO), Sciencedirect, National Library of Medicine, Agricultural Health Study. Esta revisão evidenciou, com

base nos 17 artigos que satisfizeram o objetivo da pesquisa, os seguintes resultados: foram implementadas políticas de incentivo à diversificação de cultivos; o suicídio é um problema de saúde pública e suas taxas permaneceram consistentemente maiores entre homens do que mulheres; as taxas de suicídio foram positivamente associadas a baixa escolaridade, dificuldade para pagar dívidas e ser tabagista; quanto à saúde mental dos fumicultores, a maioria relata ideação suicida e alega já ter tentado suicídio em algum momento da vida; o contato com agrotóxicos organofosforados tem relação com o desenvolvimento de distúrbios psicológicos. A literatura atual reconhece que as exposições aos agrotóxicos podem afetar adversamente a saúde mental, no entanto, pesquisadores do campo ainda possuem dificuldade em mensurar o nível de exposição ou intoxicação e suas consequências. A revisão de literatura realizada permite afirmar que a pesquisa epidemiológica sobre as intoxicações por agrotóxicos no Brasil ainda é uma área com várias lacunas a serem preenchidas. Apesar da viabilidade de produção e da probabilidade de ganhos financeiros, foram observados efeitos nocivos do fumo na saúde humana. Há a necessidade de aprofundamento de pesquisas sobre suicídio nesta vertente agrícola para a ampliação do entendimento e providências de várias áreas ligadas à saúde do trabalhador. Conclui-se que, a redução da exposição a agrotóxicos e à nicotina pode reduzir, bem como melhorar as condições socioeconômicas, comportamentos suicidas e melhorar a saúde mental dos trabalhadores rurais.

PALAVRAS-CHAVE : Tabaco mental, ideação suicida, saúde do trabalhador e agrotóxicos.

1 | INTRODUÇÃO

O tabaco (*Nicotina Tabacum*) consiste em uma planta cuja composição possui uma substância chamada nicotina, capaz de provocar diferentes reações no organismo humano (Kraiczek & Antoneli, 2012). Apesar de consistir em uma alternativa de fonte de renda, principalmente para as áreas rurais, a fumicultura apresenta malefícios tanto para o meio ambiente, pela poluição dos cursos hídricos devido aos inúmeros agroquímicos que são aplicados na cultura e a ocorrência de desmatamento em atendimento aos períodos de secagem, como para a saúde dos próprios fumicultores que desempenham as etapas do processo, incluindo o corte da vegetação (Castro & Monteiro, 2015; Dutra & Hilsinger, 2013).

O Rio Grande do Sul responde por metade da produção nacional do fumo em folha (*Nicotiana Tabacum*), sendo que a Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã responde a 28% do produzido no estado. A Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, está localizada na Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas, e possui área de 21.657 km², população estimada de 245.646 habitantes (2020), sendo 124.740 habitantes em áreas urbanas e 120.907 habitantes em áreas rurais (Sema RS). A cultura do tabaco não é uma cultura disseminada em todos os municípios da Bacia, sendo Camaquã, Canguçu e São Lourenço do Sul os maiores produtores no ano de 2013, segundo informações da PAM/IBGE.

Diversos estudos atribuem a baixa escolaridade de trabalhadores rurais à falta de cuidado quanto ao manuseio de substâncias tóxicas, mas com o surgimento de novas pesquisas, foram atribuídas outras problemáticas, como questões socioeconômicas. Com

o crescimento do uso de defensivos agrícolas, houve também um aumento no número de lavouras de tabaco, para muitos, se tornou inconcebível a produção sem o uso dessas substâncias, apesar dos riscos evidenciados e alternativas agroecológicas, os produtores rurais não abriram mão da aplicabilidade de agrotóxicos. De acordo com Mascarenha (2014, p. 4) “outro aspecto perceptível no agricultor é o fator cultural, evidenciado por crenças que vêm sendo propagadas por gerações”.

O Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores das folhas de tabaco no Brasil e, conseqüentemente, a baixa na demanda do tabaco afeta principalmente as famílias produtoras, extremamente dependentes dessa cadeia produtiva. O que acarreta no surgimento de distúrbios psicológicos como: depressão, transtorno afetivo bipolar, e outras psicoses, podendo levar à ideações suicidas devido ao transtorno psicológico sofrido. “Estudos brasileiros e em outros países têm destacado os elevados custos para a saúde humana, ambiental e mesmo perdas econômicas na agricultura, devido ao uso de pesticidas” (GARCIA, 1998, p.383-7).

O uso de agrotóxicos tem se tornado indispensável para viabilizar uma boa produção do cultivo da *Nicotiana tabacum*, mantendo-a livre das pragas que atrapalham seu desenvolvimento. Seu uso inadequado, no entanto, vem trazendo diversos danos ao meio ambiente e à saúde do trabalhador rural, expondo-o a riscos ocupacionais. Um assunto negligenciado, que justifica a importância deste projeto com base na revisão bibliográfica, que objetiva alertar e convidar à reflexão tanto a classe acadêmica, quanto à sociedade como um todo.

Esta discussão parte das seguintes problemáticas: “Qual a relação do uso de agrotóxicos com as taxas de ideações suicidas, desejos, planos e morte?” e, “Há estudos atualizados, de base populacional, sobre as características da utilização ocupacional de agrotóxicos no cultivo do tabaco e às intoxicações causadas pelos mesmos?”.

2 | REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com o SINDITABACO (2019) a produção de tabaco no Sul do país é realizada em pequenas propriedades, com área média de 14,6 hectares e, destes, 17% são dedicados ao cultivo, representando 53,2% da renda familiar. A atividade é propagada como vantajosa, tanto pelo valor de mercado das folhas de tabaco quanto pela comodidade oferecida pelo sistema integrado de produção.

Além da fumicultura ser prejudicial à saúde dos trabalhadores, o consumo do produto final, o cigarro, também traz diversos malefícios. Estudo realizado na Região Sul do Brasil com famílias de fumicultores e de não fumicultores apontou que 36,4% conviviam com fumantes no domicílio, sendo a maior prevalência de fumantes (39,4%) entre os agricultores que cultivam o tabaco, com média de 1,3 pessoa fumante por família (Cargnin, Marcia Casaril dos Santos et al).

No período da plantação do tabaco até a colheita todas as atividades são realizadas sob céu aberto, expondo o trabalhador ao risco de doenças provocadas pela radiação solar, como câncer de pele. Além disso, a atividade é marcada pelo uso considerável de pesticidas e outros agroquímicos, podendo provocar intoxicações agudas e crônicas (Silveira, 2015; Martins, Rener, Corbelini, Pappen & Krug, 2016; Reis et al., 2017). A exposição a agrotóxicos traz sofrimento mental e esgotamento de famílias agricultoras que garantem ao país liderança mundial no mercado de exportação de tabaco (A Pública, 2022). Às fumageiras (indústrias responsáveis pela comercialização e exportação de tabacos e seus subprodutos), compete a assistência técnica, a garantia de comercialização da safra e a concessão de financiamentos para investimentos na produção. Por outro lado, o produtor de tabaco é obrigado a utilizar os insumos determinados pela fumageira, arcar com os custos dos meios de trabalho, sujeitar-se à exposição de agrotóxicos e entregar ao final da safra a produção determinada, ficando dependente do preço pago pelo tabaco (Murakami et al., 2017; Zajonz, Villwock & Silveira, 2017). Segundo Castro e Monteiro (2015) “nesse negócio oligopolista não há espaço para a valorização dos trabalhadores diante da rentabilidade que este produz”.

Devido aos problemas, principalmente vinculados à saúde, esforços mundiais e locais têm sido realizados para reduzir a produção e o consumo do tabaco (Zajonz et al, 2017). Há uma política pública denominada Programa Nacional de Diversificação em Áreas Cultivadas com Tabaco (PNDACT), criada após o Brasil ter ratificado, em 2005, a Convenção Quadro para o controle do tabaco (CQT), o primeiro tratado internacional de saúde pública firmado no mundo. O artigo 17 da Convenção menciona, especificamente, sobre o desenvolvimento de alternativas de cultivo, visto que uma diminuição de consumo de tabaco em nível mundial significaria uma baixa na demanda de produção das folhas, situação que de fato é observada hoje, 17 anos depois.

Um dos problemas apontados é a falta de informações sobre o consumo de agrotóxicos e a insuficiência dos dados sobre intoxicações por estes produtos (FARIA et al, 2007). A principal questão envolvendo a classificação toxicológica é que ela reflete basicamente a toxicidade aguda e não indica os riscos de doenças de evolução prolongada como, por exemplo, câncer, neuropatias, hepatopatias, problemas respiratórios crônicos e outros. Existem classificações internacionais sobre riscos de câncer e de neurotoxicidade dos agrotóxicos (LARINI et al, 1999).

GARCIA et al, 2005 afirma que deve-se reconhecer que “apesar dos avanços científicos, há limites técnicos para as avaliações toxicológicas e ambientais que implicam em diversos graus de incertezas e insuficiência de informações, que não permitem uma análise de risco perfeitamente conclusiva”.

3 | OBJETIVO

Analisar e comparar estudos sobre o cultivo de *Nicotiana tabacum* e suas relações com os problemas ambientais e de saúde pública. Verificar se existem estudos que relacionem o uso de agrotóxicos no tabaco a doenças mentais em fumicultores. Pesquisar, compreender e difundir os estudos já existentes na área à população local destacando a importância e relevância do tema.

4 | MÉTODOS

Para o desenvolvimento acerca da problematização apresentada neste trabalho, foi utilizado o método de revisão bibliográfica de literatura, com bases de dados Portal de Periódicos Capes, Scientific Electronic Library Online (SCIELO), Sciencedirect, National Library of Medicine, Agricultural Health Study.

As pesquisas foram realizadas durante o período de 4 de julho de 2022 a 4 de dezembro de 2022. O período de publicação compreendeu os anos 2007 a 2022.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontradas 17 publicações que satisfizeram o objetivo da pesquisa.

Após a análise das publicações, o número de publicações relacionadas a relação do uso de agrotóxicos com as taxas de ideações suicidas, desejos, planos e morte foram: 9 artigos científicos e 1 dissertação.

O número de publicações encontradas relacionadas ao cultivo de tabaco no âmbito da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã foram: 2 artigos científicos.

Após a análise dos documentos bibliográficos, pode-se observar 13 estudos que relatam intoxicações devido ao uso de agrotóxicos (Tabela 1).

Intoxicações causadas pelo uso de agrotóxicos

MEYER (2007)
a FARIA et al. (2007)
FARIA et al. (2014)
YOSUB et al (2016)
CAMPOS et al (2016)
BORGES et al (2016)
GONZAGA et al (2020)
ALVARENGA et al (2020)
SZORTYKA et al. (2021)
COSTA et al (2021)
FASSA et al (2021)
GUIMARÃES et al (2021)

Tabela 1- utilização ocupacional de agrotóxicos no cultivo do tabaco e às intoxicações causadas pelos mesmos.

Meyer et al. (2007) aborda que o mecanismo de suicídio foi, em 57,9% dos casos, envenenamento com agrotóxicos. Estudo de Faria (2014) e Borges et al. (2016) sobre associação entre exposição a pesticida e taxa de suicídio no Brasil também reforçou a hipótese de que o uso de pesticidas e intoxicações por agrotóxicos aumentam as taxas de suicídio. Além disso, os resultados de CAMPOS et al. (2016) sugerem que a exposição a agrotóxicos pode estar relacionada a transtornos mentais. Os agricultores expostos a agrotóxicos, em relação aos envolvidos com práticas agroecológicas, tiveram maiores chances para ideação suicida, consumo problemático de álcool e episódios prévios de intoxicação aguda por agrotóxicos (GONZAGA et al., 2020).

Os indivíduos estão sujeitos à exposição e à contaminação por pesticidas, ainda que o produto traga informações grafadas em sua embalagem, informando quanto aos riscos e o modo correto de manuseio (ALVARENGA et al., 2020).

Esses resultados destacam que a exposição genotóxica a pesticidas afeta negativamente o perfil de expressão de importantes genes de reparo de DNA, favorecendo lesões cromossômicas irreparáveis (COSTA et al., 2021).

Fassa et al. (2021) evidencia que estudos com adultos indicam que o trabalho na agricultura principalmente na época da colheita, exige longas jornadas de trabalho, trabalho em posições incômodas, com movimentos repetitivos e esforço físico, envolvendo exposição a pesticidas, poeira e clima, e condições adversas. Além do exposto, o autor também destaca que o cultivo do tabaco também inclui a exposição à nicotina.

Guimarães et al. (2021) evidencia os riscos ocupacionais aos quais os fumicultores estão expostos e as formas de adoecimento, sendo as mais recorrentes a Doença da Folha Verde do Tabaco, doenças respiratórias, músculo esqueléticas e intoxicação por agrotóxicos.

Através de revisão bibliográfica, foi possível identificar estudos que relacionam fatores como: negligência por parte da indústria, falta de informação, baixa escolaridade e qualidade dos equipamentos com as consequências geradas devido a interação com agrotóxicos, obteve-se os seguintes resultados: quatro artigos abordam negligência; quatro artigos abordam falta de informação; quatro artigos abordam a qualidade de equipamentos e apenas um relata a baixa escolaridade (Tabela 2).

Negligência por parte da indústria	Falta de informação	Baixa escolaridade	Uso inadequado de equipamentos de proteção individual
FARIA et al (2007)	MEYER et al (2007)	COTRIM et al (2016)	MEYER et al (2007)
BORGES et al (2020)	ALVARENGA et al (2020)		BORGES et al (2016)
FARIA et al (2020)	FARIA et al (2020)		ALVARENGA et al (2020)
GUIMARÃES et al (2021)	GUIMARÃES et al (2021)		GUIMARÃES et al (2021)
4	4	1	4

Tabela 2- Negligência por parte da indústria tabagista, falta de informação, baixa escolaridade e uso inadequado de equipamentos de proteção individual e os estigmas a eles associados.

Borges et al. (2020) afirma que, através de análise de casos, foram identificados fatores políticos e jurídicos que dificultam a implementação da Convenção, incluindo a inibição regulatória produzida pela abertura de litígios por parte da indústria do tabaco, que utiliza-se das cláusulas de arbitragem investidor-Estado existentes em acordos bilaterais de investimentos. Guimarães et al. (2021) evidenciou a relação de exploração em que se encontram os agricultores, visto que estão sujeitos às determinações das empresas fumageiras.

Um dos problemas apontados é a falta de informações sobre o consumo de agrotóxicos e a insuficiência dos dados sobre intoxicações por estes produtos (FARIA et al., 2007). Os resultados encontrados no presente estudo evidenciam o apreciável grau de risco de agravos à saúde a que estão sujeitos trabalhadores rurais em contato com agrotóxicos e frisam a necessidade de que a informação sobre os riscos do uso inadequado deles seja adequadamente incorporada a políticas públicas de prevenção e saúde do trabalhador rural (MEYER et al., 2007).

Cotrim et al. (2016) afirma que foi possível constatar que esses agricultores, em sua maioria, possuem uma educação formal no nível fundamental, sendo que o ensino superior e técnico não se configura como uma realidade atual.

O Ministério Público do Trabalho, que tem a função de fiscalizar o uso adequado e a qualidade dos EPIs apurou que os equipamentos são de baixa qualidade, caros e são vendidos pelas empresas fumageiras, apesar da legislação brasileira obrigar o empregador a fornecer, gratuitamente, equipamentos adequados ao risco ocupacional desempenhado pelo trabalhador (BORGES et al., 2016). O índice de suicídio é um alerta para a população, sobretudo, para os profissionais de diversas áreas da saúde para propor uma intervenção multidisciplinar e trabalhar, principalmente, nos estudos e orientação sobre o uso correto dos EPIs, onde poderá reduzir o contato direto do trabalhador com o agrotóxico (ALVARENGA et al., 2020).

Foi possível identificar diversos estudos que tratam sobre temas como: ideação suicida, suicídio e tentativa de suicídio na fumicultura como efeito colateral do uso de agrotóxicos. Foram identificados 4 estudos que tratam de ideação suicida, 5 que abordam suicídio e 2 que relatam tentativa de suicídio (Tabela 3).

Ideação suicida	Suicídio	Tentativa de suicídio
BORGES et al., (2016)	MEYER et al (2007)	ALVARENGA et al (2020)
YOSUB et al (2016)	FARIA et al (2014)	SZORTYKA et al (2021)
GONZAGA et al (2020)	BORGES et al (2016)	
SZORTYKA et al (2021)	ALVARENGA et al (2020)	
	SZORTYKA et al. (2021)	
4	5	2

Tabela 3- relação do uso dos agrotóxicos na fumicultura com ideação suicida, suicídio e tentativa de suicídio.

Yosub et al. (2016) afirma que ao se tratar de fatores ocupacionais que afetam a depressão e ideação suicida, a neurotoxicidade aumenta significativamente tanto depressão e pensamentos suicidas. Indivíduos que trabalhavam em atividades que exigiam posturas inadequadas (curvado ou outras posições forçadas), bem como agricultores que realizaram 6-9 tarefas relacionadas com pesticidas demonstraram maior risco de ideação suicida (SZORTYKA et al., 2021).

Microrregiões com maior uso de agrotóxicos e com alta proporção de agrotóxicos envenenamento teve as maiores taxas de suicídio para todos os três grupos analisados: ambos os sexos, homens e mulheres (p variando de 0,01 a $p < 0,001$) (FARIA et al., 2014). A relação entre índices de suicídio e o uso indiscriminado de agrotóxicos, principalmente no estado de Mato Grosso que se destaca por ser um estado geograficamente grande e relevante no cenário agrícola brasileiro, chama a atenção para então pesquisar e buscar informações sobre a correlação desse assunto (ALVARENGA et al., 2020).

Alvarenga et al. (2020) afirma que do equivalente a 57.168 notificados pelas unidades federativas, 2.041 resultaram em óbito por intoxicação exógena, sendo que destes 1.759 foram por tentativa de suicídio por meio de intoxicação via agrotóxico. Szortyka et al. (2021) relata que é importante notar que as pessoas podem usar pesticidas como um método de suicídio, e o fácil acesso ao produto nas áreas rurais pode facilitar as tentativas de suicídio.

6 | CONCLUSÕES

Esta revisão evidenciou os riscos aos quais o fumicultor está exposto no seu cotidiano, especificamente dos riscos psicológicos. Apesar da fumicultura proporcionar diversos benefícios financeiros, na maioria das vezes, seus malefícios superam e são irreversíveis. Alterações neuropsicológicas como a depressão, ideação suicida e o suicídio, juntamente

com o uso das drogas lícitas como cigarro e álcool foram os principais agravantes da saúde do trabalhador. A resistência dos trabalhadores e sua negligência perante aos danos físicos e psicológicos muitas vezes é fator cultural, o qual é herdado de geração para geração. Ademais, fica evidente a vulnerabilidade e os riscos que a *Nicotiana Tabacum* acarreta para a vida do fumicultor. Portanto, apesar das limitações do estudo, espera-se que o assunto seja mais difundido no meio científico para que seja ampliada a compreensão do assunto e evidenciados possíveis problemas não mencionados devido à falta de estudos mais específicos sobre a temática.

DEDICATÓRIA

Dedicamos esse projeto a todos os fumicultores do Rio Grande do Sul, os quais movimentam a economia do país, em especial aos fumicultores da região da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã. Seus exemplos de coragem e simplicidade nos inspiram e nos orgulham.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à médica epidemiologista Dra Neice Muller Xavier Faria por toda a sua colaboração para conosco. Suas ideias e conhecimentos sobre o assunto foram norteadores para o projeto. Suas monografias contribuíram para que nosso projeto viesse a tornar realidade.

Nosso agradecimento também aos nossos pais, os quais nos motivaram e apoiaram durante todo o processo.

A Professora Luciana Rodrigues Nogueira, nossos agradecimentos pela persistência para com o tema e pela didática ao nos ensinar sobre o universo das pesquisas.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense Campus Camaquã, pela oportunidade de desenvolver o projeto e levá-lo adiante.

REFERÊNCIAS

MARTINS, V. A.; RENNER, J. D. P.; CORBELINI, V. A.; PAPPEN, M.; KRUG, S. B. F. **Doença da Folha Verde do Tabaco no período da classificação do tabaco: perfil sociodemográfico e ocupacional de fumicultores de um município do interior do Rio Grande do Sul.** Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção, v. 6, n. 4, p. 206-210. Acesso em: 20 mar. 2023.

Borges, Luciana Correia, Menezes, Henrique Zeferino de e Souza, Ielbo Marcus Lobo. **Dilemas na implementação da Convenção-Quadro para o Controle do Tabaco da Organização Mundial da Saúde.** Cadernos de Saúde Pública [online]. v. 36, n. 2 [Acessado 20 Março 2023], e00136919. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-311X00136919>>. ISSN 1678-4464. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00136919>.

MEYER, T. N.; RESENDE, I. L. C.; ABREU, J. C. DE .. **Incidência de suicídios e uso de agrotóxicos por trabalhadores rurais em Luz (MG), Brasil.** Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, v. 32, n. Rev. bras. saúde ocup., 2007 32(116), p. 24–30, jul. 2007.

GONZAGA, C. W. P.; BALDO, M. P.; CALDEIRA, A. P.. **Exposição a agrotóxicos ou práticas agroecológicas: ideação suicida entre camponeses do semiárido no Brasil.** Ciência & Saúde Coletiva, v. 26, n. Ciência coletiva, 2021 26(9), p. 4243–4252, set. 2021.

Ana Laura Sica Cruzeiro Szortyka, Neice Muller Xavier Faria, Maitê Peres Carvalho, Fernando Ribas Feijó, Rodrigo Dalke Meucci, Betina Daniele Flesch, Nadia Spada Fiori, Anaclaudia Gastal Fassa, **Suicidality among South Brazilian tobacco growers, NeuroToxicology**, Volume 86, 2021, Pages 52-58, ISSN 0161-813X, <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2021.06.005>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0161813X2100067X>). Acesso em: 20. mar. 2023.

CALATI, R. et al. **The impact of physical pain on suicidal thoughts and behaviors: Meta-analyses.** Journal of Psychiatric Research, v. 71, p. 16–32. Acesso em: 20. mar. 2023

JOO, Y.; ROH, S. **Risk factors associated with depression and suicidal ideation in a rural population. Environmental Health and Toxicology**, v. 31, p. e2016018, 26 ago. 2016. Acesso em: 20. mar. 2023

ALVARENGA, Gilnete Bezerra Ferreira et al. **A RELAÇÃO ENTRE O USO DE AGROTÓXICO E O SUICÍDIO NA ZONA RURAL: CONTRIBUIÇÕES PARA A ATUAÇÃO DA PSICOLOGIA.** TCC-Psicologia, 2020. Acesso em: 20. mar. 2023.

CAMPOS, YLIDA et al. **Exposure to pesticides and mental disorders in a rural population of Southern Brazil.** NeuroToxicology, v. 56, p. 7–16, set 2016. Acesso em: 20. mar. 2023.

STURM, E. T. et al. **Risk Factors for Brain Health in Agricultural Work: A Systematic Review. International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 6, p. 3373, 1 jan. 2022. Acesso em: 20. mar. 2023.

FARIA, Neice Müller Xavier; FASSA, Anaclaudia Gastal; FACCHINI, Luiz Augusto. **Intoxicação por agrotóxicos no Brasil: os sistemas oficiais de informação e desafios para realização de estudos epidemiológicos.** Ciência & Saúde Coletiva, v. 12, p. 25-38, 2007. Acesso em: 20. mar. 2023.

ABDALLA, R. R. et al.. **Suicidal behavior among substance users: data from the Second Brazilian National Alcohol and Drug Survey (II BNADS).** Brazilian Journal of Psychiatry, v. 41, n. Braz. J. Psychiatry, 2019 41(5), p. 437–440, set. 2019. Acesso em: 20. mar. 2023.

FASSA, A. G. et al. **Child Labor in Family Tobacco Farms in Southern Brazil: Occupational Exposure and Related Health Problems. International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 22, p. 12255, 1 Jan. 2021. Acesso em: 20. mar. 2023.

BORGES, Vera Lúcia Gomes. **Análise do processo de trabalho de Produtores de tabaco no Brasil e sua possível relação com os casos de suicídios em áreas fumicultoras do país.** 2016. 253 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2016. Acesso em: 20. mar. 2023.

BOROX GUIMARÃES, T.; MASSUGA, F. .; MACHADO SOARES, J. .; FONTANA DE LAAT, E. **CONDIÇÕES DE TRABALHO E SAÚDE NA FUMICULTURA BRASILEIRA: : UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA.** Trabalho (En)Cena, [S. l.], v. 6, n. Continuo, p. e021015, 2021. DOI: 10.20873/2526-1487e021015. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/encena/article/view/10589>. Acesso em: 20 mar. 2023.

BOROX GUIMARÃES, T.; MASSUGA, F. .; MACHADO SOARES, J. .; FONTANA DE LAAT, E. **CONDIÇÕES DE TRABALHO E SAÚDE NA FUMICULTURA BRASILEIRA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA**. Trabalho (En)Cena, [S. l.], v. 6, n. Contínuo, p. e021015, 2021. DOI: 10.20873/2526-1487e021015. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/encena/article/view/10589>. Acesso em: 20 mar. 2023.

MARTINS, V. A.; RENNER, J. D. P.; CORBELINI, V. A.; PAPPEN, M.; KRUG, S. B. F. **Doença da Folha Verde do Tabaco no período da classificação do tabaco: perfil sociodemográfico e ocupacional de fumicultores de um município do interior do RioGrande do Sul**. Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção, v. 6, n. 4, p. 206-210. Acesso em: 20 mar. 2023.

Bibliografia: “**Trabalhadores rurais - Saúde e trabalho**” – Grafiati. Disponível em: <<https://www.grafiati.com/en/literature-selections/trabalhadores-rurais-saude-e-trabalho/>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

CARGNIN, M. C. DOS S. **Doença da folha verde do tabaco: risco para trabalhadores rurais de um município da região Sul do Brasil**. repositório.furg.br, 2018. Acesso em: 20. mar. 2023.

SANTANA, C. M. et al.. **Exposição ocupacional de trabalhadores rurais a agrotóxicos**. Cadernos Saúde Coletiva, v. 24, n. Cad. saúde colet., 2016 24(3), p. 301–307, jul. 2016. Acesso em: 20. mar. 2023.

MEYER, T. N.; RESENDE, I. L. C.; ABREU, J. C. DE .. **Incidência de suicídios e uso de agrotóxicos por trabalhadores rurais em Luz (MG), Brasil**. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, v. 32, n. Rev. bras. saúde ocup., 2007 32(116), p. 24–30, jul. 2007. Acesso em: 20. mar. 2023

CAPÍTULO 2

OCUPAÇÕES SEM PLANEJAMENTO E SEUS DANOS AOS CORPOS HÍDRICOS DO ENTORNO - ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE PERUIBE

Data de submissão: 06/01/2025

Data de aceite: 05/03/2025

Rodrigo Augusto Ferreira de Brito
Mestre em Engenharia Civil pela UNESP

Paulo da Silva
Técnico em Saneamento

Juliana Valitutti Romero
Engenharia Química

RESUMO: As ocupações sem planejamento têm sido uma preocupação crescente nas áreas urbanas, causando impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública. O objetivo desse trabalho foi investigar os danos causados por ocupações de loteamentos localizados próximo de corpos hídricos do entorno de uma área do município de Peruíbe sem redes de esgoto. Por meio de uma revisão bibliográfica e da legislação aplicável, foram abordados conceitos relacionados às ocupações sem planejamento e seus impactos ambientais, além de estudo de caso de monitoramento dos corpos hídricos. A metodologia de pesquisa incluiu a coleta de dados em campo e a análise qualitativa e quantitativa dos dados obtidos. As contribuições deste estudo incluem a identificação dos principais impactos destas

ocupações, uma análise da legislação sobre a classificação dos corpos hídricos, bem como a proposição de possíveis medidas de mitigação e boas práticas para o manejo adequado dessas ocupações. Os resultados indicam que os corpos hídricos na região estudada apresentam problemas críticos nos aspectos físicos, químicos e biológicos em comparação com os padrões estabelecidos na legislação vigente. Essa discussão poderá subsidiar a formulação de políticas públicas mais eficazes para proteção dos corpos hídricos e promover o desenvolvimento urbano sustentável no município de Peruíbe.

PALAVRAS-CHAVE: Impactos ambientais, Monitoramento Ambiental e Sustentabilidade

INTRODUÇÃO

A urbanização desordenada e as ocupações sem planejamento têm sido uma realidade cada vez mais comum em muitas cidades brasileiras. Essa falta de planejamento leva a graves impactos ambientais, econômicos e sociais, especialmente nos corpos hídricos do

entorno, que são afetados pela poluição e degradação decorrentes das atividades humanas (BRASIL, 2015).

O município de Peruíbe, situado no litoral sul de São Paulo, tem enfrentado esse problema. A urbanização desordenada e a falta de políticas públicas eficazes para o controle e gestão ambiental têm afetado os corpos hídricos do município, fundamentais para a manutenção da biodiversidade e da qualidade de vida da população local.

Diante disso, torna-se fundamental a realização de um estudo que analise danos aos corpos hídricos do entorno devido às ocupações sem planejamento, a fim de entender melhor a magnitude do problema e propor soluções para minimizar seus impactos negativos. Este estudo de caso no município de Peruíbe tem, portanto, grande importância e relevância para a compreensão da problemática em questão e para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes e sustentáveis no contexto urbano brasileiro.

As ocupações sem planejamento são caracterizadas pela falta de planejamento urbano adequado e pela ausência de políticas públicas eficazes de gestão territorial. Essas ocupações costumam ocorrer em áreas de preservação ambiental, como margens de rios, encostas de morros e mangues, além de outras áreas de risco, tais como regiões sujeitas a enchentes, deslizamentos e outros desastres naturais (SANTOS, 2017).

Os impactos negativos das ocupações sem planejamento no meio ambiente são vários e incluem: desmatamento, erosão do solo, poluição do ar, contaminação do solo e das águas, dentre outros. Além disso, a falta de infraestrutura básica nessas áreas, como saneamento básico e coleta de resíduos, pode agravar ainda mais a situação, aumentando o risco de doenças e epidemias (FARIAS, et al., 2018).

No caso específico dos corpos hídricos, as ocupações sem planejamento podem causar um conjunto de impactos ambientais, tais como a redução da qualidade da água, a degradação do habitat aquático e a diminuição da biodiversidade. A urbanização desordenada também pode aumentar a ocorrência de enchentes, alagamentos e outros problemas associados à ocupação inadequada das margens dos rios e outros corpos d'água.

Compreender a importância dos corpos hídricos do entorno é fundamental para entender a relevância da pesquisa sobre ocupações sem planejamento e seus danos a esses recursos naturais. No caso específico do município de Peruíbe, é importante destacar que a região é conhecida pela sua riqueza em corpos hídricos, como rios e córregos, que desempenham um papel fundamental na manutenção da biodiversidade e na promoção do bem-estar humano.

Os corpos hídricos do entorno são importantes para a regulação do clima, pois atuam como fonte de umidade e ajudam a reduzir a temperatura ambiente. Eles também são fundamentais para a manutenção da qualidade do solo, uma vez que são responsáveis por recarregar os aquíferos e promover a circulação de nutrientes. Infelizmente, esses corpos hídricos têm enfrentado muitos desafios nos últimos anos. A urbanização desordenada e

o crescimento populacional desenfreado têm levado à ocupação inadequada das margens dos rios e outros corpos d'água, o que gera uma série de impactos ambientais negativos, como a poluição da água, a degradação do habitat aquático e a diminuição da biodiversidade (SANTOS, 2017).

A pesquisa tem como objetivo fornecer uma compreensão aprofundada dos impactos das ocupações sem planejamento nos corpos hídricos do município de Peruíbe, contribuindo para o conhecimento científico sobre o tema. Os resultados obtidos podem fornecer subsídios para a formulação de políticas públicas mais eficazes para a gestão dos corpos hídricos e o controle das ocupações sem planejamento, visando à preservação do meio ambiente e à proteção da saúde pública.

OBJETIVOS

Avaliar a qualidade da água dos corpos hídricos afetados pelas ocupações sem planejamento, por meio de indicadores físico-químicos e microbiológicos; identificar os principais desafios e consequências das ocupações sem planejamento para a preservação dos corpos hídricos em estudo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ocupações irregulares

Ocupações sem planejamento se referem a assentamentos humanos estabelecidos em áreas urbanas ou rurais sem um planejamento adequado em termos de infraestrutura, regulamentação e gestão do uso do solo. Essas ocupações geralmente ocorrem de forma ilegal ou informal, sem seguir as diretrizes urbanísticas e ambientais estabelecidas pelos órgãos governamentais e sem considerar os impactos socioambientais.

As ocupações sem planejamento muitas vezes carecem de infraestrutura básica, como abastecimento de água, saneamento básico, eletricidade, transporte público, vias pavimentadas, entre outros. Essa falta de infraestrutura adequada pode resultar em condições precárias de vida para os moradores, contribuindo para problemas de saúde, segurança e qualidade de vida.

A expansão urbana desordenada resultante das ocupações sem planejamento pode causar diversos impactos socioambientais negativos. Isso inclui a degradação do solo, a impermeabilização do solo, a poluição hídrica, a perda de biodiversidade, entre outros. A falta de planejamento adequado também pode levar a construções inadequadas, desmatamento, despejo de resíduos sólidos e poluição do ar, afetando a qualidade ambiental e a saúde da população local (BRASIL, 2015).

Os principais problemas associados às ocupações sem planejamento, são a expansão urbana desordenada, a poluição hídrica onde as ocupações sem planejamento

muitas vezes não possuem sistemas adequados de tratamento de esgoto e gestão de resíduos sólidos, o que pode resultar na poluição dos corpos d'água, como rios, lagos e lençóis freáticos, problemas sociais onde a falta de regularização fundiária nessas áreas pode resultar em incertezas legais, insegurança na posse da terra e dificuldades na obtenção de crédito e financiamento para melhorias nas habitações (FARIAS, et al., 2018).

Impactos ambientais

As ocupações sem planejamento podem ter impactos ambientais significativos, especialmente em relação aos corpos hídricos. A falta de planejamento adequado pode levar à contaminação da água por resíduos sólidos, efluentes domésticos e industriais, além de resultar em uso inadequado de recursos hídricos, desmatamento e assoreamento, entre outros problemas. Elas podem muitas vezes ter problemas de gestão de resíduos sólidos, o que pode levar ao acúmulo de lixo em áreas inadequadas, como margens de rios, córregos e lagos. A falta de coleta, tratamento e disposição adequada dos resíduos pode resultar na contaminação da água por substâncias tóxicas e poluentes presentes nos resíduos sólidos, prejudicando a qualidade da água e afetando a vida aquática e a saúde humana.

Muitas vezes não possuem sistemas de tratamento de esgoto adequados, resultando na liberação direta de efluentes domésticos e industriais nos corpos hídricos. Esses efluentes podem conter substâncias químicas e patógenos que contaminam a água, comprometendo sua qualidade e colocando em risco a saúde das comunidades que dependem desses recursos hídricos.

Ademais, a falta de planejamento pode resultar no assoreamento de corpos hídricos, como rios e lagos, devido à erosão do solo, desmatamento, remoção inadequada da vegetação e ocupação inadequada de áreas adjacentes aos corpos d'água. O assoreamento pode levar à diminuição da profundidade dos corpos hídricos, redução da capacidade de armazenamento de água, alteração de ecossistemas aquáticos e aumento do risco de enchentes (SILVA; LINKE, 2018).

Impactos na saúde pública

As ocupações sem planejamento podem ter impactos significativos na saúde pública da população local. O aumento do risco de doenças transmitidas pela água, o uso inadequado de recursos hídricos e a contaminação da água por resíduos sólidos, efluentes domésticos e industriais em ocupações sem planejamento podem levar ao aumento do risco de doenças transmitidas pela água, como diarreia, cólera e hepatite A.

A ocupação desordenada de áreas sem planejamento pode levar à exposição da população a poluentes químicos e biológicos provenientes de atividades industriais, agricultura inadequada, disposição inadequada de resíduos sólidos e poluição do ar e da

água, o que pode causar impactos negativos na saúde, como problemas respiratórios, dermatológicos e outros problemas de saúde relacionados à exposição a substâncias tóxicas;

A falta de infraestrutura básica adequada pode resultar em acesso limitado aos serviços de saúde, saneamento básico, coleta regular de resíduos sólidos, abastecimento de água potável, eletricidade e transporte público. Isso pode afetar a qualidade de vida da população local e aumentar os riscos de doenças e outros problemas de saúde (BRASIL, 2017).

Importância dos corpos hídricos

A importância dos corpos hídricos do entorno, como rios, lagos, represas e lagoas, no município de Peruíbe, está associada a diversos aspectos, que incluem o meio ambiente, a sociedade e a economia local.

Os corpos hídricos são ecossistemas essenciais para a manutenção da biodiversidade local, abrigando diversas espécies de fauna e flora aquáticas. São importantes para o ciclo da água, atuando como reguladores naturais do fluxo hídrico e contribuindo para a purificação da água e o equilíbrio dos ecossistemas terrestres adjacentes;

Também são importantes para a prática de atividades de lazer, como banho, pesca, esportes náuticos, entre outros, contribuindo para a qualidade de vida da população local e para o turismo na região. A oferta de recursos hídricos de qualidade e preservados é um atrativo para o turismo, gerando empregos e movimentando a economia local;

A conservação dos corpos hídricos também é relevante para a economia local, uma vez que podem contribuir para atividades econômicas como a agricultura, pesca, turismo, indústria e geração de energia hidrelétrica. A degradação desses corpos d'água pode impactar negativamente essas atividades, comprometendo a economia local (SILVA, et al., 2017).

Legislação e normas aplicáveis

A ocupação de áreas próximas a corpos hídricos é regida por diversas legislações e normas nacionais e locais, visando proteger o meio ambiente e garantir a conservação dos recursos hídricos. Alguns exemplos de legislação e normas aplicáveis são:

A legislação ambiental, composta por leis, decretos, resoluções e normativas federais, estaduais e municipais, estabelece as diretrizes gerais para a proteção do meio ambiente, incluindo os corpos hídricos. No Brasil, a Lei Federal nº 9.605/98, conhecida como Lei de Crimes Ambientais, prevê sanções penais e administrativas para condutas lesivas ao meio ambiente, incluindo a ocupação irregular de áreas próximas a corpos hídricos (BRASIL, 1998); Resolução Conama nº 357/05: a Resolução CONAMA nº 357/2005 é uma importante norma para a gestão e preservação dos recursos hídricos no Brasil, e

seu cumprimento é fundamental para a promoção da saúde humana e a preservação do meio ambiente; e a Resolução CONAMA nº 430/11: a resolução define os parâmetros e limites máximos de concentração de substâncias como demanda bioquímica de oxigênio, pH e sólidos suspensos e coliformes termotolerantes. Ainda em impactos ambientais e enquadramento dos corpos hídrico receptores, no Estados de São Paulo temos o Decreto N° 8468/76 aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente e o Decreto N°10.755/77 dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976.

Diretrizes para ocupação de áreas de preservação permanente (APPs): As APPs são áreas protegidas pela legislação ambiental com a função de preservar os recursos hídricos, a biodiversidade, o equilíbrio ecológico e o bem-estar das populações humanas. A Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 303/2002 estabelece diretrizes gerais para a ocupação de APPs, incluindo as áreas próximas a corpos hídricos, como rios, lagos, lagoas e nascentes, definindo limites e restrições para a ocupação dessas áreas (BRASIL, 2002).

Ensaio

Coliformes Totais

Os coliformes totais são um grupo de bactérias encontradas naturalmente no solo, plantas e intestinos de animais em grande quantidade e é uma ferramenta usada para avaliar a qualidade da água de rios e outros corpos d'água por ser um indicativo de poluição (APHA, 2017).

O ensaio de coliformes totais é um procedimento microbiológico que envolve a coleta de amostras de água do rio e o cultivo dessas amostras em meio de cultura seletivo em laboratório. O meio de cultura utilizado é projetado para favorecer o crescimento de bactérias do grupo coliforme, que são capazes de fermentar a lactose presente no meio, formando colônias características. Após o crescimento bacteriano, as colônias são identificadas e contadas para determinar a quantidade de coliformes totais presentes na amostra de água (BARTRAM; BALLANCE, 1996).

A análise dos resultados do ensaio de coliformes totais pode ser utilizada para avaliar a qualidade da água do rio e determinar se ela está dentro dos limites estabelecidos pelos órgãos de regulamentação ambiental para a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Caso a quantidade de coliformes totais encontrada na água do rio esteja acima dos limites permitidos, podem ser tomadas medidas de mitigação, como a identificação e eliminação das fontes de poluição, a implementação de sistemas de tratamento de esgoto,

a regulamentação de atividades agrícolas e pecuárias, e a conscientização pública sobre a importância da conservação dos recursos hídricos (CANADÁ, 2019).

E. coli

O ensaio de *Escherichia coli* (*E. coli*) é uma análise microbiológica realizada para detectar a presença dessa bactéria específica em amostras de água, alimentos, solos e outros materiais. A *E. coli* é uma bactéria gram-negativa pertencente à família Enterobacteriaceae e é amplamente utilizada como indicador de contaminação fecal, uma vez que sua presença em determinados ambientes pode indicar a possível presença de patógenos transmitidos por via fecal e a qualidade microbiológica desses materiais (EPA, 2018).

O ensaio de *E. coli* é realizado utilizando técnicas microbiológicas, geralmente seguindo os procedimentos padronizados estabelecidos por organizações como a American Public Health Association (APHA), a American Water Works Association (AWWA) e a Water Environment Federation (WEF). O método mais comum para a detecção de *E. coli* é a técnica de membrana filtrante, que envolve a filtração de uma amostra de água ou outro material através de uma membrana especial que retém as bactérias presentes. A membrana é então colocada em um meio de cultura seletivo e diferencial, como o Agar Cromogênico *E. coli*/Coliformes, que contém substratos específicos que permitem a identificação de *E. coli* com base em suas características de crescimento e coloração (APHA, 2017). Contudo, também podem ser utilizados substratos cromogênicos enzimáticos específicos para incubação e leitura das amostras em 24 horas ou 18 horas.

A presença de *E. coli* em uma amostra pode indicar contaminação fecal recente e pode ser um indicativo de risco para a saúde humana, uma vez que algumas cepas de *E. coli* são patogênicas e podem causar doenças gastrointestinais graves em humanos. Portanto, a detecção e quantificação de *E. coli* em amostras de água e alimentos são importantes para avaliar a segurança microbiológica desses materiais e para tomar medidas apropriadas de controle e prevenção de doenças transmitidas por água e alimentos (FDA, 2019).

Demanda Química de Oxigênio

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um ensaio utilizado para determinar a quantidade de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica e inorgânica presente em uma amostra de água, e assim estimar a carga orgânica total presente na amostra. É um parâmetro amplamente utilizado para avaliar a qualidade da água em termos de sua carga orgânica, sendo aplicado em diversas áreas, como tratamento de água, controle de efluentes industriais e monitoramento ambiental (APHA, 2017).

A amostra é misturada com o agente oxidante e aquecida em banho-maria a uma temperatura específica por um determinado período de tempo. Após a reação, o excesso de agente oxidante é titulado com um agente redutor, e a quantidade de oxigênio consumido durante a oxidação é determinada indiretamente a partir da quantidade de agente redutor consumido (EPA, 2018).

ADQO é uma medida útil para avaliar a carga orgânica de efluentes e águas residuais, uma vez que pode fornecer informações sobre a eficiência dos processos de tratamento de água e efluentes, bem como sobre a presença de substâncias químicas oxidáveis e sua capacidade de depleção do oxigênio disponível nos corpos d'água receptores (METROHM APPLICATION BULLETIN, 2018).

Demanda Bioquímica de Oxigênio

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um ensaio utilizado para determinar a quantidade de oxigênio consumido por microrganismos aeróbios durante a decomposição bioquímica da matéria orgânica presente em uma amostra de água. É um parâmetro amplamente utilizado para avaliar a qualidade da água em termos da sua carga orgânica biodegradável, sendo aplicado em diversas áreas, como tratamento de água, controle de efluentes industriais e monitoramento ambiental (APHA, 2017). A diferença entre o teor de oxigênio dissolvido antes e após a incubação é a DBO, expressa em miligramas de oxigênio consumido por litro de amostra (mg/L de O₂) ou em outras unidades equivalentes (EPA, 2018).

A DBO é utilizada para avaliar a eficiência dos processos de tratamento de água e efluentes, bem como a capacidade dos corpos d'água receptores de assimilar a carga orgânica biodegradável presente nos efluentes e sua capacidade de autodepuração (FDA, 2019).

Fósforo Total

O ensaio de Fósforo Total é um método analítico utilizado para determinar a concentração total de fósforo em amostras de água, solo, sedimentos ou outros tipos de matriz ambiental. O fósforo é um elemento químico essencial para a vida e está presente em várias formas no meio ambiente, incluindo fósforo inorgânico e fósforo orgânico (APHA, 2017).

O aumento da concentração de fósforo na água pode levar à eutrofização, um processo em que há o enriquecimento excessivo de nutrientes em corpos d'água, resultando em crescimento excessivo de algas e plantas, consumo de oxigênio dissolvido e deterioração da qualidade da água (STANDARD METHODS ONLINE, 2017). Existem várias metodologias disponíveis para a determinação de fósforo total, incluindo métodos colorimétricos, gravimétricos e espectrofotométricos. Os resultados são expressos em

termos de concentração de fósforo total em unidades de massa, como miligramas de fósforo por litro de amostra (mg/L de P) ou outras unidades equivalentes (CLESCERI; GREENBERG; EATON, 2012).

Nitrato

O ensaio de Nitrato é um método analítico utilizado para determinar a concentração de nitrato (NO_3^-) em amostras de água, solo, sedimentos ou outras matrizes ambientais. O nitrato é uma forma oxidada de nitrogênio que pode estar presente naturalmente no meio ambiente, mas também pode ser introduzido por atividades humanas, como a agricultura intensiva, a pecuária, a disposição inadequada de resíduos e a poluição por esgoto e efluentes industriais (APHA, 2017).

A ingestão de água contaminada com altos níveis de nitrato pode causar problemas de saúde, especialmente em bebês e crianças, como a síndrome do bebê azul, que interfere na capacidade do sangue em transportar oxigênio (STANDARD METHODS ONLINE, 2017).

Existem várias metodologias disponíveis, geralmente envolvem a conversão do nitrato presente na amostra em nitrito (NO_2^-) por meio de uma reação química específica, seguida pela detecção e quantificação do nitrito formado. Os resultados são expressos em termos de concentração de nitrato em unidades de massa, como miligramas de nitrato por litro de amostra (mg/L de NO_3^-) ou outras unidades equivalentes (CLESCERI; GREENBERG; EATON, 2012).

Nitrito

O ensaio de Nitrito é um método analítico utilizado para determinar a concentração de nitrito (NO_2^-) em amostras de água, solo, sedimentos ou outras matrizes ambientais. O nitrito é uma forma reduzida de nitrogênio que pode estar presente naturalmente no meio ambiente, mas também pode ser introduzido por atividades humanas, como a agricultura intensiva, a pecuária, a disposição inadequada de resíduos e a poluição por esgoto e efluentes industriais (APHA, 2017).

Em altas concentrações, o nitrito pode ser tóxico para a vida aquática e pode causar problemas de saúde em humanos, como a formação de metemoglobina no sangue, o que pode levar à condição conhecida como metemoglobinemia (STANDARD METHODS ONLINE, 2017). Os resultados são expressos em termos de concentração de nitrito em unidades de massa, como miligramas de nitrito por litro de amostra (mg/L de NO_2^-) ou outras unidades equivalentes (CLESCERI; GREENBERG; EATON, 2012).

Nitrogênio Amoniacal

O ensaio de Nitrogênio Amoniacal é um método analítico utilizado para determinar a concentração de nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) em amostras de água, solo, sedimentos

ou outras matrizes ambientais. O nitrogênio amoniacal é uma forma de nitrogênio que pode estar presente naturalmente no meio ambiente, mas também pode ser introduzido por atividades humanas, como a agricultura intensiva, a pecuária, a disposição inadequada de resíduos e a poluição por esgoto e efluentes industriais (APHA, 2017). O nitrogênio amoniacal é um nutriente importante para o crescimento de organismos aquáticos e pode influenciar a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos (STANDARD METHODS ONLINE, 2017). Os resultados são expressos em termos de concentração de nitrogênio amoniacal em unidades de massa, como miligramas de nitrogênio amoniacal por litro de amostra (mg/L de $\text{NH}_3\text{-N}$) ou outras unidades equivalentes (RICE, et al., 2017).

Oxigênio Dissolvido

O ensaio de Oxigênio Dissolvido é uma medida importante para avaliar a qualidade da água em corpos d'água naturais e em sistemas de tratamento de água e efluentes. Ele é utilizado para determinar a concentração de oxigênio dissolvido na água, que é essencial para a vida aquática e para a saúde dos ecossistemas aquáticos (APHA, 2017). A concentração de oxigênio dissolvido é medida em unidades de concentração, geralmente em miligramas por litro (mg/L) ou em porcentagem de saturação (%) (STANDARD METHODS ONLINE, 2017).

Ele é importante para avaliar o impacto de atividades humanas e a saúde dos ecossistemas aquáticos, bem como para garantir a conformidade com os padrões de qualidade da água estabelecidos por órgãos reguladores (RICE, et al., 2017).

MATERIAIS E MÉTODOS

Será realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema de ocupações sem planejamento e seus impactos em corpos hídricos, com base em artigos científicos, relatórios técnicos e legislação pertinente, onde será conduzido um levantamento de campo no município de Peruíbe, com visita às áreas afetadas por ocupações sem planejamento nas margens dos corpos hídricos identificados, para coleta de dados primários, como observação direta e coleta de amostras de água; As amostras de água coletadas serão analisadas em laboratório, utilizando métodos padronizados de análise físico-química e microbiológica, para avaliar a qualidade da água e identificar possíveis contaminantes. Será realizada a análise dos dados coletados por meio da resolução CONAMA 357/05, como análise descritiva e inferencial, para verificar possíveis relações entre as ocupações sem planejamento e a qualidade da água dos corpos hídricos estudados.

LOCALIZAÇÃO

Peruíbe é um município localizado no litoral sul do estado de São Paulo, no Brasil. Suas coordenadas geográficas são 24° 19' 34" S de latitude e 46° 59' 23" O de longitude. Limita-se ao norte com o município de Itariri, ao sul com Itanhaém, a leste com o Oceano Atlântico e a oeste com Pedro de Toledo, conforme figura 1.



Figura 01 - Imagem – fonte Portal g1.com.br

Fonte: <https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2012/02/alem-de-praias-peruibe-sp-conta-com-complexo-termal.html>

LOTEAMENTOS EXISTENTES E OCUPAÇÕES IRREGULARES

Os loteamentos existentes com áreas de ocupações irregulares no seu entorno enfrentam diversos desafios, que incluem a falta de planejamento urbano adequado, a escassez de infraestrutura básica, a degradação ambiental e a vulnerabilidade a riscos e desastres naturais.

Na figura 02 evidenciamos as áreas dos loteamentos existentes e áreas irregulares na área de estudo em Perúibe.

- 1 - Alvorada (Estrada da Barreira)
- 2- Bougainviélé 5
- 3- Balneário Josedy
- 4- Gleba 2 (Amélia Abel ou Matinha)
- 5- Vila Erminda
- 6- Parque do Trevo
- 7- Vatrapiã
- 8- Jardim dos Prados
- 9- Cajueiro
- 10- Antonio Novaes
- 11- Recreio Santista
- 12- Leão Novaes
- 13- Parque dos Pássaros



Figura 02 - Áreas dos loteamentos existentes e áreas irregulares na área de estudo em Perúibe

Fonte: Elaborada pelo autor

LOCALIZAÇÃO DA ÁREAS OCUPADAS IRREGULARMENTE

A presença de ocupações irregulares no entorno de um loteamento pode afetar negativamente o valor dos imóveis, bem como a qualidade de vida dos moradores, que podem enfrentar problemas como a falta de saneamento básico, a insegurança e a poluição. A figura 03 demonstra a localização das áreas no local de estudo.



Figura 03 - Localização das áreas no local de estudo.

Fonte: Elaborada pelo autor

Já as figuras 04 a 10 demonstram a localização das áreas de loteamento regulares implantados no local de estudo.



Figura 04 - Localização loteamento Bougainville V

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 05 - Localização loteamento Baalneáreo Josedy

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 06 - Localização loteamento Vila Erminda

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 07 - Localização loteamento Vatrapuã

Fonte: Elaborada pelo autor

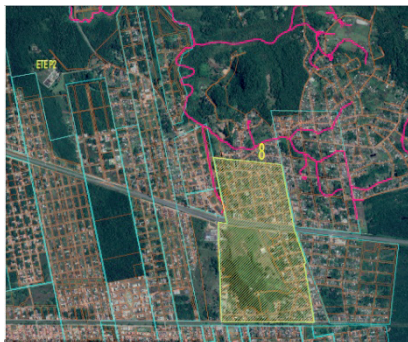


Figura 08 - Localização loteamento Jardim dos Prados

Fonte: Elaborada pelo autor

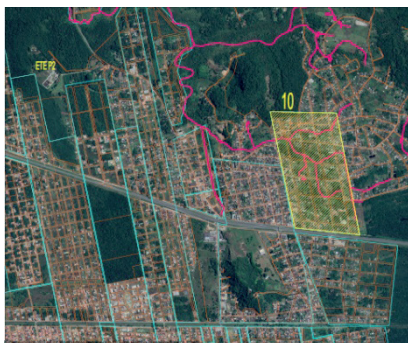


Figura 09 - Localização loteamento Antonio Novais

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 10 - Localização loteamento Parque dos Pássaros

Fonte: Elaborada pelo autor

SITUAÇÃO GERAL DO LOTEAMENTOS E ÁREAS OCUPADAS IRREGULARMENTE

A ocupação irregular de áreas traz consigo diversos problemas, como a falta de infraestrutura básica, como água, luz e saneamento, a insegurança jurídica, a degradação

ambiental, a violência e a vulnerabilidade a desastres naturais. As figuras 11 e 12 demonstram a situação de todas as ruas dos loteamentos e áreas irregulares, sem drenagem de águas pluviais e esgotos a céu aberto.



Figura 11– Ruas sem drenagens de águas pluviais

Fonte: Elaborada pelo autor – Foto de ruas da área do estudo



Figura 12 – Ruas com esgoto a céu aberto

Fonte: Elaborada pelo autor – Foto de ruas da área do estudo

PONTOS DE COLETA

Os pontos de coletas foram definidos de acordo com a área de influência dos corpos hídricos que estão no local de estudo, onde estão concentrados os loteamentos e áreas irregulares e não apresentam redes coletoras de esgotos implantadas. A figura 13 apresenta os locais em imagem de satélite, já a as figuras de 14 a 16 apresentam os corpos hídricos onde estão localizados os pontos para a coleta e análises.



Figura 13 – Localização dos Pontos de Coleta

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 14 – PONTO 1 - AV. GERSON DE SOUZA REIS - Córrego

Fonte: Elaborada pelo autor – Foto ponto 1



Figura 15 – PONTO 2 - R JOSÉ DE LIMA - COM R. OITO – Córrego

Fonte: Elaborada pelo autor – Foto ponto 2



Figura 16 – PONTO 3 - R. ALABASTRO - PRÓX. R. TURQUESA (PONTE) – Córrego

Fonte: Elaborada pelo autor – Foto ponto 3

EQUIPAMENTOS DE COLETA

Existem diversos equipamentos utilizados para a coleta e preservação de amostras em córregos, tais como, gelo reciclável, termômetro, balde inox, corda e caixa térmica, e frascos que se encontram elencados e ilustrados na figura 17. Para rastreamento dos dados de campo, é utilizada uma planilha para preenchimento no momento da coleta.



Figura 17 – Frascos para armazenamento de coleta

EQUIPAMENTOS DE ENSAIO

Para o Ensaio de Coliformes Totais e *E. coli* (Quantitativo) são utilizados cabine de biossegurança, estufa incubadora microbiológica, seladora, substrato enzimático e cartelas plásticas aluminizadas. No ensaio de Demanda Química de Oxigênio (DQO), utiliza-se reator de DQO, espectrofotômetro e kit de DQO. No ensaio de Nitrogênio amoniacal o principal equipamento utilizado é medidor de íon seletivo. Para determinação de Oxigênio Dissolvido são utilizadas vidrarias calibradas e bureta digital, além de solução titulante padronizada. Já para o ensaio de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) os principais equipamentos são a estufa incubadora, garrafas e sensores eletrônicos. No ensaio de

Determinação de Metais (Fósforo) por ICP-OES, utiliza-se o ICP-OES (Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente) e o digestor por micro-ondas. Para o ensaio de Nitrogênio Amoniacal o principal equipamento é o medidor de íon seletivo.

MÉTODO DE COLETA DE AMOSTRA

Existem vários métodos para coleta de amostras de rios, sendo que a escolha do método depende do objetivo da coleta e das características do rio em questão, o método adotado foi o seguinte:

O técnico coletor separa o material, incluindo planilha de coleta, enumera as etiquetas dos frascos com caneta, anotando os pontos no conjunto de frascos para cada amostra, conforme figura 19 que demonstra as amostras realizadas. Para essa amostragem, foram definidos ensaios que demandam 5 frascos por amostra para 3 pontos de coleta. Cada ponto de coleta corresponde a uma amostra.



Figura 19 – Amostras realizadas nos pontos

Fonte: Elaborada pelo autor

De posse dos materiais conferidos, o coletor dirige-se ao local da amostragem e avalia a existência de possíveis alterações no ambiente que podem interferir nos resultados. Caso haja alguma alteração ambiental pertinente, técnico anota no campo de observações em planilha.

Em seguida, lança-se o balde amarrado por uma corda no corpo hídrico, enchendo-o por completo. Essa primeira coleta é descartada, pois faz parte do procedimento ambientar o balde de coleta com a amostra que será coletada. Na segunda batelada, o coletor recolhe o balde e imediatamente submerge o frasco de vidro para ensaio de Oxigênio Dissolvido (OD), enchendo-o completamente, evitando espaços para bolhas. Em seguida, adiciona-se os preservantes para a fixação do OD. Continuando, o técnico coletor enche frasco plástico esterilizado de 100 mL para ensaios bacteriológico (Coliformes Totais e *E. coli*), fechando-o imediatamente e armazenando na caixa de coleta refrigerada. Na sequência, é preenchido o frasco plástico de 2 L e imediatamente armazenado na caixa refrigerada de coleta para determinação de DBO e outros 2 frascos plásticos, um de 100 mL para ensaio Fósforo e

outro de 250 mL para ensaio de DQO. Estes últimos, também recebem preservação, sendo para Fósforo 10 gotas de ácido Nítrico (HNO_3) e para DQO 10 gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Na sequência, são armazenados na caixa refrigerada de coleta. Os frascos de vidro para ensaio de OD, são acondicionados fora da caixa refrigerada, para evitar que a temperatura baixa ($4\pm 2^\circ\text{C}$) interfira no resultado da amostra em virtude da formação de bolhas.

Enquanto o técnico coletor armazena os frascos da amostra, um termômetro é inserido no balde com o restante da amostra, para verificar a temperatura da amostra. A temperatura do ar também é conferida pelo termômetro e os resultados anotados na planilha de coleta, nos campos respectivos aquela amostra. Também é anotado na planilha, as condições de chuva nas últimas 24h que antecederam a amostragem, sendo verificado nível de chuvas fracas, médias ou fortes.

MÉTODO DE ENSAIO DE AMOSTRAS

Ensaio de Coliformes Totais e *E. coli* (Quantitativo) - Referência: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 23rd Edition, 2017 - Seções: 9223 A e B.

Antes de iniciar o ensaio o analista deve ligar a capela de fluxo laminar e efetuar a desinfecção da área de trabalho com álcool etílico 70°INPM. Em seguida, ligar a seladora de cartelas e aguardar o seu aquecimento. O analista então organiza as amostras a serem analisadas e as relacionam no formulário para registro e rastreabilidade, juntamente com o fator de diluição que foi realizado para cada amostra.

O material necessário deve ser disposto na bancada para a execução do ensaio: frascos com água de diluição, provetas, pipetas de 10 mL, meio de cultura, cartelas, frasco de 100 mL. Todos os materiais devem estar previamente esterilizados.

Em seguida, a amostra deve ser homogeneizada vigorosamente e diluída em água estéril para obter as diluições desejadas, conforme figura 24. O meio de cultura é adicionado ao frasco contendo a amostra diluída, e a mistura é transferida para uma cartela de quantificação. A cartela é selada e incubada em estufa por um período de 20 a 24 horas a uma temperatura de $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Toda essa manipulação ocorre na capela de biossegurança. (Figura 21). As cartelas de quantificação são seladas na seladora. (figura 22).

Após a incubação (Figura 23), as amostras são avaliadas para a presença de coliformes totais e *E. coli*. A detecção de coliformes totais é realizada por meio da mudança de cor do substrato, enquanto a presença de *E. coli* é determinada por meio da fluorescência sob luz ultravioleta. Essa verificação é possível através do uso da cartela de quantificação (Figura 24). As colônias que se desenvolvem no substrato são contadas e a concentração de microrganismos é calculada. O resultado final é expresso em Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e *E. coli* por 100 mL de água.

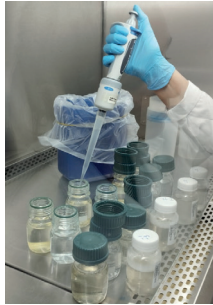


Figura 20 - Frascos de amostras em análise

Fonte: Elaborada pelo autor

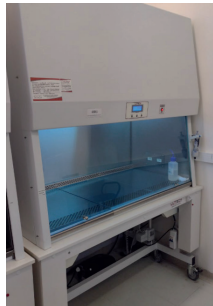


Figura 21- Cabine de biossegurança

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 22- Seladora de Cartelas

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 23- Estufa incubadora microbiológica

Fonte: Elaborada pelo autor

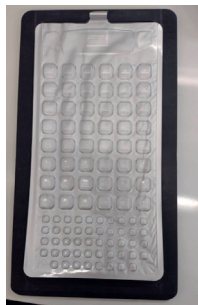


Figura 24- Cartelas plásticas aluminizadas

Fonte: Elaborada pelo autor

Ensaio de Demanda Química de Oxigênio (DQO) - Referência: Standard Methods For Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017 - Seção 5220 D - Closed Reflux, Colorimetric Method.

O ensaio para determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) pelo método de refluxo fechado é utilizado para avaliar a quantidade de matéria orgânica presente em uma amostra de água ou efluente. As amostras, soluções padrões e branco devem estar à temperatura ambiente. Antes de iniciar o ensaio, o técnico deve ligar o bloco digestor (figura 25) e aguardar a estabilização da temperatura.

O procedimento consiste em adicionar a amostra a um tubo de ensaio contendo uma solução oxidante de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) e ácido sulfúrico (H_2SO_4). Em seguida, a mistura é aquecida por um período de 2 horas a $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, com refluxo contínuo para garantir a completa oxidação da matéria orgânica.

Ao final da digestão, o técnico deve aguardar cerca de 20 minutos e com o tubo ainda quente, inverte-lo diversas vezes. Após o período de resfriamento, utilizando o próprio tubo em que a amostra foi digerida, é então realizada a leitura em espectrofotômetro (figura 26) no comprimento de onda adequado a faixa de concentração utilizada. O resultado é expresso em miligramas de oxigênio consumido por litro de amostra (mg/L).



Figura 25 - Reator de DQO

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 26 - Espectrofotômetro

Fonte: Elaborada pelo autor

Ensaio de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) - Referência: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 23rd Edition, 2017. Seção 5210 D.

Previamente à execução do ensaio, o analista determina a concentração de DQO para cada amostra a ser analisada. O cálculo da DBO esperada, e sua respectiva faixa de incubação, é obtido dividindo o resultado de DQO por 2.

No início do ensaio, o analista verifica o pH das amostras em temperatura ambiente e, se necessário, efetua o ajuste para pH 7,00 utilizando as soluções diluídas de H_2SO_4 ou NaOH. Em seguida, retira a quantidade de amostra suficiente, conforme a concentração esperada de DBO, e transfere para uma garrafa especial (figura 27). Quanto maior a concentração esperada, menor o volume de amostra a ser utilizado na incubação.

O técnico adiciona próximo de 0,08 g (uma tampa dosadora) de inibidor de nitrificação para cada 150 mL de amostra. Nesta mesma garrafa são adicionados 1 mL de cada nutriente: Solução Tampão de Fosfato 1,5 N, Solução Sulfato de Magnésio 0,41 M, Solução de Cloreto de Cálcio 0,25 M, Solução de Cloreto Férrico 0,018 M e Solução de Cloreto de Amônio 0,71 N.

Por fim, o técnico adiciona a barra magnética e lentilhas de NaOH no respectivo suporte de cada garrafa e efetua o fechamento das mesmas com o sensor eletrônico. Os sensores são ajustados para início da medição e o conjunto “garrafa+sensor” (figura 28) é posicionado na bandeja de agitação dentro da estufa incubadora (figura 29) ajustada à temperatura de 20 ± 1 °C. Após 3 horas de incubação o timer do sensor eletrônico inicia a marcação do tempo de incubação.

A cada 24 horas o sensor grava o resultado de um dia de incubação. Após um período de incubação de 5 dias, o sensor é usado para medir a quantidade de oxigênio restante na amostra e a quantidade de oxigênio consumida pelos microrganismos é calculada. Esse valor representa a DBO da amostra e é expresso em miligramas de oxigênio consumido por litro de amostra (mg/L).



Figura 27 - Preparação do ensaio de DBO

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 28- Conjunto garrafa e sensor eletrônico

Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 29 - Incubadora de DBO

Fonte: Elaborada pelo autor

Ensaio de Determinação de Metais (Fósforo) por ICP-OES - Referência: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 23rd Edition, 2017 - Seções 3120-B e 3030 K

O equipamento ICP-OES (figura 30) utiliza plasma indutivamente acoplado para excitar os átomos presentes na amostra, gerando luz que é medida para determinar a concentração de metais em amostras de água e efluentes.

O ensaio inicia-se pela preparação das amostras por meio da etapa de digestão em forno micro-ondas, cujo objetivo é minimizar os efeitos dos interferentes da matriz. O técnico analista deve pipetar uma alíquota de 45 mL de amostra em um vaso e adicionar 5 mL de HNO₃. Em seguida, transfere-se o tubo contendo a amostra no carrossel, identificando-se as posições das respectivas amostras e inicia-se a digestão a partir do programa de temperatura configurado no equipamento. Após a digestão, as amostras são transferidas para os respectivos tubos de ensaios.

No equipamento ICP deverá ser preparada uma curva de calibração com o material de referência certificado (MRC) para o metal de interesse, previamente a execução da leitura da amostra. No software do equipamento, o analista deve abrir uma nova Worksheet a partir de um template já existente e registrar cada uma das amostras a ser analisada, assim como os controles analíticos que acompanham o lote de amostras.

Em seguida, na tela principal, inicia-se o ensaio com a aspiração da amostra. Pelo sistema de nebulização a amostra é convertida em aerossol e introduzida no equipamento pelo arraste de gás argônio até o tubo injetor localizado dentro da tocha, lá os átomos são submetidos à temperatura de aproximadamente 6.000 a 8.000 K causando a dissociação quase completa das moléculas reduzindo significativamente os interferentes químicos. A temperatura nesta magnitude é responsável pela excitação e emissão dos átomos, produzindo um espectro que é detectado e convertido em concentração pelo equipamento.

Os resultados são expressos em partes por milhão (ppm) ou em outras unidades de concentração, dependendo da necessidade do ensaio.



Figura 30 - Técnico realizando a leitura das amostras no ICP-OES

Fonte: Elaborada pelo autor

Ensaio de Oxigênio Dissolvido pelo Método Winkler - Referência: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017 Method 4500-O C

O ensaio para determinação de Oxigênio Dissolvido pelo método iodométrico modificado pela Azida Sódica (Método de Winkler) é uma análise química titulométrica utilizada para o controle do processo de tratamento de esgoto e poluição da água e também para monitorar a qualidade da água em ambientes naturais, como rios, córregos e lago.

Durante a coleta, as amostras devem ser acondicionadas em frascos de DBO com capacidade aproximada de $300 \pm 3,0$ mL. A fixação do oxigênio deve ser feita imediatamente após a coleta através da adição lenta de 1 mL de Solução de Sulfato Manganoso seguido de 1 mL da Solução de Iodeto de Azida Sódica, de modo que cada reagente escorra pela boca do frasco imergindo na amostra sem que ocorra a aeração da mesma. Em seguida, o técnico deve tampar cuidadosamente o frasco para excluir bolhas de ar, agitar o frasco por inversão algumas vezes e esperar o precipitado sedimentar. No laboratório o analista adiciona 1 mL de Ácido Sulfúrico P.A ou 2 mL na concentração 1:1 (figura 31) e procede à titulação com a solução com Tiossulfato de Sódio 0,025 N ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) até a coloração “amarelo palha”. Na etapa seguinte são adicionadas gotas da solução amido indicador e continua-se a titulação até a viragem de azul para incolor. A concentração de oxigênio dissolvido é calculada pelo volume gasto do titulante e o resultado é expresso em mg/L.



Figura 31 – Frasco com amostra para OD

Fonte: Elaborada pelo autor

Ensaio de Nitrogênio Amoniacal - Referência: Standard Methods For Examination of Water and Wastewater 23^a Edição – Método: 4500-NH₃ D

Antes de iniciar o ensaio, o analista deve realizar a calibração do medidor de íon seletivo com pelo menos 02 pontos que contemplem a faixa esperada do analito (figura 32). Em seguida, transfere-se 50 mL de amostra a ser analisada e 1,0 mL de solução ajustadora de força iônica. Para leitura, mergulha-se o eletrodo na amostra e pressiona-se o botão ler. O método baseia-se na quantificação eletrométrica do Nitrogênio Amoniacal (N-NH_3), após a sua conversão a amônia solúvel (NH_3) em pH alcalino. O eletrodo utiliza uma membrana hidrofóbica permeável a gás para separar a solução da amostra da solução interna de cloreto de amônia (NH_4Cl) do eletrodo. Amônia dissolvida (NH_3 (aq) e NH_4^+) é convertida a NH_3 (aq) com o aumento de pH a 11 através da utilização de uma base forte. A amônia solúvel (NH_3) difunde-se através da membrana do eletrodo e altera o pH da solução interna proporcionalmente à concentração do Nitrogênio Amoniacal e essa alteração é sentida por um eletrodo de pH. Essa medição é feita com um medidor de pH/Íons específicos.

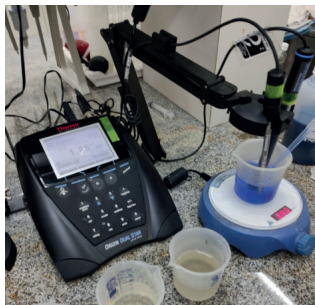


Figura 32 – Ensaio de Nitrogênio amoniacal

Fonte: Elaborada pelo autor

RESULTADOS OBTIDOS

O PONTO 1 - AV. GERSON DE SOUZA REIS, apresentou os resultados mais preocupantes, em todos os parâmetros analisados, tais como, em out/2022 apresentou coliformes totais 2.419.600 NMP/100mL, *E. coli* 40.700 NMP/100 mL, e uma DBO 60 mg/L. Em agosto de 2022 foi decido a retirada dos ensaios de nitrito e nitrato devido a baixa variação dos resultados. Esses resultados podem estar relacionados com a localização do ponto, que está no centro da área estudada, recebendo uma grande contribuição de esgoto bruto.

Ponto 1 - Av. Gerson de Souza Reis - córrego															
Mês/Ano	Data	Hora	Amostra	Coliformes Totais (NMP/100 mL)	E.coli (NMP/100 mL)	Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Nitrato (mg N/L)	Nitrito (mg N/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg N/L)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	pH	Condutividade (µS/cm 25°C)	Temperatura da Amostra (°C)
jun-22	22/06/22	10:53	15679	770.100	82.000	84	32	1,04	< 2,0	< 0,025	12,0	< 1,0	6,8	321	21,9
jul-22	01/07/22	07:42	16054	980.400	145.500	58	24	1,06	< 2,0	< 0,025	-	< 1,0	-	-	22,0
jul-22	05/07/22	09:49	16277	648.800	156.500	72	28	1,15	< 2,0	< 0,025	-	< 1,0	-	-	22,0
jul-22	12/07/22	08:24	17199	410.600	40.800	72	28	1,22	< 2,0	< 0,025	10,9	< 1,0	-	-	23,0
jul-22	18/07/22	09:00	17499	1.046.200	65.000	61	42	< 0,02	2,1	< 0,025	14,5	< 1,0	-	-	21,0
jul-22	25/07/22	09:00	18169	866.400	79.400	67	30	1,33	< 2,0	< 0,025	14,7	< 1,0	-	-	18,0
ago-22	01/08/22	09:01	18700	816.400	44.100	67	23	0,28	4,14	< 0,025	8,11	< 1,0	-	-	17,0
ago-22	15/08/22	08:54	20067	488.400	32.300	80	18	1,65	-	-	9,31	< 1,0	-	-	22,0
set-22	05/09/22	09:01	21991	1.699.950	84.150	113	14	-	-	-	2,17	1,0	-	-	18,0
set-22	19/09/22	10:19	23084	613.100	46.850	126	26	1,80	-	-	2,59	< 1,0	-	-	24,0
out-22	03/10/22	08:00	24294	>2.419.600	40.700	257	60	1,70	-	-	3,28	< 1,0	-	-	19,0
out-22	17/10/22	08:49	26200	1.643.000	28.350	162	90	1,96	-	-	6,80	< 1,0	-	-	27,0
nov-22	01/11/22	09:34	27093/2022	1.986.300	100.200	89	41	0,87	-	-	20,90	< 1,0	-	-	20,0
dez-22	07/12/22	08:54	30716/2022	218.700	18.550	99	5	0,59	-	-	1,83	< 1,0	-	-	26,0
jan-23	09/01/23	08:34	965	474.750	62.300	79	-	-	-	-	-	< 1,0	-	-	23,0

Tabela 1 – Resultados do PONTO 1 - - Av. Gerson de Souza Reis – córrego

Fonte: Elaborada pelo autor

O PONTO 2 - R JOSÉ DE LIMA - COM R. OITO, apresentou os resultados mais estáveis, em set/2022: Coliformes totais 658.600 NMP/100 mL, *E. coli* 6.131 NMP/100 mL, e uma DBO 8 mg/L. Também em agosto de 2022 foi decido a retirada dos ensaios de nitrito e nitrato devido à baixa variação dos resultados. Esses resultados podem estar relacionados com a vazão do córrego, pois o mesmo também recebe uma grande contribuição de esgoto bruto.

Ponto 2 - R. José de Lima - com R. Oito - córrego														
Data	Hora	Amostra	Coliformes Totais (NMP/100 mL)	E. coli (NMP/100 mL)	Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Nitrato (mg N/L)	Nitrito (mg N/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg N/L)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	pH	Condutividade (µS/cm 25°C)	Temperatura da Amostra (°C)
22/06/22	11:15	15680	18.300	583	64	34	0,21	< 2,0	< 0,025	0,62	2,8	6,4	193	21,6
01/07/22	07:20	16055	81.640	100	98	29	0,19	< 2,0	< 0,025	-	< 1,0	-	-	21,0
05/07/22	09:31	16278	12.033	292	100	52	0,42	< 2,0	< 0,025	-	< 1,0	-	-	22,0
12/07/22	08:11	17200	9.590	310	89	24	0,26	< 2,0	< 0,025	0,76	< 1,0	-	-	22,0
18/07/22	08:47	17500	14.670	862	70	48	< 0,02	< 2,0	0,047	2,17	< 1,0	-	-	21,0
25/07/22	08:42	18170	18.596	109	59	22	0,19	< 2,0	< 0,025	0,78	1,0	-	-	19,0
01/08/22	08:40	18701	15.733	210	92	30	1,19	< 2	< 0,025	0,9	< 1,0	-	-	17,0
15/08/22	08:31	20068	>24.196	14.136	40	11	0,31	-	-	0,78	< 1,0	-	-	21,0
05/09/22	08:42	21992	658.600	6.131	39	8	-	-	-	0,36	3,0	-	-	18,0
19/09/22	10:04	23085	167.000	10.900	51	19	0,72	-	-	0,89	< 1,0	-	-	24,0
03/10/22	08:30	24295	125.400	1.860	153	35	0,99	-	-	0,97	< 1,0	-	-	20,0
17/10/22	08:27	26201	579.400	3.255	105	< 3	0,89	-	-	1,73	< 1,0	-	-	27,0
01/11/22	08:57	27094/2022	>241.960	48.840	52	15	0,4	-	-	0,56	1,8	-	-	20,0
07/12/22	08:36	30717/2022	488.400	35.000	61	6	0,4	-	-	0,84	< 1,0	-	-	26,0
09/01/23	08:21	966	155.310	2.430	126	-	-	-	-	-	< 1,0	-	-	23,0

Tabela 2 – Resultados do PONTO 2 - R. José de Lima - com R. Oito

Fonte: Elaborada pelo autor

O PONTO 3 - R. ALABASTRO – PRÓXIMO À R. TURQUESA (PONTE), apresentou os resultados menos preocupantes, em set/2022: Coliformes totais 49.600 NMP/100 mL, *E. coli* 3.100 NMP/100mL, e uma DBO 10 mg/L. Também em agosto de 2022 foi decidido a retirada dos ensaios de nitrito e nitrato devido à baixa variação dos resultados. Esses resultados podem estar relacionados com a localização do ponto, pois o entorno já existe rede coletora de esgotos implantados.

Ponto 3 - R. Alabastro - próx. R. Turquesa (Ponte) - córrego														
Data	Hora	Amostra	Coliformes Totais (NMP/100 mL)	E. coli (NMP/100 mL)	Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Nitrato (mg N/L)	Nitrito (mg N/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg N/L)	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	pH	Condutividade (µS/cm 25°C)	Temperatura da Amostra (°C)
07/06/22	11:46	14953	77.600	4.352	< 25	< 3	-	-	-	-	4,2	6,9	369	21,9
22/06/22	11:45	15681	325.500	21.800	47	28	0,58	< 2,0	< 0,025	9,55	2,9	7,0	395	22,8
18/07/22	08:26	17501	198.900	38.400	33	30	< 0,02	< 2,0	< 0,025	7,21	< 1,0	-	-	19,0
25/07/22	08:21	18171	62.400	5.475	34	24	< 0,02	< 2,0	< 0,025	5,13	2,0	-	-	17,0
01/08/22	08:29	18702	78.900	7.500	32	14	0,58	2,94	0,03	4,37	1,0	-	-	14,0
15/08/22	08:12	20069	67.600	5.100	35	7	0,70	-	-	5,36	< 1,0	-	-	19,0
05/09/22	08:21	21993	80.100	13.200	57	< 3	-	-	-	0,80	3,0	-	-	18,0
19/09/22	09:49	23086	49.600	3.100	34	10	0,37	-	-	2,13	2,0	-	-	23,0
03/10/22	09:00	24296	307.600	36.900	31	10	0,38	-	-	3,21	2,0	-	-	17,0
17/10/22	08:16	26202	49.500	7.500	29	15	0,52	-	-	4,00	< 1,0	-	-	27,0
01/11/22	08:24	27095/2022	>241.960	57.940	34	10	0,23	-	-	0,60	3,9	-	-	19,0
07/12/22	08:09	30718/2022	193.500	2.000	45	4	0,27	-	-	2,18	2,3	-	-	24,0
09/01/23	08:06	967	104.620	11.060	34	-	-	-	-	-	2,4	-	-	23,0

Tabela 3 – Resultados do Ponto 3 - R. Alabastro – próximo à R. Turquesa (Ponte) - córrego

Fonte: Elaborada pelo autor

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para uma melhor análise e discussão, é necessário abordarmos aspectos da classificação dos Rios segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, para um Rio Classe 1, alguns padrões são DBO até 3 mg/L, OD não inferior a 6 mg/L, pH de 6,0 a 9,0, N-Nitrato até 10,0 mg/L e Coliforme termotolerante não devem exceder o limite de 200 por mL. Para os rios de Classe 2 DBO até 5 mg/L, OD não inferior a 5mg/L, pH de 6,0 a 9,0, N-Nitrato até 10,0 mg/L e Coliforme termotolerante não devem exceder o limite de 1000 por mL, Para Classe 3 a DBO até 10 mg/L, OD não inferior a 4 mg/L, pH de 6,0 a 9,0 e Coliforme termotolerante não devem exceder o limite de 4000 por m e Classe 4 OD superior a 2,0 mg/L e pH 6,0 a 9,0. Ressalva-se que conforme CONAMA nº 357/2005, a *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro de coliformes termotolerantes.

O córrego do Ponto 1 apresentou uma variação de DBO entre 5 a 90 mg/L, OD todos os resultados abaixo de 1 mg/L, portanto características abaixo de uma classificação 4 para rios, ou seja, totalmente impactado pelos lançamentos de esgotos das áreas irregulares e regulares sem a rede coletora. Também foi encontrado no ponto 1 um acúmulo excessivo de nitrogênio amoniacal na água, que podem ser tóxicas para muitas formas de vida aquática, como peixes, invertebrados e plantas aquáticas.

Já o córrego do Ponto 2, OD somente em 3 amostras ficou acima de 1 mg/L, coliformes totais o menor número foi 9.590 NMP/mL, ainda assim não se enquadraria como Classe 4 de Rios, conforme a Resolução CONAMA 357/2005, evidenciando-se como córregos impactados pelos lançamentos irregulares.

Para o córrego do Ponto 3, variação de DBO entre 3 a 30 mg/L, OD, resultados entre 1 e 4,2 mg/L, mas devido a resultados altos de Coliforme Totais que variaram entre 49.500 NMP/100 mL a 325.500 NMP/100mL, e *E. Coli* entre 3.100 a 57940 NMP/100 mL, esse córrego apresenta características equivalente à Classe 4, segundo a CONAMA 357/2005.

O Decreto N° 8468/76 do Estado de São Paulo apresenta padrões de qualidade mais restritivos para a classificação dos corpos hídricos, tais como DBO, não podendo superar de 10mg/l e OD, com limite mínimo de 4,0 mg/l. Os córregos do ponto 1 e 2 analisados, apresentaram resultados fora dos padrões, e no córrego do ponto 3, resultados que tendem a atender padrões de classe 4, segundo essa legislação, devendo serem melhores analisados, os motivos dessa melhoria.

Para o Decreto 10.755/77, que determina a classificação dos rios, mais especificamente no seu anexo A, que classifica as bacias e classes de rios pertencentes no Estado de São Paulo, o rios de classe 1 da bacia do Litoral Sul, no seu item d) são:

“Todos os cursos d’água do litoral desde a divisa dos municípios de Itanhaém e Mongaguá até a divisa do município de Cananéia com o Estado do Paraná, até a cota 50.”

Portanto, existe a necessidade de um trabalho de monitoramento, e recuperação de todos os corpos hídricos do município, em especial os córregos analisados.

CONCLUSÃO

A implementação de um plano de zoneamento urbano pode ser uma das principais ferramentas para prevenir a ocupação irregular de áreas próximas a corpos hídricos. Esse plano deve delimitar áreas específicas para diferentes tipos de uso, incluindo áreas verdes e de proteção ambiental. É importante que a fiscalização das áreas próximas a corpos hídricos seja realizada de forma regular e eficiente, para evitar que pessoas ocupem essas áreas de forma irregular. É necessário que a fiscalização seja acompanhada de medidas punitivas para desestimular a ocupação irregular.

A regularização fundiária é uma medida importante para reduzir a ocupação irregular em áreas próximas a córregos. Isso pode ser feito por meio da regularização de propriedades ocupadas de forma irregular, o que pode reduzir o número de pessoas em situação de vulnerabilidade. A instalação de dispositivos de contenção, como muros de arrimo e barreiras de contenção, pode ajudar a evitar a erosão das margens dos córregos e, conseqüentemente, reduzir a possibilidade de enchentes e deslizamentos de terra.

A implantação de sistemas de drenagem pluvial pode ajudar a evitar o acúmulo de água em áreas próximas a córregos, reduzindo o risco de enchentes e inundações.

Melhoria da qualidade de vida, a ausência de redes coletoras de esgotos pode afetar a saúde e a qualidade de vida da população local. O acúmulo de esgoto pode causar doenças infecciosas e afetar o bem-estar geral da população. A implantação de redes coletoras de esgotos pode garantir um ambiente mais saudável e seguro para a população. Preservação do meio ambiente: O esgoto lançado em corpos hídricos pode causar danos ambientais, como a poluição da água e a morte de espécies aquáticas. A implantação de redes coletoras de esgotos pode ajudar a preservar o meio ambiente, garantindo que o esgoto seja tratado adequadamente antes de ser lançado nos rios.

A educação ambiental é uma medida importante para conscientizar a população sobre os riscos da ocupação irregular em áreas próximas a córregos. As campanhas de educação ambiental podem incluir palestras, cartilhas e ações de mobilização social e o monitoramento e a fiscalização são medidas essenciais para garantir que as ocupações irregulares não causem danos ao meio ambiente e à população local.

Enfim, os resultados das análises das amostras coletadas, evidenciam a necessidade de implantação de redes de esgoto no local. Essa pesquisa ganha importância, diante da informação da implantação, já em andamento, de equipamentos de coleta, afastamento e tratamento de esgotos na região do estudo. Essas obras devem evitar que o efluente seja descarregado diretamente nos córregos, reduzindo a poluição das águas, melhorando sua qualidade e preservando a vida aquática. Esse monitoramento seguirá, com o objetivo de evidenciar resultados positivos, pós instalação do sistema de esgotamento sanitário.

AGRADECIMENTOS

Funcionários do Laboratório F.Q. Efluentes, Laboratório de Metais e Laboratório de Microbiologia da Divisão de Controle Sanitário Baixada Santista e Setor de Peruíbe:

Deborah Cristina de Assis Freitas, Carlene Santos de Lucena, Helio Okida, Aline Cardoso Diniz, Diego, Guimaraes Lauzen, Paula Yuri Nishimura, Alessandra Zola Ramin, Lisieux de Paula Furtado e Denison Pereira da Silva.

REFERÊNCIAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23rd ed. Washington, D.C: APHA, 2017.
2. BARTRAM, Jamie; BALLANCE, Richard. **Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes**. London: Spon Press, 1996.
3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Cadernos de Conservação de Recursos Hídricos: Ocupações em Áreas de Preservação Permanente e Margens de Corpos Hídricos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2015.
4. _____. Ministério da Saúde. **Manual de Saneamento**. 3ª ed. Editora do Ministério da Saúde, 2017. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_saneamento_3ed.pdf
5. _____. **Lei Federal nº 9.985/2000 - Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 16 abr. 2023.
6. _____. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 303, de 20 de março de 2002**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=399>. Acesso em: 16 abr. 2023.
7. _____. DECRETO Nº 8.468, de 08 DE SETEMBRO DE 1976 (Atualizado com redação dada pelo Decreto 54.487, de 26/06/09) . ALESP – Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo
8. _____. DECRETO Nº 10.755, DE 22 DE NOVEMBRO DE 1977. ALESP – Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo.
9. CANADA. **Guidelines for Canadian Drinking Water Quality**. Ottawa: Health Canada, 2019.
10. FARIAS, Raimundo Carlos Silvino et al. **Ocupações irregulares em áreas de preservação permanente e seus impactos ambientais em um trecho da bacia hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim, São Paulo, Brasil**. *Ambiência, Guarapuava*, v. 14, n. 3, p. 717-732, 2018.
11. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA). **Bacteriological Analytical Manual (BAM), Chapter 4: Enumeration of Escherichia coli and the Coliform Bacteria**. Silver Spring, MD: FDA, 2019.
12. <https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2012/02/alem-de-praias-peruibe-sp-conta-com-complexo-termal.html>

13. METROHM APPLICATION BULLETIN. **Determination of Chemical Oxygen Demand (COD) in Wastewater According to DIN 38409-41 with the 827 pH Lab.** Herisau, Switzerland: Metrohm AG, 2018.
14. RICE, E.W., BAIRD, R.B., EATON, A.D., CLESCERI, L.S. (Editors). (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd ed. Washington, D.C.: American Public Health Association.
15. SANTOS, Marina Henriques. **Ocupações irregulares de áreas urbanas e a problemática da habitação no Brasil.** *Revista de Estudos Empíricos em Direito*, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 79-102, 2017.
16. SEHAB-PMP, Secretaria de Habitação da Prefeitura Municipal de Peruipe. *Cadastro dos loteamentos aprovados no município*. 2023.
17. SILVA, Carlos Alberto Figueiredo da; LINKE, Clarisse Cunha. **Planejamento Urbano e Ambiental.** Editora Oficina de Textos, 2018.
18. SILVA, A.M.C. et al. **Impactos ambientais e sanitários decorrentes do processo de urbanização: um estudo de caso em área de ocupação irregular em Natal-RN.** *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 6, n. 2, p. 186-204, 2017.
19. STANDARD METHODS ONLINE. (2017). **Method 4500-P B: Phosphorus.** In: **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23rd ed. Washington, D.C.: American Public Health Association. Disponível em: <https://www.standardmethods.org/doi/pdf/10.2105/SMWW.6101>. Acesso: 18 Abril 2023.
20. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Method 1603: Escherichia coli (E. coli) in Water by Membrane Filtration Using Modified Membrane-Thermotolerant Escherichia coli Agar (Modified mTEC).** EPA-821-R-18-004. Washington, D.C: EPA, 2018.

ÁGUA, ESGOTO E DRENAGEM DE PRATÁPOLIS/ MG: DIAGNÓSTICO E PERSPECTIVAS FRENTE AO MARCO LEGAL DO SANEAMENTO BÁSICO DE 2020

Data de submissão: 06/02/2025

Data de aceite: 05/03/2025

Vinícius Augusto Ribeiro Borges

RESUMO: O crescimento do espaço urbano em vários municípios ocorreu de forma rápida, desordenada e na ausência de planejamentos que incluíssem os serviços públicos de saneamento básico, que impactam diretamente na vida cotidiana dos munícipes. Pois possui relação com o meio ambiente e a saúde pública. O estudo visou avaliar os serviços de drenagem urbana, abastecimento de água e esgotamento sanitário no município de Pratápolis, em relação às demandas da população e às metas estabelecidas pelo novo Marco Legal do Saneamento Básico. Para atingir os objetivos propostos, foi estabelecida a seguinte metodologia, pesquisa bibliográfica e documental, visitas *in loco* e análise qualitativa dos dados. O estudo se baseou na análise empírica, detalhando os fenômenos relacionados aos três eixos do saneamento básico, permitindo uma compreensão detalhada da situação atual. Os resultados da pesquisa visaram caracterizar os serviços prestados no município, verificando sua conformidade com a legislação vigente. Após o estudo

foram propostas diretrizes e sugestões de melhorias na gestão e nos serviços oferecidos. A análise realizada será fundamental para orientar futuras ações e investimentos no setor de saneamento básico do município, visando à melhoria da qualidade de vida e ao cumprimento das metas estabelecidas pelo novo Marco Legal.

PALAVRAS-CHAVE: Serviços Públicos; Meio Ambiente; Saúde Pública.

WATER, SEWAGE AND DRAINAGE OF PRATÁPOLIS/MG: DIAGNOSIS AND PERSPECTIVES IN FRONT OF THE LEGAL FRAMEWORK FOR BASIC SANITATION OF 2020

ABSTRACT: The growth of urban space in several municipalities occurred quickly, in a disorderly manner and in the absence of planning that included public basic sanitation services, which directly impact the daily lives of residents. Because it is related to the environment and public health. The study aimed to evaluate urban drainage, water supply and sewage services in the municipality of Pratápolis, in relation to the demands of the population and the goals established by the new Legal Framework

for Basic Sanitation. To achieve the proposed objectives, the following methodology was established: bibliographic and documentary research, on-site visits and qualitative data analysis. The study was based on empirical analysis, detailing the phenomena related to the three axes of basic sanitation, allowing a detailed understanding of the current situation. The research results aimed to characterize the services provided in the municipality, verifying their compliance with current legislation. After the study, guidelines and suggestions for improvements in management and services offered were proposed. The analysis carried out will be fundamental to guide future actions and investments in the municipality's basic sanitation sector, aiming to improve the quality of life and meet the goals established by the new Legal Framework.

KEYWORDS: Public Services; Environment; Public health.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição Federal e definido pela Lei nº 14.026/2020 como o conjunto de serviços, de infraestrutura e de instalações operacionais de atividades de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e manejo dos resíduos sólidos (BRASIL, 2020).

O saneamento básico constitui um importante recurso para a garantia das condições adequadas de higiene e saúde no Brasil, ele é definido como um conjunto de serviços de infraestrutura, que visa a disposição sustentável dos resíduos líquidos e sólidos, gerados pela atividade humana no meio ambiente, contribui com a saúde, a educação, o meio ambiente e a economia. A modernização e ampliação do sistema de saneamento básico beneficia, em qualquer lugar do mundo, a sociedade como um todo, as empresas, o país, as cidades e o desenvolvimento social e econômico (ONUBR, 2018).

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2021), saneamento básico é o conjunto de medidas que visa a preservação ou modificação das condições do meio ambiente, com o intuito de prevenir doenças e promover a saúde, melhorando a qualidade de vida da população e a produtividade, facilitando a atividade econômica. São medidas que tornam possível garantir uma qualidade de vida melhor para as pessoas, mais oportunidades do ponto de vista econômico e, principalmente, a promoção da saúde, uma vez que aumenta a salubridade das habitações e evita a proliferação de doenças. Como efeito paralelo do saneamento básico, garante-se a preservação do meio ambiente.

O acesso à água tratada e à coleta de esgoto sanitário são direitos fundamentais da população e garantem crescimentos econômico, diminuição da mortalidade infantil e redução de gastos públicos (Margulies, 2018). O déficit em saneamento básico traz graves consequências em termos de saúde pública, meio ambiente e cidadania (Hutton & Haller, 2004).

No Brasil, há um grande déficit no atendimento aos serviços de saneamento básico, com maior carência nas áreas periféricas das cidades e nas zonas rurais, onde se concentram as populações com baixa renda. Ainda sobre esta problemática no Brasil,

em particular, podem ser assistidas deficiências importantes relacionadas ao saneamento básico, devido à falta de processos e atividades eficazes, nas áreas de: abastecimento e distribuição de água, coleta e tratamento de resíduos sólidos, bem como coleta e tratamento de esgoto. Estima-se que um dos maiores desafios a serem enfrentados esteja relacionado aos sistemas de esgotamento sanitário e coleta de resíduos sólidos, que ainda não estão implementados em muitas regiões, especialmente nas áreas rurais (Silva, 2014).

A maioria das cidades brasileiras tiveram o seu crescimento sem nenhum planejamento, o homem passou a ocupar e edificar conforme as suas necessidades, criando centros urbanos desordenados e desconectados que acabaram degradando os recursos naturais presentes naquelas regiões que foram habitadas.

Quanto mais pessoas habitam uma cidade, mais urbanizada e impermeável ela se torna, devido ao seu atual padrão de ocupação, com construções que destroem as áreas que possuem vegetação e as edificam, com a utilização de materiais que reduzem, ou até mesmo anulam a infiltração da água no solo. Como resultado, vê-se o aumento da quantidade e intensidade de enchentes e alagamentos, que atingem várias residências e representa um cenário visível no mundo todo, com ênfase nos países em desenvolvimento, como o Brasil (Jha *et al.* 2012).

É neste contexto, com a identificação dos problemas do crescimento desordenado das cidades, a ausência de gestão planejada, notadamente dos serviços de drenagem e a sua dimensão e relevância para a sustentabilidade do ambiente urbano; que se insere o Plano Diretor de Drenagem Urbana, definido por Parkinson *et al.* (2003), como um conjunto de diretrizes que determinam a gestão do sistema de drenagem, que minimizam o impacto ambiental devido ao adequado escoamento das águas pluviais.

Após uma chuva intensa, uma quantidade considerável de água que não foi infiltrada no solo e não foi direcionada para um sistema de drenagem urbana apropriada à montante (vindas de áreas anteriores ao espaço urbano considerando-se o sentido do curso d'água) carrega consigo uma carga de resíduos, vegetações e águas contaminadas que provocam impactos tanto no meio ambiente quanto as populações locais. As consequências da negligência com relação a drenagem urbana afetam principalmente as áreas localizadas à jusante (após o ambiente urbano do incidente, considerando-se o sentido do curso d'água), pois é onde a água chega rapidamente, através da rede de drenagem (Tucci, 2002).

Esses eventos podem resultar em inundações em residências, perdas habitacionais, erosões e assoreamento nas margens dos rios, propagação de doenças de veiculação hídrica, estragos nos espaços públicos que necessitam de medidas corretivas pós desastres naturais, além de tragédias como afogamentos e mortes de pessoas (Tucci, 2002).

Uma solução para a preservação dessas águas é o investimento em saneamento e no tratamento do esgoto sanitário, que é realizado por meio de estações de tratamento de esgoto (ETE), as quais reproduzem em um menor espaço e tempo a capacidade de autodepuração dos cursos d'água (Oliveira, 2018).

As águas recuperadas por essas estações possuem uma grande variedade de aplicações, dentre elas: irrigação de campos de esportes e praças, usos paisagísticos, descarga de banheiro, combate a incêndios, lavagem de automóveis, limpeza de ruas, usos na construção civil, entre outras (PROSAB, 2006).

A área de abastecimento de água potável é constituída por um conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais, necessárias ao abastecimento da população, que incluem elementos desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição. Na área de esgotamento sanitário é previsto a execução de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final (adequada) de esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente (Barbieri *et al.* 2013).

Conforme Silva (2014), a situação do saneamento básico apresenta uma estrutura precária e não ideal. Os principais desafios do sistema de esgotamento sanitário no Brasil, muitas vezes concentram-se em questões financeiras, uma vez que a implementação e manutenção desses sistemas envolvem custos elevados, resultando na falta de interesse e preocupação dos municípios, governos e empresas no descarte e tratamento do esgoto.

Além disso, na grande maioria dos municípios estão instalados sistemas defeituosos e incertos, incapazes de proporcionar segurança e qualidade de serviço, bem como uma recolha eficiente do esgoto (Silva, 2014).

O novo Marco Legal do Saneamento Básico, Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020 (BRASIL, 2020) foi aprovado com a intenção de expandir o atendimento dos serviços de abastecimento de água e esgoto visando a um atendimento de 99% do abastecimento de água potável e 90% do tratamento de esgotos para a população brasileira até o ano de 2033. Tais metas e propostas apresentam um grande desafio a ser alcançado, principalmente para os municípios pequenos. Trata-se de uma sistemática que tem os seguintes pilares principais:

- Universalizar os serviços de água e esgoto no Brasil até 31 de dezembro de 2033;
- Conferir coerência regulatória setorial por intermédio das normas de referência a serem editadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico;
- Instituir a abertura do mercado à competição por intermédio da introdução de uma regulação contratual mais eficiente;
- Gerar uma indução regulatória à prestação regionalizada, com o que se deseja de, por meio da obtenção de economias de escala e de escopo, atender à obrigação de universalização.

A partir de 15 de julho de 2020 a Agência Nacional de Águas (ANA), passou a ser chamada Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, tornando-se uma autarquia da União vinculada ao Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR), que instituirá diretrizes

de referência para agências reguladoras e prestadoras de serviços de saneamento com poder de arbitragem. Seu desafio é regulamentar todas as normas de saneamento, respeitando as competências das agências municipais, que continuam regulando e fiscalizando as operações.

Neste sentido, o presente estudo visou verificar se a prestadora de serviços de saneamento básico e o município de Pratápolis, atendem às demandas do Novo Marco Legal do Saneamento Básico. Porém, para organizar de forma mais eficiente a discussão aqui apresentada, as argumentações deste estudo trataram apenas dos serviços de drenagem urbana, abastecimento de água e esgotamento sanitário.

OBJEITVO

O objetivo geral deste estudo foi avaliar os serviços de drenagem urbana, abastecimento de água e esgotamento sanitário no município de Pratápolis em Minas Gerais, para identificar as suas deficiências no atendimento à demanda da população, além de avaliar as potenciais condições do município de atender às metas do novo Marco Legal do Saneamento Básico. Para tanto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- I. Caracterizar os serviços de drenagem urbana, abastecimento de água e esgotamento sanitário do município de Pratápolis,
- II. Analisar se os serviços de saneamento básico implantados no município atendem as legislações vigentes e o Plano Municipal de Saneamento Básico existente,
- III. Avaliar se a situação atual atende as premissas do novo Marco legal do Saneamento Básico,
- IV. Propor diretrizes e sugestões de melhorias na gestão e no saneamento básico do município.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O saneamento básico, para a Organização Mundial de Saúde (OMS), “é o controle ou gestão de fatores físicos que podem ocasionar efeitos prejudiciais ao ser humano, afetando seu bem-estar físico, mental e social”.

O conceito de saneamento básico foi edificado socialmente ao longo da história, em função das condições materiais e sociais de respectiva época, do progresso do conhecimento, e da sua adaptação pela população. Este conceito assume conteúdos diferentes em cada cultura devido a relação existente entre o homem e a natureza e em cada classe social, conectando, neste caso, as condições materiais de existência e o nível de informação e conhecimento (Morais & Borja 2014).

Segundo Heller (1998), a definição de saneamento básico baseia-se na formulação da OMS, existindo a ligação entre o saneamento básico com enfoque ambiental, colocando-o

no âmbito dos fatores do meio físico, e com a abordagem preventiva de saúde, assumindo que a citada Organização considera o bem-estar físico, mental e social como o sentido de saúde.

Neste contexto, também é importante discernir as noções de “saneamento básico” e “saneamento ambiental”: o primeiro pode ser entendido como a designação de ações direcionadas ao controle de patógenos e seus vetores; e o segundo, alude sobre um conceito mais profundo, com objetivos de alcance do equilíbrio ambiental (Daronco, 2014).

Os serviços públicos de saneamento no Brasil seguem os princípios fundamentais presentes na lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), alterada pela lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), sendo alguns deles: universalidade, controle social, eficiência, sustentabilidade, economia, redução de perdas, equidade, disponibilidade, integralidade, intersetorialidade e qualidade.

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), realiza todos os anos a coleta de dados sobre os serviços de saneamento no Brasil e posteriormente elabora um diagnóstico com as informações que foram repassadas pelos órgãos públicos, autarquias e concessionárias responsáveis pelos serviços de saneamento nos municípios.

Conforme os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021), atualmente, 84,2% dos brasileiros são atendidos com o abastecimento de água. Porém, em números absolutos são mais de 35 milhões de pessoas que não possuem acesso à água tratada, apesar de ser seu direito.

Em relação à coleta de esgoto, 55,8% da população possui acesso a este serviço e mais de 100 milhões de pessoas (44,2%) sofrem com a falta de esgoto. Em relação ao tratamento do esgoto, 51,2% do esgoto brasileiro é tratado e apenas 18 municípios entre as 100 maiores cidades do país tratam mais de 80% dos esgotos.

Os dados do SNIS mostram que a atual situação de atendimento aos serviços de saneamento básico representa sérios riscos para a vida do povo brasileiro, e por esse motivo é que há um incentivo para melhorar a questão do saneamento básico no Brasil, onde após mais de 10 anos da criação da Lei Federal nº 11.445/07 (BRASIL, 2007), que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, ainda não se vê situação de universalização desses serviços. Mesmo com a criação do Novo Marco Legal do Saneamento Básico de 2020 (BRASIL, 2020) e a própria Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) já ter disciplinado sobre o seu acesso ser um direito de todos, é necessário criar políticas públicas voltadas para o saneamento básico.

O custo para universalização dos serviços de saneamento básico no Brasil é de R\$508 bilhões, levando-se em consideração o período de 2014 até 2033, segundo dados do Instituto Trata Brasil (2021). Segundo o SNIS (2021), os investimentos em água e esgotamento sanitário foram de R\$15,11 bilhões, um valor maior que em 2020.

Diante desse cenário, foi criada a Lei nº14.026/2020 (BRASIL, 2020) o Novo Marco Legal do Saneamento Básico, estruturando uma nova sistemática, regulatória e institucional,

para esse setor, operando mudanças significativas na Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007). Cuida-se de uma sistemática que tem os seguintes pilares principais: universalizar os serviços de água e esgoto até 31 de dezembro de 2033, conferir coerência regulatória setorial, por intermédio das normas de referência, a serem editadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Na literatura existem várias definições sobre o que é Saneamento Básico, no entanto, está disposto na Lei do Saneamento Básico Brasileira, a Lei nº 11.445 de 2007 (BRASIL, 2007) e que foi alterada pela Lei nº 14.026 de 2020 (BRASIL, 2020) denominada de Novo Marco Legal do Saneamento Básico a qual possui a sua melhor definição: é o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de:

Abastecimento de água potável: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição;

Esgotamento sanitário: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reuso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente;

Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana;

Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes.

Apesar desta definição ser extensa, frequentemente quando se fala de Saneamento Básico, a correlação é feita aos setores de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Isto em função da sinergia e similaridade de obras e intervenções urbanas desses segmentos, a forma como foram desenvolvidas historicamente a prestação desses serviços e a constituição das empresas públicas com esta finalidade.

A Lei Federal nº 11.445/07, (BRASIL, 2007) regulamentada pelo Decreto nº 7.217/10 (BRASIL, 2010) estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico, define o que é o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), além de estabelecer que os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

- Universalização do acesso;
- Integralidade;
- Articulação com outras políticas públicas;
- Eficiência e sustentabilidade econômica;
- Transparência das ações;
- Controle social;
- Segurança, qualidade e regularidade;
- Integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

O Plano Municipal de Saneamento Básico é uma ferramenta de planejamento com instrumentos de participação social visando traçar metas para a melhoria das condições de saúde, qualidade de vida e desenvolvimento local comprometido com as questões ambientais. Os Planos devem abranger quatro componentes do Saneamento Básico:

- Abastecimento de água;
- Esgotamento sanitário;
- Drenagem e manejo das águas pluviais;
- Limpeza urbana e gestão de resíduos sólidos.

Nas elaborações e revisões dos Planos Municipais, o Controle Social é peça fundamental e legal, assim tais planos devem ser elaborados e revisados contando com a efetiva participação da Sociedade, devendo esta sociedade, no momento de a elaboração ser representada nos Comitês de Coordenação e ainda a sociedade deve apreciar e aprovar o plano em Audiência Pública. A existência do PMSB é condição para que o município receba recursos da União destinados a serviços de saneamento básico. Esta regra busca a valorização do planejamento e do controle social e conseqüentemente do bom uso dos recursos públicos, devendo ser revisado a cada quatro anos, seguindo todas as etapas atinentes a elaboração, aprovação, execução, avaliação e na revisão do Plano.

METODOLOGIA

O estudo teve como objeto o município de Pratápolis e utilizou-se a observação assistemática que para Gressler (2003), é efetivada como estágio inicial para estudos e levantamento de fatos, ocorrências e instrumentos que aparecem num contexto natural, não organizado pelo observador, mas selecionado anteriormente, embora não forneça dados definidos, é de grande utilidade para levantamento de hipóteses para posteriores pesquisas.

A pesquisa bibliográfica foi realizada através de diversos estudos, artigos, teses, dissertações e sites que possuem vínculo com o saneamento básico, incluindo várias legislações, sendo a principal, a Lei Federal nº 14.026 de 15 de julho de 2020 (BRASIL, 2020).

Em seguida foram realizadas as visitas *in loco* para verificar a real situação do saneamento básico no município e a triangulação dos dados qualitativos a análise documental. “A triangulação de dados consiste em usar diferentes fontes de dados, sem usar métodos distintos. Neste caso, os dados são coletados em momentos, locais ou com pessoas diferentes” (Zappellini & Feuerschutte, 2015, p. 247).

Etapas da Pesquisa e Metodologia Utilizada

Os procedimentos deste estudo de caso foram divididos em três etapas a saber: pesquisa bibliográfica e documental, visitas *in loco* e análise qualitativa dos dados.

O estudo de caso, segundo Silva *et al* (2008, p. 669), é a estratégia de pesquisa mais recorrente em engenharias. Ela contribui de forma inigualável, segundo Yin (2001), para a compreensão que temos dos fenômenos individuais, organizacionais, sociais e políticos. Incluem-se aí, naturalmente, os tópicos mais comuns de pesquisas no campo da administração pública e dos serviços públicos, tais como os de abastecimento de água e de esgotamento sanitário.

De acordo com Vennesson (2018), o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa baseada na investigação empírica em profundidade de um ou de um pequeno número de fenômenos de forma a explorar a configuração de cada caso e a elucidar características de uma classe maior de fenômenos (similares) através do desenvolvimento e da avaliação de explicações teóricas.

A primeira etapa utilizou-se de uma pesquisa bibliográfica que, para Marconi (2010), visa descobrir respostas para problemas mediante o emprego de um conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite ao autor alcançar conhecimentos válidos e verdadeiros. Essa pesquisa foi realizada em sites, livros e diversos artigos publicados.

Também foi realizada uma pesquisa documental, na qual foram coletados dados informativos na Prefeitura Municipal de Pratápolis e no Serviço Autônomo de Água e esgoto (SAAE). Junto à Prefeitura Municipal de Pratápolis, a pesquisa documental consistiu em levantamento e análise de documentos sobre as legislações municipais referentes a drenagem urbana e registros de ocorrências de enchentes e inundações. No escritório do SAAE, foram colhidas diversas informações sobre a coleta, o tratamento e a distribuição de água e dados sobre a gestão dos serviços de saneamento básico e diversos elementos referentes ao serviço de coleta e destinação do esgotamento sanitário.

Na segunda etapa foram realizadas visitas na estação de tratamento de água, nos bairros e centro, para verificar como está a situação atual do sistema de drenagem de água pluvial, situação do encanamento, as bocas de lobo, curso d'água existente no município, estação de tratamento de água e as condições das caixas d'água que abastecem os bairros e nos demais locais que estão vinculados ao sistema de saneamento básico do município.

Durante as visitas *in loco* não foram realizados nenhum estudo de medição com a utilização de equipamentos, foram apenas para observação e registro fotográfico da prestação dos serviços. As informações colhidas neste estudo não possuem documentos técnicos, foram coletadas através de entrevistas com o diretor do SAAE de Pratápolis (Antônio Carlos Corrêa) e com o secretário de Infraestrutura da Prefeitura Municipal de Pratápolis (Vagno Donizetti Alves).

Na terceira e última etapa, foi realizada a análise qualitativa dos dados coletados resultando em quadros, relatórios fotográficos e tabelas. De posse dos dados e informações coletados nas etapas anteriores, realizou-se uma avaliação do Plano Municipal de Saneamento Básico e uma comparação dos serviços de saneamento básico prestados no município com o Novo Marco Legal do Saneamento Básico.

Nesse sentido, destaca-se que o presente estudo de caso objetivou descrever e avaliar três eixos do saneamento básico e correlacionar os aspectos da nova legislação do saneamento básico ao caso estudado.

Para a realização deste estudo foi realizada uma avaliação dos serviços que estão sendo prestados no município de Pratápolis, utilizando alguns indicadores e sua forma de avaliação, que vai de encontro com a proposta do Novo Marco Legal do Saneamento Básico conforme o Quadro 1.

Indicador	Forma de Avaliação
Cobertura para abastecimento de água potável	Percentual de atendimento
Controle da perda de água	Realiza estudo para saber se há perda de água
Promove-se à racionalização do consumo de água pelos usuários e fomento à eficiência energética, ao reuso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva	Realiza ações de educação ambiental
Parâmetros a serem adotados para a garantia do atendimento essencial à saúde pública, inclusive quanto ao volume mínimo per capita de água para abastecimento público	Possui volume mínimo para o consumo de água na residência
Cobertura da coleta de esgoto	Percentual de atendimento
Tratamento do esgoto	Possui Estação de Tratamento de Esgoto
Padrões de qualidade e eficiência na prestação, na manutenção e na operação dos sistemas de saneamento básico	Situação atual
Há regulação tarifária dos serviços públicos de saneamento básico	Quais serviços de saneamento possui taxa de cobrança

Promover a prestação adequada dos serviços, com atendimento pleno aos usuários, observados os princípios da regularidade, da continuidade, da eficiência, da segurança, da atualidade, da generalidade, da cortesia, da modicidade tarifária, da utilização racional dos recursos hídricos e da universalização dos serviços	Situação atual
Os serviços de drenagem urbana, tratamento, limpeza e fiscalização preventiva das redes estão adequados à saúde pública, à proteção do meio ambiente e à segurança da vida e do patrimônio público e privado	Situação atual
O prestador dos serviços públicos de saneamento básico disponibiliza infraestrutura de rede até os respectivos pontos de conexão necessários à implantação dos serviços nas edificações e nas unidades imobiliárias decorrentes de incorporação imobiliária	Situação atual
Promover a capacitação técnica do setor	São realizados treinamentos e capacitações com os funcionários

Quadro 1 - Aspectos do Marco Legal do Saneamento Básico que serão analisados no município de Pratápolis-MG

O Plano Municipal de Saneamento Básico é a principal estratégia para garantir a prestação dos serviços de água, esgotamento sanitário e drenagem de água pluvial à população. O PMSB de Pratápolis elaborado em 2017, foi analisado para verificar como foi feita a sua elaboração, se está seguindo todas as diretrizes que são exigidas, se as metas indicadas nele foram cumpridas e se foi atualizado.

Tratando-se de uma pesquisa de natureza aplicada, sua forma de abordagem é prioritariamente qualitativa. Entretanto, algumas considerações quantitativas são feitas para contextualizar melhor a temática da pesquisa e o objeto de análise. Esse processo, juntamente com os dados obtidos, pretende garantir maior validade e conferir rigor metodológico à pesquisa.

Para a realização deste estudo não foi feita nenhuma análise sobre a qualidade da água, não houve medição para saber a quantidade de perda na distribuição de água e não foi utilizado nenhum equipamento para coleta de dados, sendo assim não possui nenhum documento técnico.

Os dados obtidos neste estudo foram através de visitas *in loco*, observando os serviços de saneamento que são prestados e para registro fotográfico, como também entrevista com funcionários atuais e ex-funcionários da Prefeitura e do SAAE e com a população. Durante as entrevistas foram questionadas diversas perguntas e assuntos, que culminaram nas principais demandas que os prestadores dos serviços de saneamento do município possuem, e nos problemas que a população vivencia diariamente, o qual foi fundamental para a confecção deste estudo, mostrando segurança e lisura. Os dados sobre

o saneamento básico no Brasil referente ao ano de 2021, foram obtidos através do site do Governo federal chamado SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados do estudo, em um primeiro momento, abordam o Plano Municipal de Saneamento Básico, em seguida apresenta e discute a realidade dos serviços prestados na drenagem urbana, abastecimento de água e esgotamento sanitário para o município de Pratápolis/MG, juntamente com os dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Pratápolis que é responsável pelas obras e planejamento da drenagem pluvial, manutenção e ampliação do sistema e pelo SAAE, que presta os serviços de saneamento no município. Por fim, apresenta-se o comparativo com o Novo Marco Legal do Saneamento Básico utilizando alguns indicadores.

Plano Municipal de Saneamento Básico de Pratápolis

O município estudado possui o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), conforme a Lei Municipal 1.906 de 28 de dezembro de 2017, que é um instrumento indispensável para a elaboração da política pública de saneamento. O PMSB é obrigatório para a contratação ou concessão de serviços, bem como para o recebimento de recursos financeiros da União. O plano foi elaborado conforme determina a legislação, contendo todos os dados e seguindo todas as etapas que são exigidas para a elaboração de um PMSB até a sua consolidação em lei municipal.

Quanto às metas e aos prazos que foram estipulados, o município e o SAAE realizaram parcialmente, apenas o tratamento e a distribuição da água, a coleta de esgoto e sua destinação em todo o perímetro urbano foram concluídos dentro do prazo estipulado no plano. Algumas metas foram iniciadas, tais como: ação educativa, desentupimento das bocas de lobo, projeto para a construção de uma estação de tratamento de esgoto, troca de todo o encanamento da rede de distribuição de água, melhorias na estação de tratamento de água, entre outras, porém foram paralisadas sem cumprir a meta de curto prazo, a qual é a mais simples.

O PMSB não foi atualizado, necessitando urgente a sua atualização, pois nesse plano é prevista revisão a cada quatro anos, podendo estar ultrapassado diante da atual conjuntura que se encontra a realidade do município.

Os dados deste estudo, referente drenagem urbana, abastecimento de água e esgotamento sanitário, que foram obtidos através das visitas *in loco*, serão mencionados através de quadros e fotos, para uma melhor observação dos problemas detectados, para depois propor possíveis soluções para saná-los ou amenizá-los.

Plano Diretor de Drenagem Urbana	O município não possui.
Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano	O município não possui.
Código de Obras	Possui conforme a Lei Municipal 1.065 de 23 de dezembro de 1991.
Código de Posturas	Possui conforme a Lei Municipal 835 de 01 de junho de 1983.
Departamento de Obras	Possui, ele é o responsável pelas obras e planejamento da drenagem urbana. Fonte: Prefeitura Municipal de Pratápolis
Ocorre enchente	No período chuvoso, ocorrem enchentes em três locais da cidade, sendo elas no centro e em dois bairros onde passam os rios que banham o município, o rio Palmeiras e o Córrego do Prata. Fonte: Prefeitura Municipal de Pratápolis
Boca de lobo obstruída	Devido às ligações clandestinas das redes de esgotos, que são ligadas nas redes de águas pluviais, ocorre mau cheiro exalando das bocas de lobo que foram tapadas pela população com cimento, para evitar acabar com esta problemática. Fonte: SAAE
Boca de lobo entupida	Foram observadas diversas bocas de lobo obstruídas com partículas de solo, vegetação e resíduos sólidos.
Bocas de lobo danificada	Observou-se a existência de bocas de lobo sem grades de proteção. Uma estava tampada com um pedaço de madeira e a outra não tinha proteção.
Disposição final das galerias de água pluvial	Todas as galerias de águas pluviais lançam as suas águas nos cursos d'água que banham a cidade de Pratápolis, sendo o Córrego do Prata e o Rio Palmeiras, se há alguma ligação irregular de esgoto nela, também é despejado nos rios. Fonte: Prefeitura Municipal de Pratápolis

Quadro 2 - Drenagem urbana

Abastecimento de água

Na Figura 1, pode-se ser observado um croqui que contém o arranjo de abastecimento de água, desde a sua captação da água no Rio Palmeiras até o seu tratamento na ETA, para então ser direcionada para os reservatórios.

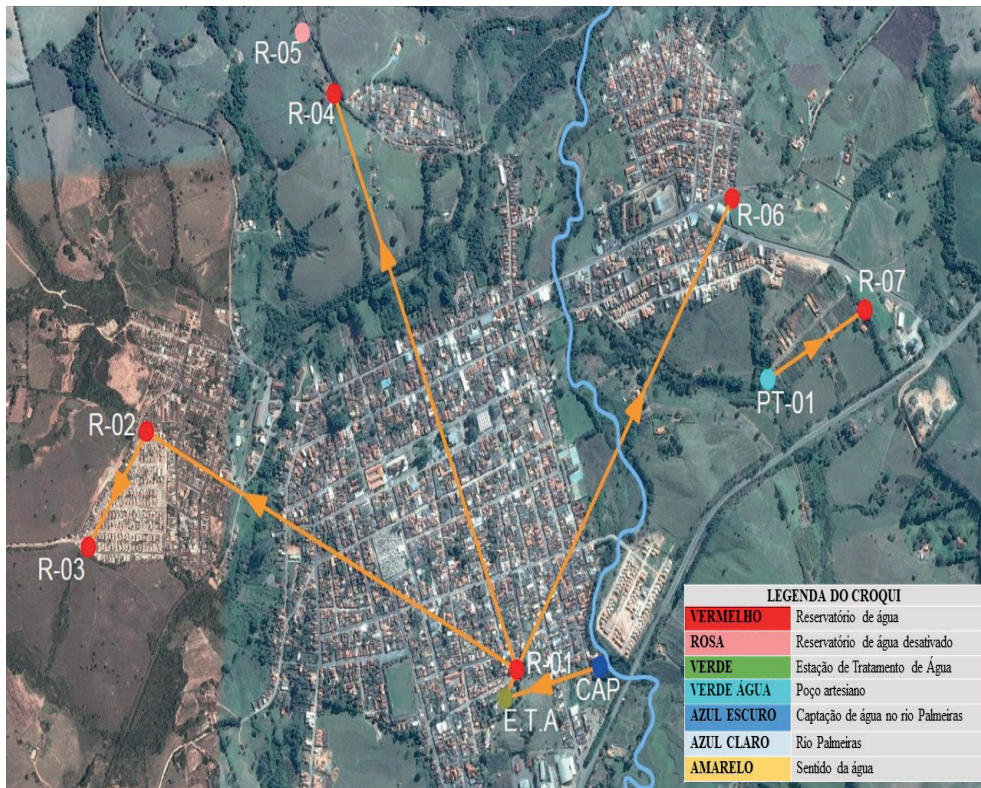


Figura 1 - Croqui do modelo hidráulico da produção e distribuição de água

Fonte: Google Earth (adaptado pelo autor)

Volume de água tratada	50 litros por segundo Fonte: SAAE
Reservatórios	Possui sete reservatórios de água que a distribui para as residências, sendo três de concreto e quatro metálicos que abastece nove bairros, além do centro. Fonte: SAAE
Condições dos reservatórios de concreto	São antigos, possuem fiação exposta e são higienizados toda semana, porém não estão em boas condições e não proporcionam segurança para realização da limpeza. Contém pequenas rachaduras e não possuem vazamentos.
Condições dos reservatórios metálicos	São do tipo elevado, estão enferrujados e são antigos, nunca houve limpeza. Fonte: SAAE
Abastecimento de água	Quase todos os bairros são abastecidos pelo SAAE, apenas, o bairro Bela Vista não é abastecido, por conta das condições das tubulações da rede de distribuição de água, que não conseguem levar a água por gravidade para este bairro com a pressão necessária. Por conta deste problema, há um poço artesiano de captação de água subterrânea para abastece-lo. Fonte: SAAE

Extensão da rede do sistema de abastecimento de água	Não foi possível obter, pois o SAAE não possui dados ou mapas referentes à distribuição espacial das tubulações. Fonte: SAAE
Perda de água pelas tubulações de distribuição	Constatou-se que há um pequeno índice de perda de água pelas tubulações de distribuição, sendo proveniente de perdas físicas e não físicas conforme o PMSB, que decorre de captações clandestinas de água tratada, hidrômetros com fraude e/ou sem manutenção, vazamentos no sistema de distribuição e vazamento dentro das residências. Fonte: PMSB de Pratápolis
Acompanhamento do consumo mensal de água	O SAAE não possui um programa de gerenciamento capaz de acompanhar o consumo mensal de cada residência. As leituras são realizadas na residência utilizando-se o método manual.
Critério de tarifação	O critério de tarifação é realizado por faixas de consumo em metros cúbicos consumidos pelo usuário. Existe uma tarifa mínima de consumo da água e quando o consumidor ultrapassa o limite da faixa mínima de consumo, é somado o valor excedente por metro cúbico consumido. O valor mínimo é de R\$26,11 para quem gasta até 10 m ³ de água por mês, acima desta quantidade é acrescentado o valor excedente, normatizado pela Lei Municipal nº 2.246 de setembro de 2023. Fonte: SAAE
Funcionários	Um fator que dificulta a prestação dos serviços, principalmente na manutenção, é a quantidade de funcionários que não é o suficiente para atender toda a demanda, onde em muitas situações ocorrem a demora para solucionar o problema, o que gera transtornos para os usuários. Fonte: SAAE
Inadimplência	Quanto à inadimplência, foi informado pelo SAAE que não há um índice elevado de usuários com débitos, mas não foi informada a quantidade e os valores, o que dificulta o investimento em veículos, aparelhos para melhor atender a demanda, reformas, substituição das tubulações entre outros.
Situação atual do encanamento	O encanamento por onde ocorre a distribuição de água é todo de ferro, estão enferrujados, e quando necessita de reparo é feito com câmara de ar utilizada em veículos.
Vazamentos	Outro grave problema encontrado nas vistorias foram vazamentos de água em vários, o que ocasiona perda de água tratada que poderia seguir para as residências. O SAAE não possui nenhuma política para a prevenção e diminuição da perda de água que ocorre na rede de distribuição, pois nunca foi realizado nenhum estudo referente a perda, para saber a quantidade de perda de água tratada que ocorre em Pratápolis. Fonte: SAAE

Encanamento exposto	Durante as visitas pelo município foram encontrados diversos encanamentos expostos, sem nenhuma proteção, exposto ao sol e a chuva.
Análise de qualidade da água	São realizadas semestralmente em toda a cidade e na estação de tratamento de água são realizadas a cada duas horas. Uma vez por semana é realizada a análise bacteriológica e as físico-químicas em pontos estratégicos do município direto da torneira. Estas análises não foram disponibilizadas para este estudo. Fonte: SAAE
Prédio da estação de tratamento de água	Possui rachaduras na parte superior externa e interna, o que pode comprometer a sua estrutura e há também fiação exposta em vários locais, tanto dentro e do lado de fora, pois, o local é úmido e pode causar riscos de choque elétrico e curto circuito prejudicando o abastecimento de água a população e está causando risco a integridade física dos funcionários. O prédio não possui alvará do corpo de bombeiros e nem projeto contra incêndio.
Tanques estacionários da ETA	Os tanques de floculação, decantação, filtração e desinfecção da água, são de alvenaria e a limpeza é feita toda quinta-feira, onde são esvaziados e ocorre a higienização. Por serem de alvenaria, há uma dificuldade na limpeza das paredes que acumulam lodo e necessita de um jato de água potente para retirá-lo.
Calha <i>Parshall</i>	Está inadequada para realizar os trabalhos, tendo amarrado uma mangueira com câmara de ar em uma madeira.
Laboratório de análises do SAAE	O laboratório onde são realizadas as análises para verificar a qualidade da água é simples, possui apenas um destilador de água, uma estufa bacteriológica, uma geladeira de pequeno porte e alguns equipamentos para realização da análise química e física da água.
Unidade de captação de água.	Nunca houve reformas, apenas troca dos equipamentos, manutenção e pintura, e não está em boas condições, tendo fiação exposta, disjuntores improvisados em madeira, ferrugem nas escadas de acesso a casa de bombas, presença de objetos próximos ao painel elétrico que não fazem parte do mesmo, além de não possuir alvará do corpo de bombeiros e nem projeto contra incêndio.
Sistema de captação da água	É realizada através de duas adutoras onde a água é bombeada por duas bombas centrifugas comuns, para o seu tratamento até a ETA. É uma captação superficial, onde constatou a precariedade do local, que possui vegetação dentro dos tanques, as paredes de alvenarias estão sujas, resíduos e galhos próximo ao local onde ocorre a captação, que pode ocasionar entupimento das adutoras e dificultar o tratamento

Quadro 3 – Abastecimento de água

Esgotamento Sanitário

O município carece de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), o qual é despejado *in natura* nos dois corpos hídricos que banham a cidade, o rio Palmeiras e o Córrego do Prata. O município não possui grandes geradores de esgoto, em virtude da não existência de grandes indústrias nele.

Na Figura 2 nota-se vários pontos de despejo do esgoto no Córrego do Prata sem nenhum tratamento, que causa mal cheiro, atrai insetos e causa risco aos moradores que estão próximos de adquirir inúmeras doenças. No rio Palmeiras a situação é a mesma, ou seja, 100% do esgoto do município de Pratápolis não possui tratamento.



Figura 2 - Esgoto sem nenhum tratamento sendo despejado no Córrego do Prata.

Não foi possível obter a extensão da rede do sistema de coleta de esgoto sanitário, pois o SAAE não possui dados ou mapas. Quanto à tarifação, a coleta e destinação do esgoto tem um valor fixo de R\$12,84, no qual o boleto do esgoto vem junto com o de água, para que seja realizado o pagamento, ambos têm a mesma forma de entrega e pagamento, normatizado pela Lei Municipal nº 2.246 de setembro de 2023.

Comparativo entre o Novo Marco Legal do Saneamento Básico e os serviços de saneamento prestados no município de Pratápolis

A partir dos dados levantados e resultados obtidos, foi realizado um comparativo através de alguns indicadores (Quadro 4) com os serviços que estão sendo prestados pelo SAAE e pela Prefeitura aos munícipes, com as metas previstas no Novo Marco Legal do Saneamento Básico. Esse comparativo é de suma importância para que sejam propostas as melhorias para a prestação dos serviços, pois esta lei já está em vigor com as metas e prazos, para que sejam cumpridos os três eixos do saneamento básico.

Indicador	Situação atual no município
Cobertura para abastecimento de água potável	100 % do município possui água potável. Fonte: SAAE
Controle da perda de água	O SAAE não possui nenhuma política para a prevenção e diminuição da perda de água tratada
Promove-se à racionalização do consumo de água pelos usuários e fomento à eficiência energética, ao reuso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva	O SAAE não possui nenhum projeto de educação ambiental voltado para evitar o desperdício de água e o reaproveitamento da água de chuva e efluentes sanitários
Parâmetros a serem adotados para a garantia do atendimento essencial à saúde pública, inclusive quanto ao volume mínimo per capita de água para abastecimento público	O valor mínimo é de R\$26,11 para quem gasta até 10 m ³ de água por mês, acima desta quantidade é acrescentado o valor excedente, normatizado pela Lei nº 2.246 de setembro de 2023 Fonte: SAAE
Cobertura da coleta de esgoto	100 % do município possui coleta de esgoto Fonte: SAAE
Tratamento do esgoto	Não possui Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Fonte: SAAE
Padrões de qualidade e eficiência na prestação, na manutenção e na operação dos sistemas de saneamento básico	A prestação dos serviços de saneamento básico é oferecida dentro das possibilidades que a prestadora e o município possuem, porém não segue os padrões de eficiência exigidos Fonte: SAAE e Prefeitura Municipal de Pratápolis
Regulação tarifária dos serviços públicos de saneamento básico	A água possui sua cobrança que foi feita por meio de uma lei, que possui os valores referentes a quantidade de água consumida e o esgoto possui um valor fixo que são relatados no estudo. A drenagem urbana não possui cobrança de tarifa Fonte: SAAE e Prefeitura Municipal de Pratápolis
Promover a prestação adequada dos serviços, com atendimento pleno aos usuários, observados os princípios da regularidade, da continuidade, da eficiência, da segurança, da atualidade, da generalidade, da cortesia, da modicidade tarifária, da utilização racional dos recursos hídricos e da universalização dos serviços	A prestação dos serviços de saneamento básico existe, porém não condiz com que exige a legislação, como pode-se ver no estudo. No município não existe uma prestação de serviços de qualidade e eficiente seguindo os princípios Fonte: SAAE e Prefeitura Municipal de Pratápolis
Os serviços de drenagem urbana, tratamento, limpeza e fiscalização preventiva das redes estão adequados à saúde pública, à proteção do meio ambiente e à segurança da vida e do patrimônio público e privado	Os serviços de drenagem urbana oferecidos a população precisam ser mais efetivos, pelo estudo ficou claro esta questão, por exemplo: boca de lobo entupida, galeria de água pluvial com ligação de esgoto, boca de lobo descoberta, alagamentos no centro da cidade por falta de boca de lobo para a água da chuva escoar e mal cheiro exalando da boca de lobo que pode prejudicar a saúde da população
O prestador dos serviços públicos de saneamento básico disponibiliza infraestrutura de rede até os respectivos pontos de conexão necessários à implantação dos serviços nas edificações e nas unidades imobiliárias decorrentes de incorporação imobiliária	No município é disponibilizado toda a infraestrutura para os serviços de saneamento

Promover a capacitação técnica do setor	Não são realizados treinamentos e nem capacitações com os funcionários, isso faz com que eles não se atualizem quanto as legislações referentes ao saneamento básico e sua função no SAAE e na Prefeitura Fonte: SAAE e Prefeitura Municipal de Pratápolis
---	--

Quadro 4 - Comparativo da Lei nº 14.026/2020 e a situação atual do município

Propostas de melhorias para os serviços de saneamento

Considerando as características apresentadas neste estudo, observa-se que é inevitável considerar que o município de Pratápolis necessita passar por processos de reformas, para adequação do seu sistema de saneamento básico. Assim, foram propostas ações com bases nos problemas detectados neste estudo para sanar ou diminuir os impactos que estão sofrendo o SAAE, o município e principalmente a população.

- Revisão do Plano Municipal de Saneamento Básico de Pratápolis;
- Fazer o mapeamento e cadastro das áreas de risco de enchentes e alagamentos para manter os moradores informados quando houver previsão de chuvas fortes e intensas, que o INMET e a Defesa Civil Estadual repassam aos municípios;
- Montar uma estação meteorológica dentro do município para acompanhar as condições climáticas, principalmente a chuva por meio do Pluviômetro;
- Criar o Plano Diretor de Drenagem Urbana, determinado pela Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007);
- Fazer o mapeamento da toda a drenagem urbana de águas pluviais do município;
- Em posse deste mapa das redes de drenagem, realizar a limpeza e desobstrução de todas as bocas de lobo do município, e construir novas nos locais onde está propicio a ocorrência de inundação devido a falta de boca de lobo;
- Reforçar a grade de proteção das existentes, e nas bocas de lobo que não tem, colocar grade de proteção;
- Quanto às redes de esgoto que estão ligadas nas redes de águas pluviais sem consentimento do SAAE, deverá ser feito uma fiscalização nos locais onde há a possibilidade de haver esta irregularidade, e investigar onde estão estas ligações clandestinas, para então destinar o esgoto corretamente, para a sua rede coletora;
- Fazer o largueamento dos cursos d'água dentro do perímetro urbano e a sua limpeza anualmente, para que a água flua normalmente e para que o rio comporte o grande volume de água no período chuvoso, o que evitaria o seu transbordamento, e conseqüentemente enchente;

- Substituição dos reservatórios de concreto por reservatório metálico e fazer uma avaliação dos reservatórios metálicos existentes, pois se não estiverem em boas condições, devem ser trocados;
- Realizar a troca de todo o encanamento de ferro do município, por cano de PVC;
- Conforme for realizando a troca do encanamento do município, confeccionar um mapa, para futuramente ter todos os dados referentes à distribuição espacial das tubulações de água do município;
- Contratar uma empresa especializada para realizar um estudo e descobrir quais locais estão ocorrendo a perda e se possível a quantidade, pois é notável que há uma perda de água tratada pela rede de distribuição;
- Quanto a inadimplência, sugere-se que faça uma checagem no sistema para detectar quem está com as contas em atraso, em seguida entrar em contato com o usuário para fazer um acordo para que seja quitado a dívida com o SAAE;
- Contratação ou realização de um concurso público para a vinda de novos funcionários;
- Colocar o encanamento exposto no solo, embaixo do asfalto ou paralelepípedo, para que fiquem protegidos;
- Reforma total do prédio da estação de tratamento de água, aquisição de equipamentos novos e sofisticados para a realização das análises da qualidade da água, dar manutenção nos tanques estacionários e se houver necessidade, refazê-los com um material adequado para facilitar a limpeza dos mesmos, adquirir uma calha *Parshall* nova e fazer um projeto contra incêndio e apresentar ao corpo de bombeiros;
- O local onde ocorre a captação da água para o tratamento, necessita de uma limpeza para a retirada do excesso de solo, vegetação e resíduos. A casa de bomba deve haver uma reforma total, adequando os painéis e a parte elétrica, retirando o que não pertence àquele local, refazer a pintura e por fim fazer um projeto contra incêndio e apresentar ao corpo de bombeiros.
- Elaboração de um projeto para a construção de uma estação de tratamento de esgoto (ETE);
- Conforme for desenvolvendo o projeto da ETE, dar início a confecção de um mapa, para futuramente ter os dados referentes à distribuição espacial das tubulações da rede de esgoto do município.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste estudo foi possível compreender que o setor do saneamento básico no município de Pratápolis apresenta vários desafios atuais e futuros aos gestores. As

Leis que possuem vínculo com o saneamento, precisam serem acionadas, executadas e atualizadas.

Os serviços que integram o saneamento básico do município, são de extrema complexidade e obsoletos, necessitam de alterações e mudanças imediatas para que sejam efetivados e contemplem toda a população.

A intervenção do poder público a partir de simples ações, são fundamentais para uma adequada prestação dos serviços de saneamento, sejam elas planejadas com atendimento a curto, médio e longo prazo, como a continuidade dos planos mesmo com as mudanças na gestão municipal, revisão, reformulação, implantação de novas leis e diretrizes envolvendo o saneamento e principalmente, reformas e adequações nos prédios, instalações e sistemas que envolvem todo o saneamento básico do município.

A Lei nº14.026/2020 estabelece várias mudanças no sistema de saneamento básico que possui metas a serem cumpridas. No presente estudo constatou-se que no momento (2024), o município de Pratápolis dificilmente atenderá as demandas do novo marco regulatório do saneamento básico, que tem como objetivo a universalização, pois sequer dispõe de uma ETE. Sua infraestrutura de saneamento é muito precária, exigindo muito tempo para atender às diretrizes da referida Lei. Porém, um eventual investimento da iniciativa privada no setor de saneamento básico no município de Pratápolis seria capaz de auxiliar no alcance das metas. Do contrário, ele dificilmente atenderá à universalização proposta pelo novo marco regulatório do saneamento básico no prazo estipulado para tal.

REFERÊNCIAS

BARBIERI, J. S.; GIMENES, R. M. T.; GOMES, C. F. **Investimentos em Saneamento Básico e Taxas de mortalidade infantil nos municípios da Região da AMUSEP**. 2013. 70f. Dissertação (Mestrado em Promoção da Saúde) - Centro Universitário de Maringá. Maringá, 2013

BRASIL, Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007. **Estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico**.

BRASIL, Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020. **Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico**.

DARONCO, Giuliano Crauss. **Proposição e aplicação de metodologia para avaliação e auditoria de planos municipais de saneamento básico**. 2014.

Instituto Trata Brasil. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/> Acesso 26 out. 2024.

HELLER, Léo. **Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento**. Ciências e saúde coletiva, Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 73-84, 1998.

HOCAYEN-DA-SILVA, Antônio J., ROSSONI, Luciano; FERREIRA JUNIOR, Israel. Administração pública e gestão social: a produção científica brasileira entre 2000 e 2005. **Revista de Administração Pública**, vol. 42, n. 4, 2008.

HUTTON, Guy; HALLER, Laurence. **Evaluation of the costs and benefits of water and sanitation improvements at the global level**. Genebra, Suíça: Organização Mundial da Saúde (OMS), 2004.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. **Cidades e Inundações**: um guia para a gestão integrada do risco de inundação urbana para o século XXI. Washington, D.C.: The World Bank, 2012. Disponível em: http://mi.gov.br/pt/c/document_library/get_file?uuid=3c3b9a72-9358-415f-9efe-89fad4cbb381&groupId=10157 Acesso em: 15 out. 2024.

MARGULIES, Beatriz Nogueira. **Desempenho das empresas de saneamento básico brasileiras: uma análise dos setores público e privado**. 2018. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Economia, Administração E Contabilidade. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.

MORAIS, Luiz Roberto Santos; BORJA, Patrícia Campos. Revisitando o conceito de saneamento básico no Brasil e em Portugal. Revista do Instituto Politécnico da Bahia, p. 5-11, 2014.

OLIVEIRA, A. P. **Avaliação da multifuncionalidade e de custos de técnicas compensatórias de drenagem na revitalização de áreas urbanas em Guarulhos, SP**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018. E-book.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Glossário de termos do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6: assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos**. Brasília: ONU-BR, 2018.

PARKINSON, J. MILOGRANA, J.; CAMPOS, L.C.; CAMPOS, R. **“Relatório do Workshop em Goiânia/GO, dia 7 de maio 2003**.

PROSAB (PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO). **Reuso das águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologia de tratamento para esse fim**. Rio de Janeiro: Abes, 2006.

SILVA, L. A. **Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de estação compacta para tratamento de esgotos em unidades residenciais unifamiliares**. 2014. 191f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos/agua-e-esgotos> Acesso em: 10 out. 2024.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, p. 5-27, jan./mar. 2002. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=99&SUMARIO=1583> Acesso em: 15 out. 2024.

ZAPPELLINI, M. B.; FEUERSCHÜTTE, S. G. O uso da triangulação na pesquisa científica brasileira em administração. **Administração: Ensino e Pesquisa**, v.16, n.2, p.241. 2015. <https://doi.org/10.13058/raep.2015.v16n2.238>

VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA - CONCEIÇÃO DO ARAGUAIA-PA

Data de submissão: 16/02/2025

Data de aceite: 05/03/2025

Kariny Silva de Oliveira
(IFPA)

Mirian Santos Alves
(IFPA)

Ana Paula Brandão Leal
(IFPA)

Eva Silvestre Araújo
(IFPA)

Jheiry Barbosa dos Santos
(IFPA)

Adria Lorena de Moraes Cordeiro
(IFPA)

Antônio Jorge Silva Araújo Junior
(UFOPA)

Addyson Macedo Silva

Laila Rover Santana
(IFPA)

como objetivo avaliar a viabilidade da implementação de um sistema de coleta de água da chuva no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), campus Conceição do Araguaia, visando soluções técnicas e econômicas para reduzir o consumo de água potável e promover a sustentabilidade hídrica na instituição. A metodologia incluiu a caracterização da área de estudo, o cálculo da demanda mensal e anual de água para descargas sanitárias, a obtenção de dados climáticos via satélite (CHIRPS) e a simulação do sistema no software Netuno. Os resultados indicaram que, considerando um reservatório inferior de 25.000 litros e um reservatório superior de 6.000 litros, o sistema poderia atender a 29,66% da demanda, resultando em uma economia diária média de 6.179,10 litros de água potável. A implementação do Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC) no IFPA Campus Conceição do Araguaia demonstrou ser uma alternativa viável e sustentável para a redução do consumo de água potável e a preservação dos recursos hídricos, apresentando benefícios ambientais e econômicos, além de promover práticas sustentáveis na instituição.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento de

RESUMO: A crescente demanda por água, aliada à degradação da qualidade dos mananciais, especialmente em centros urbanos, tem intensificado a preocupação quanto à sustentabilidade dos recursos hídricos. Desse modo, este estudo tem

ABSTRACT: The growing demand for water, combined with the degradation of water source quality, especially in urban centers, has intensified concerns about the sustainability of water resources. Thus, this study aims to evaluate the feasibility of implementing a rainwater collection system at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Pará (IFPA), Conceição do Araguaia campus, aiming at technical and economic solutions to reduce drinking water consumption and promote water sustainability at the institution. The methodology included the characterization of the study area, calculation of monthly and annual water demand for toilet flushing, obtaining climate data via satellite (CHIRPS) and simulation of the system in the Netuno software. The results indicated that, considering a lower reservoir of 25,000 liters and an upper reservoir of 6,000 liters, the system could meet 29.66% of the demand, resulting in an average daily saving of 6,179.10 liters of drinking water. The implementation of the Rainwater Harvesting System (SAAC) at IFPA Campus Conceição do Araguaia has proven to be a viable and sustainable alternative for reducing drinking water consumption and preserving water resources, providing environmental and economic benefits, in addition to promoting sustainable practices in the institution.

KEYWORDS: Rainwater harvesting; Water resources; Sustainability.

1 | INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a manutenção da vida, sendo fundamental para a sobrevivência humana e a preservação da biodiversidade. Sua disponibilidade e qualidade influenciam diretamente a ocupação de territórios, o desenvolvimento de culturas e a sustentabilidade das espécies. Segundo Freitas et al. (2019), historicamente a presença ou ausência de recursos hídricos tem sido determinante na formação e manutenção de civilizações, impactando a organização territorial, a economia e a qualidade de vida das populações.

No Brasil, a demanda por água tem aumentado significativamente nas últimas décadas, impulsionada pelo crescimento populacional e pelo desenvolvimento econômico. De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2017), entre 1997 e 2017, houve um aumento de aproximadamente 80% na retirada total de água, com previsão de crescimento adicional de 30% até 2030. Esse cenário reforça a necessidade de estratégias eficazes para garantir a segurança hídrica no país, incluindo medidas voltadas para a conservação e o uso racional dos recursos hídricos.

A crescente demanda por água, aliada à degradação da qualidade dos mananciais, especialmente em centros urbanos, tem intensificado as preocupações quanto à sustentabilidade dos recursos hídricos. Fatores como a poluição e a urbanização desordenada agravam esse cenário, evidenciando a urgência na implementação de práticas e políticas voltadas para a conservação da água (ANA, 2017). Nesse contexto,

medidas de reaproveitamento hídrico tornam-se fundamentais para mitigar os impactos ambientais e garantir a disponibilidade de água para diferentes usos.

Entre as alternativas viáveis para mitigar a escassez hídrica, destaca-se a implementação de Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC). Esses sistemas permitem a captação e o armazenamento da água pluvial para usos não potáveis, como descargas sanitárias, limpeza e irrigação de áreas verdes, reduzindo a demanda e, conseqüentemente, a pressão sobre os recursos hídricos potáveis (YAO et al., 2022). Segundo Rezende e Tecedor (2017), estudos indicam que a adoção de SAACs pode resultar em economias significativas no consumo de água potável, além de contribuir para a gestão sustentável dos recursos hídricos urbanos. Ademais, Martins (2020) destaca que essas práticas estão alinhadas às diretrizes de sustentabilidade e eficiência hídrica, promovendo benefícios ambientais e econômicos.

Desse modo, este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade da implementação de um sistema de coleta de água da chuva no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), campus Conceição do Araguaia. A proposta visa a utilização da água captada em descargas sanitárias, visando soluções técnicas e econômicas para reduzir o consumo de água potável e promover a sustentabilidade hídrica na instituição.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi dividido em 5 etapas, inicialmente foi feita a caracterização da área de estudo; sequencialmente foi realizada a quantificação da demanda mensal e anual de água do *Campus* do IFPA em Conceição do Araguaia; coleta de dados pluviométricos e populacional; simulação do sistema de aproveitamento de água da chuva; e a identificação e verificação dos possíveis desafios e limitações para a implementação do sistema.

2.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, localizado na cidade de Conceição do Araguaia-PA (CDA), no Sudeste Paraense, nas coordenadas geográficas 49°15'31,487"W 8°15'7,647"S, situado às margens do Rio Araguaia (figura 01). Ferreira e Brito (2009) descrevem o clima do município como equatorial úmido e seco no inverno, do tipo Aw (clima tropical com estação seca no inverno), com a temperatura do ar média anual de 26,3°C e precipitação de 1.723,6 mm/ano.

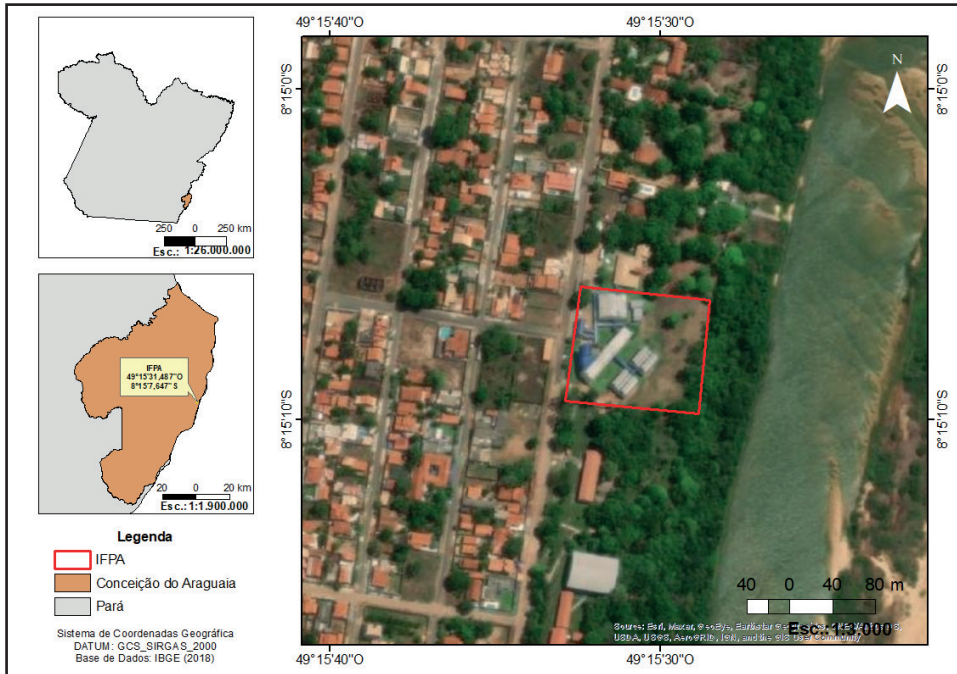


Figura 01 - Mapa de localização da área de estudo.

2.2 Demanda mensal e anual de água para descarga no *campus*

Para o cálculo da demanda geral, considerou-se o número de pessoas na instituição e estudos técnicos que fornecem dados da relação entre consumo e demanda de água. Para realizar o cálculo mensal foi preciso considerar o quantitativo de indivíduos a serem atendidos no período que possui aulas, uma vez que se trata de um prédio educacional. Para o cálculo mensal, considerou-se um período 25 dias no mês, abrangendo de segunda-feira a sábado. Já para o cálculo anual, considerou-se 10 meses, excluindo os meses de férias.

Os dados populacionais do IFPA foram obtidos por meio da Secretaria Acadêmica (SEAC), que disponibilizou o quantitativo de alunos matriculados no ano letivo de 2024, totalizando 686 indivíduos. O número de servidores públicos e colaboradores terceirizados foi obtido junto à Coordenação de Gestão de Pessoas (CGP), somando 80 pessoas. O total de pessoas atendidas pelo sistema é de 766.

Após a obtenção dos dados populacionais, realizou-se uma pesquisa para determinar a relação entre o número de indivíduos e o consumo de água por descarga. Com base nos estudos de Tomaz (2005) *apud* Novakoski, Marques e Conterato (2013), foram adotados os parâmetros apresentados na Tabela 01 para estimar o consumo de água por descarga.

Uso interno	Unidade	Parâmetros		
		Inferior	Superior	Mais provável
Descarga na bacia	Descarga/pessoa/dia	4	6	5
Volume de descarga	Litros/descarga	6,8	18	9

Tabela 01 - Parâmetros de engenharia para estimativa da demanda residencial de água para uso interno.

Fonte: Tomaz (2005) apud Novakoski, Marques e Conterato (2013).

O cálculo da demanda *per capita* foi obtido a partir do produto dos valores inferiores da descarga na bacia e dos volumes de descarga. Foi considerado o volume inferior da tabela acima, uma vez que o local de implementação não é um ambiente cuja população permanece por muito tempo, ou seja, o consumo é reduzido. Assim, na equação 1 é estimado o volume de consumo de água nas descargas diariamente, e as equações 2 e 3 para a estimativa mensal e anual, respectivamente.

Equação (1)

$$Vd = nd * p * Vdesc$$

Onde:

Vd = Volume de consumo de água nas descargas diário (L/dia);

nd = Número de descarga por indivíduo (dec/hab/dia);

p = População (hab);

$Vdesc$ = Volume em cada descarga (L/dec).

Equação (2)

$$Vmensual = Vd * 25$$

Onde:

$Vmensual$ = Volume de consumo de água nas descargas mensal (L/mês).

Equação (3)

$$Vanual = Vmensual * 10$$

Onde:

$Vanual$ = Volume de consumo de água nas descargas anual (L/ano).

2.3 Coleta de dados pluviométricos

Além dos dados populacionais, foi necessária a aquisição de dados de precipitação. Esses dados foram obtidos por meio de satélites, especificamente do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS). De acordo com Uliana (2024), o CHIRPS integra um sistema de climatologia interna e imagens em satélite, que possibilita estimativas de precipitação em locais de difícil acesso ou sem monitoramento, sendo essencial para suprir a falta de dados precisos em regiões remotas.

Desde 1981, o CHIRPS compila dados provenientes de satélites e climatologia interna, sendo uma alternativa relevante para sensoriamento remoto e softwares de modelagem climática. Esses dados permitem estimativas de precipitação em locais sem monitoramento direto (Junior e Neto, 2019). Desta forma, os dados de precipitação foram extraídos da plataforma *Google Earth Engine* no formato “.csv”.

2.4 Simulação do sistema de aproveitamento da água da chuva

A simulação do sistema de captação de águas pluviais, realizada no software Netuno, foi fundamental para avaliar a viabilidade do projeto. Com base nos dados inseridos, o software permite a modelagem do sistema, gerando resultados como a estimativa da economia de água potável pelo aproveitamento da água pluvial, a capacidade ideal do reservatório, o volume extravasado, entre outros (Gishi e Cordova, 2014).

Os dados de entrada no programa incluem precipitação (arquivo CSV), área de captação, demanda total de água, número de moradores, percentual da demanda suprida por água pluvial, coeficiente de escoamento superficial e tipo de reservatório (superior, inferior ou ambos). Os resultados gerados pelo programa incluem a indicação do volume ideal para o reservatório inferior, gráficos de consumo de água pluvial, planilhas de dados e outras informações relevantes.

Após a obtenção dos dados de precipitação para a coordenada do IFPA, os dados foram tratados no software Excel, removendo colunas desnecessárias para a simulação no programa Netuno. Apenas os valores de precipitação foram mantidos, resultando em um arquivo com uma única coluna. Com esse arquivo ajustado, foi possível realizar a simulação e quantificar o potencial de aproveitamento das águas pluviais nas bacias sanitárias do campus IFPA.

2.5 Desafios e limitações para a implementação do sistema

Diante do arcabouço de informações adquirido ao longo da pesquisa, foi realizada a análise e interpretação dos dados de saída do programa Netuno. Para tal, a discussão foi construída com base na literatura, com foco nas experiências apresentadas por outros projetos de reuso da água da chuva para fins não potáveis.

A verificação da viabilidade econômica foi feita considerando aspectos como a redução dos custos energéticos, visto que a água do campus provém de um poço semiartesiano, que utiliza bomba para recalque ao reservatório.

Para mensurar os benefícios, utilizou-se a metodologia comparativa, considerando as vertentes de implementação do sistema e a viabilidade ambiental como um todo. Ademais, procurou-se avaliar se a região possui capacidade, em termos de precipitação,

para atender à demanda de uso de água potável nas descargas, substituindo-a por água pluvial.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Sistema de água para descarga convencional

Inicialmente, com base nas etapas realizadas, foi possível determinar valores essenciais para a viabilidade do projeto de aproveitamento da água da chuva. Um dos principais parâmetros obtidos foi o quantitativo de pessoas atendidas pelo sistema, totalizando aproximadamente 766 indivíduos, considerando os alunos matriculados no ano letivo de 2024 e os servidores.

Além disso, ao analisar a Tabela 1 e considerar o valor inferior de 4 descargas por pessoa, obtém-se um total aproximado de 3.064 descargas diárias no prédio educacional, o que representa 20.835,2 litros de água utilizados apenas para esse fim. O edifício em estudo possui um reservatório com capacidade de 44m³ (44.000 litros de água), conforme informado por funcionários. Esse reservatório, localizado no bloco de salas de aula, é o principal ponto considerado para a implementação do sistema de captação e aproveitamento da água da chuva, conforme ilustrado na Figura 02.



Figura 02 - Mapa de visualização da área de captação.

Com base nesses dados iniciais, estima-se que aproximadamente 61,28% da água armazenada em um reservatório de 34.000 litros seja utilizada para descargas em um único dia. Esse cálculo considera a reserva de 10.000 litros destinados a emergências, como incêndios. Por se tratar de um prédio educacional, a demanda mensal, considerando um período de 25 dias letivos, será de 520.880 litros de água apenas para descargas sanitárias. Já a demanda anual, desconsiderando os períodos de férias, será de 5.208.800 litros de água.

Além disso, segundo a literatura, edifícios escolares (externatos), onde os alunos permanecem apenas durante o período de aula e retornam para suas residências, possuem um consumo per capita tabelado de 50 litros por dia, conforme indicado na Tabela 02. O valor correspondente ao consumo total per capita está na tabela, enquanto o per capita para descargas sanitárias foi calculado com base na Equação 1, resultando em 27,2 litros por dia por pessoa.

Outro fator essencial para o sistema é o conhecimento do material do telhado, pois ele influencia diretamente no volume de água a ser armazenado. No caso do prédio em estudo, o telhado é composto por telha metálica, o que confere um coeficiente de escoamento superficial de 0,90 e uma área total de 1.754,85 m². Assim, foi necessário inserir esses valores no software Netuno, a fim de simular os cenários e validar a viabilidade do projeto.

Prédio	Consumo (litros/dia)
Alojamento provisório	80 per capita
Ambulatórios	25 per capita
Apartamentos	200 per capita
Casas populares ou rurais	150 per capita
Cavalariças	100 por cavalo
Cinemas e teatros	2 por lugar
Creches	50 per capita
Edifícios públicos ou comerciais	50 per capita
Escolas (externatos)	50 per capita
Escolas (internatos)	150 per capita
Escolas (semi-internato)	100 per capita
Escritórios	50 per capita
Garagens e postos de combustível	50 por automóvel 200 por caminhão

Tabela 02 - Consumo predial diário (ou consumo diário).

Fonte: Adaptado de Carvalho Júnior (2014)

3.2 Sistema de água da chuva para descarga de bacias sanitárias

Os dados obtidos anteriormente são essenciais para a verificação da viabilidade de implementação do sistema de captação da água da chuva nos edifícios do Instituto Federal

de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, campus Conceição do Araguaia. A simulação no software Netuno indicou que, com base nos dados de entrada, apenas 23,47% da demanda poderia ser atendida pela água da chuva. Isso resultaria em uma redução de 4.890,93 litros diários no consumo de água potável para descargas sanitárias.

As informações foram obtidas pelo carregamento dos dados pluviométricos extraídos do satélite CHIRPS, utilizado para identificar os meses com maior contribuição ao sistema de aproveitamento da água da chuva. A partir do Gráfico 01 de índice pluviométrico mensal, essa verificação também foi realizada. Além dos dados de precipitação, foi necessário informar a demanda total, a área de captação, número de pessoas a serem atendidas, o coeficiente de escoamento, entre outros, como pode ser observado na Figura 03.

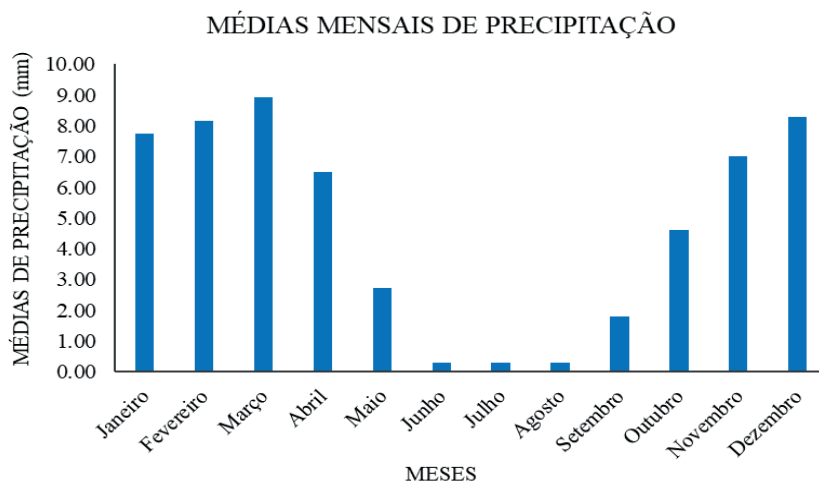


Gráfico 01 - Índice pluviométrico mensal no período de 1994-2023

Carregar dados de precipitação	CHIRPS_IFPA_ORV	Reservatório inferior	
Número de registros	10956	<input type="radio"/> Simulação para reservatório com volume conhecido	
Data inicial (dd/MM/yyyy)	01/01/1994	<input checked="" type="radio"/> Simulação para reservatórios com diversos volumes	
Descarte escoamento inicial (mm)	1	Intervalo da simulação	
Área de captação (m ²)	1754,85	Volume máximo (litros)	
Demanda total de água (litros per capita/dia)	27,2 Variável...	34000	
Número de moradores	766 Variável...	Intervalo entre volumes (litros)	
Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial	100%	1000	
Coefficiente de escoamento superficial	0,9 (90% de aproveitamento)	<input checked="" type="checkbox"/> Indicar volume ideal para o reservatório inferior	
		Diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial (%/m ³)	
		1	
		Simular	

Figura 03 - Interface com os dados de entrada no programa Netuno.

Por outro lado, a partir das informações fornecidas ao software, foi possível gerar gráficos e tabelas pertinentes à análise do sistema geral, além da ampliação de possibilidades que mais se adequem à realidade do local. Desta forma, a primeira simulação ocorreu levando em consideração reservatórios com diversos volumes para o reservatório inferior, tal escolha ocorreu para visualizar a melhor sugestão gerada pelo software. Conforme os dados apresentados pela figura 03, foi possível obter a tabela 03, que possui no seu teor informações dos meses que terá maior contribuição para a coleta da água da chuva.

Mês	Potencial de utilização de água pluvial (%)	Volume consumido de água pluvial (litros)	Volume consumido de água potável (litros)	Volume extravasado (litros)	Atendimento parcial (%)	Sem atendimento (%)
Jan.	39,37	8.202,86	12.632,34	4.005,97	66,77	33,23
Fev.	39,71	8.272,66	12.562,54	4.605,05	67,06	32,94
Mar.	41,74	8.696,14	12.139,06	5.372,69	68,71	31,29
Abr.	30,34	6.320,38	14.514,82	3.951,58	50,78	49,22
Mai	12,82	2.671,52	18.163,68	1.617,79	22,58	77,42
Jun.	2,11	440,00	20.395,20	33,79	5,11	94,89
Jul.	2,11	440,51	20.394,69	27,14	5,81	94,19
Ago.	2,0	416,37	20.418,83	43,24	5,27	94,73
Set.	10,88	2.267,04	18.568,16	579,13	21,22	78,78
Out.	26,28	5.475,96	15.359,24	1.799,88	48,71	51,29
Nov.	35,54	7.405,75	13.429,45	3.642,01	63,67	36,33
Dez.	39,82	8.296,50	12.538,70	4.766,05	69,21	30,79

Média	23,47	4.889,93	15.945,27	2.525,35	41,11	58,89
Total anual	-	63.795,62	207.061,98	921.752	-	-

Tabela 03 - Valores mensais simulados pelo Netuno para reservatório inferior com volume variado.

Conforme a Tabela 03, verifica-se que os meses com maior contribuição por precipitação, segundo os dados fornecidos pelo CHIRPS, são de novembro a abril, com potencial de utilização da água pluvial entre 30,34% e 41,74%. Nesses meses, o volume consumido de água pluvial em litros por dia varia entre 8.696,14 e 6.320,38 litros, com atendimento parcial entre 50,78% e 69,21%. Esses valores representam a economia de água potável, considerando que 61,28% do total armazenado nos reservatórios do local de estudo é utilizado.

Além das informações previamente apresentadas, o software Netuno gerou gráficos relacionando o percentual de atendimento com o volume do reservatório inferior. O programa identificou que o volume ideal para o reservatório inferior é de 15.000 litros, proporcionando uma economia de 23,47% de água potável, conforme apresentado no Gráfico 02. No entanto, a utilização de água necessária para descargas ao longo de um dia é de aproximadamente 21.000 litros.

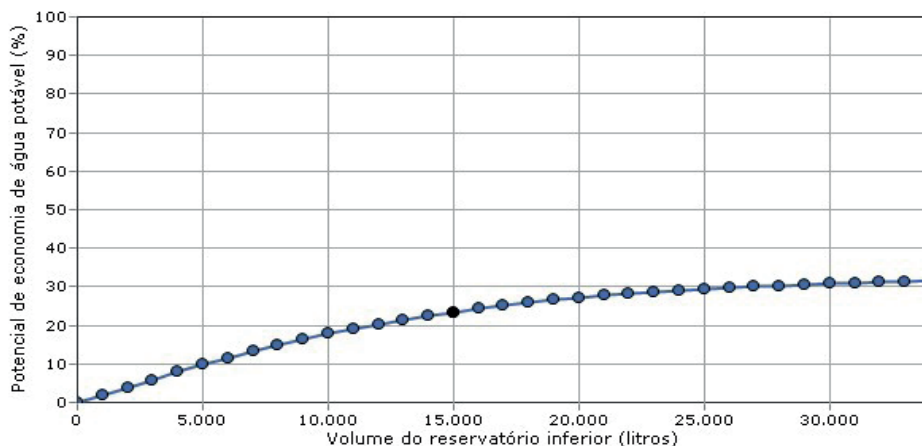


Gráfico 02 - Representação do percentual de economia de água potável.

Posto que o consumo diário já informado é superior aos 15.000 litros, foi realizada outra simulação. Dessa vez, em vez de considerar um volume variável para o reservatório inferior, definiu-se um volume fixo de 25.000 litros, resultando em um potencial de economia de água potável de 29,66%. Além de informar o volume do reservatório inferior, foi informado o valor do reservatório superior de 6.000 litros com um percentual do volume superior abaixo do qual há recalque de 50%, ou seja, quando a altura da lâmina d'água estiver

em 3.000 litros será acionado um dispositivo hidráulico que irá abastecer o reservatório superior, como mostra a tabela 04.

Mês	Pot. de utilização água pluvial (%)	Vol. consumido água pluvial (litros)	Vol. consumido de água potável (litros)	Vol. extravasado (litros)	Atend. completo (%)	Atend. parcial (%)	Sem atend. (%)	Média diária de recalques
Jan.	50,05	10.428,75	10.406,45	1.776,89	22,47	52,26	25,27	3,40
Fev.	51,15	10.656,62	10.178,58	2.252,97	25,03	51,36	23,61	3,50
Mar.	54,40	11.334,94	9.500,26	2.718,56	27,10	50,54	22,37	3,77
Abr.	39,27	8.182,71	12.652,49	2.094,81	19,11	40,56	40,33	2,68
Mai	16,38	3.412,72	17.422,48	892,28	7,42	19,89	72,69	1,11
Jun.	2,26	470,24	20.364,96	5,23	0,11	5,22	94,67	0,13
Jul.	2,22	461,61	20.373,59	6,05	0,11	5,81	94,09	0,13
Ago.	2,17	451,76	20.383,44	7,41	0,22	5,16	94,62	0,13
Set.	12,72	2.650,99	18.184,21	191,06	3,22	20,22	76,56	0,81
Out.	31,39	6.539,22	14.295,98	719,80	9,35	43,44	47,20	2,05
Nov.	44,57	9.285,94	11.549,26	1.733,79	19,56	52,33	28,11	3,01
Dez.	50,75	10.573,88	10.261,32	2.503,82	24,00	53,39	22,60	3,47
Média	29,66	6.179,10	14.656,10	1.236,16	13,08	33,25	53,67	2,01
Total anual	-	80.628,48	190.229,12	451.199	-	-	-	-

Tabela 04 - Valores mensais simulados pelo Netuno para reservatório inferior com volume conhecido.

As simulações indicaram que o sistema de armazenamento de água da chuva mais eficiente para atender à demanda do local de estudo foi o que possui um reservatório inferior de 25.000 litros e um reservatório superior de 6.000 litros, operando com um recalque de 50%. Esse sistema permitiu um consumo médio diário de 6.179,10 litros de água pluvial, resultando em uma economia adicional de 1.289,17 litros por dia em comparação com a primeira simulação. Além disso, houve redução no volume de água extravasado, conforme evidenciado nas tabelas 03 e 04.

A segurança dos resultados obtidos é corroborada pelo estudo de Borges et al. (2023), que analisou a confiabilidade do programa Netuno para dimensionamento do potencial de economia e porcentagem de atendimento da demanda por água pluvial. Essa ferramenta permitiu uma correlação precisa entre os dados de entrada e a realidade do local de estudo, garantindo que o projeto de captação de água da chuva fosse viável e eficiente na redução do consumo de água potável.

A implementação de sistemas de aproveitamento de água da chuva tem sido amplamente incentivada em diversas regiões, especialmente em países que enfrentam desafios hídricos. De acordo com Vaz et al. (2023), a utilização de água da chuva pode contribuir significativamente para a redução da demanda por água potável em atividades

como combate a incêndios, limpeza e irrigação urbana. Em Santa Catarina, por exemplo, a adoção desses sistemas poderia economizar até R\$ 350.000 por ano apenas no fornecimento de água para combate a incêndios. Esse dado reforça a importância de ampliar a implementação dessas soluções em infraestrutura pública e privada.

Nesse sentido, os projetos de aproveitamento de água da chuva têm se consolidado como uma solução sustentável e economicamente vantajosa. Segundo o estudo de Sakati et al. (2023), o uso doméstico da água pluvial pode aliviar a pressão sobre fontes convencionais, sendo viável para regar plantas, lavar pisos e até mesmo para cocção de alimentos, desde que os padrões de qualidade sejam atendidos. Além disso, a pesquisa de Boyacı et al. (2024) revelou que, em estufas hidropônicas na Turquia, a captação de água da chuva atendeu até 80,79% da demanda de irrigação, reduzindo custos operacionais e mitigando os impactos da variabilidade climática.

No entanto, alguns desafios devem ser considerados para garantir a eficácia do sistema. Como destacado por Ertop et al. (2023), durante o escoamento da água da chuva nos telhados, perdas podem ocorrer devido à ação do vento, inclinação do telhado, tipo de material de cobertura, evaporação e vazamentos. Essas variáveis impactam diretamente a eficiência do sistema e exigem um planejamento criterioso para minimizar desperdícios. Outra recomendação fundamental, segundo Santos (2012), é o descarte dos minutos iniciais da chuva, pois essa fase inicial pode conter resíduos poluentes acumulados na atmosfera e na superfície dos telhados. Esse descarte melhora a qualidade da água coletada e reduz a necessidade de tratamentos posteriores.

Diante dessas considerações, para futuras implementações do sistema na instituição estudada, é fundamental considerar aspectos arquitetônicos, como a locação estratégica dos reservatórios, e logísticos, como a instalação de dispositivos de filtragem e descarte inicial da água contaminada. Essas medidas garantirão uma captação mais eficiente e uma maior economia de água potável ao longo do tempo.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação de um sistema de aproveitamento de água da chuva no IFPA, *Campus Conceição do Araguaia*, demonstrou ser uma alternativa viável e sustentável para a redução do consumo de água potável e a preservação dos recursos hídricos. O estudo evidenciou que o sistema projetado pode atender significativamente à demanda por água não potável, especialmente para o abastecimento de descargas sanitárias, proporcionando uma economia expressiva no consumo de água tratada. Além disso, a utilização de ferramentas de simulação, como o programa Netuno, permitiu um dimensionamento preciso dos reservatórios, otimizando a eficiência do sistema e minimizando desperdícios.

Além dos benefícios ambientais e econômicos, o projeto também reforça a importância de práticas sustentáveis em instituições públicas, servindo como um modelo para futuras

iniciativas de gestão hídrica. A captação de água da chuva pode ser expandida para outros usos, como irrigação de áreas verdes e limpeza, ampliando ainda mais sua contribuição para a redução do consumo de água tratada. No entanto, para garantir a eficiência do sistema a longo prazo, é essencial considerar aspectos climáticos, infraestrutura adequada e mecanismos de manutenção periódica.

Apesar dos desafios operacionais, como custos iniciais de instalação e controle da qualidade da água coletada, a implementação desse sistema representa um avanço significativo na busca por soluções hídricas sustentáveis. Com a crescente preocupação com a escassez de água, projetos como este demonstram o potencial da captação e aproveitamento da água pluvial como uma estratégia eficaz para promover a conservação dos recursos naturais e a conscientização sobre o uso responsável da água.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Relatório da ANA apresenta a situação das águas do Brasil no contexto de crise hídrica**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/relatorio-da-ana-apresenta-situacao-das-aguas-do-brasil-no-contexto-de-crise-hidrica>. Acesso em: 04 de Dezembro de 2024.

CABRAL, Jaime Joaquim Silva Pereira et al. Projeto piloto de uma caixa de descarga eficiente, econômica e à prova de vazamentos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 05, p. 953-959, 2017.

CARVALHO JUNIOR, Roberto de. **Instalações Prediais Hidráulico-Sanitárias: Princípios básicos para elaboração de projetos**. São Paulo: Blucher, 2014.

COSTA, Liane de Moura Fernandes. **Análise do impacto de políticas de incentivo à implantação de sistemas de aproveitamento de águas de chuva (SAAC) na perspectiva de companhias de saneamento**. 2024.

DE LIMA BORGES, Ana Paula et al. Potencial de economia de água potável devido ao uso das águas pluviais em shopping center do Recife/PE. **Scientific Journal ANAP**, v. 1, n. 1, 2023.

ERTOP, Hasan et al. The importance of rainwater harvesting and its usage possibilities: Antalya example (Turkey). **Water**, v. 15, n. 12, p. 2194, 2023.

FERREIRA, Rosaria Rodrigues; BRITO, José Ivaldo Barbosa de. Avaliação da susceptibilidade à desertificação em Barbalha (CE) e Conceição do Araguaia (PA) através do índice de aridez. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 2009.

FREITAS, Adelson Humberto Lima; DE FREITAS, João Batista; DA SILVA, Leonardo Henrique Dias. Importância do uso consciente da água nos processos produtivos da agroindústria sucroalcooleira. **Revista Eletrônica Organizações e Sociedade**, v. 8, n. 9, p. 37-55, 2019.

MADZIA, Marek. Reduction of treated water use through application of rainwater tanks in households. **Journal of Ecological Engineering**, v. 20, n. 9, p. 156-161, 2019.

MARTINS, Byanca Evely dos Santos. **Análise da viabilidade econômica do aproveitamento de água de chuva para edificações verticais do tipo residencial na cidade de João Pessoa-PB.** 2020. Disponível em: Repositório Institucional da UFPB: Análise da viabilidade econômica do aproveitamento de água de chuva para edificações verticais do tipo residencial na cidade de João Pessoa-PB.

NOVAKOSKI, C. K.; MARQUES, M. G.; CONTERATO, E. Análise do Método da Simulação para Dimensionamento de Reservatórios de Águas Pluviais em Residências Unifamiliares. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 17-22 nov. 2013, Bento Gonçalves-RS. Disponível em: (Microsoft Word - an341lise m351todo da simula347343orev3 \2)).

SANTOS, Hélio Vitor Reis dos. Reuso não potável de água em edifícios. 2012. 62 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: <https://bdtd.ucb.br:8443/jspui/handle/123456789/1632>

SELLA, Marcelino Blacene. **Reúso de águas cinzas: avaliação da viabilidade da implantação do sistema em residências.** 2011. 87 f. Trabalho de Diplomação (Bacharel) - Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2011. Disponível em: Marcelino_B_Sella_16072011.

Junior, Vinícius Gomes Costa; Neto, Alfredo Ribeiro. **Avaliação Preliminar de Eventos Extremos pelo Chirps Através da Ferramenta Climateserv.** Disponível em: <https://files.abrhydro.org.br/Eventos/Trabalhos/133/II-END0084-1-20201015-143952.pdf>.

GISHI, EneDir. Cordova, Marcelo Marcel. **Netuno 4 Manual do Usuário.** Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC Departamento de Engenharia Civil Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE. Florianópolis de 2014.

ULIANA, Eduardo Morgan et al. Validação e análise espaço-temporal de dados de precipitação obtidos por sensoriamento remoto CHIRPS para o estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 35, p. 630-654, 2024.

Rezende, J. H., & Tecedor, N. (2017). Aproveitamento de água de chuva de cobertura em edificações: dimensionamento do reservatório pelos métodos descritos na NBR 15527. *Revista Ambiente & Água*, 12(6), 1040-1053.

Tobias, M., Zini, P. A., Mores, R., & Schuck, A. (2023). Análise do aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis em praça municipal de concórdia, Santa Catarina. *Revista de Gestão e Secretariado*, 14(4), 4883-4898.

YAO, J., WANG, G., JIANG, X., XUE, B., WANG, Y., DUAN, L. Exploring the spatiotemporal variations in regional rainwater harvesting potential resilience and actual available rainwater using a proposed method framework. *Science of The Total Environment*, v. 858, 2022.

Vaz, I. C. M., Ghisi, E., & Souza, J. C. (2023). Potential use of rainwater as a tool for fire stations and firefighting: Literature review, environmental and cost assessments. *Science of The Total Environment*, 165510.

Sakati, S. N., Mallongi, A., Ibrahim, E., Palutturi, S., & Kanan, M. (2023). Utilization of Rainwater as Consumable Water with Rainwater Harvesting Methods: A Literature Review. *Pharmacognosy Journal*, 15(6s).

Boyacı, S., Atılğan, A., Kocięcka, J., Liberacki, D., & Rolbiecki, R. (2024). Use of Rainwater Harvesting from Roofs for Irrigation Purposes in Hydroponic Greenhouse Enterprises. *Atmosphere*, 15(8), 884.

FITORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE PRODUÇÃO DE CELULOSE NO CONTEXTO DE REMOÇÃO DE METAIS PESADOS

Data de submissão: 19/02/2025

Data de aceite: 05/03/2025

Eder Carlos Lopes Coimbra

Departamento de Engenharia Agrícola,
Universidade Federal de Viçosa, Viçosa,
MG, Brasil

Alisson Carraro Borges

Departamento de Engenharia Agrícola,
Universidade Federal de Viçosa, Viçosa,
MG, Brasil

RESUMO: A indústria de celulose e papel gera grandes volumes de efluentes devido ao alto consumo de água. O método kraft, amplamente usado no Brasil, é eficiente na extração da celulose, mas resulta em águas residuárias com altas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos. Entre os principais poluentes presentes nesses efluentes, destacam-se metais pesados como ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), cádmio (Cd), níquel (Ni), cromo (Cr) e chumbo (Pb), além de organoclorados e derivados da lignina, que podem conferir elevada toxicidade ao meio aquático e apresentar alta recalcitrância. A complexidade química desses efluentes representa um desafio ambiental expressivo, exigindo o desenvolvimento e aprimoramento de estratégias de tratamento

eficazes e sustentáveis. Nesse contexto, a fitorremediação tem sido amplamente investigada como uma abordagem viável e de baixo custo para a remoção de metais pesados e outros contaminantes desses efluentes. A literatura destaca que diversas macrófitas aquáticas possuem potencial para esse fim, incluindo *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Lemna minor*, *Typha angustifolia*, *Phragmites australis*, *Canna indica*, *Chrysopogon zizanioides* e *Centella asiatica*. Estudos apontam que a eficiência do processo varia conforme a espécie utilizada, a composição do efluente e as condições ambientais, como pH, disponibilidade de nutrientes e concentração dos poluentes. As taxas de remoção relatadas na literatura variam entre diferentes metais e espécies vegetais. *Eichhornia crassipes* demonstrou remoção de Fe de até 96,2% em sistemas hidropônicos, enquanto *Erianthus arundinaceus* atingiu remoções de 84,1% para Cu em sistemas alagados construídos de escoamento vertical (SAC-VF). O Zn foi eficientemente removido por *Eichhornia crassipes* (até 97,2%), enquanto *Chrysopogon zizanioides* se mostrou eficaz na remoção de Pb (94,7%) e Cd (95,2%). O Ni atingiu remoção de 73,3%

com *Erianthus arundinaceus*, enquanto *Centella asiatica* removeu 38% de Cr. Já o Hg foi mais eficientemente removido por *Lemna minor*, chegando a 66,7%. Embora promissora, a fitorremediação enfrenta desafios em efluentes de celulose e papel. A alta carga orgânica e a complexidade química podem comprometer o desempenho das macrófitas, exigindo a seleção criteriosa de espécies e condições de cultivo. Compostos tóxicos podem reduzir a eficiência do processo, tornando necessária sua integração com outras tecnologias. A aplicação em larga escala demanda estudos sobre otimização do cultivo, mecanismos de absorção e estratégias combinadas para aumentar a eficiência.

PALAVRAS-CHAVE: Fitorremediação, metais pesados, efluentes industriais, celulose e papel, macrófitas aquáticas, tratamento de água residuária.

ABSTRACT: The pulp and paper industry generates large volumes of effluents due to high water consumption. The kraft process, widely used in Brazil, is efficient in cellulose extraction but produces wastewater with high concentrations of organic and inorganic compounds. Among the main pollutants found in these effluents are heavy metals such as iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn), cadmium (Cd), nickel (Ni), chromium (Cr), and lead (Pb), as well as organochlorine compounds and lignin derivatives, which contribute to high aquatic toxicity and recalcitrance. The chemical complexity of these effluents poses a significant environmental challenge, requiring the development and refinement of effective and sustainable treatment strategies. In this context, phytoremediation has been extensively studied as a viable and cost-effective approach for removing heavy metals and other contaminants from these effluents. Literature reports indicate that several aquatic macrophytes have the potential for this purpose, including *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Lemna minor*, *Typha angustifolia*, *Phragmites australis*, *Canna indica*, *Chrysopogon zizanioides*, and *Centella asiatica*. The efficiency of the process varies according to plant species, effluent composition, and environmental conditions such as pH, nutrient availability, and pollutant concentrations. Reported removal rates in the literature differ among metals and plant species. *Eichhornia crassipes* have shown Fe removal of up to 96.2% in hydroponic systems, while *Erianthus arundinaceus* achieved 84.1% Cu removal in vertical flow-constructed wetlands (VF-CW). Zn was effectively removed by *Eichhornia crassipes* (up to 97.2%), whereas *Chrysopogon zizanioides* demonstrated high efficiency in Pb (94.7%) and Cd (95.2%) removal. Ni reached 73.3% removal with *Erianthus arundinaceus*, while Cr removal by *Centella asiatica* was 38%. Hg removal was most effective with *Lemna minor*, reaching 66.7%. Although promising, phytoremediation faces challenges in treating pulp and paper effluents. High organic loads and chemical complexity can impair macrophyte performance, requiring careful species selection and cultivation conditions. Toxic compounds may reduce process efficiency, necessitating integration with other treatment technologies. Large-scale application requires further research on cultivation optimization, absorption mechanisms, and combined strategies to enhance efficiency.

KEYWORDS: Phytoremediation, heavy metals, industrial wastewater, pulp and paper, aquatic macrophytes, wastewater treatment.

1 | BREVE DESCRIÇÃO DA PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA

A produção de polpa celulósica pode ser feita por processos químicos, como soda, kraft, sulfito e por processos mecânicos. No Brasil, a maior produção ocorre pelo químico, tendo como principal o tipo kraft e se consolidou como maior exportador de celulose do mundo (IBÁ, 2024). Este processo visa separar fibras de celulose e hemicelulose dos demais constituintes da madeira, em especial a lignina e extrativos, conferindo à polpa celulósica uma alta qualidade e resistência a baixo custo (BAJPAI, 2018; BRITT, 1965; COLODETE e GOMES, 2015).

Ademais, a indústria de celulose kraft branqueada é uma grande consumidora de água e, portanto, grande geradora de efluentes líquidos (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015), dos quais possuem demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), cor, metais pesados, derivados de lignina, extrativos, organoclorados, haletos orgânicos adsorvíveis (AOX) etc. em elevadas quantidades (SHARMA; BHARDWAJ; SINGH, 2020). Este último, por exemplo, com elevada capacidade de causar distúrbios genéticos em animais aquáticos e terrestres (SHARMA et al., 2014). Embora tenha havido, nas últimas décadas, uma diminuição do consumo específico de água, de 50 m³ tsa⁻¹ na década de 1980 (SANTOS et al., 2020), para algo em torno de 20-30 m³ tsa⁻¹ nas fábricas atuais (COIMBRA et al., 2021), houve, porém, o aumento do volume total de água dado à crescente demanda mundial por subprodutos de celulose (CALDEIRA et al., 2021; IBÁ, 2024; KAMALI; KHODAPARAST, 2015; KAMALI et al., 2019).

Dentre as etapas de produção, o branqueamento é responsável por 50% do consumo de água e por gerar até 80% do volume de efluentes, o que torna o setor a principal fonte de aporte de carga poluidora volumétrica produzida em fábricas de celulose de polpa kraft (COLODETTE; GOMES, 2015; HUBER; BURNET; PETIT-CONIL, 2014). Esse grande consumo de água ocorre pela necessidade da lavagem da polpa nos diferentes estágios do branqueamento, para garantir a retirada de material oxidado, como os grupos cromóforos (BAJPAI, 2018; DENCE e REEVE, 1996; LOUREIRO et al., 2012; SHARMA; BHARDWAJ; SINGH, 2020).

Nas últimas décadas, surgiram algumas abordagens de redução de poluentes nas águas residuárias da planta de branqueamento, como o branqueamento sem cloro elementar (ECF – *Elemental Chlorine Free*) e isento de cloro total (TCF – *Total Chlorine Free*). O branqueamento ECF, que substituiu o até então cloro elementar pelo dióxido de cloro (ClO₂), mesmo que ainda produza grandes quantidades de organoclorados, esse sistema foi capaz de reduzir significativamente compostos halogenados em comparação com o antigo sistema convencional (TARKKANEN; ALEN; FISKARI, 2011; SHARMA; BHARDWAJ; SINGH, 2020).

O branqueamento é realizado em múltiplos estágios de caracteres ácidos e alcalinos para que se alcance uma alvura desejada da polpa. A razão para o uso de tratamento em

múltiplos estágios é a incapacidade de combinar, simultaneamente, a oxidação eficaz dos grupos cromóforos e a remoção do material oxidado (COLODETTE; GOMES, 2015). Os reagentes de branqueamento mais comuns são oxigênio (O_2), utilizado, por exemplo, na fase de pré-branqueamento – Pre-O, o dióxido de cloro (ClO_2), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e hidróxido de sódio (NaOH) que têm como objetivos a oxidação da lignina residual, as remoções dos grupos leucocromóforos oxidados (HexA - hexenurônicos), da lignina oxidada (grupos cromóforos), dos extrativos e de óxidos/hidróxidos metálicos.

Durante o processo de branqueamento, a polpa é tratada em três etapas: mistura da polpa com reagentes químicos e vapor; reação em recipientes apropriados de aço carbono (estágios ácidos) ou de aço inox (estágios alcalinos) e; lavagem da polpa após cada reação, sendo esta necessária para eliminar as substâncias oxidadas e expor novas superfícies da polpa à ação de oxidantes, nos estágios subsequentes (COLODETTE; GOMES, 2015; JÄÄSKELÄINEN et al., 2009). A composição, portanto, dos efluentes gerados de polpa kraft em cada estágio dependerá, além da matéria-prima utilizada, da sequência adotada na planta de branqueamento.

Para tanto, suponha que uma fábrica de produção de celulose kraft opere uma planta no formato $PreO_2(D_{HT})(EP)DP$, uma sequência típica para o branqueamento de polpas de folhosas (eucalipto). Nesse sistema, a polpa deslignificada, no estágio Pre- O_2 , segue para o primeiro estágio ácido D_{HT} ClO_2 em altas temperaturas, que oxidará, descolorirá e solubilizará a lignina. Esse estágio de hidrólise ácida a quente é atrativo para a polpa de folhosas, devido aos seus elevados teores de ácidos HexA, uma vez que, nessas condições de hidrólise seus grupos funcionais enóis-éter, que garante estabilidade dos HexA, podem ser oxidados.

Em seguida, a polpa lavada é direcionada ao primeiro estágio alcalino (EP), onde uma extração em pH elevado, comumente com hidróxido de sódio (NaOH), hidrolisará e solubilizará a lignina oxidada não removida, na etapa ácida anterior. A extração alcalina é capaz de remover os componentes coloridos da polpa branqueada que se tornam solúveis em soluções alcalinas diluídas, após a ação da hidrólise ácida anterior (COLODETTE; GOMES, 2015).

Essa primeira extração alcalina de polpas de plantas folhosas é reforçada com peróxido de hidrogênio (H_2O_2), uma vez que, cerca de 80% do número kappa, que avalia a qualidade da polpa quantificando suas estruturas oxidáveis, após o estágio de hidrólise ácida, é constituída de ácidos HexA (COLODETTE; GOMES, 2015). É interessante destacar que, naturalmente, os ácidos HexA não reagem com peróxido de hidrogênio, mas que após às condições severas da etapa de hidrólise ácida anterior, a remoção por H_2O_2 é possível de ocorrer.

Por fim, é usualmente comum a implantação da peroxidação (P) como último estágio de branqueamento desse tipo de polpa (eucalipto). Essas polpas apresentam apenas traços de lignina residual (grupos quinonas) após o segundo estágio de dioxidação (D),

garantindo que tais grupos sejam mais eficientemente removidos com o H_2O_2 (P) do que com o ClO_2 (D).

Dessa forma, após cada estágio de branqueamento da polpa, com sua posterior lavagem, são gerados filtrados ricos em matéria orgânica suspensa (fibras) e dissolvida (alto e baixa peso molecular) que conferem alta toxicidade e cor (COLODETTE; GOMES, 2015). Além disso, nos filtrados também se encontraram compostos minerais, não-processáveis, que podem ser introduzidos pela madeira (60%), por insumos químicos ou impurezas (35%) ou pela água introduzida no processo (5%) (FREDDO et al., 1999).

Particularmente, a composição dos filtrados alcalinos de celulose kraft (FACK) será constituída de compostos orgânicos advindos de reações álcali ou de reações oxidativas com a lignina e com carboidratos (reações indesejáveis) presentes na polpa e de metais originados da madeira ou dos químicos adicionados

Durante essas reações são formados compostos de baixo e alto peso molecular que influenciará a recalcitrância e toxicidade desses efluentes (COIMBRA et al., 2021; ORREGO 2010). Por exemplo, em condições alcalinas, em plantas de estágio EP, ocorre a formação do ânion hidroperóxido (HOO^-) que é capaz de reagir com as estruturas alifáticas e aromáticas da lignina, gerando compostos de menor peso molecular (MÉNDEZ et al., 2009). Além disso, a lignina de alto peso molecular, não removida na hidrólise ácida, é facilmente solubilizada e removida em condições alcalinas.

Outro aspecto importante na composição dos filtrados alcalinos é a presença de quelatos adicionados na polpa, comumente EDTA. Esses compostos são adicionados como forma de diminuir a solubilidade de certos metais de transição (Fe, Mn e Cu) e, assim, evitam que ocorra a decomposição do peróxido, que prejudica a qualidade da polpa (essa decomposição é capaz de gerar radicais hidroxilas OH^\bullet que podem ser atacar, indesejavelmente, a celulose) (GRANHOLM; HARJU; IVASKA, 2010). Ademais, certos compostos podem ser adicionados ao estágio alcalino de branqueamento como forma de aumentar o potencial de oxidação do peróxido. Nesse sentido, nesses filtrados podem conter substâncias como molibdênio (Mo) e compostos nitrogenados que são usados como ativadores ou catalisados da peroxidação na fase EP (COLODETTE; GOMES, 2015).

Assim, os filtrados alcalinos do branqueamento são caracterizados por possuir uma mistura complexa de compostos organoclorados, derivados da lignina e extrativos dos quais, podem ser biologicamente ativos e causarem diferentes formas de toxicidade (CHOUDHARY; KUMAR; SHARMA, 2015; COLODETTE; GOMES, 2015). Diversos estudos têm demonstrado uma variedade desses efeitos como toxicidade aguda e crônica; atividade estrogênica; mutagenicidade e carcinogenicidade, em organismos aquáticas (ARCISZEWSKI; MCMASTER; MUNKITTRICK, 2021; BALABANIČ et al., 2017; BASU et al., 2009; CHAMORRO et al., 2010; COIMBRA et al., 2021; COSTIGAN et al., 2012; HEWITT et al., 2008; KUMAR et al., 2013; LINDHOLM-LEHTO et al., 2015; LUNDGREN; NOVAK, 2009; ORREGO et al., 2010).

Os compostos tóxicos orgânicos de filtrados de branqueamento, basicamente, são distribuídos em compostos de alto (HMW) e de baixo (LMW) peso molecular. Embora ambas as frações possam contribuir para atividades biológicas do efluente, manifestada pelas diferentes formas de toxicidade, as frações LMW tendem a ser mais tóxicas (GUPTA et al., 2019). Isso ocorre devido à sua maior capacidade de se infiltrarem na parede celular, por proporcionalmente mais hidrofóbicos e lipofílicos (KAMALI et al., 2015).

Os compostos HMW são geralmente inativos biologicamente, possuindo maior contribuição à natureza refratária e, também, pela cor do filtrado, ao passo que as frações LMW são os principais responsáveis pela DBO do efluente (SHARMA; BHARDWAJ; SINGH, 2020). Nos filtrados, as porcentagens dessas frações podem variar do tipo de filtrado, as seqüências de branqueamentos adotadas e da matéria-prima. Coimbra et al. (2021) relataram uma razão de distribuição de mais de 60% de fração LMW em relação a HMW de DQO solúvel de filtrados alcalinos de polpa kraft branqueada.

Em resumo, os principais poluentes orgânicos tóxicos, em filtrados de branqueamento, são os haletos orgânicos adsorvíveis (AOX), os clorofenóis (2-clorofenol, 2, 4, 6-triclorofenol, 6-clorohidroquinol, pentaclorofenol e tetraclorohidroquinona) e outros organoclorados que, via de regra, são de difícil degradação biológica e alta toxicidade aguda à organismos aquáticos, por afetarem a fosforilação oxidativa e impedir a síntese de ATP (MORAIS et al., 2012).

Ademais, dentre esses compostos, algumas substâncias pertencem ao grupo de desreguladores endócrinos que são atribuídos à presença de extrativos da madeira, principalmente os fitoesteróis lipofílicos sendo, nos efluentes de eucalipto, os mais importantes o *β-sitosterol*, o *campesterol* e o *estigmasterol* (BALABANIČ et al., 2017; BARRA et al., 2021; CHAMORRO et al., 2010, ORREGO, 2010). A atividades estrogênicas desses fitosteróis se deve à similaridade de sua estrutura com a do estrógeno natural estradiol (Fig. 1).

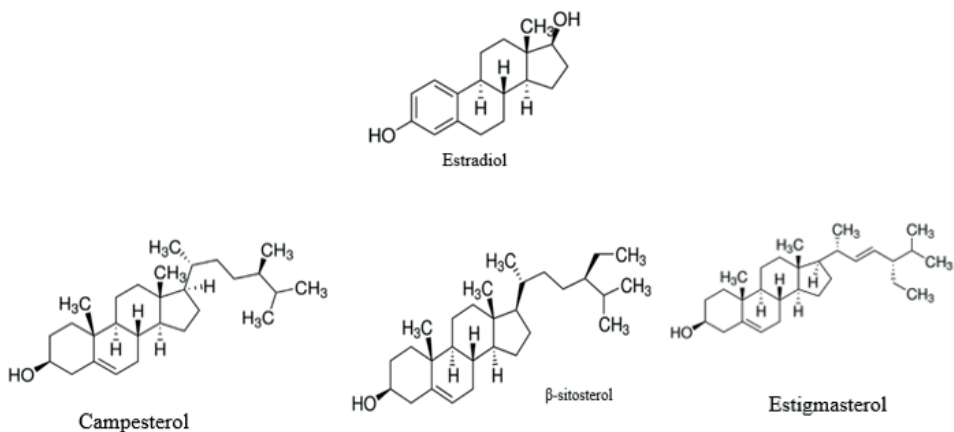


Fig.1: Estrutura do estradiol, um hormônio natural, e dos fitoesteróis lipofílicos da madeira, *Campesterol*, *β -sitosterol*, *Estigmasterol*.

Os compostos metálicos e não metálicos presentes na composição desses filtrados podem conferir diferentes formas de toxicidade à biota aquática. São exemplos, o cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), silício (Si), manganês (Mn), ferro (Fe), alumínio (Al), cobre (Cu) e bário (Ba), a maioria provenientes da matéria-prima. Ademais, cátions e ânions como sódio (Na^+), magnésio (Mg^{2+}), cloretos (Cl^-), sulfetos (S^-), sulfatos (SO_4^-), carbonatos (CO_3^{2-}), nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^-) são reconhecidamente responsáveis por incrustações em equipamentos (CALDEIRA et al., 2021; COLODETTE; GOMES, 2015; CHANDRA; YADAV; YADAV, 2017).

Para os metais, a toxicidade ocorre devido à presença de outros metais, de compostos inorgânicos não metálicos e da dureza do efluente (SINGH; CHANDRA, 2019). Esses elementos podem se acumular em organismos aquáticos, como em guelras, trato digestivo e superfícies corporal de peixes, e biomagnificar ao longo da cadeia trófica. Além disso, a formação de radicais livres, nesses organismos, mediada por metais causa várias modificações nas bases do DNA, com efeitos mutagênicos (SEVCIKOVA et al., 2011).

Por fim, a biodegradabilidade (DBO/DQO) de efluentes de branqueamento têm variado de 0,2-0,4 (AGHDAM; KARIMINIA; SAFARI, 2016), o que indica a presença de matéria orgânica biodegradável ou recalcitrante. Em estudo recente realizado com filtrados alcalinos de polpa kraft branqueada foi encontrado um valor de DBO/DQO de 0,46 (COIMBRA et al., 2021), o que indica uma boa tratabilidade biológica desses filtrados. Nas indústrias brasileiras, esses filtrados, assim como todo o efluente de celulose gerado na fábrica, é quase exclusivamente tratado por processos biológicos aeróbios de lodos ativados ou lagoas aeradas, uma vez que, a presença de sulfatos inibiria o uso de tratamento anaeróbios (COLODETTE; GOMES, 2015).

2 | USO DE MACRÓFITAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE CELULOSE E PAPEL: ESTADO DA ARTE QUANTO À REMOÇÃO DE METAIS PESADOS

As características das águas residuárias de indústrias de celulose e papel diferem muito entre si. O efluente gerado numa fábrica integrada, por exemplo, se distinguirá de um efluente gerado numa que produza somente polpa celulósica (TOCZYŁOWSKA-MAMIŃSKA, 2017). Ademais, da preparação da madeira até a produção do papel, as composições dos efluentes serão determinadas de acordo com o tipo de matéria-prima utilizada (e.g. *hardwood* ou *softwood*), com o tipo de polpação/cozimento, da sequência de branqueamento adotada e, nas fábricas que produzem papel, dos processos de transformação requeridos (KAMALI,; KHODAPARAST, 2015; SHARMA; BHARDWAJ; SINGH, 2020).

A produção de polpa celulósica é feita por processos químicos (soda, kraft, sulfito) ou por processos (termo)mecânicos. No Brasil, a maior produção ocorre pelo químico, tendo como principal o tipo kraft (IBÁ, 2024). Este processo de cozimento/polpação, em temperatura e pressão adequada, visa a despolimerização, a separação das fibras de celulose e dissolução das moléculas de lignina. Uma vez cozida, a polpa é então lavada e direcionada ao branqueamento para retirada de material oxidado e aumento de alvura desejável (BAJPAI, 2018; BRITT,1965; COLODETE e GOMES, 2015).

Nas fábricas modernas, as sequências de branqueamento sem cloro elementar (ECF – *Elemental Chlorine Free*) ou isento de cloro total (TCF – *Total Chlorine Free*), foram adotadas como forma de reduzir a carga de poluentes tóxicos nas águas residuárias da planta de branqueamento. O branqueamento ECF, que substituiu o até então cloro elementar pelo dióxido de cloro (ClO_2), mesmo que ainda produza grandes quantidades de poluentes, foi capaz de reduzir significativamente compostos organoclorados em comparação com o antigo sistema convencional (SHARMA; TRIPATHI; CHANDRA, 2020).

Das etapas de produção da polpa, o branqueamento é responsável por 50% do consumo de água e por gerar até 80% do volume de efluentes, o que torna o setor a principal fonte de aporte de carga poluidora volumétrica produzida em fábricas de celulose de polpa kraft (COLODETTE; GOMES, 2015; HUBER; BURNET; PETIT-CONIL, 2014). Esse grande consumo de água ocorre pela necessidade da lavagem da polpa nos diferentes estágios, ácidos e alcalinos, do branqueamento a fim de garantir a retirada de materiais oxidados, como os grupos cromóforos (BAJPAI, 2018; SHARMA; BHARDWAJ; SINGH, 2020).

Esse setor, portanto, produz efluentes denominados filtrados ácidos e alcalinos, cuja composição dependerá, além da matéria-prima utilizada, da sequência adotada na planta de branqueamento (Tabela 1). No sistema ECF, os reagentes de branqueamento mais comuns são oxigênio (O_2), utilizado, por exemplo, na fase de pré-branqueamento – Pre-O, o dióxido de cloro (ClO_2), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e hidróxido de sódio (NaOH) que têm como objetivo principal a oxidação da lignina residual (COLODETTE; GOMES, 2015).

No branqueamento de polpa de folhosas, como o eucalipto, é comum nos estágios alcalinos o uso de extração oxidativa com peróxido de hidrogênio, H_2O_2 -EP seguida de peroxidação (P), ao passo que, na polpa de coníferas (*pinus*), é mais usual o uso de oxigênio – EO ou EPO (COLODETTE; GOMES, 2015). Há, entretanto, fábricas que fazem o uso de extração alcalina com oxigênio no branqueamento de polpa de *eucalipto* (QUEZADA et al., 2014, 2015)

De qualquer forma, em cada estágio, são gerados filtrados ricos em matéria orgânica suspensa (fibras) e dissolvida (orgânica e inorgânica) que conferem elevada toxicidade e cor (AMARAL et al., 2013; COIMBRA et al., 2021; COLODETTE; GOMES, 2015). Em geral, a composição dos filtrados alcalinos de celulose kraft (FACK) será constituída de compostos orgânicos advindos de reações álcali, das reações oxidativas com a lignina e com carboidratos presentes na polpa e de metais originados da madeira ou dos químicos adicionados.

Na literatura científica, não há muito estudos sobre o tratamento de efluentes FACK, sendo mais comum trabalhos que estudaram o tratamento do efluente geral de fábrica. Das tecnologias relatadas no tratamento desse filtrado estão a eletrocoagulação (COIMBRA et al., 2021), adsorção em carvão ativado (AMARAL; LANGE; BORGES, 2015), por membranas em ultrafiltração (QUEZADA et al., 2014, 2015), em biorreator de membranas (AMARAL; LANGE; BORGES, 2012) ou por ozonização (CHAPARRO; PIRES, 2015). Essas tecnologias, embora apresentem boas eficiências de remoção de poluentes, chegando a apresentar aumento da biodegradabilidade de FACK em quase 200% após tratamento (COIMBRA et al., 2021), são caras, geram subprodutos tóxicos e, por vezes, são de complicada operação e manutenção.

Por outro lado, o uso tecnologias de tratamento ecologicamente corretas e de baixo custo, como a biorremediação, tem sido uma alternativa sustentável e eficaz na redução da concentração de poluentes com o auxílio de plantas e de microrganismos (ANSARI et al., 2020).

Parâmetro	Sequência de branqueamento*		Parâmetro	Sequência de branqueamento*	
	PreO ₂ (D _{HT}) (EP)DP	PreO ₂ D(EPO) DD		PreO ₂ (D _{HT}) (EP)DP	PreO ₂ D(EPO) DD
pH	11-11,8 ^{a, b}	10 ^c	Sódio (mg L ⁻¹)	–	707 ^c
DQO _{solúvel} (mg L ⁻¹)	1455-1622 ^{a, b}	1890 ^c	Magnésio (mg L ⁻¹)	–	2,2 ^c
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	739-741 ^{a, b}	–	Potássio (mg L ⁻¹)	–	51,3 ^c
DBO ₅ /DQO	0,26-0,46 ^{a, b}	–	Sulfatos (mg L ⁻¹)	–	250 ^c
COT (mg L ⁻¹)	794 ^a	–	Cobre (mg L ⁻¹)	–	–
Cor real (uH)	357-629 ^{a, b}	850 ^c	Manganês (mg L ⁻¹)	–	0,1 ^c
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	1760 ^b	–	Ferro (mg L ⁻¹)	0,11-0,96 ^{a, b}	–
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	5969 ^b	–	Alumínio (mg L ⁻¹)	< 0,006 ^a	0,2 ^c
Sólidos Suspensos Totais (mg L ⁻¹)	107-1027 ^{a, b}	–	Cádmio (mg L ⁻¹)	< 0,005 ^b	–
NT (mg L ⁻¹)	2,7 ^b	–	Zinco (mg L ⁻¹)	0,005 ^b	–
PT (mg L ⁻¹)	11 ^b	–	Chumbo (mg L ⁻¹)	< 0,05 ^b	–
Fenóis (mg L ⁻¹)	423 ^a	–	Cromo (mg L ⁻¹)	< 0,01 ^b	–
Cloretos (mg L ⁻¹)	477 ^b	–	Bário (mg L ⁻¹)	–	0,02 ^c

Tabela 1: Caracterização físico-química de filtrados alcalinos de celulose kraft (FACK) de eucalipto^a Coimbra et al. (2021), ^b Amaral et al. (2013), ^c Quezada et al. (2015). NT: Nitrogênio Total. PT: Fósforo Total. DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio. DQO: Demanda Química de Oxigênio. COT: Carbono Orgânico total. * Filtrado coletado no primeiro estágio alcalino (EP ou EPO).

Nesse sentido, a fitorremediação é interessante, por justamente se escoltar nessas características e vem sendo utilizada no tratamento de águas residuárias reais altamente tóxicas como a de curtume (BHAEGAVA; MISHRA, 2018; CHOWDHARY et al., 2018), de indústria têxtil (KHANDARE; GOVINDWAR, 2015) ou de efluentes de celulose e papel (ARIVOLI; MOHANRAJ; SEENIVASAN, 2015; DAS; MAZUMDAR, 2016; DAVAMANI et al., 2021; KUMAR; CHOPRA, 2016; KUMAR; SINGH; KUMAR, 2019, 2020; MAZUMDAR; DAS, 2021; MD YUSOFF et al., 2019; MISHRA et al., 2013; RANI et al., 2011; SHARMA; TRIPATHI; CHANDRA, 2021; SINGH et al., 2021). Dos poluentes removidos por fitorremediação hidropônica, a remoção de metais pesados tem como um dos principais mecanismos a fitoextração, uma grande responsável pela retirada do meio e acúmulo desses elementos nos tecidos vegetais (ANSARI et al., 2021). Além disso, uma planta é considerada uma

ideal fitoextratora de metal se apresentar uma rápida taxa de crescimento e ser capaz de tolerar, por mecanismos de exclusão e absorção, esses poluentes do ambiente (FRYZOVA et al., 2017).

A fitorremediação, em hidroponia ou por Sistemas Alagados Construídos (SACs), é amplamente empregada no tratamento de águas residuárias contaminadas por metais (ARIVOLI; MOHANRAJ; SEENIVASAN, 2015; CHEN et al., 2020; KUMAR; SINGH; KUMAR, 2019, 2020; MAZUMDAR; DAS, 2021; MISHRA et al., 2013; RANI et al., 2011; SOUZA et al., 2018, 2019). Não há, porém, relatos na literatura do uso de fitorremediação, pelos dois sistemas, que trataram especificamente filtrados de branqueamento de celulose. Os estudos existentes de fitorremediação de efluentes da indústria de celulose e papel foram realizados com efluentes gerais, antes ou após à ETEs das fábricas.

Desses trabalhos, a grande maioria estudaram a fitorremediação em condições hidropônicas (DAS; MAZUMDAR, 2016; DAVAMANI et al., 2021; KUMAR; CHOPRA, 2016; KUMAR; SINGH; KUMAR, 2019, 2020; MAZUMDAR; DAS, 2021; MISHRA et al., 2013; SHARMA; TRIPATHI; CHANDRA, 2021; SINGH et al., 2021), com apenas três estudos que utilizaram o sistema SAC, todos com escoamento subsuperficial, em arranjo vertical- SAC-VF (ARIVOLI; MOHANRAJ; SEENIVASAN, 2015) ou horizontal – SAC-HF (MD YUSOFF et al., 2019; RANI et al., 2011). Ademais, dois destes estudos foram realizados *in-situ*, próximo às fabricas (ARIVOLI; MOHANRAJ; SEENIVASAN, 2015; SHARMA; TRIPATHI; CHANDRA, 2021).

Ao todo, as três classes de macrófitas, quanto ao seu hábitat estrutural em ambientes aquáticos, foram utilizadas nesses estudos, que incluem espécies flutuantes, emergentes ou submersas (EKPERUSI; SIKOKI; NWACHUKWU, 2019). As espécies *Alternanthera philoxeroides*, *Canna indica*, *Centella asiática*, *Chrysopogon zizanioides*, *Eclipta alba*, *Eichhornia crassipes*, *Erianthus arundinaceus*, *Hydrilla verticillata*, *Pistia stratiotes*, *Jussiaea repens*, *Lemna minor*, *Phragmites australis*, *Salvinia cucullata*, *Scirpus grossus*, *Trapa Natans* e *Typha angustifolia*, apresentaram, em todos eles, diferentes eficiências na remoção de metais pesados (Tabela 2). Essas diferenças de comportamentos são esperadas porque, além da influência da composição da água residuária, cada espécie de planta pode apresentar mecanismos próprios de absorção ou exclusão de metais num determinado meio (OLGUÍN; SÁNCHEZ-GALVÁN, 2012; VYMAZAL; BŘEZINOVÁ, 2015).

Além disso, há estudos que utilizaram efluentes de indústrias de produção de celulose e papel (C&P) e efluentes de indústrias que produziam somente papel, embora em alguns dos estudos que mencionam o uso de efluentes C&P, não fica claro se de fato o efluente é de uma fábrica integrada ou somente de produção de celulose. Em geral, dos sistemas de fitorremediação, o SAC-VF obteve o melhor desempenho com pelo menos 50% de remoção de todos os metais analisados (Tabela 2). Além disso, a *E. crassipes* foi a espécie mais estudada com três trabalhos de fitorremediação hidropônica e, entre as

espécies, as menores remoções de metais ocorreram com a *S. cucullata* em hidroponia, enquanto as máximas variaram de acordo com o metal e a macrófita utilizada.

Efluentes de produção de C&P foram coletados nas saídas dos tratamentos primário (RANI et al., 2011) e secundário (MD YUSOF et al., 2019) das ETEs nas fábricas e, utilizados na avaliação de SAC-HFs quanto à remoção de matéria orgânica, cor e sólidos suspensos. MD Yusof et al. (2019) operando o sistema com a espécie *S. grossus* ao longo de 95 dias e, em um tempo de retenção hidráulica (TRH) de 5 dias, observaram remoções de 66,1, 55,8 e 87,3% para demanda química de oxigênio (DQO), cor e sólidos suspensos (SS), respectivamente, no sistema plantado em comparação com apenas 62,4, 44,4, 84,8% sem a presença da macrófita.

Rani et al. (2011) avaliou a eficácia do sistema com as espécies *T. angustifolia* e *C. indica* plantadas em conjunto num SAC-HF, ao longo de dois anos de operação, no tratamento de efluentes de C&P durante o verão e inverno, monitorados com TRHs consecutivos de 1,5, 3,5 e 6,5 dias. Os autores observaram que a condição hidráulica ideal foi de 3,5 dias para as duas estações e que as duas macrófitas mostraram-se bem adaptadas, em termos de sobrevivência e crescimento nas águas residuárias. A remoção máxima da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), DQO, cor e sólidos totais (ST) foi de 80%, 86,6%, 89,4% e 87,6% durante o verão e de 72,1%, 70,9%, 74,9% e 72,2% durante o inverno, respectivamente.

O desempenho da fitorremediação, em hidroponia, com o uso da alface-d'água (*P. stratiotes*) foi avaliado por Singh et al. (2021) na remoção de poluentes físico-químicos de efluentes de produção de papel. Para tanto, foram conduzidos tratamentos em diluições de 0% (controle), 25%, 50%, 75% e 100% (v/v) de efluente sob luz natural com regime de dia/noite. No geral, os autores observaram que a melhor diluição ocorreu em 75% do efluente tanto nas remoções dos poluentes quanto no maior crescimento em biomassa atingido pela *P. stratiotes*.

Kumar, Singh e Chopra (2018) também utilizaram diluições diferentes de efluentes de produção de papel e avaliaram o uso da *E. crassipes* na remoção de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e cátions metálicos ao longo de 60 dias. A melhor diluição ocorreu em 50% do efluente na qual a espécie atingiu a maior altura (120,73 cm) e crescimento em biomassa (383,54 g kg⁻¹) com remoções de DQO (85,66%), N (89,27%), P (72,39%), Ca²⁺ (51,79%), Mg²⁺ (51,02%), Na⁺ (57,10%) e K⁺ (71,47%).

Outros estudos tiveram como foco principal demonstrar a eficiência de remoção de metais pesados por fitorremediação em sistemas hidropônicos ou por SACs (ARIVOLI; MOHANRAJ; SEENIVASAN, 2015; DAS; MAZUMDAR, 2016; DAVAMANI et al., 2021; KUMAR; CHOPRA, 2016; KUMAR; SINGH; KUMAR, 2019, 2020; MAZUMDAR; DAS, 2021; MISHRA et al., 2013; SHARMA; TRIPATHI; CHANDRA, 2021). Nesses trabalhos, as concentrações dos metais pesados variaram muito de um efluente para outro com intervalos de concentrações de 1,56-98,2 mg L⁻¹; 0,23-57,3 mg L⁻¹; 0,21-251,8 mg L⁻¹; 0,377-5,3 mg

L⁻¹; 0,0128-10,36 mg L⁻¹; 0,06-7,01 mg L⁻¹; 0,32-1,84 mg L⁻¹, 0,03-2,06 mg L⁻¹ e 0,46-2,37 mg L⁻¹ para ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), cádmio (Cd), níquel (Ni), cromo (Cr), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg) respectivamente (Tabela 2). Apenas um estudo avaliou a remoção de arsênio (As) em hidroponia, cuja concentração inicial era 0,59 mg L⁻¹ (SHARMA; TRIPATHI; CHANDRA, 2021).

A máxima remoção de Fe (96,2%) ocorreu com a espécie *E. crassipes* em sistema hidropônico, ao passo que, os metais Mn e Cu foram mais eficientemente removidos pelas espécies *P. stratiotes* (92,7%) e *E. arundinaceus* (84,1%) em hidroponia e SAC-VF, respectivamente. Para os demais metais, as máximas remoções de Zn (97,2 %), Cd (95,2 %), Ni (73,3 %), Cr (38 %), Pb (94,7 %) e Hg (66,7 %) ocorreram com as espécies *E. crassipes*, *C. zizanioides*, *E. arundinaceus*, *S. asiatica*, *C. zizanioides* e *L. minor*.

Efluente (Conc.)	Macrófita	Sistema	Concentração de metal pesado no afluente, em mg L ⁻¹ (Remoção do metal após fitorremediação)									Referência
			Fe	Cu	Mn	Zn	Cd	Ni	Cr	Pb	Hg	
C&P ^a (100 %)	<i>T. angustifolia</i>		(71,2 %)	(83,7 %)	(67,1 %)	(72,7 %)	(76,7 %)	(72,6 %)	–	–	–	Arivoli, Mohanraj, Seenivasan (2015)
	<i>E. arundinaceus</i>	SAC-VF 1 ano	(75,0 %)	(84,1 %)	(57,1 %)	(74,4 %)	(68,8 %)	(73,3 %)	–	–	–	
	<i>P. australis</i>		(71,7 %)	(72,4 %)	(53,8 %)	(64,8 %)	(76,6 %)	(70 %)	–	–	–	
C&P ^b (25 %)	<i>S. cucullata</i>	Hidroponia 28 dias	3,90 (33,8 %)	0,684 (17,7 %)	230 (2,6 %)	0,377 (40 %)	0,596 (12,4 %)	2,98 (24,5 %)	1,43 (0,7 %)	0,032 (37,5 %)	–	Das, Mazumdar, (2016)
Papel ^c EB (100 %)	<i>C. zizanioides</i>	Hidroponia 40 dias c/ aeração	–	–	–	–	(33,1 %)	–	–	(54,2 %)	–	Davamani et al. (2021)
		Hidroponia 40 dias S/ aeração	–	–	–	–	(27,4 %)	–	–	(51,2 %)	–	
Papel ^c ET (100 %)	<i>C. zizanioides</i>	Hidroponia 40 dias c/ aeração	–	–	–	–	(95,2 %)	–	–	(94,7 %)	–	
		Hidroponia 40 dias s/ aeração	–	–	–	–	(80,9 %)	–	–	(90,6 %)	–	
Papel ^b (50 %)	<i>T. natans</i>	Hidroponia 60 dias	5,8 (56,8 %)	4,9 (20,4 %)	–	5,26 (45,1 %)	2,05 (20,5 %)	1,65 (21,8 %)	–	2,06 (29,1 %)	–	Kumar, Chopra, (2016)
Papel (75 %)	<i>P. stratiotes</i>	Hidroponia 40 dias	4,530 (70,5 %)	1,557 (42,8 %)	2,717 (92,7 %)	2,470 (85 %)	0,773 (0,65 %)	–	–	0,360 (s/r)	–	Kumar, Singh, Kumar, (2019)
Papel (50 %)	<i>E. crassipes</i>	Hidroponia 32 dias	3,04 (96,2 %)	0,92 (60 %)	2,56 (91,1 %)	1,36 (97,2 %)	0,25 (4,2 %)	–	0,32 (s/r)	0,17 (s/r)	–	Kumar, Singh, Kumar (2020)
C&P ^{b, c} (25 %)	<i>C. asiatica</i>	Hidroponia 28 dias	4,15 (43,4 %)	1,32 (52,2 %)	251,8 (5,87 %)	–	0,97 (36 %)	3,25 (55,3 %)	1,84 (38 %)	–	–	Mazumdar, Das, (2021)

Papel ^d (100%)	<i>E. crassipes</i>		(63,6 %)	-	-	-	-	-	(60,8 %)	Mishra et al. (2013)	
	<i>H. verticillata</i>		(60,8 %)	-	-	-	-	-	(60,8 %)		
	<i>J. repens</i>	Hidroponia 20 dias	(60,8 %)	-	-	-	-	-	(58,7 %)		
	<i>L. minor</i>		(71,4 %)	-	-	-	-	-	(66,5 %)		
	<i>P. stratiotes</i>		(30,4 %)	-	-	-	-	-	(60,8 %)		
	<i>T. natans</i>		(21,7 %)	-	-	-	-	-	(64,8 %)		
C&P ^{b,c}	<i>E. alba</i>		98,2	57,3	29,3	5,3	10,4		1,03	Sharma, Tri- pathi, Chandra, (2021)	
	<i>A. philoxe- roide</i>	Hidroponia	(65,7 %)	(47,6 %)	(68,3 %)	(76,5 %)	(55,3 %)	7,01 (71%)	-		1,03 (92,2 %)

^a Concentrações iniciais de Fe: 1,56 mg L⁻¹, Cu: 0,246 mg L⁻¹, Mn: 0,21 mg L⁻¹, Zn: 0,39 mg L⁻¹, Cd: 0,0128 mg L⁻¹ e Ni: 0,06 mg L⁻¹. ^b Concentração/diluição do efluente em que os autores reportam o maior crescimento das plantas. ^c Estudo feito com os efluentes brutos (EB) e já tratados (ET) em fábrica, mas que no experimento não foram diluídos (100%) com concentrações iniciais de EB: Cd: 1,9 mg L⁻¹ e Pb: 2,01 mg L⁻¹ e com concentrações iniciais de ET: Cd: 0,42 mg L⁻¹ e Pb: 0,96 mg L⁻¹. ^d Concentrações de Hg: 0,46 mg L⁻¹, Cu: 0,23 mg L⁻¹. s/r: Tratamento sem remoção (0%).

Tabela 2: Comparação de eficiências de remoção, por fitorremediação, de metais pesados em efluentes de celulose e papel

Das e Mazumdar (2016) remediaram efluentes de C&P por 28 dias com *Salvinia cucullata* em diluições de 25%, 50%, 75% e 100% (v/v). A macrófita sobreviveu em todas as concentrações, mas floresceu melhor em 25%, onde resistiu mais aos danos oxidativos. As raízes acumularam mais Cr, Cu, Pb e Zn em todas as diluições, enquanto para Fe o acúmulo foi predominante nas raízes, independentemente da concentração. Os metais acumulados superaram os níveis fitotóxicos, indicando tolerância da espécie.

Mazumdar e Das (2021) observaram que *Centella asiatica* apresentou maior crescimento na diluição de 25%, reduzindo até 55,3% de Ni e 52,2% de Cu. O acúmulo de metais foi maior nas raízes, indicando uma estratégia de exclusão para evitar fitotoxicidade nas partes aéreas. Kumar e Chopra (2016) testaram *T. natans* na remoção de metais pesados de efluentes de papel. Em 60 dias, os teores de Cd, Cu, Fe, Ni, Pb e Zn reduziram significativamente, com maior eficiência nas diluições de 25% e 50% nos primeiros 45 dias. Nas maiores concentrações (75% e 100%), a remoção foi menor, sugerindo que a espécie tolera melhor os metais em menores diluições e curtos períodos de exposição.

Kumar, Singh e Kumar (2019) avaliaram a absorção de metais pesados por *Pistia stratiotes* em efluentes de fábricas de papel, cultivando a macrófita em hidroponia com diluições de 0% (controle), 25%, 50%, 75% e 100%. A regressão linear múltipla indicou maior acúmulo de Mn em relação a Fe e Cu, sendo que o fator de bioconcentração (FB) do Cu foi inferior a 1, enquanto para Fe e Mn superou 5. A remoção foi mais eficiente em 75% do efluente. Em estudo similar com *Eichhornia crassipes*, os mesmos autores verificaram

que a diluição de 50% em 32 dias foi a mais eficiente, com maior remoção de Fe (Fe > Mn > Cu) (Kumar, Singh e Kumar, 2020).

A toxicidade dos efluentes de celulose e papel tem levado a estudos sobre diluições ideais, mas pesquisas com efluentes brutos (100%) também obtiveram bons resultados. Arivoli, Mohanraj e Seenivasan (2015) usaram um SAC vertical (SAC-VF) in situ com *P. australis*, *T. angustifolia* e *E. arundinaceus*, operado por um ano (TRH = 24h), removendo 50%-84% de Fe, Cu, Mn, Zn, Ni e Cd. *P. australis* destacou-se na translocação de Fe, Cd e Mn, enquanto *T. angustifolia* apresentou os maiores FB para Cu (1300) e Mn (1300), e *P. australis* para Fe (510).

Davamani et al. (2021) utilizaram *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) em hidroponia com efluentes tratados (ET) e brutos (EB), com e sem aeração. Em 40 dias, a maior remoção de Pb ocorreu no ET aerado (94,79%), seguido pelo ET sem aeração (90,63%), enquanto o EB aerado e não aerado apresentaram remoção de 54,23% e 51,24%, respectivamente. O padrão se repetiu para Cd. Mishra et al. (2013) testaram seis macrófitas em efluente bruto (100%), verificando redução de Cu e Hg em 20 dias. *L. minor* foi mais eficiente na remoção de Hg (66,5%) e Cu (71,4%), enquanto *E. crassipes* destacou-se para Cu (63,6%). *L. minor* também apresentou os maiores FBs (0,73 para Cu e 0,61 para Hg).

Sharma et al. (2021) usaram *Eclipta alba* e *Alternanthera philoxeroides* na fitorremediação terciária de efluentes de papel, reduzindo pelo menos 47% dos poluentes, mas apenas o As atingiu níveis aceitáveis para descarte. Mn e Fe acumularam-se mais nas raízes, enquanto Hg concentrou-se nas partes aéreas. Os estudos destacam o potencial das macrófitas na remoção de metais pesados (Fe, Cu, Mn, Zn), com eficiências variáveis conforme a espécie e as condições do sistema. A complexidade dos efluentes pode influenciar a absorção dos metais devido a interações sinérgicas e antagônicas (Mazumdar & Das, 2021).

A fitorremediação em hidroponia foi amplamente estudada, com diluições de 25%-100%, sendo as intermediárias geralmente mais eficazes. No entanto, a escolha da diluição ideal deve considerar não apenas o crescimento vegetal, mas também a eficiência na remoção dos poluentes. A absorção de metais é um processo ativo que exige energia, e o maior crescimento nem sempre implica na maior remoção de contaminantes (Olguín & Sánchez-Galván, 2012).

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os efluentes da indústria de celulose e papel contêm metais pesados, compostos organoclorados e derivados da lignina, apresentando alta toxicidade e persistência ambiental. O tratamento adequado é essencial para minimizar impactos nos ecossistemas aquáticos e atender às regulamentações. A fitorremediação se destaca como alternativa sustentável e de baixo custo, utilizando macrófitas aquáticas para remover poluentes.

Espécies como *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Lemna minor*, *Typha angustifolia* e *Chrysopogon zizanioides* demonstraram eficiência superior a 90% na remoção de metais como Fe, Cu, Zn, Cd e Pb. A eficácia depende da carga orgânica do efluente, biodisponibilidade dos metais e resistência das plantas ao ambiente contaminado. Desafios incluem a alta carga orgânica, que pode limitar o crescimento vegetal e a remoção de metais, e a interação entre contaminantes, que afeta a eficiência do tratamento. A integração com outras tecnologias e a escolha de espécies adaptadas podem otimizar o processo. Aliada a estratégias híbridas, a fitorremediação é uma solução viável e sustentável para mitigar os impactos da indústria de celulose.

REFERÊNCIAS

AGHDAM, M.; KARIMINIA, H.R.; SAFARI, S. Removal of lignin, COD, and color from pulp and paper wastewater using electrocoagulation. *Desalination Water Treatment*, v. 57, p. 9698–9704, 2016.

AMARAL, M. C.; LANGE, L. C.; BORGES, C. P. Treatment of Bleach Pulp Mill Effluent by MF-MBR. *Water Environment Research*, v. 84, n. 7, p. 547–553, 2012.

AMARAL, M. C. S.; LANGE, L. C.; BORGES, C. P. Evaluation of the Use of Powdered Activated Carbon in Membrane Bioreactor for the Treatment of Bleach Pulp Mill Effluent. *Water Environment Research*, v. 86, n. 9, p. 788–799, 2015.

ARCISZEWSKI, T. J.; MCMASTER, M. E.; MUNKITTRICK, K. R. Long-Term Studies of Fish Health before and after the Closure of a Bleached Kraft Pulp Mill in Northern Ontario, Canada. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 40, n. 1, p. 162-176, 2021.

ARIVOLI, A.; MOHANRAJ, R.; SEENIVASAN, R. Application of vertical flow constructed wetland in treatment of heavy metals from pulp and paper industry wastewater. *Environmental science and pollution research international*, v. 22, n. 17, p. 13336–13343, set. 2015.

ASHRAFI, O.; YERUSHALMI, L.; HAGHIGHAT, F. Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission. *Journal of Environmental Management*, v. 158, p. 146–157, 2015.

ASHRAFI, O.; YERUSHALMI, L.; HAGHIGHAT, F. Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission. *Journal of Environmental Management*, v. 158, p. 146–157, 2015.

BAJPAI, P. Pulp Bleaching. *Biermann's Handbook of Pulp and Paper*, p.465–491, 2018.

BALABANIČ, D. et al. Raw and biologically treated paper mill wastewater effluents and the recipient surface waters: Cytotoxic and genotoxic activity and the presence of endocrine disrupting compounds. *Science of the Total Environment*, v. 574, p. 78–89, 2017.

BARRA, R. O. et al. Endocrine Disruptor Impacts on Fish From Chile: The Influence of Wastewaters. *Frontiers in Endocrinology*, v. 12, n. March, p. 1–16, 2021.

- BASU, N. et al. Pulp and paper mill effluents contain neuroactive substances that potentially disrupt neuroendocrine control of fish reproduction. *Environmental Science & Technology*, v. 43, n. 5, p. 1635-1641, 2009.
- BHAEAGAVA, R. N.; MISHRA, S. Hexavalent chromium reduction potential of *Cellulosimicrobium* sp. isolated from common effluent treatment plant of tannery industries. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.147, p.102-109, 2018.
- BONANNO, G.; VYMAZAL, J. Compartmentalization of potentially hazardous elements in macrophytes: Insights into capacity and efficiency of accumulation. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 181, n. November 2016, p. 22–30, 2017.
- BRITT, K. H. *Handbook of pulp and paper technology*. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1965, 537 p.
- CALDEIRA, D. C. D et al. A case study on the treatment and recycling of the effluent generated from a thermo-mechanical pulp mill in Brazil after the installation of a new bleaching process. *Science of The Total Environment*, v. 763, p. 142996, 2021.
- CHAMORRO, S. et al. Detection of estrogenic activity from kraft mill effluents by the yeast estrogen screen. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 84, n. 2, p. 165-169, 2010.
- CHANDRA, R.; YADAV, S.; YADAV, S. Phytoextraction potential of heavy metals by native wetland plants growing on chlorolignin containing sludge of pulp and paper industry. *Ecological Engineering*, v. 98, p. 134-145, 2017.
- CHAPARRO, T. R.; PIRES, E. C. Post-treatment of anaerobic effluent by ozone and ozone/UV of a kraft cellulose pulp mill. *Water Science and Technology*, v. 71, n. 3, p. 382–389, 2015.
- CHOUHDARY, A. K.; KUMAR, S.; SHARMA, C. Removal of chloro-organics and color from pulp and paper mill wastewater by polyaluminium chloride as coagulant. *Desalination and Water Treatment*, v.53, n.3, p.697-708, 2015.
- CHOWDHARY, P. et al. Stress response of *Triticum aestivum* L. and *Brassica juncea* L. against heavy metals growing at distillery and tannery wastewater contaminated site. *Chemosphere*, v.206, p.122-131, 2018.
- COIMBRA, E. C. L. et al. Electrocoagulation of kraft pulp bleaching filtrates to improve biotreatability. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 147, p. 346–355, 2021.
- COLODETTE, J.; GOMES, F.J. *Branqueamento de polpa celulósica: Da produção da polpa marrom ao produto acabado*. Editora UFV, Viçosa-MG, Brasil, 2015.
- COSTIGAN, S.L. et al. Expression profiling and gene ontology analysis in fathead minnow (*Pimephales promelas*) liver following exposure to pulp and paper mill effluents. *Aquatic Toxicology*, v. 122–123, p. 44–55, 2012.
- DAS, S.; MAZUMDAR, K. Phytoremediation potential of a novel fern, *Salvinia cucullata*, Roxb. Ex Bory, to pulp and paper mill effluent: Physiological and anatomical response. *Chemosphere*, v. 163, p. 62–72, 2016.

- DAVAMANI, V. et al. Journal of Environmental Chemical Engineering Hydroponic phytoremediation of paperboard mill wastewater by using vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 9, n. 4, p. 105528, 2021.
- DENCE, C. W.; REEVE, D. W. Pulp bleaching – Principles and practice. Atlanta, Georgia: Tappi Press, 1996.
- EKPERUSI, A. O.; SIKOKI, F. D.; NWACHUKWU, E. O. Application of common duckweed (*Lemna minor*) in phytoremediation of chemicals in the environment: State and future perspective. Chemosphere, v. 223, p. 285–309, 2019.
- FREDDO, A. et al. Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose kraft branqueada. Ciência Florestal, v. 9, n. 1, p. 193-209, 1999.
- GRANHOLM, K.; HARJU, L.; IVASKA, A. Desorption of metal ions from kraft pulps. Part 1. Chelation of hardwood and softwood kraft pulp with EDTA. BioResources, v. 5, n. 1, p. 206-226, 2010.
- GUPTA, G. et al. Pulp and paper industry–based pollutants, their health hazards and environmental risks. Current Opinion in Environmental Science & Health, v. 12, p. 48-56, 2019.
- HEWITT, L.M. et al. Altered reproduction in fish exposed to pulp and paper mills effluents: roles of individual compounds and mill operating conditions. Environ.Toxicol.Chem. v.27, p.682–697, 2008.
- HUANG, Q. NA et al. Effects of Mn-Cd antagonistic interaction on Cd accumulation and major agronomic traits in rice genotypes by different Mn forms. Plant Growth Regulation, v. 82, n. 2, p. 317–331, 2017.
- HUBER, P.; BURNET, A.; PETIT-CONIL, M. Scale deposits in kraft pulp bleach plants with reduced water consumption: A review. Journal of Environmental Management, v.141, p.36-50, 2014.
- INDÚSTRIABRASILEIRADE ÁRVORES. IBÁ Relatório 2024. Disponível em: <https://iba.org/relatorio2024.pdf>. Acessado em 08/01/2024.
- JÄÄSKELÄINEN, A. et al. Reactions of aromatic structures in brightness reversion of fully-bleached eucalyptus kraft pulps. Holzforschung, v.63, n.3, p.278–281, 2009.
- KAMALI, M. et al. Additive and additive-free treatment technologies for pulp and paper mill effluents: Advances, challenges and opportunities. Water Resources and Industry, v. 21, p. 100109, 2019.
- KAMALI, M.; KHODAPARAST, Z. Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment. Ecotoxicology and Environmental Safety, v.114, p.326–342, jun. 2015.
- KAUR, D.; BHARDWAJ, N.K.; LOHCHAB, R.K. Effect of incorporation of ozone prior to ECF bleaching on pulp, paper and effluent quality. Journal of environmental management, v. 236, p. 134-145, 2019.
- KHANDARE, R. V.; GOVINDWAR, S.P. Phytoremediation of textile dyes and effluents: Current scenario and future prospects. Biotechnology Advances, v. 33, n. 8, p. 1697-1714, 2015.
- KRYLOVA, E. G.; GARIN, E. V. The effect of the combined action of nickel and copper ions on the initial stages of ontogenesis of *Alisma plantago-aquatica*. Regulatory Mechanisms in Biosystems, v. 11, n. 3, p. 367–371, 2020.

KUMAR, A., DHALL, P., e KUMAR, R. Biological AOX removal of pulp mill plant effluent by *Pseudomonas Aeruginosa* – Bench study. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, v.21, n.4, p. 296–304, 2013.

KUMAR, V.; CHOPRA, A. K. Reduction of pollution load of paper mill effluent by phytoremediation technique using water caltrop (*Trapa natans* L.). *Cogent Environmental Science*, v. 2, n. 1, p. 1–12, 2016.

KUMAR, V.; SINGH, J.; KUMAR, P. Heavy metal uptake by water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) from paper mill effluent (PME): experimental and prediction modeling studies. *Environmental science and pollution research international*, v. 26, n. 14, p. 14400–14413, maio 2019.

KUMAR, V.; SINGH, J.; KUMAR, P. Regression models for removal of heavy metals by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) from wastewater of pulp and paper processing industry. *Environmental Sustainability*, v. 3, n. 1, p. 35–44, 2020.

LINDHOLM-LEHTO, P. et al. Refractory organic pollutants and toxicity in pulp and paper mill wastewaters. *Environmental Engineering Management*, v.20, n.5, p.293-297, 2015.

LOUREIRO, P.E.G. et al. Discriminating the brightness stability of cellulosic pulp in relation to the final bleaching stage. *Carbohydrate Polymers*, v.88, p.726–733, 2012.

LUNDGREN, M. S.; NOVAK, P.J. Quantification of phytoestrogens in industrial waste streams. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, v. 28, n. 11, p. 2318-2323, 2009.

MARTINEZ, S. et al. Comparative ecotoxicity of single and binary mixtures exposures of cadmium and nickel on growth and biomarkers of *Lemna gibba*. *ECOTOXICOLOGY*, v. 30, n. 1, p. 91–103, jan. 2021.

MAZUMDAR, K.; DAS, S. Multi-metal effluent removal by *Centella asiatica* (L) Urban: Prospects in phytoremediation. *Environmental Technology and Innovation*, v. 22, p. 101511, 2021.

MD YUSOFF, M. F. et al. Performance of continuous pilot subsurface constructed wetland using *Scirpus grossus* for removal of COD, colour and suspended solid in recycled pulp and paper effluent. *Environmental Technology and Innovation*, v. 13, p. 346–352, 2019.

MÉNDEZ, C.M.; ÁREA, M. C. Cinética do estágio EP no branqueamento ECF de polpas kraft. *O Papel*, v.70, n.6, p.48-56, 2009.

MISHRA, S. et al. Physico-chemical assessment of paper mill effluent and its heavy metal remediation using aquatic macrophytes - A case study at JK Paper mill, Rayagada, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 185, n. 5, p. 4347–4359, 2013.

MORAIS, P. et al. Extraction and preconcentration techniques for chromatographic determination of chlorophenols in environmental and food samples. *Talanta*, v. 89, p. 1-11, 2012.

OLGUÍN, E. J.; SÁNCHEZ-GALVÁN, G. Heavy metal removal in phytofiltration and phycoremediation: the need to differentiate between bioadsorption and bioaccumulation. *New biotechnology*, v. 30, n. 1, p. 3–8, nov. 2012.

ORREGO, R. et al. Estrogenic and anti-estrogenic effects of wood extractives present in pulp and paper mill effluents on rainbow trout. *Aquatic Toxicology*, v. 99, p. 160–167, 2010.

- QUEZADA, R. et al. Membrane treatment of the bleaching plant (EPO) filtrate of a kraft pulp mill. *Water Science and Technology*, v. 70, n. 5, p. 843–850, 2014.
- QUEZADA, R. et al. Reuse of ultrafiltration membrane permeate and retentate of (EPO) filtrates from a kraft pulp mill bleaching plant. *Appita Journal: Journal of the Technical Association of the Australian and New Zealand Pulp and Paper Industry*, v. 68, n. 4, p. 338, 2015.
- RAI, S. et al. Iron homeostasis in plants and its crosstalk with copper, zinc, and manganese. *Plant Stress*, v. 1, n. March, p. 100008, 2021.
- RANI, N. et al. Purification of pulp and paper mill effluent through Typha and Canna using constructed wetlands technology. *Journal of Water Reuse and Desalination*, v. 1, n. 4, p. 237–242, 2011.
- SEVCIKOVA, M. et al. Metals as a cause of oxidative stress in fish: a review. *Vet Med*, v. 56, n. 11, p. 537-546, 2011.
- SHARMA, A. et al. Xylanase and laccase based enzymatic kraft pulp bleaching reduces adsorbable organic halogen (AOX) in bleach effluents: A pilot scale study. *Bioresource Technology*, v.169, p.96-102, 2014.
- SHARMA, N.; BHARDWAJ, N. K.; SINGH, R. B. P. Environmental issues of pulp bleaching and prospects of peracetic acid pulp bleaching: A review. *Journal of Cleaner Production*, v. 256, p. 120338, 2020.
- SHARMA, N.; BHARDWAJ, N. K.; SINGH, R. B. P. Environmental issues of pulp bleaching and prospects of peracetic acid pulp bleaching: A review. *Journal of Cleaner Production*, v. 256, p. 120338, 2020.
- SHARMA, P. et al. Role of microbial community and metal-binding proteins in phytoremediation of heavy metals from industrial wastewater. *Bioresource Technology*, v. 326, n. November 2020, p. 124750, 2021.
- SHARMA, P.; TRIPATHI, S.; CHANDRA, R. Highly efficient phytoremediation potential of metal and metalloids from the pulp paper industry waste employing *Eclipta alba* (L) and *Alternanthera philoxeroides* (L): Biosorption and pollution reduction. *Bioresource Technology*, v. 319, n. August 2020, p. 124147, 2021.
- SHARMA, P.; TRIPATHI, S.; CHANDRA, R. Highly efficient phytoremediation potential of metal and metalloids from the pulp paper industry waste employing *Eclipta alba* (L) and *Alternanthera philoxeroides* (L): Biosorption and pollution reduction. *Bioresource Technology*, v. 319, n. August 2020, p. 124147, 2021.
- SHARMA, P.; TRIPATHI, S.; CHANDRA, R. Phytoremediation potential of heavy metal accumulator plants for waste management in the pulp and paper industry. *Heliyon*, v. 6, n. 7, p. e04559, 2020.
- SHARMA, P.; TRIPATHI, S.; CHANDRA, R. Phytoremediation potential of heavy metal accumulator plants for waste management in the pulp and paper industry. *Heliyon*, v. 6, n. 7, p. e04559, 2020.
- SINGH, A. K.; CHANDRA, R. Pollutants released from the pulp paper industry: Aquatic toxicity and their health hazards. *Aquatic toxicology*, 211, 202-216, 2019.
- SINGH, J. et al. An experimental investigation on phytoremediation performance of water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) for pollutants removal from paper mill effluent. *Water Environment Research*, 2021.
- TARKKANEN, S., ALLEN, R.; FISKARI, J. Oxidative degradation of AOX in softwood-based kraft mill effluents from ECF bleaching. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, v.27, n4, p.707-713, 2012.

TOCZYŁOWSKA-MAMIŃSKA, R. Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 78, n. May, p. 764–772, 2017.

VYMAZAL, J. Concentration is not enough to evaluate accumulation of heavy metals and nutrients in plants. *Science of the Total Environment*, v. 544, p. 495–498, 2016.

YIN, Y. et al. The influence of light intensity and photoperiod on duckweed biomass and starch accumulation for bioethanol production. *Bioresource Technology*, v. 187, p. 84–90, 2015.

ZHAO, H. et al. Cooperative decomposition of hydrogen peroxide by lignin-combined transition metals in pulp bleaching. *BioResources*, v. 13, n. 2, p. 3922-3931, 2018.

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA - Técnico em Química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Licenciado (2011) e Bacharel em Química Industrial (2023) pela Universidade de Uberaba (UNIUBE), em Ciências Biológicas (2021) e em Física (2022) pela Faculdade Única de Ipatinga (FUNIP). Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Ensino Superior ambas pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), especialista em Ciências Naturais e Mercado de Trabalho (2022) pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) e especialista em Química Analítica e em Gestão da Qualidade e Produtividades, ambas pela Faculdade Metropolitana do Estado de São Paulo (FAMEESP) em 2024. Mestre (2015) e doutor (2018) em Química Analítica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Realizou o primeiro estágio Pós-Doutoral (de maio de 2020 a abril de 2022) e cursou o segundo estágio (2022- 2024) na UFU com ênfase na aplicação de novos agentes oxidantes utilizando radiação solar para remoção de Contaminantes de Preocupação Emergente (CPE) em efluentes de uma estação de tratamento de esgoto. Atuou como técnico em laboratório/ Química pelo Instituto Federal de Goiás (2010-2022), químico e responsável técnico pelos laboratórios da Unicesumar/Polo Patrocínio e professor do SENAI de Minas Gerais e Goiás. Atualmente é professor de química do Colégio Militar do Tocantins em Araguaína/TO. Atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) estudos de acompanhamento do CPE; (iii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) Aplicação de processos oxidativos avançados ($H_2O_2/UV\ C$, $TiO_2/UV\ A$ e foto-Fenton e outros) para remoção de CPE em efluentes de estação de tratamento de efluentes para reuso; (v) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (vi) Educação Ambiental e; (vii) alfabetização científica e processos de alfabetização na área de Ciências Naturais, especialmente biologia e química. É membro do corpo editorial da Atena Editora desde 2021 e já organizou mais de 98 e-books e publicou 43 capítulos de livros nas diferentes áreas de Ciências da Natureza, Engenharia Química e Sanitária/Ambiental, Meio ambiente dentre outras áreas.

A

Abastecimento de água 14, 16, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 60

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) 46, 49, 66

Agrotóxicos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11

Água da chuva 60, 65, 67, 70, 71, 72, 73, 74, 76, 77, 78, 79

Água potável 16, 46, 49, 52, 60, 65, 67, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78

Águas residuárias 80, 82, 87, 89, 90, 91

B

Bacia hidrográfica 1, 2, 5, 9, 41

Bactéria 18

Biodegradabilidade 86, 88

Biodiversidade 13, 14, 16, 17, 66

Biomagnificar 86

Branqueamento 96

C

Celulose 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 95, 97

Coliformes totais 17, 28, 29, 30, 37, 38, 39

CONAMA 357/05 21

Corpos d'água 13, 14, 15, 16, 19, 21

Corpos hídricos 12, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 26, 39, 40, 41, 59

Córregos 13, 15, 28, 35, 39, 40

D

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) 17, 19, 28, 33, 82, 89, 91

Demanda Química de Oxigênio (DQO) 18, 28, 32, 82, 89, 91

Desenvolvimento urbano 12, 55

Drenagem urbana 43, 44, 45, 47, 51, 53, 54, 55, 60, 61, 64

E

Efluentes 15, 18, 19, 20, 21, 34, 41, 52, 60, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 93, 94, 101

Esgotamento sanitário 40, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 59

Eutrofização 19

Expansão urbana desordenada 14

Extração alcalina 83, 88

F

Filtrados alcalinos 84, 85, 86, 88, 89

Fitorremediação 80, 81, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Folhas de tabaco 1, 3, 4

Fósforo 19, 20, 29, 30, 34, 89, 91

Fumicultores 1, 2, 4, 5, 6, 9, 11

H

Habitat aquático 13, 14

I

Ideação suicida 1, 2, 6, 8, 9, 10

Impactos ambientais 12, 13, 14, 15, 17, 41, 42, 67

L

Lagos 15, 16, 17

Lignina 80, 82, 83, 84, 87, 88, 94

M

Macrófitas aquáticas 80, 81, 94

Mananciais 65, 66

Marco legal do saneamento básico 43, 46, 47, 48, 49, 52, 53, 54, 59

Meio ambiente 2, 3, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 21, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 49, 53, 60, 101

Meio de cultura 17, 18, 30

Metais pesados 80, 81, 82, 87, 89, 90, 91, 93, 94

Método kraft 80

N

Nicotina Tabacum 2

Nitrato 20, 37, 38, 39

Nitrito 20, 37, 38

Nitrogênio amoniacal 20, 21, 28, 29, 36, 37, 39

O

Ocupações sem planejamento 12, 13, 14, 15, 21

Organismos aquáticas 84

Organização Mundial de Saúde (OMS) 47

Oxigênio dissolvido 19, 21, 28, 29, 35, 36

P

Plano Municipal de Saneamento Básico 47, 49, 50, 52, 53, 54, 61

Políticas públicas 7, 12, 13, 14, 48, 50

Polpa 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 96

Poluentes 15, 77, 80, 82, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 94

R

Recalcitrância 80, 84

Resíduos sólidos 14, 15, 16, 44, 45, 49, 50, 55

Rios 13, 14, 15, 16, 17, 29, 35, 39, 40, 45, 55

S

Saneamento ambiental 48

Saneamento básico 13, 14, 16, 23, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66

Saúde mental 2

Saúde pública 2, 4, 5, 10, 12, 14, 15, 17, 43, 44, 52, 53, 60

Segurança hídrica 66

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) 48, 54

Sustentabilidade 12, 42, 45, 48, 50, 65, 66, 67

T

Toxicidade 4, 80, 84, 85, 86, 88, 94

Tratamento de esgoto 15, 17, 35, 45, 52, 54, 59, 60, 62, 101

Engenharia Sanitária e Ambiental:

Gestão de recursos hídricos e saneamento

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Engenharia Sanitária e Ambiental:

Gestão de recursos hídricos e saneamento

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br