



Universidade Federal da Paraíba

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Área de Concentração: Tecnologias ambientais para o desenvolvimento sustentável

**Biorremediação e fitorremediação: seus potenciais na despoluição de  
ambientes aquáticos**

**Liliane Rodrigues de Andrade**

Orientadora: Maria Cristina Basílio Crispim da Silva

Co-orientador: Ulrich Vasconcelos da Rocha Gomes

João Pessoa/PB

Abril de 2025

**LILIANE RODRIGUES DE ANDRADE**

**BIORREMEDIAÇÃO E FITORREMEDIAÇÃO: SEUS POTENCIAIS NA  
DESPOLUIÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para a obtenção do título de mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

**Orientadora:** Maria Cristina Basílio Crispim da Silva

**Co-orientador:** Ulrich Vasconcelos da Rocha Gomes

**João Pessoa/PB**

**Abril de 2025**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

A553b Andrade, Lilliane Rodrigues de.

Biorremediação e fitorremediação : seus potenciais na despoluição de ambientes aquáticos / Lilliane Rodrigues de Andrade. - João Pessoa, 2025.  
109 f.

Orientação: Maria Cristina Basílio Crispim da Silva.  
Coorientação: Ulrich Vasconcelos da Rocha Gomes.  
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Ambientes aquáticos - Biorremediação. 2. Petróleo - Poluentes. 3. Pseudomonas aeruginosas. 4. Ecobarreiras. I. Silva, Maria Cristina Basílio Crispim da. II. Gomes, Ulrich Vasconcelos da Rocha. III. Título.


UFPB/BC

CDU 502.51(043)

# **Biorremediação e fitorremediação: seus potenciais na despoluição de ambientes aquáticos**


**Liliane Rodrigues de Andrade**

## **BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **MARIA CRISTINA BASILIO CRISPIM DA SILVA**  
Data: 25/06/2025 20:27:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Profa. Dr<sup>a</sup> Maria Cristina Basílio Crispim da Silva Universidade Federal da Paraíba  
(Orientadora)

Documento assinado digitalmente  
 **ULRICH VASCONCELOS DA ROCHA GOMES**  
Data: 18/06/2025 09:32:44-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Prof. Dro. Ulrich Vasconcelos da Rocha Gomes Universidade Federal da Paraíba  
(Co-orientador)

Documento assinado digitalmente  
 **MARIANA VIEIRA TURNELL SURUAGY**  
Data: 17/06/2025 08:02:19-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. - MARIANA VIEIRA TURNELL SURUAGY - UEPB (Examinador-Externo)

Documento assinado digitalmente  
 **HAMILCAR JOSE ALMEIDA FILGUEIRA**  
Data: 12/06/2025 13:04:44-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof.- HAMILCAR JOSE ALMEIDA FILGUEIRA - UFPB (Examinador- interno)

João Pessoa  
Abril 2025



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me conceder forças, sabedoria e oportunidades ao longo desta jornada.

À minha família, pelo amor, apoio incondicional e incentivo, fundamentais nesta etapa da minha vida.

Aos meus orientadores, professora Cristina Crispim e professor Ulrich Vasconcelos, pela orientação competente, pela dedicação, paciência e por todo o conhecimento compartilhado.

À equipe do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Prodema/UFPB), pelo suporte e colaboração durante todo o percurso.

Aos colegas de turma e de laboratório (LAMA e LABEA) pelo companheirismo, troca de conhecimentos e apoio mútuo.

Aos professores membros da banca avaliadora, cujas contribuições foram essenciais para o aprimoramento deste trabalho.

Aos colegas de trabalho e aos meus alunos, pela convivência, pelo incentivos diários que também me fortaleceram nesta caminhada.

## RESUMO

A manutenção de um ecossistema aquático saudável é essencial para garantir a sobrevivência de diversas espécies e possibilitar os múltiplos usos pelos seres humanos. Entre as várias ameaças aos corpos d'água, destaca-se o lançamento de efluentes domésticos, que provoca o aumento de nutrientes, a eutrofização, a proliferação de plantas aquáticas e a consequente degradação da qualidade da água. Outro problema relevante é o despejo de petróleo e seus derivados. A poluição por esses compostos pode ocorrer desde pequenos vazamentos de combustível provenientes de embarcações em rios até grandes derramamentos de petróleo bruto no mar. No entanto, existem soluções baseadas na natureza, como a biorremediação e a fitorremediação, que podem contribuir expressivamente para a resolução desses problemas. Com o objetivo de apresentar uma alternativa para a remoção de derivados do petróleo de ambientes aquáticos e de melhorar a qualidade da água por meio de biotecnologias, este trabalho buscou isolar bactérias com potencial biorremediador para esses poluentes no Rio Gramame, Conde, Paraíba, Brasil. Foram realizados testes laboratoriais para verificar o potencial dessas bactérias frente à gasolina e ao óleo diesel. Foi testada também uma ecobarreira fitorremediadora e biorremediadora quanto à sua eficácia na redução de concentrações de amônia, fosfato, nitrito, nitrato e outros parâmetros de qualidade da água. Durante o experimento, foram adicionadas cortinas plásticas às ecobarreiras, com o intuito de aumentar a taxa de biorremediação. Os resultados indicaram a presença de bactérias do gênero *Pseudomonas aeruginosa* com potencial biorremediador para o diesel nas águas do Rio Gramame. Além disso, observou-se que, após a instalação das cortinas plásticas, houve um aumento significativo na concentração de oxigênio dissolvido.

**Palavras-chave:** biorremediação, petróleo, *Pseudomonas aeruginosas*, ecobarreiras.

## ABSTRACT

Maintaining a healthy aquatic ecosystem is essential to ensure the survival of various species and to support multiple human uses. Among the various threats to water bodies, the discharge of domestic effluents stands out, as it leads to nutrient enrichment, eutrophication, proliferation of aquatic plants, and consequent degradation of water quality. Another major issue is the release of petroleum and its derivatives. Pollution from these compounds can occur from small fuel leaks from boats in rivers to large crude oil spills in the ocean. The removal of these pollutants is a complex and costly task. However, there are nature-based solutions, such as bioremediation and phytoremediation, that can significantly contribute to addressing these issues. Aiming to present an alternative for the removal of petroleum derivatives from aquatic environments and to improve water quality through biotechnologies, this study sought to isolate bacteria with bioremediation potential for these pollutants from the Gramame River. Laboratory tests were conducted to verify the potential of these bacteria against gasoline and diesel oil. In addition, the effectiveness of a bioremediating floating boom sustainable in reducing concentrations of ammonia, phosphate, nitrite, nitrate, and other water quality parameters was tested. During the experiment, plastic curtains were added to the floating boom sustainable to increase the bioremediation rate. The results indicated the presence of *Pseudomonas aeruginosa* bacteria with bioremediation potential for diesel in the waters of the Gramame River. Furthermore, a significant increase in dissolved oxygen concentration was observed after the installation of the plastic curtains.

**Keywords:** bioremediation, petroleum, *Pseudomonas aeruginosa*, floating boom sustainable.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema de formação de comunidade sésil de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> . 1. Fixação reversível; 2. Fixação irreversível; 3. Colonização; 4. Maturação; 5. Desprendimento .....	45
<b>Figura 2:</b> Metabolismo de degradação dos Alcanos por bactérias .....	46
<b>Figura 3:</b> Mapa de Localização do município do Conde – PB.....	48
<b>Figura 4:</b> Local de coleta dos isolados .....	49
<b>Figura 5:</b> Ensaio de degradação: A-inóculo; B e C- sistemas prontos; D-Armazenamento .....	50
<b>Figura 6:</b> Isolados de pseudomonas aeruginosas encontradas no Rio Gramame....	51
<b>Figura 7:</b> Resultado das análises estatísticas das massas dos isolados.....	53
<b>Figura 8:</b> Mapa de Localização do município de Conde – PB .....	65
<b>Figura 9:</b> Bacia Hidrográfica do Litoral Sul.....	65
<b>Figura 10:</b> Ecobarreira fitorremediadora inserida no trecho do Rio Gramame nas imediações da comunidade Mituaçu.....	66
<b>Figura 11:</b> Posicionamento das ecobarreiras.....	67
<b>Figura 12:</b> Índice pluviométrico dos dias das coletas e anteriores.....	69
<b>Figura 13:</b> Concentração de Amônia.....	71
<b>Figura 14:</b> Análises estatísticas das concentrações de Amônia na água do Rio Gramame, Conde, a montante e jusante de sistema de fitorremediação.....	72
<b>Figura 15:</b> Concentrações de Amônia no sistema com fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	73
<b>Figura 16:</b> Concentração de amônia e dados estatísticos a montante e jusante dos sistemas de fitorremediação e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	73
<b>Figura 17:</b> Imagens das plantas aquáticas das ecobarreiras fitorremediadoras instaladas no Rio Gramame, no trecho que passa em Mituaçu, Conde, PB.....	74
<b>Figura 18:</b> Concentração de Nitrito a montante e jusante do sistema de fitorremediação inserido no Rio Gramame no trecho que passa em mituaçu, Conde, PB .....	75
<b>Figura 19:</b> Concentrações de Nitrito e análises estatísticas entre montante e jusante dos sistemas de fitorremediação no Rio Gramame, trecho de Mituaçu, Conde, PB .....	76
<b>Figura 20:</b> Concentrações de Nitrito a montante e jusante do sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	77
<b>Figura 21:</b> Concentrações de nitrito e dados estatísticos de montante e jusante do sistema	

de fitorremediação e biorremediação instalados no Rio Gramame Conde, PB. .....	77
<b>Figura 22:</b> Concentração de Nitrato a montante e jusante do sistema de fitorremediação inserido no Rio Gramame no trecho que passa em mituaçu, Conde, PB .....	78
<b>Figura 23:</b> Concentrações de Nitrato e análise estatística comparando o montante e jusante após passar por sistema de fitorremediação no Rio Gramame, Conde,PB.....	79
<b>Figura 24:</b> Concentrações de Nitrato a montante e jusante do sistema com fito e biorremediação no Rio Gramame,Conde,PB .....	80
<b>Figura 25:</b> Concentrações de nitrato e estatística comparando montante e jusante em sistema de fitorremediação e biorremediação instalado no Rio Gramame, Conde, PB .....	80
<b>Figura 26:</b> Concentração de fosfato ao longo do tempo analisado no Rio Gramame, Conde, PB, antes e após a inserção de sistema de fitorremediação.....	81
<b>Figura 27:</b> Concentrações de Fosfato e análises estatísticas comparando montante e jusante do sistema de fitorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	82
<b>Figura 28:</b> Concentrações de Fosfato a montante e jusante de um sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	83
<b>Figura 29:</b> Concentrações de ortofosfato e dados estatísticos após a inserção do sistema de biorremediação junto ao de fitorremediação no Rio Gramame, Conde, PB	83
<b>Figura 30:</b> Concentração de oxigênio dissolvido a montante e jusante do sistema de fitorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	85
<b>Figura 31:</b> Concentrações de OD e análise estatística a montante e jusante do sistema de fitorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	86
<b>Figura 32:</b> Concentrações de OD a montante e jusante de sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	87
<b>Figura 33:</b> Concentrações de oxigênio dissolvido e dados estatísticos a montante e jusante de sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	88
<b>Figura 34:</b> Valores de pH.....	89
<b>Figura 35:</b> Variações de pH e dados estatísticos a montante e jusante de um sistema de biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	89
<b>Figura 36:</b> Valores de pH a montante e jusante de um sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	90
<b>Figura 37:</b> Variação de pH e dados estatísticos a montante e jusante de sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	91
<b>Figura 38:</b> Condutividade das ecobarreiras fitorremediadoras.....	92

<b>Figura 39:</b> Plantas nas ecobarreiras, mostrando grande quantidade de material orgânico em decomposição.....	93
<b>Figura 40:</b> Variações das condutividades e dados da análise estatística a montante e jusante de um sistema de fitorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	94
<b>Figura 41:</b> Valores de condutividade a montante e jusante de um sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	95
<b>Figura 42:</b> Valores de condutividade elétrica a montante e jusante de um sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	95
<b>Figura 43:</b> Temperatura a montante e jusante das ecobarreiras fitorremediadoras .....	96
<b>Figura 44:</b> Variações das temperaturas e dados da análise estatística a montante e jusante de um sistema de fitorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	97
<b>Figura 45:</b> Valores de temperatura a montante e jusante de um sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.....	98
<b>Figura 46:</b> Análise estatísticas para temperatura com aumento do biofilme.....	99
<b>Figura 47:</b> Ecobarreiras n “2” ao longo dos meses. A- Agosto de 2023. B-Março de 2024 após maré sizígia.C- Abril de 2024.D- Julho de 2024.E-Setembro de 2024. F-Novembro de 2024.G.Janeiro de 2025.....	100
<b>Figura 48:</b> Ecobarreira 1 ao longo dos meses. A- Agosto de 2023. B-Abril de 2024.C- Julho de 2024.D- Setembro de 2024.E-Novembro de 2024.....	101
<b>Figura 49:</b> Estrutura das garrafas com destaque para o biofilme aderido.....	101
<b>Figura 50:</b> Ecobarreira 3 em Agosto de 2023 (A) e Janeiro de 2025 (B).....	102
<b>Figura 51:</b> A. <i>P.stratiotes</i> , B. <i>E. crassipes</i> .....	102
<b>Figura 52:</b> Espécies que se desenvolveram na ecobarreira: A- <i>Salvinia auriculata</i> ; B- Capim; C- <i>E. azurea</i> ; D- <i>Ludwigia helminthorrhiza</i> .....	103

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** - Degradação de diesel pelos isolados de *Pseudomonas aeruginosa* 52

**Tabela 2:** Valores de p para as análise estatística 70

## LISTA DE QUADROS

**Quadro 1:**Parâmetros analisados

69



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

BIOMAC - Biofilme com Macrófita

BTEX- Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DNA - Ácido Desoxirribonucleico

EVOT- Escola Viva Olho do Tempo

FGV - Fundação Getúlio Vargas

FSA - Fração Solúvel em Água

HPA - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

HTP- Hidrocarbonetos Totais de Petróleo

INEA - Instituto Estadual do Ambiente

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONG - Organização não governamental

ONU- Organização das Nações Unidas

PE - Poluentes emergentes

PL - Projeto de Lei

POP - Poluentes orgânicos persistentes

SPE- Substâncias poliméricas extracelulares

SBN- Soluções Baseadas na Natureza

USEPA - United States Environmental Protection Agency

## **SUMÁRIO**

<b>1.INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivo Específico	18
<b>3. HIPÓTESES</b>	<b>18</b>
<b>4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>19</b>
4.1 Importância da água e desafios	19
4.2 Poluição hídrica	21
4.3 Hidrocarbonetos Totais de Petróleo	23
4.4 Biorremediação para recuperação de áreas contaminadas por petroderivados	28
4.5 Ecobarreiras	30
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>33</b>
<b>CAPITULO 1. PROSPECÇÃO DE PSEUDOMONAS AERUGINOSA HIDROCARBONOCLÁSTICAS A PARTIR DE ÁGUA DO RIO GRAMAME</b>	<b>40</b>
1. INTRODUÇÃO	42
<b>1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>44</b>
1.2.1 Pseudomonas aeruginosa principais características	44
1.2.2 Pseudomonas aeruginosa e o metabolismo de degradação de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo	45
<b>1.3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>48</b>
1.3.1 Área de estudo	48
1.3.2 Isolamento e identificação	49
1.3.3 Ensaio de degradação de combustíveis	50
<b>1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>52</b>
1.4.1 Teste de atividade hidrocarbonoclástica	52
<b>1.5 CONCLUSÃO</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>55</b>
<b>CAPITULO 2: ECOBARREIRAS FITORREMEIADORAS COM MACRÓFITAS FLUTUANTES NO RIO GRAMAME, CONDE, PB</b>	<b>61</b>
2.1 INTRODUÇÃO	63
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	65
2.2.1.Área de Estudo	65
2.2.2. Confecção e instalação das ecobarreiras	66
2.2.3 Metodologia das análises físicas e químicas	68
<b>2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>69</b>
2.3.1 Análise dos parâmetros de qualidade de água do Rio Gramame	69
2.3.1.1 Amônia	71
2.3.1.2 Nitrito	75
2.3.1.3 Nitrato	79
2.3.1.4 Fosfato	82
2.3.1.5 Oxigênio Dissolvido-OD	85
2.3.1.6 potencial Hidrogeniônico - pH	89

2.3.1.7 Condutividade elétrica	93
2.3.1.8 Temperatura	98
2.3.2 Aspectos visuais	102
<b>2.4 CONCLUSÃO</b>	<b>105</b>
<b>2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>106</b>
<b>Anexos</b>	<b>110</b>
Anexo 1	110

## 1.INTRODUÇÃO

A pesca tem sido, uma fonte de alimento para muitos, especialmente para aqueles que residem em comunidades ribeirinhas. Além do aspecto alimentar, essas comunidades também dependem dos ambientes aquáticos para obter parte ou a totalidade de sua renda. A manutenção de um ecossistema aquático saudável é crucial para garantir a sobrevivência de diversas espécies de microorganismos, fauna, flora e, claro, para o "grande predador de topo": o Homem.

Entre as várias ameaças às quais os corpos de água estão sujeitos, destacam-se a poluição proveniente de diferentes fontes, como esgoto doméstico e efluentes industriais, a perda de mata ciliar e a falta de renovação adequada das águas. Esta última, ocasionada por desvio e/ou canalização de rios, construção de barragens ou represas, assoreamento, secas prolongadas, crescimento urbano com impermeabilização de solo, mudanças climáticas, desmatamento, etc.

Dentre esse conjunto de ameaças, vale mencionar as provenientes do petróleo e seus derivados. Conforme Moreira e Marques (2019, p. 2), *“Devido ao seu alto grau de contaminação, o petróleo, por possuir elevada capacidade de cisão em pequenas partes, torna-se a partir do momento em que é derramado no oceano ou no solo, um contaminante recalcitrante e de difícil captação.”*

O mesmo problema é válido para a poluição causada pelos Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP). Esses são especialmente comuns em locais de intenso tráfego de embarcações motorizadas, bem como nos pontos onde estas permanecem atracadas pois, ocorre alguma perda de combustível onde os HTPs estão presentes. A presença desses poluentes em diferentes ambientes acarreta danos variados, dependentes das características do produto (bruto ou misturado) e da quantidade presente (Mishra *et al.*, 2023). A poluição por esses compostos pode acontecer desde, pequenos vazamentos de combustível oriundos de uma jangada em um rio, até o vazamento de petróleo bruto no mar, normalmente ocasionados por acidentes em plataformas ou navios petroleiros.

Um grupo específico dos HTPs chamados de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs), são compostos com potencial carcinogênico e mutagênico, que podem afetar a saúde da fauna, flora e dos seres humanos.

A Agência estadunidense de Proteção Ambiental (USEPA) listou 16 HPAs como poluentes de controle prioritário: acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(ghi)perileno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno e pireno (Filho, 2021).

No caso de vazamentos de HTPs em pequena quantidade, mas de forma recorrente, ocorre um problema relativamente silencioso, muitas vezes passando despercebido pela população nas áreas afetadas. São os efeitos da bioacumulação e biomagnificação. A bioacumulação é o fenômeno em que por meio da alimentação, absorção dérmica, transporte por vias respiratórias aéreas ou mesmo na água, organismos e plantas acumulam substâncias químicas (Martins, 2019). Inicialmente a acumulação de substâncias tóxicas ocorrem nos seres bases da cadeia alimentar, os produtores (algas, plantas aquáticas e fitoplâncton) e consumidores primários (zooplâncton, larvas de insetos, camarões de água doce, alguns tipos de bagres e tilápias, etc.). À medida que indivíduos de nível trófico superior se alimentam dos organismos de níveis inferiores, essas substâncias químicas vão-se acumulando em seus corpos. Com a continuidade da ingestão, a concentração desses químicos vai aumentando no corpo do consumidor final (biomagnificação) podendo ocasionar efeitos negativos na saúde, e dependendo do organismo e da concentração, pode causar a morte precoce. Como o ser humano está no topo da cadeia alimentar, ao se alimentar frequentemente de peixes e crustáceos contaminados com esses compostos, fica sujeito a esses efeitos, também.

A remoção desses poluentes envolve processos físicos: barreiras contentoras, *skimmers*, absorção, drenagem e escavação e aspiração. Químicos: dispersantes, solidificantes, espuma química e queima controlada. E biológicos: biorremediação por: atenuação natural, bioestimulação ou bioaumentação. A escolha da técnica a ser empregada dependerá do local atingido e da proporção do vazamento. Pois, algumas delas são tecnologias caras, umas exigem muito esforço físico e outras só devem ser empregadas em último caso, devido a possíveis efeitos adversos.

Para mitigar os desafios ambientais e sociais é possível recorrer às soluções baseadas na natureza (SBN): ações que fazem uso dos serviços e dos elementos naturais. Tais ações, cooperam para o enfrentamento das mudanças climáticas,

promoção da segurança hídrica; segurança alimentar, saúde humana e a prevenção de riscos de desastres (IUCN, 2016). Dentre as SbN, destacamos a biorremediação. Esta pode ser definida como técnicas que utilizam organismos vivos, como bactérias, fungos e plantas, para a remoção do poluente ou da transformação dele em produtos menos tóxicos (Musa *et al.*, 2020). A grande vantagem da biorremediação, em relação aos demais processos, é o fato de ser econômica, causar menos impactos ambientais, pode ser aplicada em ecossistemas sensíveis e poder agir sobre uma grande variedade de compostos.

O Rio Gramame é um importante rio situado no litoral Sul do estado da Paraíba. Ele passa pela comunidade Quilombola Mituaçu, onde encontra-se uma pequena parcela de pescadores que retiram dele seu sustento. Por ser um local frequentado por pescadores é comum a presença de embarcações atracadas nas margens do rio bem como a presença de óleo na água, ocasionado por perdas durante o abastecimento ou utilização dos motores das embarcações. Por estar esse trecho perto de uma comunidade humana, também recebe uma grande carga orgânica por esgotos não tratados.

Com base no discorrido, este estudo teve por propósito isolar bactérias com potencial biorremediador para HTPs do Rio Gramame, além de testar uma ecobarreira fitorremediadora e biorremediadora, confeccionada com garrafas *pets*, macrófitas nativas e biofilme, para pesquisar a melhoria da qualidade dessas águas. A primeira pesquisa foi realizada em laboratório, em um experimento *in vitro*, e a segunda no Rio Gramame no trecho que passa na comunidade Mituaçu, em experimento *in situ*.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Pesquisar a presença de *Pseudomonas aeruginosa* hidrocarbonoclásticas no Rio Gramame, isolá-las e testá-las na redução de combustível, e avaliar o potencial fito e biorremediador das ecobarreiras, na redução de poluição orgânica no mesmo rio.

### 2.2 Objetivo Específico

- Isolar bactérias do gênero *Pseudomonas aeruginosa* do Rio Gramame;
- Avaliar a capacidade das bactérias em degradar gasolina comum e óleo diesel S500;
- Verificar a eficiência da ecobarreira fitorremediadora;
- Verificar a eficiência de uma ecobarreira mista, fitorremediadora e biorremediadora nas águas do Rio Gramame.

## 3. HIPÓTESES

- H1 - No Rio Gramame existem bactérias do gênero *Pseudomonas aeruginosas* com potencial para degradar gasolina comum e óleo diesel;
- H2 - A ecobarreira fitorremediadora proporcionará melhoria na qualidade da água do Rio Gramame;
- H3 - Inserindo biorremediação associada à fitorremediação, o potencial de despoluição aumenta.

## 4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 Importância da água e desafios

A união de dois átomos de Hidrogênio com um átomo de Oxigênio forma a molécula da substância mais importante para a vida no planeta: Água. Ela é habitat de espécies bases da cadeia alimentar, regula funções fisiológicas de todos os seres vivos, é responsável pela dinâmica climática, além de proporcionar bens econômicos sociais e culturais (DUARTE, 2014).

O ser humano, os demais animais e as plantas possuem a maior parte de seu corpo composta por esse líquido (de 60% a 90%). Quando não se ingere água em quantidade suficiente pode-se sofrer com desidratação. Quando se faz uso desse recurso impotável (com patógenos ou poluentes) pode-se adoecer.

A Organização Mundial de Saúde (OMS), alerta que o consumo de água contaminada por coliformes totais, é um grande fator de risco para contrair cólera, gastroenterites, febre tifoide e pólio. Dados dessa organização apontam que em todo o mundo, ao menos 2 bilhões de pessoas usam uma fonte de água potável contaminada por coliformes totais (UNESCO, 2023). O consumo de água imprópria gera gastos em saúde pública, que poderiam ter sido evitados se inicialmente tivesse ocorrido investimento em saneamento básico.

Através do ciclo hidrológico, a água passa por diferentes compartimentos ambientais (solo, atmosfera, litosfera e interior dos organismos), garantindo um equilíbrio na dinâmica climática e promovendo a sua reciclagem. Quando alterações severas ocorrem nesse ciclo, podem ocasionar-se prejuízos diversos (grandes chuvas, inundações, secas, etc.). De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e cultura (UNESCO), as inundações ocorridas entre os anos de 2000 a 2019 ocasionaram 100 mil mortes em todo o mundo, além de atingirem 1,65 bilhões de pessoas e provocarem danos de 650 bilhões de Euros. Nesse mesmo intervalo de tempo, as secas atingiram 1,43 bilhão de pessoas, causando gastos em torno de 130 bilhões de Euros (UNESCO, 2023).

A relevância econômica desse recurso ambiental é vastamente expressiva e



abrange diversos setores da economia: agricultura, abastecimento urbano, recreação, turismo, indústria e energia. Ainda não se pode deixar de citar a importância social desse bem. Algumas civilizações têm a sua história atrelada a rios, como por exemplo, os Tigres e Eufrates para os mesopotâmicos, o Nilo para os egípcios, o Sena para os franceses, o Amazonas para sul-americanos e o São Francisco para os brasileiros. Ainda se menciona a importância religiosa que alguns rios e recursos hídricos assumiram ao longo dos anos. É o caso do Rio Ganges para os indianos, o Rio Jordão para os cristãos e, a “água da fonte de Lourdes”, que é considerada milagrosa para muitos católicos. Fora, as religiões de matrizes africanas que consideram não só a água, mas os demais elementos da natureza como sagrados (Bruni, 1994).

Como explicitado a água possui diferentes e importantes papéis para todas as nações e para que isso continue, é necessário o uso sustentável desse bem. A sua falta gera custos, promove deslocamento de populações (refugiados ambientais) e também pode ocasionar conflitos entre nações, como o que ocorre entre o Egito, Sudão e Etiópia pelo uso do Rio Nilo (Guerra *et al.*, 2023). A estimativa do quantitativo de pessoas no ano de 2020, que foram obrigadas a sair de suas localidades por falta de abastecimento de água potável, foi de 82,4 milhões (UNHCR, 2022 *apud* UNESCO, 2023). Outro ponto negativo que vem agregado a essa migração é o aumento da demanda pelos recursos hídricos sobre as entidades locais (serviços públicos e comunidades), responsáveis pela prestação de serviços de saneamento básico (UNESCO, 2023).

De acordo com o Atlas Águas Abastecimento Urbano:

*O aumento progressivo das demandas hídricas para suprimento a diversos usos da água evidencia conflitos e desafia a garantia da segurança hídrica, principalmente nos grandes centros urbanos, onde se observam pontos de captação cada vez mais distantes e interligações por grandes e complexos sistemas integrados (ANA, 2022, p. 31).*

Para alcançar o desenvolvimento sustentável, a Organização das Nações Unidas (ONU) elaborou a Agenda 2030, que é composta por 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), para ser atingido pelos países membros até o ano de 2030. Dentre esses objetivos está o ODS de número 14, intitulado “vida na água”. Ele aponta para a importância de se garantir a disponibilidade e manejo sustentável dos oceanos e para se chegar a esta meta, é importante cuidar dos rios

pois, eles são os responsáveis por levar grande quantidade de água ao mar. Ao garantir esse objetivo, colabora-se, em maior e menor proporção, para que se alcancem os demais ODS pois, como explanado, a água é indispensável em todos os setores da sociedade (UNESCO, 2023).

## **4.2 Poluição hídrica**

A poluição dos recursos hídricos está frequentemente ligada à ação humana. Tais recursos têm experimentado poluentes naturais e “sintéticos”. De acordo com Von Sperling (1996), a qualidade de uma determinada água está associada às suas características, ao uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica à qual ela está inserida. Por ser solvente universal, diferentes substâncias podem ser diluídas na água (íons, metais pesados, etc.), ou esta pode transportar microrganismos, provocando alterações em seu grau de pureza. Tais compostos podem ser detectados em termos de suas características físicas, químicas e biológicas. Ainda de acordo com este autor, há duas fontes de poluição para os recursos hídricos. A pontual, que ocorre em um local específico, e a difusa, que ocorre em diferentes pontos.

A principal fonte de poluição hídrica em países de baixa renda tem sido o lançamento de esgoto doméstico sem tratamento adequado. Para os países de renda alta, é o escoamento proveniente da agricultura (UNESCO, 2023) .

No esgoto doméstico encontra-se grande quantidade de matéria orgânica, que ao entrar nos corpos hídricos é decomposta pelos microrganismos ali presentes, promovendo a redução da quantidade de oxigênio dissolvido (hipóxia) e afetando, conseqüentemente, os demais seres vivos daquele habitat. Nesse efluente também é possível encontrar excesso de nutrientes (fósforo e nitrogênio), que promovem a proliferação de algas e bactérias (eutrofização), as quais também irão reduzir a quantidade de oxigênio. Adicionado a isto, há a possibilidade das bactérias produzirem substâncias tóxicas para aquele ambiente, e reduzirem a incidência de luz solar dentro do corpo hídrico, prejudicando o metabolismo de seres

fitossintetizantes. Outros poluentes frequentemente encontrados nesse tipo de efluente são agentes etiológicos (bactéria, vírus e parasitas) (MARINHO, 2018; MARQUES, 2022).

Conforme estudo de Correia *et al.* (2021), as doenças de veiculação hídrica são encontradas em todos os continentes. Entretanto as incidências e casos de mortalidade são frequentes em países de economia emergente como o Brasil. As enfermidades mais prevalentes são: doenças diarreicas agudas, cólera, shigelose, febre tifóide e hepatites A e E, dentre outras. Dos óbitos provocados por doenças diarreicas, 8% foram de crianças abaixo de 5 anos de idade.

Os efluentes industriais possuem resíduos de acordo com sua atividade, podendo ser produtos tóxicos, corantes, metais pesados, matéria orgânica ou nutrientes. Mas também, pode ocorrer o lançamento de água em temperatura elevada ocasionando poluição térmica no corpo receptor.

O setor agropecuário tem-se destacado pelo volume de efluentes gerados. Tais resíduos normalmente são ricos em matéria orgânica e nutrientes que ocasionam a eutrofização.

*“As águas residuais, incluindo o escoamento agrícola, são a principal causa da poluição hídrica. Elas estão intrinsecamente ligadas à saúde humana e dos ecossistemas, com uma estimativa de que mais de 80% das águas residuais globais não tratadas entrarão em corpos d’água (UNESCO, 2023,p.4)*

Outro tipo de poluente que vem ganhando destaque nos últimos tempos são os chamados poluentes emergentes (PE). Eles são constituídos por cosméticos, cafeína, medicamentos, HTP, microplásticos entre outros resíduos. Richardson e Kimura (2016 *apud* Copetti, 2022, p. 3), ainda acrescenta:

*“Hormônios, alquilfenóis e seus derivados, drogas ilícitas, sucralose e outros adoçantes artificiais , pesticidas; subprodutos provenientes de processos de desinfecção de águas (DPB, do inglês, Disinfect by Products); retardantes de chama bromados; compostos perfluorados; siloxanos; benzotriazóis; ácidos naftênicos; percloratos; dioxinas; nanomateriais; líquidos iônicos. Além desses, alguns microorganismos e toxinas de algas também são considerados contaminantes emergentes.”*

Tais poluentes podem chegar ao corpo hídrico por fontes pontuais e/ou difusas. Os sistemas de tratamento de esgoto doméstico na maioria dos países não possuem tratamento para remoção desses resíduos. Segundo Souza (2020, p. 30):

*“Atualmente, mesmo passando por Estações de Tratamento de Esgotos, a água não é completamente descontaminada, os efluentes ainda saem ricos em nutrientes e em substâncias que o tratamento convencional não trata.”*

A literatura mostra que os efeitos negativos dos contaminantes emergentes no meio ambiente, são relativamente recentes. Abreu (2023), chama a atenção para o fato dos padrões de potabilidade da água no Brasil e em outros países serem baseados na toxicidade isolada de compostos, algo bastante restrito pois, não se leva em consideração o efeito sinérgico que pode ocorrer entre compostos orgânicos.

No Brasil, a resolução CONAMA 430/2011 estabelece condições e padrões de lançamentos de efluentes nos corpos hídricos. A resolução CONAMA 357/2005 classifica os rios e estabelece valores máximos para cada classe e a qualidade de água para consumo humano é regida pela Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de Maio de 2021 do Ministério da Saúde. Todas essas regulações não estão “atualizadas” quando se trata de contaminantes emergentes (Abreu, 2023).

A preocupação com os contaminantes emergentes é crescente em todo o mundo (UNESCO, 2023). Estudos estão sendo desenvolvidos e devem ser cada vez mais incentivados pois existem muitos representantes dessa classe de poluentes e a tendência é que novos sejam desenvolvidos. Então, é necessário que padrões de lançamento dos contaminantes emergentes sejam incorporados às legislações ambientais.

#### **4.3 Hidrocarbonetos Totais de Petróleo**

Grande parte do desenvolvimento vivenciado pela indústria no século XX foi graças ao petróleo (Araújo *et al.*, 2014). Alguns dos seus subprodutos são: gás natural, gasolina, diesel, querosene, óleos lubrificantes, parafina e asfalto. Todos com vasta aplicação para a sociedade, principalmente os combustíveis (gasolina e diesel), mas que ocasionam impactos negativos ao meio ambiente.

Vivencia-se a busca por fontes energéticas renováveis, entretanto, o petróleo e seus derivados continuam sendo a principal fonte de energia (Mishra *et al.*, 2023). Esse recurso natural é constituído basicamente por hidrocarbonetos, compostos

orgânicos formados pelos elementos carbono e hidrogênio. Mas é possível encontrar, em menores proporção, nitrogênio, oxigênio e enxofre.

Os principais derivados do petróleo empregados como combustível são a gasolina e o óleo diesel. A gasolina é amplamente utilizada em motores de combustão interna, como os de carros, motocicletas e outros veículos. Em sua composição há hidrocarbonetos que possuem de 4 a 12 átomos de carbono. Entretanto, é possível encontrar baixas concentrações de oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais. No Brasil está disponível quatro tipos de gasolina: gasolina A, empregada para padronização e funcionamento de máquinas; gasolina C, também conhecida como comum, possui álcool em sua composição; gasolina aditivada, a mesma gasolina comum com aditivos; e gasolina premium: indicada para veículos de alta performance, possui adição de álcool etílico, benzeno, tolueno etilbenzeno e xileno (BTEx) (Sousa, 2019).

O óleo diesel é um combustível empregado em veículos terrestres, aquáticos e em máquinas dos setores industriais. É um produto tóxico, inflamável, volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico. Em sua composição são encontrados hidrocarbonetos contendo de 9 a 28 átomos de carbono além de grandes quantidades de enxofre. Dependendo da quantidade de enxofre em sua composição, o diesel pode ser classificado em S10, teor máximo de enxofre igual a 10 mg.Kg<sup>-1</sup>; e S500, teor máximo de enxofre igual a 500 mg.Kg<sup>-1</sup> (Petrobras, 2023).

Dentre os HTP, encontram-se substâncias que causam danos em diferentes matrizes ambientais e à saúde humana. São os chamados “Poluentes orgânicos persistentes” (POPs) entre os quais podem-se citar: benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEx), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), resinas e asfaltenos. Os HPAs têm sido recomendados como poluentes prioritários pela Agência estadunidense de Proteção Ambiental (USEPA) pois, são cancerígenos, mutagênicos e teratogênicos (Filho *et al.*, 2021; Lacerda *et al.*, 2021).

A poluição por HTP atinge diferentes seres vivos com diferentes ações. Plantas e animais podem sofrer mutações e morte (Das e Chandran, 2011, Mishra *et al.*, 2023). Mishra *et al.* (2023) destacam que o potencial de poluição dos HTPs irá depender da característica do contaminante (peso e classe) e do ser vivo afetado, como fase do desenvolvimento, peso e tempo de exposição.

Os HTPs contaminam ecossistemas aquáticos por meio de derramamentos acidentais de combustível, acidentes com navios petroleiros, plataformas de

extração ou tanques de armazenamento. Ao entrar em contato com o meio aquático, esses poluentes, sofrem diferentes processos que mudam a sua composição física e química. Essas transformações permitem que os HTPs se emulsifiquem na água e depois se solubilizam, originando uma fração solúvel em água (FSA). O petróleo ou seus derivados são menos tóxicos que a fração solúvel que originam, pois a FSA incorpora mais hidrocarbonetos do meio, tornando-se uma junção de diferentes compostos orgânicos ( Delunardo, 2017; Santos *et. al*, 2024).

A FSA fica biodisponível para os organismos aquáticos, mas é mais facilmente bioacumulada em peixes, porque eles podem ingeri-las junto com alimentos e/ou pode ser absorvida pelas brânquias e pele. Segundo Delunardo (2017), organismo aquáticos expostos a HTPs podem sofrer efeitos genotóxicos, mutagênicos, e carcinogênicos, dificuldades reprodutivas (atuam como disruptores endócrinos), alterações nas funções cardiorespiratórias e comportamentais, lesões histopatológicas em tecidos respiratório e hepático mais estresse oxidativo.

A contaminação de HTP em solo é mais frequente em áreas onde automóveis são abastecidos, consertados e lavados (Mishra *et al*, 2023).

Existe uma variedade de técnicas para a recuperação de áreas contaminadas por petróleo e seus derivados. Cada técnica tem a sua especificidade (física, química ou biológica). Podem ser aplicadas “*in-situ*” ou “*ex-situ*” além de ser utilizada em solos ou corpos hídricos. O Quadro (1) resume as principais técnicas para remoção desse poluente em solo.

Quadro 1: Principais técnicas de remoção de petroderivados em solo

<b>Técnica</b>	<b>Dessorção Térmica</b>
<b>Descrição</b>	Aquecimento do solo contaminado e a transferência de massa ocorre por volatilização cujos efluentes gasosos que são levados para um sistema de tratamento de gás.
<b>Técnica</b>	<b>Extração de vapor</b>
<b>Descrição</b>	Injeção de vácuo são aplicadas no solo, permitindo a retirada de contaminantes voláteis e semivoláteis. O objetivo do vácuo é retirar os contaminantes por meio de um fluxo de ar. Para tal, são perfurados um ou mais poços de extração no solo contaminado. Este tipo de técnica só pode ser feita na “zona não saturada” do solo.
<b>Técnica</b>	<b>Incineração</b>
<b>Descrição</b>	A queima do solo contaminado para que ocorra a oxidação do contaminante.

<b>Técnica</b>	<b>Oxidação química</b>
<b>Descrição</b>	Uso de compostos químicos que ao entrar em contato com os contaminantes do solo promovem reações de oxidação. Desta forma degrada-se mais rapidamente os compostos de interesse amenizando a contaminação do corpo receptor.
<b>Técnica</b>	<b>Extração Química</b>
<b>Descrição</b>	Técnica <i>ex-situ</i> , que promove a lavagem do solo com reagentes químicos de acordo com o tipo de contaminante. Para extração de espécies inorgânicas são empregadas soluções aquosas de ácidos minerais e para hidrocarbonetos de petróleo são utilizados solventes orgânicos.
<b>Técnica</b>	<b>Biorremediação</b>
<b>Descrição</b>	Conjunto de metodologias que fazem uso de organismos vivos para tratamento dos contaminantes. Ela podem ser: atenuação natural monitorada , bioaumentação, bioestimulação , fitorremediação, <i>landfarming</i> , biorreatores e compostagem.
<b>Técnica</b>	<b>Landfarming</b>
<b>Descrição</b>	Técnica <i>in situ</i> ou <i>ex-situ</i> de biorremediação que envolve a aplicação de solos contaminados com resíduos, como petróleo ou derivados, em uma camada superficial sobre o solo não contaminado em um local impermeabilizado, onde são tratados biologicamente. Essa área é regularmente aerada e umidificada. Para promover a oxigenação, estimulação da atividade microbiana e a decomposição dos contaminantes.
<b>Técnica</b>	<b>Biorreatores</b>
<b>Descrição</b>	Técnica <i>ex-situ</i> , que exige a retirada e transporte do solo contaminado para um local adequado . Consistindo, basicamente, de tanques fechados onde o solo contaminado é misturado com água, até resultar em suspensões com 10 a 40% de sólidos.
<b>Técnica</b>	<b>Compostagem</b>
<b>Descrição</b>	Empilhamento do solo formando uma biopilha de 4-6 m de altura. Em seu interior há estimulação ativa do metabolismo da microbiota por meio de uma aeração eficaz.

Fonte: autora baseado em Cairo, (2021).

Para recuperação de ecossistemas marinho ou de água doce, têm-se as seguintes técnicas:

- Barreiras de Contenção e *Skimmers*

As barreiras de contenção não são necessariamente uma técnica *in-situ* de recuperação, mas uma ferramenta. Ela é um dispositivo que evita a dispersão do óleo para longe do local do acidente. Também pode ser empregada para isolamento de uma área que se deseja proteger. Pode também ser usado para direcionar o

poluente para uma área mais favorável ao recolhimento. Como as barreiras de contenção apenas concentram o óleo é preciso o uso de *skimmers* para recolhimento do material. Tais equipamentos através da sucção removem a camada de óleo separando-o do líquido. Além disso ele armazena o poluente em um reservatório. Existem diferentes tipos de *skimmers*, que podem ser empregados de acordo as características do local atingido e da proporção do acidente (Cairo, 2021).

- Dispersantes Químicos

Os dispersante atuam fazendo uma emulsão com o contaminante, permitindo que ele se fragmente em porções menores, aumentando a superfície de contato afim de facilitar a atuação dos organismo biodegradadores (Cairo, 2021). Ela só deve ser usada se não causar mais danos ambientais do que um vazamento sem tratamento, ou se outras técnicas não forem eficazes. Pois, acelera a formação das FSA.

- Queima *in-situ*

Essa técnica é relativamente simples. Trata-se de queimar o contaminante no próprio local do vazamento. Ela possui altas taxas de remoção e requer pouco material: barragem resistente ao fogo e agentes queimadores. Deve ser aplicada em locais cujo material derramado seja leve, que queime rápido e em locais com ventos calmos. Apesar da simplicidade essa técnica pode produzir resíduos que contaminam a água, e podem se depositar no substrato. Fora isto, há o risco do fogo ou a fumaça saírem de controle causando mais prejuízos, como a emissão de gases relacionados ao aquecimento global.

Normalmente as técnicas para recuperação de ambientes aquáticos atingidos pelo derramamento de petróleo e seus derivados não são totalmente eficazes. A utilização de dispersantes e a queima *in-situ* devem ser aplicadas, de preferência, após averiguar se o risco dos efeitos negativos são menores que os positivos. A barreira de contenção juntamente com *skimmers* não possuem efeitos nocivos. Contudo, elas devem ser aplicadas o mais rápido possível para reduzir a formação de FSA. O desenvolvimento de novas metodologias de remoção desses contaminantes são extremamente necessárias para se alcançar a sustentabilidade.



#### 4.4 Biorremediação para recuperação de áreas contaminadas por petroderivados

Biorremediação é uma das diferentes técnicas de recuperação de áreas degradadas que utilizam a própria natureza para esse fim. Ela faz uso de organismos vivos: bactérias, fungos ou plantas (fitorremediação); para remover poluentes de um ambiente, reduzir sua concentração ou transformá-lo em um produto menos tóxico (Musa *et al.*, 2020). Ela pode ser aplicada em solo, água e ar.

Além da aplicação direta de organismos, Moraes *et al.* (2022) apontam o uso de produtos do metabolismo microbiano, tais como, enzimas no processo de biorremediação. Os autores também relatam casos positivos de biorremediação utilizando consórcio de bactérias e associação de tratamento biológico com metabólitos microbianos.

Essa técnica de recuperação pode ocorrer de duas formas: *in-situ* e *ex-situ*. Na primeira ocorre no próprio local do acidente ou vazamento, sem a necessidade de transporte do material contaminado. Tal procedimento possui a vantagem de ser econômico, pela ausência do transporte, principalmente em locais onde a extensão da área contaminada é grande. Pode ocorrer por três processos básicos: atenuação natural monitorada, bioestimulação e bioaumentação.

A atenuação natural monitorada, consiste em monitorar o processo de biodegradação sem que haja intervenções. Isso significa que não são adicionados nutrientes, nem é feita a adequação de qualquer parâmetro ambiental. A desvantagem é que a técnica leva mais tempo que as demais. Porém, cabe ressaltar que o processo de biorremediação é limitado a um período e o monitoramento é conduzido em intervalos regulares (Musa *et al.*, 2020).

A bioestimulação é aplicada quando as relações Carbono, nitrogênio e fósforo (C:N:P) estão desequilibradas e consiste em utilizar os organismos do local contaminado, fornecendo a eles nutrientes e condições ambientais adequadas (pH, temperatura, umidade, tensoativos, cossustratos, etc.) para que degradem o poluente. Antes da aplicação dessa técnica, faz-se necessário conhecer as espécies presentes no ambiente contaminado (autóctones) pois, serão elas as responsáveis pelo trabalho. A presença de um organismo em uma área degradada é um indício de que ele seja capaz de biorremediar aquele contaminante. Essa técnica é mais rápida que a biorremediação natural (Filho *et al.*, 2021). Crispim *et al.*, (2009, 2019)

usaram bioestimulação, não aplicando nutrientes ou oxigênio, mas substratos artificiais para promover o maior crescimento da comunidade de Biofilme, que foi usada como biorremediadora.

O bioaumento é aplicado quando a microbiota autóctone está reduzida ou inibida, sendo mais eficaz no início do acidente ou vazamento. Ela baseia-se na inoculação de populações de organismos selecionados ou consórcios de espécies. Esses organismos são exóticos (alóctones) e podem ser encontrados em produtos biotecnológicos já disponíveis para compra. Esses microrganismos devem atuar em sinergia com as espécies nativas, e não devem interferir nos processos biogeoquímicos naturais (Lacerda *et al.*, 2019).

Não se deve deixar de mencionar que o bioaumento gera um risco a ser analisado antes da sua aplicação. Marinho (2018, p. 24) chama a atenção para: “*A inserção de espécies exóticas pode trazer problemas de desequilíbrio ambiental, devendo ser usado em casos em que a biota nativa não seja eficiente no processo de biorremediação.*”

Na técnica *ex-situ*, faz-se necessário a remoção do material contaminado para um local onde este será biorremediado. Ela consiste de três processos: compostagem, uso de biorreator e *Landfarming* (Lacerda *et al.*, 2019).

Pesquisas cujo objetivo é a biorremediação de petróleo e seu derivados estão crescendo a cada ano. Muitos trabalhos identificaram agentes biorremediadores: fungos, bactérias e protozoários. Espécies vegetais também foram encontradas com este potencial (Fitorremediação) (Moreira e Marques, 2019; Filho *et al.*, 2021).

Desde a década de 50 o potencial de biorremediação de bactérias frente a petroderivados é de interesse pela indústria e comunidade científica. As principais representantes pertencem aos gêneros *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Beijerinckia*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Corynebacterium*, *Sphingomonas*, *Mycobacterium*, *Stenotrophomonas*, *Paracoccus*, *Burkholderia*, *Microbacterium*, *Gordonia*, entre outros (Araújo *et al.*, 2014, Oliveira e Alves, 2015); Estudo de Carvalho (2023), aponta 20 famílias de bactérias com 36 espécies empregadas na remediação de solos contaminados pelos BTEX, HPA, óleos, graxas e óleo diesel.

A biorremediação muitas vezes leva tempo para tratar um ambiente. No entanto, em relação às demais técnicas de recuperação, possui as vantagens de ser economicamente viável, bem como socialmente aceita. Ela pode ser realizada no próprio local, tem baixa produção de resíduos e a possibilidade de ser adaptada

conforme a necessidade. Esses benefícios fazem da biorremediação uma das alternativas mais promissoras para recuperar áreas impactadas por derramamentos de petróleo, pois permite restaurar o ambiente de forma eficiente e sustentável.

#### **4.5 Ecobarreiras**

Muitas soluções definitivas e parciais para problemas ambientais estão na própria natureza, ou podem estar em soluções simples (de baixo custo e fácil manuseio), como é o caso das “Ecobarreiras” ou “barreiras ecológicas”. Essa tecnologia consiste em uma barreira flutuante que é fixada normalmente entre as margens de um rio, cujo intuito é reter os resíduos sólidos que são deslocados pela correnteza (Morreira, 2021; Marques, 2022).

As ecobarreiras permitem que os resíduos flutuantes fiquem acumulados em um de seus lados, facilitando a sua coleta. Além de permitir que menos resíduos cheguem à foz do rio, evitando danos à biota aquática e reduzindo o investimento em serviços para limpeza.

As barreiras contentoras de resíduos podem ser confeccionadas de materiais que podem ser escolhidos de acordo com, o tamanho do rio, a vazão da correnteza e disponibilidade financeira de quem for confeccionar. É possível encontrar empresas que comercializam esse produto, mas é muito comum a sua confecção manual, pois é uma tecnologia muito simples e acessível. Normalmente são empregados bombonas plásticas, tonéis ou tambores, madeira, ou outros materiais que possam ficar na superfície do rio. São unidos por arames, cabos de aço e/ou cordas que ficam ancorados nas margens dos rios (Marques, 2022).

A prática de utilização das barreiras flutuantes já está bastante difundida pelo mundo. No Brasil o projeto pioneiro foi o “Rio ecobarreira” inaugurado em 2004. Concebido pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e implantado pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), o objetivo do projeto foi diminuir o volume de lixo que é carregado para a Baía de Guanabara, através da remoção do lixo retido por ecobarreiras instaladas em rios afluentes à Baía (Bastos, 2021). Em Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul, existe uma ecobarreira no Arroio Dilúvio que foi implantada desde Março do ano de 2016. De acordo com informação da empresa Safeweb (realizadora do projeto), em cerca de 5 anos ela reteve um total de

824.520 Kg de resíduos (Marques, 2022). A prefeitura do Amapá lançou o projeto “Rede do bem” no ano de 2024. Foram instaladas três ecobarreiras confeccionadas por garrações de água mineral vencidos, unidos por redes de pescas. Em três meses de instalação, foram recolhidas 24 toneladas de resíduos das barreiras de contenção (Paixão, 2024). Outras cidades também aderiram a essa ecotecnologia, são elas Goiânia-Go, no Rio Meia Ponte, desde o ano de 2020; São Sebastião - SP, no Córrego da Av. Oscar Niemeyer; Praia Grande- SP, no Rio Itinga (desde 2022); e Mafra- SC, no Rio da lança (instalada em 2019). Essas ecobarreiras são mantidas por parcerias entre órgãos públicos, empresas privadas e Organizações não Governamentais (ONGs) (Trashin, 2024).Essas tecnologias, além de conter os resíduos sólidos, podem gerar renda por meio da venda dos resíduos recicláveis para cooperativas.

A popularização das ecobarreiras no Brasil teve a contribuição do ambientalista e influenciador digital Diego Saldanha. Ele construiu e implantou, no ano de 2017, uma ecobarreira no Rio Atuba, na cidade de Curitiba, Paraná. Diego Saldanha, também faz a manutenção da ecobarreira e a retirada dos resíduos sólidos que ficam retidos (Martins, 2024; Trashin, 2024).

Alguns Projetos de Lei (PLs) para instalação de ecobarreiras foram propostos: PL 2293/2019 (aguardando criação de Comissão Temporária pela Mesa); PL Nº 893-A/2021 do município do Rio de Janeiro; e PL 15/2023 Gravataí (Arquivada). Infelizmente, são poucos projetos criados, e alguns foram barrados ou arquivados. Corroborando com as palavras de Sousa (2020, p. 234): *“O que se percebe é o papel da legislação, em muitos períodos, cedendo a pressões de grupos que não visam à proteção ao meio ambiente e sim ao lucro.”*

As ecobarreiras são boas ferramentas para retenção de resíduos sólidos flutuantes em corpos de água superficiais. Por outro lado existem sistemas de fitorremediação aplicados em rios para melhorar a qualidade de água, como os “jardins filtrantes” ou “ilhas flutuantes de plantas”, já são consolidadas pelo mundo (Krebs *et al.*, 2021). O uso das plantas justifica-se pelos serviços ambientais que elas fornecem:

- Proporcionam habitat para diferentes organismos e principalmente microrganismos;
- Redução de agentes patógenos;
- Absorção de metais pesados;

- Redução de matéria orgânica devido ao biofilme aderido às raízes;
- Remoção do excesso de nitrogênio e fósforo, prevenindo a eutrofização (Krebs *et al.*, 2021).

A utilização de plantas aquáticas tem se destacado entre as tecnologias de tratamento de efluentes, porque além de agirem como "agente purificador" pela intensa absorção de nutrientes e pelo seu rápido crescimento, também fornece uma maneira potencialmente lucrativa de reciclar os nutrientes através do aproveitamento da biomassa colhida e da produção de uma variedade de produtos de valor agregado, a partir da biomassa pós-colheita ( Krebs *et al.*, 2021, p.17).

Dentre os organismos que são beneficiados pelas macrófitas destaca-se o biofilme. Neste estudo o biofilme é definido como uma *“complexa comunidade de microrganismos (algas, bactérias, fungos e animais), detritos orgânicos e inorgânicos aderidos a substratos inorgânicos ou orgânicos vivos ou mortos”* (Wetzel, 1983; Souza, 2020 ).

O biofilme exerce uma grande contribuição para o tratamento de água, pois contribui para a remoção de nitrogênio, fósforo (assim como as macrófitas). Também disponibiliza esses elementos para a cadeia trófica. O biofilme possui a capacidade de produzir oxigênio que, posteriormente, fica dissolvido nesse ecossistema e ajuda os organismos aeróbios (Souza, 2020). Assim como favorece reações *redox*, como por exemplo a nitrificação, reduzindo compostos tóxicos na água, como amônia e sulfeto a não tóxicos, como nitrato e sulfato, respectivamente. Crispim *et al.* (2009), avaliaram a atuação do biofilme e da macrófita *Eichhornia crassipes* para remoção de nitrogênio e fósforo em águas eutrofizadas, e comprovaram que ambos tiveram bons resultados. Mas, o biofilme foi mais eficiente na remoção de compostos nitrogenados, no aumento de oxigênio e transparência. Enquanto isso a macrófita foi mais eficiente na remoção de compostos fosfatados e na redução de condutividade elétrica.

O consórcio de biofilme com plantas aquáticas foi denominado por BioMac = Biofilme e Macrófitas. Esse tratamento foi utilizado para despoluição de rios urbanos em João Pessoa, PB, e tem mostrado resultados promissores, como a melhoria dos parâmetros físicos, químicos, biológicos e de parâmetros sensoriais: transparência da água, diminuição de mau odor, e aparecimento de mais animais (aves e peixes) (Marinho 2018; Souza, 2020).

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F. G. D. Impactos e Desafios Futuros no Monitoramento dos Contaminantes Emergentes. Em: Open Science Research X. [s.l.] Editora Científica Digital, 2023. p. 1660–1670. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/230111742.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2024.

ANA. Agencia Nacional das Aguas e Saneamento Básico. **Atlas Águas: Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano**. Brasília-DF.2021. 338 p. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/08/ANA-ATLAS-Aguas-AbastecimentoUrbano2021-compressed.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2024.

**BRASIL**. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 53, p. 58–63, 18 mar. 2005. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=450](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450). Acesso em: 14 jun. 2024.

ARAÚJO, A, M; et al. Protocolo Para Biorremediação de Águas Contaminadas por Petróleo e Derivados. **e-xacta**, v. 7, n. 1, 2014. Disponível em: <<https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/973>>. Acesso em: 23 jun. 2024.

BASTOS, Maria Fernanda. **O uso de ecobarreiras para captura do lixo flutuante: estudo de caso da Baía de Guanabara**. 2021. 107 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA)) - Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

BRUNI, J.C. A Água e a Vida. **Tempo Social**; S. Paulo, 5(1-2): 53-65, nov. 1994 Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ts/a/KjkwytLhvpf5BJsRyDTFDrb/> . Acesso em: 14 jun. 2024.

CAIRO, F. M. **Avaliação das Técnicas de Remediação de Solos e Águas Contaminados por Combustíveis Fósseis**. 2021. 122 p. Monografia (Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2021. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/14480/1/FMCairo.pdf> .

Acesso em: 24 out. 2024.

CARVALHO, F.C. **Espécies vegetais para fitorremediação de contaminantes orgânicos: uma revisão de literatura**. 2023. 50 p. Monografia (Engenharia Ambiental) - Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/39121/1/Esp%C3%A9ciesVegetaisPara.pdf>. Acesso em: 26 out. 2024.

COPETTI, C. M. .; JUNG, M. S. .; SILVA, J. A. G. da .; FACHINETTO, J. M. .; COSTA, R. S. .; OLIVEIRA, G. H. de .; FRAGA, D. da R. .; JUNG, J. S. . Bioremediation: sustainable methodology in the removal of xenobiotics from water. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 9, p. e29811931978, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i9.31978. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/31978>. Acesso em: 14 jun. 2024.

CORREIA, C. V.; BARBOSA, H. G.; DE ARAUJO PAES, B. .; ETUR DOS SANTOS, A. G.; BENTIVEGNA MARTENS, L. Doenças de Veiculação Hídrica e seu Grande Impacto no Brasil: Consequência de Alterações Climáticas ou Ineficiência de Políticas Públicas?. **Brazilian Medical Students**, São Paulo, Brasil, v. 5, n. 8, 2021. DOI: 10.53843/bms.v5i8.100. Disponível em: <https://bms.ifmsabrazil.org/index.php/bms/article/view/100> . Acesso em: 14 jun. 2024.

CRISPIM, M.C.; VIEIRA, A.C.B.; COELHO, S.F.M. & MEDEIROS, A.M.A. Nutrient uptake efficiency by macrophyte and biofilm: practical strategies for small-scale fish farming. **Acta Limnologica Brasiliensia**. 21(4):387-391(2009). Disponível em: <https://app.periodikos.com.br/article/627da1a4782aad07b35c1a5b/pdf/alb-21-4-387>. pdf. Acesso em: 05 Maio. 2024.

CRISPIM, M.C.; GERALDES, A.M.; OLIVEIRA, F.M.F.; MORAIS, M.M. Potencialidades da Implementação de Biorremediação na Reabilitação de Rios: Dados iniciais e considerações. In: Ana Cristina Roque; Davis Pereira de Paula; João Alverino Dias; Luis Cancela da Fonseca; Maria Antonieta C. Rodrigues; Miguel da Guia Albuquerque; Silvia Dias Pereira (Org.) **Saindo da zona de conforto: a interdisciplinaridade das zonas costeiras**. - Rio de Janeiro: FGEL-UERJ, 2019, v1, p.278-295. Disponível em: <<https://www.redebraspor.org/livros/2019/Intro.pdf>>. Acesso em 15 Març.2025.

DAS, N.; CHANDRAN, P. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: An overview. **Biotechnology research international**, v. 2011, p. 1–13, 2011. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3042690/>. Acesso em: 10 jun. 2023.

DELUNARDO.F, A, C. **Efeitos subletais da contaminação pela fração solúvel do óleo diesel em cavalo-marinho ( Hippocampus reidi)**. 2017. Dissertação. Disponível em: <https://repositorio.uvv.br/handle/123456789/366>. Acesso: <https://repositorio.uvv.br/handle/123456789/366>. Acesso em: 10 jun. 2023.

DUARTE, H.A. Água- Uma visão Integrada. **Química Nova na Escola- Cadernos Temáticos**. N° 8, p. 4-8, maio 2014. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/08/03-CTN1.pdf> Acesso em: 01 jun. 2024.

FILHO, Milton; GONÇALVES, Odete; SANTOS, Camila; OLIVEIRA, Olívia; MOREIRA, Ícaro. Cenário Tecnológico da Biorremediação de Hidrocarbonetos Assistida pelo Uso de Fungos e Extratos Vegetais. **Cadernos De Prospecção**, v.14 n.2, 534. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/34841>>. Acesso em: 16 set. 2023

GUERRA, S.; PANTOJA, O.; DE SOUSA ELMESCANY, B. DIREITO INTERNACIONAL DAS CATÁSTROFES: ESCASSEZ HÍDRICA E A GEOPOLÍTICA INTERNACIONAL. **Revista de Direito da Unigranrio**, v. 13, n. 2, p. 5–29, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/rdugr/article/view/8467/3896>. Acesso em: 14 jun. 2024.

IUCN- International Union for Conservation of Nature annual report 2016. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/node/46619>>. Acesso em: 20 Jan.2025

KREBS, Vinícius; OLIVEIRA, Renata Farias; SCHRODER, Nádia Teresinha. Avaliação da eficiência de ilhas flutuantes com plantas para a melhoria da qualidade hídrica de ecossistemas aquáticos. **Aletheia**, Canoas , v. 54, n. 1, p. 16-27, jun. 2021. Disponível em: [http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-03942021000100003&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-03942021000100003&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 25 jun. 2024. <https://doi.org/DOI10.29327/226091.54.1-2>.

LACERDA, F; NAVONI, J. A; AMARAL, V. S. **Biorremediação: Educação em Saúde e Alternativas à Poluição Ambiental**. Editora IFRN, Natal. 20219. Disponível em:



<https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1771/A%20biorremedia%C3%A7%C3%A3o.pdf?sequence=5&isAllowed=y>. Acesso em: 01 jun. 2024.

LACERDA, E. M. C. et al. Processos enzimáticos na biorremediação e fitorremediação de petróleo em sedimentos de manguezal: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e526101119944, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19944> Acesso em: 01 jun. 2024.

MARINHO, R. S. DE A. **Biorremediação para o melhoramento da qualidade da água em rios urbanos em João Pessoa – PB: efeitos na assembleia íctica**. Dissertação (Mestrado)- Programa de pos-graduação e Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 106 2018 Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/19759>>. Acesso em: 01 jun. 2024.

MARQUES, E. O. **Proposta de implantação de ecobarreira no arroio Koetz, no município de Igrejinha, RS, Brasil**. 2022. Monografia (Gestão Ambiental)- Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, p. 44.2022 Disponível em: <<https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2662>>. Acesso em: 01 jun. 2024.

MARTINS, J. C.; GRUBA, R. A. Câmara de Curitiba concede o título de Vulto Emérito a Diego Saldanha — Portal da Câmara Municipal de Curitiba. Disponível em: <<https://www.curitiba.pr.leg.br/informacao/noticias/camara-de-curitiba-concede-o-titulo-de-vulto-emerito-a-diego-saldanha>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

MARTINS, A.B.O. **Bioacumulação de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) no bivalve Crassostrea Rhizophorae: Ensaios laboratoriais e aplicação ambiental**. Orientadores: Ana Cecília Rizzatti de Albergaria Barbosa e Ícaro Thiago Andrade Moreira. 2019. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente - Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/handle/ri/30777>>. Acesso em: 2 de Out. 2024.

MISHRA, P. et al. New insights into the bioremediation of petroleum contaminants: A systematic review. **Chemosphere**, v. 326, n. 138391, p. 138391, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653523006586?via%3Dihub>. Acesso em: 5 jun. 2024.

MORAIS, B. CABEÇA, C. MAGALHÃES, G. Aplicação de microrganismos e enzimas imobilizados em processos de biorremediação. In: PERALTA, Rosane.

**Biodegradação e Biorremediação (ênfase em bactérias e fungos).** Canoas, RS, Brazil: Mérida Publishers, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-03-9.c9> Disponível em: <https://www.meridapublishers.com/bio/cap9.pdf> >. Acesso em: 15 set. 2023

MOREIRA, Ícaro; MARQUES, Isadora. Biorremediação De Áreas Costeiras Impactadas Por Petróleo. XVIII SEPA - **Seminário Estudantil de Produção Acadêmica**, UNIFACS, 2019. Sustentabilidade na Gestão Ambiental. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/view/5884/4136>>. Acesso em: 15 set. 2023

MOREIRA, G. DE O. **Impacto das ecobarreiras na qualidade de água e redução da poluição flutuante em rio urbano.** Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental)- Universidade Federal de São Carlos. São Paulo, p.90. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15675?show=full>>. Acesso em: 15 set. 2023

MUSA, S. OKE, F. NDIRIBE, C.. Research Article Bioremediation of diesel polluted soils with Eichhornia crassipes (water hyacinth) .**Notulae Scientia Biologicae**. v. 12, n. 4, p. 920–928, 2020. 2020 DOI:10.15835/12410814 Disponível em: <https://www.notulaebiologicae.ro/index.php/nsb/article/view/10814> >. Acesso em: 16 set. 2023

OLIVEIRA, R; ALVES, F. **Diversidade microbiana utilizada na biorremediação de solos contaminados por petróleo e derivados.** Trabalho apresentado ao Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix, como requisito para obtenção de Título de 17 Licenciatura em Ciências Biológicas. 2015.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - BRASIL. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 05 nov. 2023.

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023:** parcerias e cooperação para a água; fatos, dados e exemplos de ação. Itália: UNESCO, 2013. 16 p. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384659\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384659_por). Acesso em: 14 jun. 2024.

PAIXÃO, J. Em Três Meses, O Projeto Ecobarreiras Recolheu 24 Toneladas De Resíduos Sólidos Nos Canais De Macapá. **g1**, Macapá, 06 de Març. de 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2024/03/06/projeto-ecobarreiras-recolhe-24-toneladas-de-lixo-nos-canais-de-macapá-em-tres-meses.ghtml>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

Petrobras. **Óleo diesel: o combustível que movimenta o país**. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/quem-somos/oleo-diesel>>. Acesso em: 25 jun. 2024.

**PL 2293/2019**. Apensado ao PL 9791/2018. Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de Sistema de Ecobarreiras na rede hidrográficas para contenção de resíduos sólidos em riachos, córregos, canais e rios que cortam as cidades e da outras providências. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2198161#:~:text=PL%202293%2F2019%20Inteiro%20teor,Projeto%20de%20Lei&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20obrigatoriedade%20de,cidades%20e%20da%20outras%20provid%C3%A2ncias>> Acesso: 10 jun. 2024.

**PL Nº 893-A/2021**. Dispõe Sobre o Sistema de Ecobarreiras nas Redes Hidrográficas e dá outras providências. Disponível em: <<https://aplicnt.camara.rj.gov.br/APL/Legislativos/scpro2124.nsf/8446f2be3d9bb8730325863200569352/6dbb1c6cf8bf6b690325878a0068d9cc?OpenDocument>> Acesso: 10 jun. 2024.

**PL 15/2023**. Dispõe sobre a instalação de sistema de ecobarreiras na rede hidrográfica para a contenção de resíduos sólidos nos córregos e rios no Município de Gravataí e dá outras providências. Disponível em: <https://www.cmgravatai.rs.gov.br/documento/projeto-de-lei-15-2023-318429>. Acesso em: 14 jun. 2024.

SANTOS, R. M. et al. Acute and subchronic effects of petroleum on the freshwater fish *Hoplias aff. malabaricus*. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e253731, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/CMJyyhtcHvKB6HSLtPxmCbF/?lang=en>. Acesso em: 24 Out. 2024.

SOUSA, L.V.F. Legislação ambiental brasileira: avanços, retrocessos e fragilidades. In: **Reflexões em Biologia da Conservação**. Vol.2. Museu Paraense Emílio Goeldi . 2020. cap.14, p 209-238. ISBN 978-65-88888-03-2. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Maria-Fabiola-Barros/publication/350531320\\_Reflexoes\\_em\\_Biologia\\_da\\_Conservacao\\_-\\_Volume\\_2/links/60650f2e299bf1252e1cf5d0/Reflexoes-em-Biologia-da-Conservacao-Volume-2.pdf#page=210](https://www.researchgate.net/profile/Maria-Fabiola-Barros/publication/350531320_Reflexoes_em_Biologia_da_Conservacao_-_Volume_2/links/60650f2e299bf1252e1cf5d0/Reflexoes-em-Biologia-da-Conservacao-Volume-2.pdf#page=210)> Acesso: 09 set. 2024.

SOUSA, R. A. **Estudo da Influência do Processo de Secagem da Biomassa Casca de Palma Forrageira (*Opuntia Ficus*) na Remoção de Gasolina em**

**Corpos d'água, Utilizando o Sistema de Adsorção em Leito Diferencial.** 2019. 48p. Monografia (Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos) - Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande. Sumé, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/19334>. Acesso em: 24 Out. 2024.

SOUZA, A. H. F.F. **Avaliação da Eficiência da Biorremediação por Perifíton em Rio Urbano.** 2020. 199 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)- Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2020. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/18226>. Acesso em: 04 jun. 2024.

SUNGAI WATCH. Disponível em: <https://sungai.watch/pages/rivers>. Acesso em: 04 jun. 2024.

TRASHIN. Ecobarreiras Digitais. Disponível em: <https://trashin.com.br/projeto-ecobarreiras/>. Acesso em: 04 jun. 2024.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** [s.l.] Editora Ufmg, 1996. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=1pxhLVxVFHoC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=1pxhLVxVFHoC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 14 jun. 2024.

WETZEL, R. G. **Periphyton of freshwater ecosystems development.** The Hague. Dr. W. Junk Publ. Developments Hydrobiology, 17, 1983.

WWAP (UNESCO World Water Assessment Programme). 2017. **The United Nations World Water Development Report 2017.** Wastewater: The Untapped Resource . Paris, UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247153>. Acesso em: 14 jun. 2024.

## **CAPITULO 1. PROSPECÇÃO DE *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* HIDROCARBONOCLÁSTICAS A PARTIR DE ÁGUA DO RIO GRAMAME**

### **RESUMO**

Dentre os microrganismos presentes em ambientes aquáticos, o gênero *Pseudomonas* se destaca por sua ampla distribuição ecológica, diversidade metabólica e potencial biotecnológico. Embora algumas espécies sejam patogênicas, como *Pseudomonas aeruginosa*, diversas pesquisas têm demonstrado o potencial dessas bactérias na biorremediação de ambientes contaminados por derivados do petróleo. Elas são capazes de utilizar hidrocarbonetos como fonte de carbono e energia, degradando compostos como gasolina, diesel e óleos pesados. Isso se deve à sua capacidade de metabolizar mais de 90 tipos de moléculas orgânicas, além de crescerem em meios simples, sem a necessidade de fatores de crescimento específicos. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo isolar bactérias da espécie *Pseudomonas aeruginosa* das águas do Rio Gramame e verificar seu potencial hidrocarbonoclástico frente à gasolina e ao diesel. O local de coleta foi um trecho situado na comunidade quilombola Mituaçu, Conde, PB, onde há intensa movimentação e atracação de embarcações movidas a combustíveis fósseis. Essa escolha se justifica pelo histórico da área, onde é comum o abastecimento dessas embarcações e, conseqüentemente, o risco de contaminação por hidrocarbonetos. Foram encontrados seis isolados desse gênero de bactéria, sendo que dois apresentaram atividade hidrocarbonoclástica para óleo diesel, revelando o seu potencial para o uso na biorremediação.

**Palavras-chave:** *Pseudomonas aeruginosa*, biorremediação, hidrocarbonoclástico, óleo diesel.

## ABSTRACT

Among the microorganisms found in aquatic environments, the *Pseudomonas* genus stands out due to its wide ecological distribution, metabolic diversity, and biotechnological potential. Although some species are pathogenic, such as *Pseudomonas aeruginosa*, several studies have demonstrated the potential of these bacteria in the bioremediation of environments contaminated by petroleum derivatives. They are capable of using hydrocarbons as a source of carbon and energy, degrading compounds such as gasoline, diesel, and heavy oils. This ability is attributed to their capacity to metabolize more than 90 types of organic molecules, in addition to being able to grow in simple media without the need for specific growth factors. In this context, the present study aimed to isolate *Pseudomonas aeruginosa* bacteria from the waters of the Gramame River and evaluate their hydrocarbon-degrading potential against gasoline and diesel. The sampling site was a section located in the Mituaçu, Conde municipality, Paraíba State, community formed by descendants of enslaved people. In this community there is intense movement and docking of fossil fuel-powered vessels. This location was chosen due to its history, where boat refueling is common, and consequently, there is a risk of hydrocarbon contamination. Six isolates of this bacterial genus were found, two of which showed hydrocarbon-degrading activity against diesel oil, revealing their potential for biorremediation.

**Keywords:** *Pseudomonas aeruginosa*, bioremediation, hydrocarbonoclastic, diesel oil.

## 1. INTRODUÇÃO

*Pseudomonas* sp. compreende um grupo de bactérias Gram-negativas, em forma de bacilos, aeróbia mas algumas espécies podem ser anaeróbias facultativas. É o mais abundante e o mais expressivo grupo de bactérias do planeta em termos ecológicos e seus representantes são encontrados nos principais ecossistemas naturais (Pinho *et al.*, 2018).

*Pseudomonas aeruginosa* é uma espécie do gênero *Pseudomonas* sp., Gram-negativa, ubíqua, com ampla diversidade metabólica, que prospera em uma grande variedade de ambientes e fontes de nutrientes. Ela pode crescer na faixa de temperatura entre 25°C - 42°C, tem a água doce e fresca como habitat preferencial e pode fazer dos petroderivados fonte de carbono e energia (Bauve e Wargo, 2015; Cavalcanti, 2016 ).

Apesar de ser composto por algumas espécies oportunistas, do ponto de vista da saúde humana, esse grupo também pode atuar na recuperação de áreas contaminadas por petroderivados. A prospecção de bactérias biorremediadoras desses poluentes não é novidade (Jacques *et al.*, 2010; Soares *et al.*, 2011)

No início do século XX, Sohngen (1913) estudou *Pseudomonas* spp. isoladas de solo de jardim, água de valas e composto, e verificou a capacidade dos isolados em oxidar gasolina, querosene, óleo e cera de parafina, gerando como produtos dióxido de carbono, água e traços de ácidos orgânicos (Bushnell; Haas, 1941). Desde a publicação de Bushnell e Haas (1941), o interesse por estudos sobre o isolamento e o potencial hidrocarbonoclástico desse gênero de bactérias cresceu e muito sobre as técnicas de biorremediação foi aplicado a partir deles. Borchardt *et al.* (2023) apresentam diferentes trabalhos que relatam o uso da linhagem-tipo ATCC 27583 em estudos de biodegradação de hidrocarbonetos do petróleo e corantes sintéticos. Wu *et al.*, (2018) estudaram o potencial da variante

L10, isolada das raízes de *Phragmites australis*, em degradar diferentes derivados do carbono.

A diversidade nutricional de *Pseudomonas aeruginosa* permite que seja cultivada em meios simples, sem a necessidade de adição de fatores de crescimento. *P. aeruginosa* também utiliza mais de 90 moléculas como fonte de energia e carbono, incluindo hidrocarboneto do petróleo (Cavalcanti, 2016). Dessa maneira, a espécie pode utilizar os petroderivados como fonte de energia e carbono, degradando os compostos e promovendo a biorremediação da área contaminada (Karimi *et al.*, 2015). Essas características as diferenciam dos demais grupos de bactérias e as classificam como biorremediadoras de petroderivados.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou isolar a espécie *Pseudomonas aeruginosa* das águas do Rio Gramame, em um trecho localizado na comunidade quilombola Mituaçu, e verificar o seu potencial hidrocarbonoclástico para gasolina e diesel. Alguns trabalhos que pesquisaram o potencial hidrocarbonoclástico desse gênero de bactérias as isolaram de áreas com histórico de contaminação por hidrocarboneto (Abdulsalam; Omale, 2009, Cavalcanti, 2016; Paula, 2024, Sousa, 2024).



## 1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 1.2.1 *Pseudomonas aeruginosa* principais características

Dentro do domínio *Bactéria*, o grupo das proteobactérias é ecologicamente importante e *Pseudomonas* spp são organismos ubíquos, encontram-se na, água, solo, fauna, seres humanos e outros animais (Pinho *et al.*, 2018).

*P. aeruginosa* é um bacilo Gram-negativo, não fermentador, com baixa demanda nutricional e grande capacidade de adaptação a ambientes hostis. Essa bactéria pode infectar diferentes regiões do corpo, sendo frequentemente associada às do trato respiratório. Ela representa uma preocupação elevada na área da saúde devido à sua resistência à maioria dos antibióticos de primeira escolha, como os carbapenêmicos e as cefalosporinas (Pinho *et al.*, 2018). Essa versatilidade fisiológica não se limita aos antibióticos, mas também se estende a metais pesados, sais em diferentes concentrações e outros compostos químicos. Tais características podem surgir em função do ambiente que essas bactérias habitam, como áreas com rejeitos domésticos, efluentes de indústrias têxteis ou de celulose, refinarias de petróleo e postos de gasolina.

*P. aeruginosa* é de fácil cultivo em laboratório, o que contribui enormemente para pesquisas nas áreas de microbiologia, biotecnologia e medicina. Devido à sua versatilidade nutricional, pode ser cultivada em diferentes meios, tais como: Cetrimida, MacConkey, m-PA, King A e King B e Mueller-Hinton (Brasil - ANVISA, 2013). Outras características positivas da bactéria incluem, rápido crescimento permitindo obtenção de resultados em pouco tempo; fácil manipulação genética, e a produção de metabólitos de interesse (biossurfactantes). Além disso, *P. aeruginosa* é amplamente utilizada como modelo para estudos de patogenicidade (Bauve ; Wargo, 2015).

Uma particularidade importante da espécie é a produção de ao menos seis pigmentos, destacando: pioverdina (verde), fluoresceína (amarelo), piorrubinas

(vermelho), piomelanina (marrom) e piocianina (azul), específico da espécie. Eles podem assumir importantes funções biológicas, como, sideróforos, proteção contra estresse oxidativo e antibiose (Gomes *et al.*, 2023) .

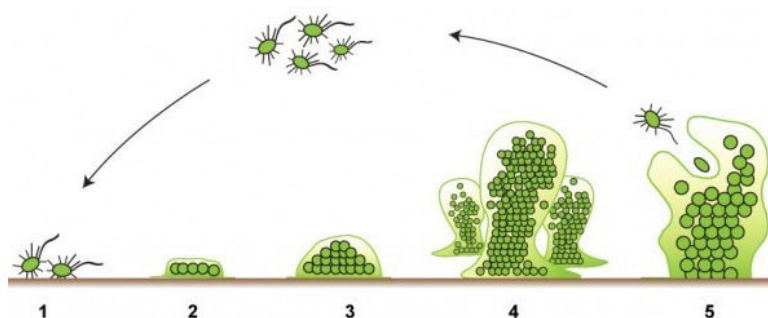
Uma propriedade relevante em *Pseudomonas ssp.*, particularmente *P. aeruginosa*, é seu papel na biorremediação de matrizes sólidas ou líquidas, contaminadas por metais pesados e compostos recalcitrantes, como os derivados de petróleo. Nesse processo, inicialmente, o poluente é assimilado a partir de diferentes mecanismos: troca iônica, interação eletrostática e processos redox. A segunda etapa ocorre no interior da célula, por meio de transporte ativo. Dentro da célula, os íons (metais) e moléculas (orgânicas) podem ficar aprisionados em organelas, como o vacúolo, ligar-se a compostos intracelulares, como polissacarídeos, ou serem transformados em produtos menos tóxicos e lançados para fora da célula (Ribas e Silva, 2022).

### **1.2.2 *Pseudomonas aeruginosa* e o metabolismo de degradação de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo**

*P. aeruginosa* possui algumas características que favorecem a degradação de petroderivados. A primeira delas é uma capacidade adaptativa por ser preferencialmente distribuída na organização de comunidades sésseis. Ele consiste em um aglomerado de células bacterianas aderida a uma superfície por uma matriz polimérica extracelular e ou exopolissacarídeo (EPS). O EPS é composto basicamente por proteínas, lipídios, polissacarídeos e DNA. Desde a sua formação até à sua proliferação, a organização da comunidade passa por cinco fases. Inicialmente, as bactérias se fixam a um substrato, mas sem grande aderência pois pode ser reversível. Se a adesão for do tipo irreversível, as células começam a secretar o EPS, promovem resistência a tensões mecânicas e deslocamentos; garantindo a manutenção dos microrganismos em diferentes ambientes, inclusive em locais inóspitos (Fonseca, 2022).

A comunidade madura possui canais complexos que permitem a circulação de nutrientes, oxigênio e água, além da remoção de resíduos. Em último momento, quando há esgotamento de nutrientes ou acúmulo de metabólitos, são formadas condições que levam ao desprendimento, iniciando um novo ciclo (Higa, 2024) (Figura: 1).

**Figura 1:** Esquema de formação de comunidade séssil de *Pseudomonas aeruginosa*. 1. Fixação reversível; 2. Fixação irreversível; 3. Colonização; 4. Maturação; 5. Desprendimento.



Fonte: Ara (2022).

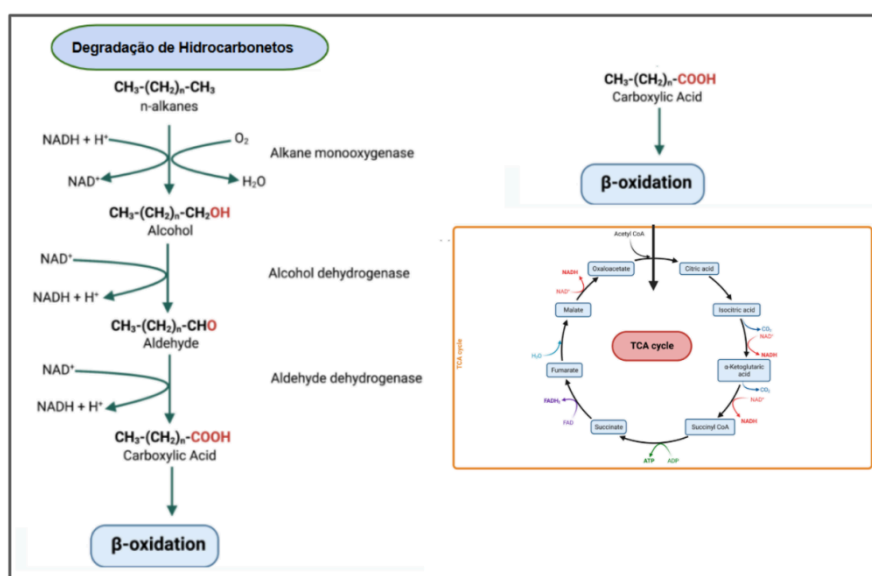
Os hidrocarbonetos de petróleo (HTPs) apresentam uma grande variedade de moléculas, sendo algumas pequenas (com dois a quatro átomos de carbono) e outras maiores (com mais de 40). Além disso, a maioria dos HTPs são compostos por moléculas apolares, o que dificulta sua penetração na célula. Moléculas polares e pequenas passam facilmente pela membrana bacteriana, mas, para que os HTPs de cadeias maiores e apolares consigam atravessar essa barreira, é necessária a ação dos biossurfactantes. Essas substâncias, produzidas pelo próprio microrganismo, têm a função de emulsificar a superfície do contaminante, aumentando a sua área de contato e, assim, facilitando a sua entrada na célula.

Os biossurfactantes são metabólitos secundários com propriedades tensoativas produzidas para facilitar a assimilação de moléculas hidrofóbicas. Eles são classificados em glicolipídios, lipopeptídeos e lipoproteínas, ácidos fosfolipídicos e poliméricos. Em *P. aeruginosa* o principal tipo de surfactantes pertence à classe dos ramnolipídeos (Pandolfo *et al.*, 2023).

Os ramnolipídios conferem à *P. aeruginosa* proteção da célula de diferentes agentes estressores ambientais. Os biossurfactantes também auxiliam no desprendimento da bactéria das gotículas de óleo após o esgotamento dos hidrocarbonetos utilizáveis (Almeida, 2018).

No interior das células, cada hidrocarboneto sofre reações de oxirredução catalisadas por enzimas. Inicialmente, os HTPs (aromáticos, alcenos de cadeia aberta e compostos clorados) sofrem a ação das enzimas oxigenases (mono ou dioxigenases), que atuam inserindo um átomo de oxigênio nos alcanos, transformando-os em álcoois. Os álcoois são convertidos em aldeídos e, em seguida, transformados em ácidos carboxílicos. Os ácidos resultantes são incorporados ao ciclo do ácido cítrico (ou ciclo de Krebs), uma das principais vias metabólicas utilizadas para a produção de energia nas bactérias (Figura 2). Esse ciclo permite que a *P. aeruginosa* extraia energia dos hidrocarbonetos e gere adenosina trifosfato (ATP) (Pandolfo *et al.*, 2023).

**Figura 2:** Metabolismo de degradação dos alcanos por bactérias.



Fonte: adaptado de Pandolfo *et al.* (2023).

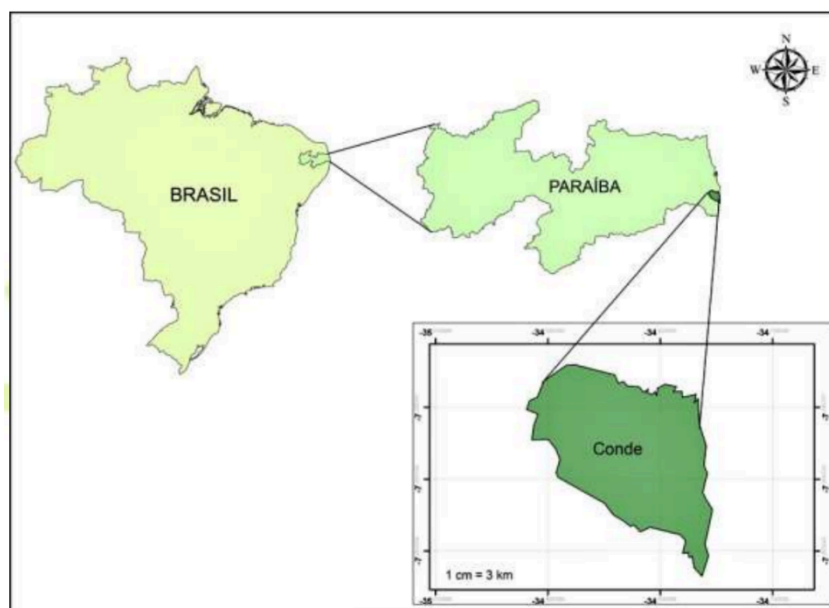
Nos hidrocarbonetos poliaromáticos, a oxirredução pode ser catalisada por lipases, enquanto os hidrocarbonetos aromáticos também podem ser oxidados pela lacase. Os produtos de todas essas reações químicas serão dióxido de carbono e água, os quais são eliminados da célula.

### 1.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 1.3.1 Área de estudo

O local escolhido para coleta de água e futura prospecção de isolados de *Pseudomonas* foi o Rio Gramame, no trecho onde se situa a Comunidade Mituaçu, município de Conde, Paraíba (Figura 3). As coordenadas dos pontos de coleta foram: latitude de 7°13'46"S e longitude de 34°51'45"O (Figura 4).

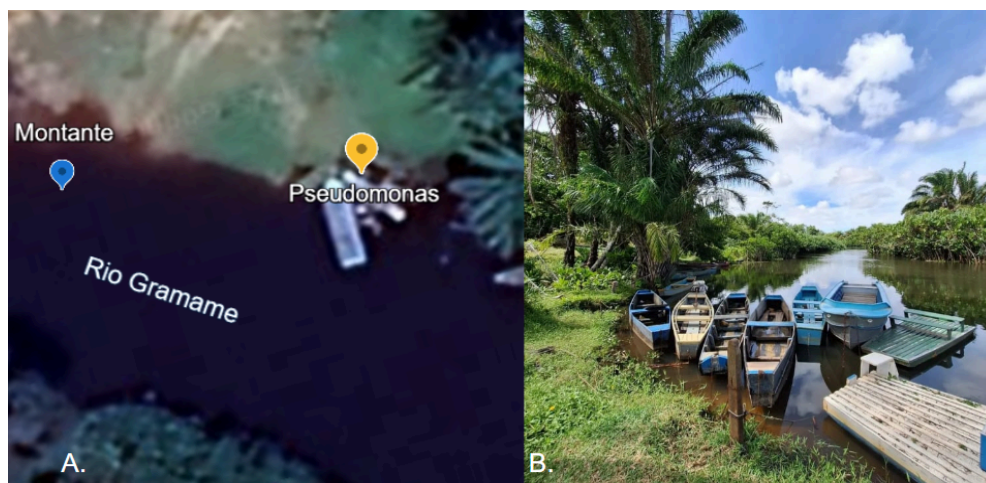
**Figura 3:** Mapa de Localização do município do Conde – PB.



Fonte: Barbosa e Furrier (2014)

A comunidade fica situada na parte baixa da bacia hidrográfica do Rio Gramame e muitos de seus moradores retiram seu sustento dos seus rios. Além do principal rio, o Gramame, essa bacia hidrográfica possui os rios Mumbaba, Mamuaba e Água Boa, e seus afluentes. Todos os rios são perenes, drenando uma área de 59 mil hectares (Pinheiro e Paixão, 2020).

**Figura 4:**Local de coleta dos isolados.



Fonte: adaptado de Google Earth (A); Foto: Thayse Cibelle, 2025.

### 1.3.2 Isolamento e identificação

Amostras de água para os ensaios de isolamento de *P. aeruginosa* do Rio Gramame foram coletadas em garrafas de polipropileno com capacidade de 1,5 L à temperatura de 28 °C. Elas foram transportadas dentro de uma caixa térmica até armazenamento na geladeira do Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMA/ UFPB) para posterior análise de identificação.

Para obtenção das isolados foi empregado o método 9213F da APHA (APHA; AWWA; WEF, 2012). Inicialmente foram transferidas alíquotas de 10 mL da amostra de água, para tubos de ensaio contendo 10 mL do meio presuntivo (asparagina em concentração dupla) e incubadas por 24h a 30°C. Após esse período, alíquotas de 100 µL dos tubos que deram positivos, confirmado pela turbidez e fluorescência à luz UV a 260 nm, foram transferidas para novos tubos de ensaio contendo 10 mL do meio confirmativo (caldo acetamida), para incubação por 24 h a 30 °C. A alteração da coloração do meio de vermelho alaranjado claro para fúccia, indicou positividade para *P. aeruginosa*. Em seguida, a espécie foi confirmada pela

produção de piocianina, em meio sólido (ágar centrímida), pela técnica do esgotamento.

### 1.3.3 Ensaio de degradação de combustíveis

Para a realização do ensaio de biorremediação foi preparado, inicialmente um meio Mineral Mínimo (MM), de acordo com metodologia de Guedes *et al.*, (2018). Sua composição foi:  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  ( $0,5\text{g.L}^{-1}$ );  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ( $0,5\text{g.L}^{-1}$ );  $\text{MgSO}_4$  ( $0,5\text{g.L}^{-1}$ );  $\text{FeCl}_2$  ( $10\text{mg.L}^{-1}$ );  $\text{CaCl}_2$  ( $10\text{mg.L}^{-1}$ );  $\text{MnCl}_2$  ( $0,1\text{mg.L}^{-1}$ );  $\text{ZnSO}_4$  ( $0,01\text{mg.L}^{-1}$ ) e pH  $7,2\pm 0,2$ , suplementado com  $0,1\text{g}$  de extrato de levedura e uma gota de solução de complexo de vitamina B.

Foram utilizados dois combustíveis: gasolina comum, densidade variando entre  $0,700\text{g.L}^{-1}$  e  $0,770\text{g.L}^{-1}$ . E diesel S 500, com densidade variando entre  $0,820\text{g.L}^{-1}$  a  $0,865\text{g.L}^{-1}$ . Os combustíveis utilizados no ensaio foram adquiridos em um posto de combustível localizado na zona Norte do município de João Pessoa.

Os ensaios de degradação da gasolina e diesel, foram realizados em tubos de polietileno com capacidade para  $80\text{mL}$ , preenchidos com  $44\text{mL}$  do meio mineral,  $5\text{mL}$  do combustível e  $1\text{mL}$  do inóculo (Figura 5). O inóculo foi preparado a partir de uma suspensão celular proveniente da cultura das bactéria isoladas, turbidez ajustada para  $0,4\text{nm}$  a  $600\text{nm}$  (Cavalcanti, 2016).

**Figura 5:**Ensaio de degradação: A-inóculo; B e C- sistemas prontos;D-Armazenamento.

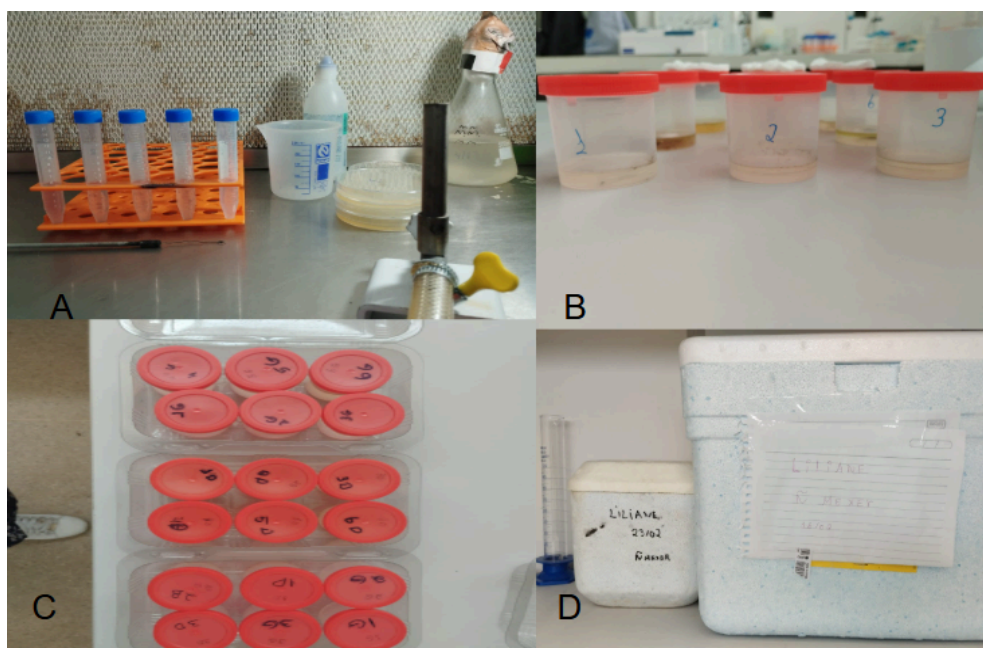


Foto: autora 2024

Os sistemas foram armazenados em caixa de isopor, à temperatura de aproximadamente, 30 °C por 30 dias. Para determinar as perdas abióticas, um sistema controle sem inóculo foi preparado (Meio mineral e combustível na proporção de 1:10). O teste foi realizado em triplicata.

A utilização do óleo foi calculada por gravimetria, seguindo a Equação 1:

**Equação 1:**Cálculo da degradação do óleo diesel.

$$\text{Degradação \%} = ((M1-M2)/M1)*100$$

M1=Massa inicial

M2=Massa final

Fonte: Fu *et al.*, 2020

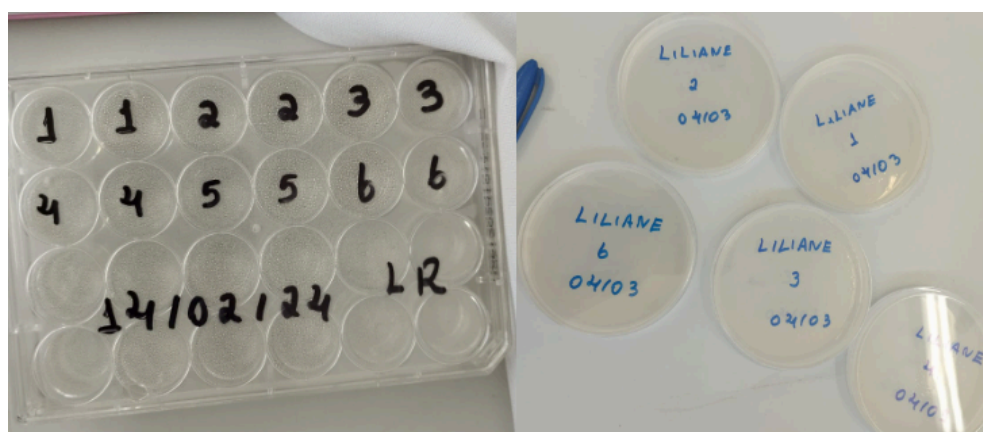
Para as perdas abióticas, foram utilizados microcosmos sem adição do inóculo e incubados sob as mesmas condições. Todos os testes foram realizados em triplicata.



## 1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível obter seis isolados de *Pseudomonas aeruginosa* do Rio Gramame no trecho estudado. Os isolados foram identificados por numeração, entretanto o identificado como “n ° 5” não se desenvolveu durante a fase de manutenção das culturas (Figura 6).

**Figura 6:** Isolados de *Pseudomonas aeruginosa* encontradas no Rio Gramame.



Fotos: autora (2024).

### 1.4.1 Teste de atividade hidrocarbonoclástica

Dois isolados, PA “4” e PA “6” apresentaram resultados satisfatórios. O teste com gasolina não apresentou resultados, devido a perdas por evaporação, desta forma não foi dada continuidade ao teste com este combustível. A gasolina é um dos derivados do petróleo com pouco número de carbonos, fazendo com que essa fração seja muito volátil, comparando-a com outros hidrocarbonetos (Sousa, 2019).

Os resultados da degradação do óleo diesel, descontadas as perdas abióticas consideradas de 68 % estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1:** Degradação de diesel pelos isolados de *Pseudomonas aeruginosa*.

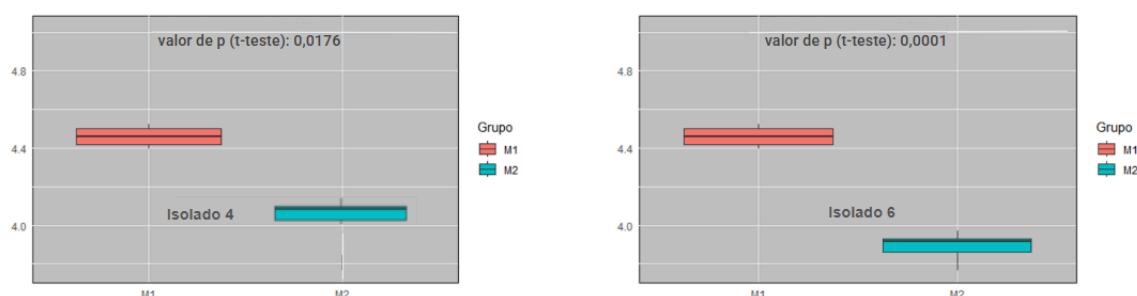
Isolados	Degradação %	Desvio Padrão
4	9,24	2,15
6	8,25	0,96

Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Na Tabela 1, considerando as perdas abióticas, após os 30 dias de bioprocessamento foi observada uma degradação de 9,24% de diesel pelo isolado “4” e 8,25 % pelo isolado “6”. É importante mencionar que não se sabe se os isolados são da mesma ou de diferentes variantes.

Para a análise estatística das massas iniciais e finais dos isolados foi feito o teste de normalidade de Shapiro. Como foram necessários dois teste Shapiro diferente, em seguida foi utilizado Teste T (paramétrico). Para isso foi utilizado o *software* R-Studio.

O tratamento dos dados estatísticos mostrou que os isolados 4 e 6 apresentaram valores significativos ( $p = 0,0176$  e  $p = 0,0001$ , respectivamente) (Figura 7).

**Figura 7:** Resultado das análises estatísticas das massas dos isolados.

Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Ao trabalhar com *P. aeruginosa*, isoladas de solos oriundos de postos de combustível, para remoção de fenantreno e pireno, Cavalcanti (2016), encontrou uma porcentagem de remoção de 77% e 80,5%, respectivamente. Entretanto seu trabalho foi desenvolvido em solo, e apesar de ter valores elevados de remoção, não houve diferença estatística sobre o percentual de redução. Ao se trabalhar com matriz líquida há algumas dificuldades como a possibilidade de vazamento do líquido e principalmente para realizar a pesagem dos materiais.

Domdi *et al.* (2021), obtiveram resultados de degradação de 100% de *n*-hexadecano pela linhagem *P. aeruginosa* PU1, isolada de solo contaminado com óleo de transformador. Santos (2022) em sua pesquisa encontrou taxas de biodegradação de 62% de gasolina por *Pseudomonas* spp. isoladas do estuário do Rio Tejo, 66% para o hexano e 60%, para o tolueno.

Isso demonstra que *P. aeruginosa* é um potencial organismo que poderá ser usado como biorremediador de derivados de petróleo, e que mais pesquisas devem ser realizadas, para potencializar este organismo. Por exemplo, na sequência desta pesquisa, os isolados 6 poderiam ser cultivados e geradas novas linhagens no intuito de selecionar variedades mais eficientes. A aplicação *in situ* em áreas contaminadas por HTPs, com esta linhagem também é uma necessidade de pesquisa futura.

## 1.5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos pelo trabalho verificou-se que o Rio Gramame possui *P. aeruginosa*, com perfil hidrocarbonoclático para óleo diesel, com destaque para dois isolados. O isolado 4 conseguiu degradar 9,24% e o 6 degradou 8,25%. Por terem sido coletados do mesmo sítio, existe uma grande possibilidade deles compartilharem características genéticas comuns.

O teste com a gasolina não foi exitoso, pela grande volatilidade desse produto, havendo a necessidade de adaptação ao método utilizado.

## REFERÊNCIAS

ABDULSALAM, S. OMALE, A, B. Comparison of biostimulation and bioaugmentation techniques for the remediation of used motor oil contaminated soil. **Environmental Sciences**. Braz. arch. biol. technol. 52 (3) • June 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/babt/a/qPWLgDwJcFGkYBtRhXPWZXF/?lang=en>>. Acesso em: 23 jun. 2024.

ALMEIDA, M, A. **Produção de Raminolipideos por biofilme de pseudomonas aeruginosasa**. Dissertação, programa de pos-graduação em Biotecnologia. Universidade Estadual de São Paulo. 2018  
<https://repositorio.uel.br/srv-c0003-s01/api/core/bitstreams/0a942b5e-e987-48f7-86b2-2d11c7800ef0/content>  
<https://repositorio.uel.br/srv-c0003-s01/api/core/bitstreams/0a942b5e-e987-48f7-86b2-2d11c7800ef0/content>

APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd ed. Baltimore: APHA, AWWA, WEF, 2012.

ARA. A.B. Biofilme: armadilha das bactérias patogênicas no sistema de água de bebida.2022. Disponível em:  
[https://www.3tres3.com.br/artigos/biofilmes-de-bacterias-patogenicas-no-sistema-de-agua-de-bebida\\_2782/](https://www.3tres3.com.br/artigos/biofilmes-de-bacterias-patogenicas-no-sistema-de-agua-de-bebida_2782/). Acesso: Jun 2024.

BARBOSA, T. FURRIER, M. CLASSIFICAÇÃO MULTITEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DO CONDE – PB . **Revista Geoamazônia**. June 2014. 1(2):113-122. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapa-de-Localizacao-do-municipio-do-Conde-PB-Fonte-Elaboracao-propria\\_fig1\\_272385729](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapa-de-Localizacao-do-municipio-do-Conde-PB-Fonte-Elaboracao-propria_fig1_272385729)>. Acesso: Jun 2024.

BAUVE, A.E.L; WARGO. M, J. **Crescimento e manutenção laboratorial de *Pseudomonas aeruginosa***. 2015. Disponível em: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4296558/>>. Acesso 06. Jan. 2025.

BORCHARDT, H.; VIANA, A. A. G.; DANTAS, J. V.; RIQUE, A. S.; VASCONCELOS, U. Papel da linhagem-tipo *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 como protagonista ou coadjuvante em estudos de biodegradação: uma revisão sistemática . **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, [S. l.], v. 21, n. 8, p. 9401–9417, 2023. DOI: 10.55905/oelv21n8-085. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/1188>.

Acesso em: 14 jan. 2025.

Brasil. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Microbiologia Clínica para o Controle de Infecção Relacionada à Assistência à Saúde. Módulo 5 :Tecnologias em Serviços de Saúde: descrição dos meios de cultura empregados nos exames microbiológicos/Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Anvisa, 2013. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/publicacoes/modulo-5-tecnologias-em-servicos-de-saude-descricao-dos-meios-de-cultura-empregados-nos-exames-microbiologicos/view>>Acesso: Acesso em: 06 Fev. 2025.

Bushnell, I, D. Haas, H, F. The Utilization of Certain Hydrocarbons by microorganisms'. **kansas agricultural experiment station**. 1941. Disponível em: <<https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.translate.goog/16560430/>>. Acesso em: 23 jun. 2024.

CAVALCANTI, T.G. **Isolamento e Utilização de *pseudomonas aeruginosa* na Biorremediação de Solos Contaminados por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos**. Orientador: Ulrich Vasconcelos da Rocha Gomes, Rafael de Almeida Travassos. 2016, 57. Monografia. Bacharelado em Biotecnologia.Universidade

Federal da Paraíba. Joao Pessoa, 2016. Disponível em: [https://www.cbiotec.ufpb.br/ccbiotec/contents/tccs/2016.2/thiago\\_goncalves\\_-cavalcanti\\_tcc\\_2016-2.pdf](https://www.cbiotec.ufpb.br/ccbiotec/contents/tccs/2016.2/thiago_goncalves_-cavalcanti_tcc_2016-2.pdf). Acesso: 27 Jun 2024.

DOMDI, I.Lakra, A.,K.MOHAN, S.K.TILWANI. Y, M.ARUL. V. Microbial degradation of *n*-hexadecane using *Pseudomonas aeruginosa* PU1 isolated from transformer-oil contaminated soil. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**. V. 38,2021. Disponível em:<[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878818121003091?casa\\_token=gt\\_83xNJNZ8AAAAA:dINuK3Spzh3PzomKNPDKIFGkp\\_w20VleRHiJW4ZDOs8Tm5B5Fid\\_hQEINV0H10iGS\\_Ckn8D5sb4](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878818121003091?casa_token=gt_83xNJNZ8AAAAA:dINuK3Spzh3PzomKNPDKIFGkp_w20VleRHiJW4ZDOs8Tm5B5Fid_hQEINV0H10iGS_Ckn8D5sb4)>. Acesso em 20 Jan 2025.

FONSECA, R.C.B. Estudo Comparativo de Superfícies Bactericidas Bioinspiradas para Usos na Exploração Espacial. 2022, 125f. Monografia, Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Disponível em: [https://www.eng-materiais.bh.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/189/2023/02/2022-2\\_TCC-II\\_RafaelBCFonseca\\_VersaoFinal.pdf](https://www.eng-materiais.bh.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/189/2023/02/2022-2_TCC-II_RafaelBCFonseca_VersaoFinal.pdf). Acesso em: 20 Aug 2024.

FU, X; WANG, H; BAI, Y; XUE, J; GAO, Y; HU, S; WU, T; SUN, J.Systematic degradation mechanism and pathways analysis of the immobilized bacteria: Permeability and biodegradation, kinetic and molecular simulation. **Environmental Science and Ecotechnology**.Volume 2, April 2020, 100028. Disponível em:<[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266649842030020X?ref=pdf\\_download&fr=RR-2&rr=93c0f1b3fbf76f91](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266649842030020X?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=93c0f1b3fbf76f91)>, Acesso:Acesso em 20 Jan 2025.

GUEDES, T, P. et al. Identification of Ascomycetes Recovered From Petrol Stations in the Metropolitan Region of João Pessoa-PB, Brazil. **Journal of Engineering Research and Application**. v. 8, p. 50–55, 2018. Disponível em: [https://www.ijera.com/papers/Vol8\\_issue4/Part-1/I0804015055.pdf](https://www.ijera.com/papers/Vol8_issue4/Part-1/I0804015055.pdf). Acesso: 27 Jun 2024.

GOMES. T. V.; DANTAS. D.; TARGINO. P, R.; VILAR. M, R.; SANTOS A., J. G.; FERREIRA, S, R. R.; DA SILVA,A, D. C.; VASCONCELOS, U. A bactéria do dedo

verde: admiráveis tons de pioverdina. **REVISTA FOCO**, [S. l.], v. 16, n. 5, p. e1587, 2023. DOI: 10.54751/revistafoco.v16n5-159. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/1587>. Acesso em: 16 abr. 2025.

HIGA, J.S. Biofilmes bacterianos: vivendo em comunidade. **Departamento de Microbiologia Universidade de São Paulo**. Disponível em: <https://microbiologia.icb.usp.br/cultura-e-extensao/textos-de-divulgacao/bacteriologia/bacteriologia-oral/biofilmes-bacterianos-vivendo-em-comunidade/>. Acesso em: 20 Aug 2024.

JACQUES, R.J.S.; SILVA, K.J. da; BENTO, F.M.; CAMARGO, F.A.O. **Biorremediação de um solo contaminado com antraceno sob diferentes condições físicas e químicas**. *Ciência Rural*, v.40, n.2, p.280-287, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/mNrCVF8HdGkyhcgMhbW5rmP/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 23 jun. 2024.

KARIMI, B. HABIBIL, M. ESVAND, M. Biodegradation of naphthalene using *Pseudomonas aeruginosa* by up flow anoxic– aerobic continuous flow combined bioreactor. **Journal of Environmental Health Science & Engineering**. p 2-10. 2015. DOI 10.1186/s40201-015-0175-1. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40201-015-0175-1> > Acesso em: 27 mai. 2023. Acesso em: 2 Jan. 2024.

PANDOLFO, E. CARACCIOLO, A.B. ROLANDO, L. Advances in Bacterial Degradation of Hydrocarbons. **Water**. 2023, 15, 375. <https://doi.org/10.3390/w15020375>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/2/375>, Acesso: Acesso em 20 Jan 2025.

PAULA, N, Z, ; NUNES, S, C, M; BERGER, L R R; FRANCO, L, O; LIMA, M.A.B. Manguezais Contaminados por Petróleo: Prospecção de Bactérias para Aplicação em Biorremediação. Em **Estudos Multidisciplinares em Microbiologia: Teoria e Prática**. 2024. Disponível em:

<<https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/manguezais-contaminados-por-petroleo-prospeccao-de-bacterias-para-aplicacao-em-biorremediacao> >. Acesso em 31 Jan 2025.

PINHEIRO, P. dos S.; PAIXÃO, A. M. P. da . QUANDO A DESTERRITORIALIZAÇÃO VEM DO RIO: A POLUIÇÃO DO RIO GRAMAME NA COMUNIDADE QUILOMBOLA DE MITUAÇU, PB. **Vivência: Revista de Antropologia**, [S. l.], v. 1, n. 53, 2020. DOI: 10.21680/2238-6009.2019v1n53ID20599. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/vivencia/article/view/20599>. Acesso em: 1 set. 2024.

PINHO, A. C. D. et al. Uso de *Pseudomonas aeruginosa* para biodegradação de poluentes contaminantes de água. **Revista de Biotecnologia & Ciência** (ISSN 2238-6629), v. 7, n. 1, p. 8–16, 2018. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/biociencia/article/view/6866>. Acesso: 27 Jun 2024.

RIBAS. F, B, T; SILVA. W, L. Biossorção: uma revisão sobre métodos alternativos promissores no tratamento de águas residuais. **Revista Matéria**, v.27, n.2, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/JpjN3hnjFDNgJKkrWdpL8fH/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso: 06 de Jan de 2025.

SANTOS. B, **Estudos de biorremediação de hidrocarbonetos no estuário do rio Tejo**. Mestrado em Engenharia Biológica e Química. 2022 Instituto Politécnico de Setúbal. Disponível em: <<https://comum.rcaap.pt/entities/publication/dc1d14db-01f1-43de-aa35-7a0ec04c90c8>>. Acesso 06 de Jan de 2025.

SOARES, I. A., Flores, A. C., Mendonça, M. M., Barcelos, R. P., & Baroni, S. (2011). FUNGOS NA BIORREMEDIAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. **Arquivos do**



**Instituto Biológico**, 78(2), 341–350. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1808-1657v78p3412011>. Acesso em: 23 jun. 2024.

SOUSA, R. A. **Estudo da Influência do Processo de Secagem da Biomassa Casca de Palma Forrageira (*Opuntia Ficus*) na Remoção de Gasolina em Corpos d'água, Utilizando o Sistema de Adsorção em Leito Diferencial**. 2019. 48p. Monografia (Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos) - Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande. Sumé, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/19334>. Acesso em: 24 Out. 2024.

SOUSA, V, R.G. **Prospecção na comunidade bacteriana degradadora de hidrocarbonetos de petróleo em sedimento marinho costeiro submerso no litoral do Ceará**. 2024. 85f. Dissertação (mestrado em ciências marinhas tropicais) - programa de pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar - labomar - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/77548> Acesso em Jan 2025.

Wu, T., Xu, J., Xie, W., Yao, Z., Yang, H., Sun, C., & Li, X. *Pseudomonas aeruginosa* L10: A Hydrocarbon-Degrading, Biosurfactant-Producing, and Plant-Growth-Promoting Endophytic Bacterium Isolated From a Reed (*Phragmites australis*). **Frontiers in microbiology**, 9, 1087. Disponível em: [https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5980988/?utm\\_source=chatgpt.com](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5980988/?utm_source=chatgpt.com)2018.>

. Acesso em Jan 2025

## **CAPITULO 2: ECOBARREIRAS FITORREMEIADORAS COM MACRÓFITAS FLUTUANTES NO RIO GRAMAME, CONDE, PB**

### **RESUMO**

Para solucionar ou minimizar alguns problemas ambientais, é possível buscar inspiração na própria natureza por meio da Ecotecnologia: uma ciência resultante da união entre tecnologia e ecologia, que busca reduzir ao máximo os impactos ambientais negativos e promover o desenvolvimento sustentável. Estas tecnologias também são conhecidas como Soluções Baseadas na Natureza (SBN). A biorremediação é uma área amplamente empregada na elaboração de SBN. Ela faz uso de organismos vivos para remover poluentes de um ambiente, reduzir sua concentração ou transformá-los em produtos menos tóxicos. As macrófitas são plantas normalmente encontradas em ambientes aquáticos ou alagados, com disponibilidade de recursos para seu desenvolvimento, sendo excelentes para a biorremediação de ambientes aquáticos. Outro elemento importante para a melhoria da qualidade da água é o biofilme, uma complexa comunidade de microrganismos, detritos orgânicos e inorgânicos aderidos a substratos. Unindo fitorremediação e biorremediação por meio de biofilme, o presente trabalho elaborou ecobarreiras fitorremediadoras com garrafas PET e macrófitas aquáticas flutuantes. A ecobarreira foi testada no Rio Gramame, localizado no município de Conde, estado da Paraíba, Brasil. Para avaliação do desempenho da ecobarreira, foram realizadas análises de água de indicadores de qualidade de água (amônia, nitrito, nitrato, fosfato, pH, condutividade elétrica, Oxigênio dissolvido (OD) e temperatura). Verificou-se que a ecobarreira não conseguiu melhorar a qualidade da água em relação à maioria dos parâmetros analisados, mas melhorou de forma significativa a oxigenação da água, quando se aumentou a biorremediação à fitorremediação.

**Palavras chave:** ecotecnologia, biorremediação, macrófitas aquáticas e biofilme.

## ABSTRACT

To solve or minimize certain environmental problems, it is possible to draw inspiration from nature itself through Ecotechnology: a science resulting from the union of technology and ecology, which seeks to reduce negative environmental impacts as much as possible and promote sustainable development. Bioremediation is a widely used field in the development of ecotechnologies. It employs living organisms to remove pollutants from an environment, reduce their concentration, or transform them into less toxic products. Macrophytes are plants commonly found in aquatic or waterlogged environments, with abundant resources for their growth, making them excellent for the bioremediation of aquatic environments. Another important element in improving water quality is biofilm: a complex community of microorganisms, organic and inorganic debris adhered to substrates. Combining phytoremediation and bioremediation through biofilm, this study developed a sustainable bioremediating floating boom using PET bottles and the macrophyte *Eichhornia crassipes*. The ecobarrier was tested in the Gramame River, located in the municipality of Conde, Paraíba, Brazil. To assess its performance, water quality analyses were conducted focusing on the following parameters: ammonia, nitrite, nitrate, phosphate, pH, electrical conductivity, dissolved oxygen (DO), and temperature. The results indicated that the ecobarrier did not significantly improve most of the analyzed parameters; however, it notably enhanced water oxygenation, when bioremediation was increased to phytoremediation.

**Keywords:** ecotechnology, bioremediation, aquatic macrophytes, biofilm.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Para solucionar ou minimizar alguns problemas ambientais é possível buscar inspiração na própria natureza ecotecnologias. Segundo Moreira (2021) ecotecnologia é entendida como uma ciência resultante da união entre tecnologia e ecologia, que busca reduzir ao máximo os impactos ambientais negativos e a promover o desenvolvimento sustentável, por meio de processos, técnicas, serviços ou produtos. Um exemplo de ecotecnologia para remoção de resíduos sólidos em rios é o uso de barreiras contentoras. Elas podem ser confeccionadas com material reusável de baixo custo, ajudam na coleta dos resíduos sólidos e previnem que eles cheguem ao mar.

A biorremediação é uma área amplamente empregada para a elaboração das ecotecnologias, ela faz uso de organismos vivos para remover poluente de um sítio, reduzir sua concentração ou transformá-lo em um produto menos tóxico (Musa *et al.*, 2020). Quando a biorremediação faz uso de plantas, emprega-se o termo Fitorremediação.

As macrófitas, são plantas normalmente encontradas em ambientes aquáticos ou alagados, com disponibilidade de recursos para o seu desenvolvimento. Os principais nutrientes necessários para a sua proliferação são nitrogênio e fósforo, elementos associados à presença de efluentes domésticos quando presentes em grande quantidade no ambiente hídrico (Santos *et al.*, 2022). Outro fator importante para a sua proliferação é a temperatura adequada e intensa luminosidade, algo bem presente nas regiões tropicais (Moreira, 2021).

Tendo em vista a aptidão de algumas espécies de macrófitas por nitrogênio e fósforo, elas podem ser usadas na fitorremediação de corpos aquáticos com excesso desses nutrientes. Isso pode ser observado nos gêneros *Azolla* sp. e *Pistia* sp. (Santos *et al.*, 2022) e *Cyperus alternifolius* (Ferreira *et al.*, 2022). A *E. crassipes* está amplamente difundida pelo mundo, possui rápido crescimento e propagação, característica que a enquadra no perfil de boa fitorremediadora. Em algumas situações ela é considerada um problema, principalmente para o setor turístico e

econômico. Esse fato dá-se pelo seu excesso de crescimento, o que a leva a prejudicar o funcionamento de usinas hidrelétricas, navegação e pesca, possuir elevada taxa de evapotranspiração, promover a diminuição de oxigênio dissolvido e da penetração de luz solar no interior de ambientes aquáticos, prejudicando assim o ciclo de vida de organismos fotossintetizantes (Martins; Pitelli, 2005). Apesar desses inconvenientes, muitos estudos têm indicado *E. crassipes* como redutora de diferentes poluentes em ambientes aquáticos. Dentro desse rol de poluentes têm-se: metais pesados, compostos orgânicos e corantes (Amalina, 2022).

Outro importante personagem para a melhoria da qualidade da água é o “biofilme”, “*uma complexa comunidade de microrganismos (algas, bactérias, fungos e animais), detritos orgânicos e inorgânicos aderidos a substratos inorgânicos ou orgânicos vivos ou mortos*” (Wetzel, 1983 *apud* Souza, 2020).

O biofilme exerce uma grande contribuição por remover nitrogênio, fósforo e carbono; disponibilizando esses elementos para a cadeia trófica. Ainda produz oxigênio que é extremamente importante para os organismos aeróbios, favorece reações químicas de redução, como a nitrificação e, conseqüentemente, beneficia todo o ecossistema.

O consórcio de biofilme com plantas aquáticas foi denominado por BioMac = Biofilme e Macrófitas (Oliveira, 2020). Esse tratamento foi utilizado para despoluição de rios urbanos em João Pessoa, PB, por Oliveira (2020), bem como em lagoas de tratamento de efluentes (Brito, 2021). Souza (2020) utilizou o biofilme no Rio Jaguaribe e foi usado também em viveiros de peixes (Vieira, 2018) e camarões (Sampaio; Crispim; Silva, 2024). Todos esses trabalhos têm apontado resultados promissores.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo, elaborar, implantar e avaliar ecobarreiras fitorremediadoras com garrafas *pet* e macrófitas flutuantes e instalá-las no Rio Gramame, no trecho da comunidade Mituaçu, município de Conde, estado da Paraíba.

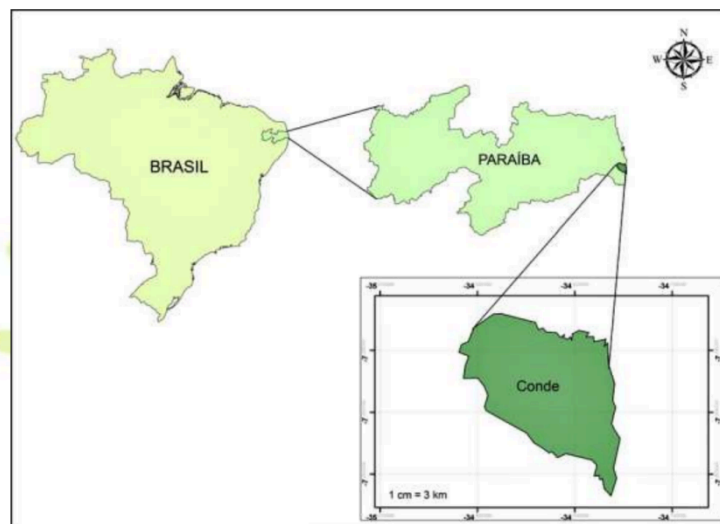
A relevância desta proposta consiste em acrescentar o sistema BioMac em uma ecobarreira convencional.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1.Área de Estudo

O local escolhido para a instalação das ecobarreiras fitorremediadoras foi o Rio Gramame, localizado no município de Conde, estado da Paraíba (Figura 8). O local de instalação pertence à comunidade Mituaçu. As coordenadas dos pontos de coleta foram: latitude de  $7,229716031076918^{\circ}$ , e longitude de  $-34,86244612637118^{\circ}$ .

**Figura 8:** Mapa de Localização do município de Conde – PB.



Fonte: Barbosa e Furrier (2014).

A comunidade fica situada na parte baixa da bacia do Rio Gramame e muitos de seus moradores retiram seu sustento dos seus rios. Além do principal rio, o Gramame, essa bacia hidrográfica possui os rios Mumbaba, Mamuaba e Água Boa e seus afluentes (Figura 9). Todos os rios são perenes, drenando uma área de 59 mil hectares (Pinheiro e Paixão, 2019).

**Figura 9:** Bacia hidrográfica do Rio Gramame.



Fonte: Rodrigues *et al.*, (2022).

### 2.2.2. Confeção e instalação das ecobarreiras

As ecobarreiras foram confeccionadas com garrafas de polietileno (PET) com capacidade para 1,5L, transparentes, dispostas horizontalmente à lâmina da água e presas a fios de arame e barbante. Para que a ecobarreira afundasse parcialmente e as plantas não saíssem por baixo, as garrafas foram preenchidas com água até, aproximadamente, metade do seu volume. Foram usadas, aproximadamente 12 garrafas para cada metro de ecobarreira. A extremidade dos fios foram presas de forma que, quando inseridas no rio a barreira formasse um área oval (Figura 10). Não se pode colocar a barreira de margem a margem, porque o rio é navegável. No interior da ecobarreira foram introduzidas as macrófitas flutuantes *E. crassipes* e *Pistia stratiotes*, para ver qual se desenvolveria melhor, visto que as macrófitas têm preferência por determinados ambientes, dependendo da quantidade de nutrientes (Melo, 2018). No entanto outras espécies de macrófitas se desenvolveram dentro

das mesmas, pelo que denominaremos o sistema de fitorremediação de plantas macrófitas flutuantes, no geral.

**Figura 10:** Ecobarreira fitorremediadora inserida no trecho do Rio Gramame nas imediações da comunidade Mituaçu.



Foto: autora (2023).

Foram confeccionadas três ecobarreiras, uma com 4m e duas com 10 m cada (Figura 11). Após as ecobarreiras terem plantas suficientes, em Março de 2024 ocorreu uma maré de sizígia, isto é, fenômeno em que a maré é mais alta que as demais. Ela permitiu que mais água salgada fosse para dentro do rio, no trecho onde as ecobarreiras estavam instaladas e causou a mortalidade das plantas. Daí houve a necessidade de esperar que houvesse novo crescimento das plantas. Assim, a coleta de 15 de Março de 2024 foi considerada como amostra réplica de período sem plantas também.



**Figura 11:** Posicionamento das ecobarreiras no Rio Gramame, trecho de Mituaçu



Foto: autora com imagem adaptada do google earth.

Para comparar o efeito com a fitorremediação e a biorremediação, primeiro manteve-se apenas a fitorremediação, com as plantas flutuantes. Depois inseriram-se quatro cortinas de plástico na ecobarreira 3, em cada um dos seus lados, totalizando quatro áreas de substrato artificial, com o total de 6m<sup>2</sup> de área de fixação de biofilme. Para avaliação do efeito do biofilme analisou-se apenas a montante e jusante desta ecobarreira que tinha as plantas e a estrutura de fixação para o biofilme (ecobarreira 3). Dessa forma, completou-se o sistema BioMac, que é formado por macrófitas e biofilme.

### **2.2.3 Metodologia das análises físicas e químicas**

Os parâmetros analisados foram: amônia, nitrito, nitrato e fosfato, oxigênio dissolvido (OD), pH, condutividade e temperatura, estes quatro últimos analisados em campo com o uso de sondas.

As amostras de água foram coletadas em garrafas de polietileno de 500mL, identificadas, e mantidas em caixas térmicas com gelo até chegar ao Laboratório de Ecologia Aquática (LABEA)/UFPB. Ao chegar ao laboratório as amostras foram filtradas a vácuo com microfiltro GF-C GLASS MICROFIBER FILTERS da marca GE®, afim de retirar as microalgas. Também foi realizado a medição da condutividade e o pH através da sonda multiparâmetro Water Quality Monitor, da marca HORIBA).

Os nutrientes amônia, nitrito, nitrato e ortofosfato foram analisados pelo método ALFAKIT/SPECTRO KIT utilizando o aparelho de Espectrofotômetro, SPECTRUMLAB 22PC (APHA, 2017). A temperatura e o OD foram medidos *in loco* por meio de uma sonda multiparâmetro *Water Quality Monitor*, da marca HORIBA nos mesmos pontos de coletas: montante e jusante.

## **2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **2.3.1 Análise dos parâmetros de qualidade de água do Rio Gramame**

Para analisar os parâmetros físicos e químicos de qualidade de água, as amostras foram coletadas em triplicatas de pontos a montante e jusante das ecobarreiras, sempre em maré baixa. A água foi coletada a aproximadamente, 50 m a montante e 5m a jusante das ecobarreiras, na subsuperfície, a cerca de 20 cm de profundidade. Após as instalação das cortinas de polietileno, na ecobarreira 3, para adesão do biofilme, para acréscimo da biorremediação, foi coletado o montante a 5m desta e o jusante a 5 m também. Os parâmetros foram analisados seguindo os padrões estabelecidos em APHA por Clesceri *et al.* (1998), descritos no Quadro 1.

**Quadro 1:** Parâmetros analisados.

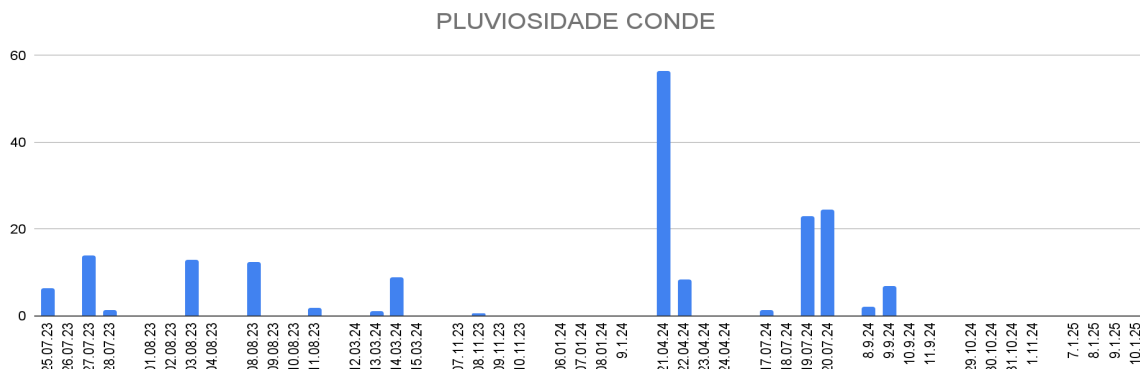
<b>Parâmetros analisados</b>	<b>Metodologia empregada</b>
Amônia	Método do fenol (APHA, 2012)
Fosfato	Método do ácido ascórbico (APHA, 2012)
Nitrito	Método colorimétrico (APHA, 2012)
Nitrato	Método da coluna de cádmio (APHA, 2012)
Temperatura	Sonda multiparâmetros
OD (Oxigênio Dissolvido)	Sonda multiparâmetros
pH (Potencial Hidrogeniônico)	Sonda multiparâmetros
Condutividade	Sonda multiparâmetros

Fonte: elaborado pela autora.

Muitos dos parâmetros investigados devem ser analisados e interpretados juntamente com a análise do índice pluviométrico da região. Diante disso, dados de pluviosidade do município de Conde no dia da coleta e em dias anteriores estão apresentados na Figura 12.

Para a análise estatística dos parâmetros físicos e químicos foi utilizado o testes de normalidade de Shapiro e em seguida utilizados os testes de Wilcoxon (não paramétrico) ou Teste T (paramétrico), para verificar se houve diferenças significativas entre os pontos montante e jusante da ecobarreira. Para isso foi utilizado o *software* R-Studio. Os valores de “p” estão descritos no anexo 01.

**Figura 12:** Índice pluviométrico dos dias das coletas e anteriores, na região de Mituaçu, Conde.

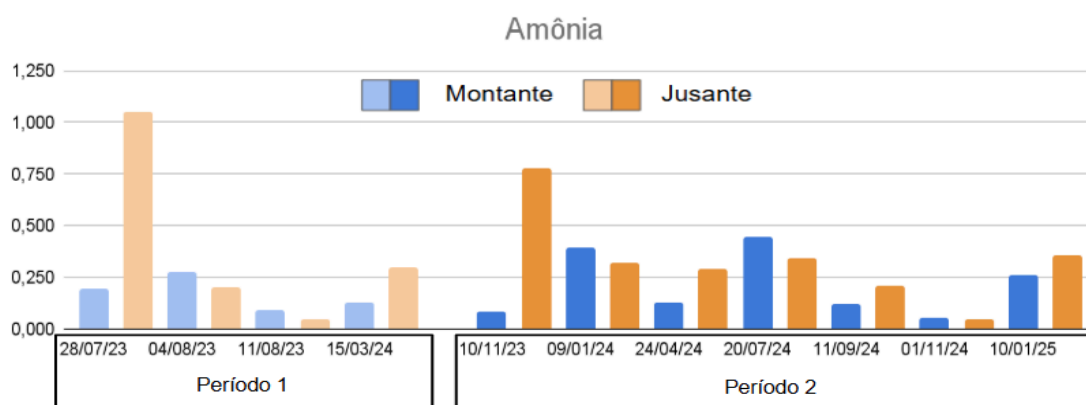


Fonte: Elaborado pela autora com dados da AESA.

### 2.3.1.1 Amônia

A presença de amônia em corpo aquático é decorrente do metabolismo dos peixes, da decomposição da matéria orgânica pela ação das bactérias e também pode ser um indicativo de poluição por esgoto, sendo lançado sem tratamento, assim como de decomposição de material orgânico que vem pela bacia de drenagem. Os resultados do monitoramento da concentração de amônia ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) estão representadas na Figura 13:

**Figura 13:** Concentração de amônia a montante e jusante, antes (período 1) e depois (período 2) de ecobarreira fitorremediadora ser instalada no Rio Gramame, Mituaçu, Conde, PB.



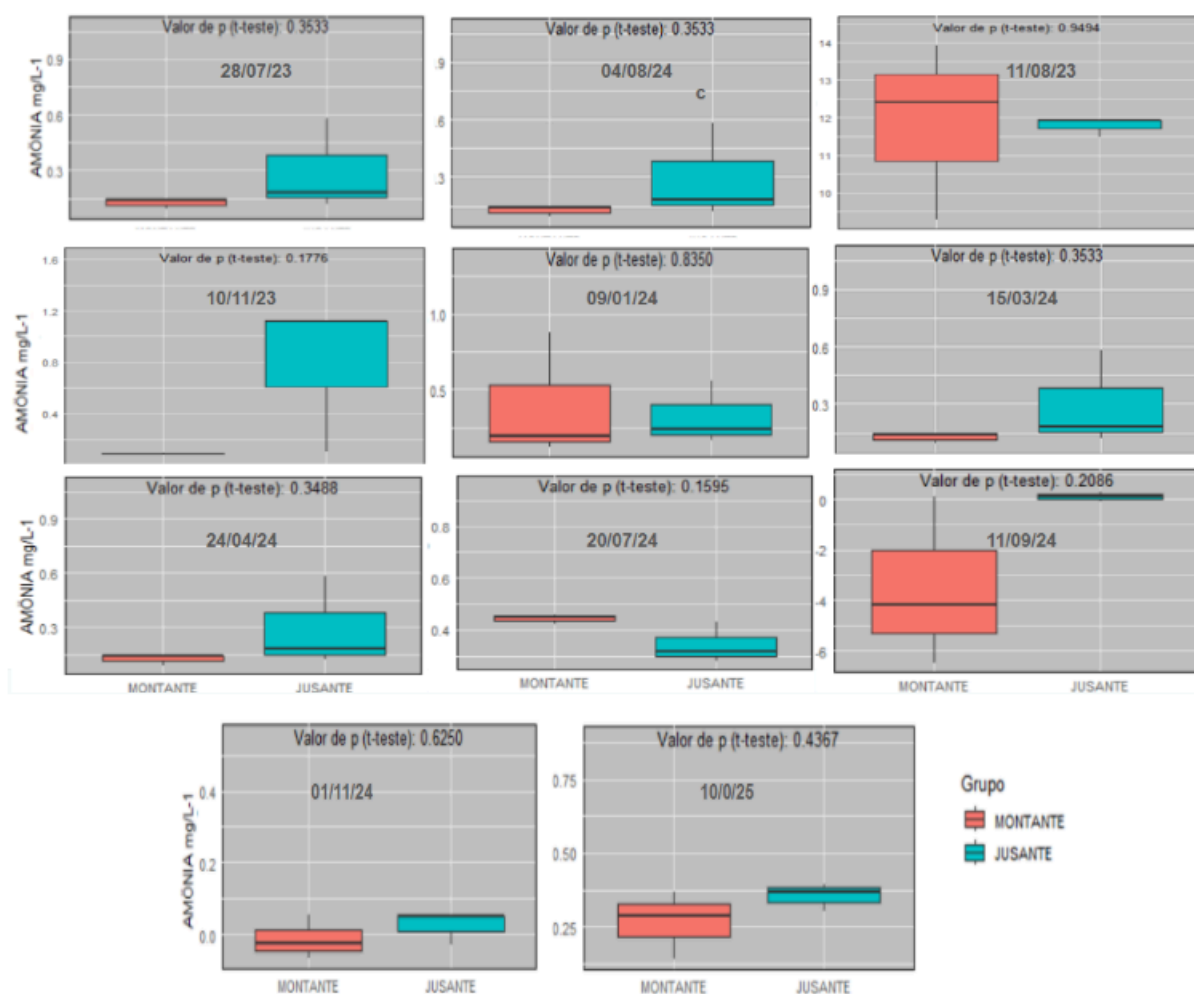
Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Para analisar os resultados, foram separados as coletas em dois períodos: o primeiro sem as macrófitas e o segundo com as macrófitas. No primeiro, foi verificado que metade das análises apresentaram maior concentração de amônia a montante da ecobarreira e outra metade a jusante, não revelando um padrão distinto. A maior concentração de amônia foi registrada a jusante, no dia 28/07/2023 ( $1,052 \text{ mg.L}^{-1}$ ). No segundo período, das sete análises, quatro apresentaram maior concentração a jusante, duas a montante e uma praticamente igual. Quando se compara com a taxa de precipitação verificou-se que, em dias que teve precipitação nos dias anteriores à coleta, como por exemplo sem plantas nos dias 28 de Julho e 4 de Agosto, no primeiro teve maior concentração de amônia a jusante e no segundo a montante, mais uma vez sem um padrão definido. Com plantas nos dias 24 de Abril e 20 de Julho, no primeiro teve aumento a jusante e no segundo redução, demonstrando não ser a precipitação a origem das diferentes concentrações (montante e jusante).

Resultado diferente foi encontrado por Lima (2020) ao testar o uso de fitorremediação com *E. crassipes* em um córrego urbano, que transporta esgoto a céu aberto, em que as concentrações de amônia não apresentaram diferença significativa antes e após a inserção de biotratamento. Brito (2021) ao estudar a fitorremediação com *E. crassipes* em uma lagoa facultativa de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) também obteve variações nas concentrações de amônia a montante e jusante, mas no geral, aumentaram as concentrações após a água passar pelo tratamento com as plantas (jusante). O mesmo foi revelado em pesquisa de Souza (2020), que testou *E. crassipes* em experimento em mesocosmos, com água de efluente de ETE, em que a amônia também aumentou. Isso demonstra que para este composto, esta espécie contribui mais com amônia para o sistema, do que é capaz de retirar.

Nas análises estatísticas, para todos os meses estudados, a diferença entre os valores de amônia de montante e jusante não foram significativos (Figura 14). Resultado também encontrado por Brito (2021).

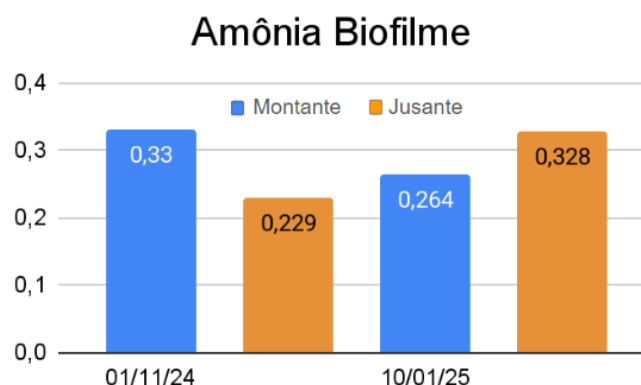
**Figura 14:** Análises estatísticas das concentrações de amônia na água do Rio Gramame, Conde, a montante e jusante de sistema de fitorremediação.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Analisando as concentrações de amônia, após a inserção de substratos artificiais para a adesão de biofilme (ecobarreira 3), observou-se que não houve muitas alterações em comparação com os dados obtidos apenas com o sistema de fitorremediação. A concentração de amônia foi mais elevada a montante no primeiro mês, e maior a jusante no segundo (Figura 15), revelando que não há um padrão derivado do aumento do biofilme, e que outros fatores não analisados estão interferindo nessas concentrações.

**Figura 15:** Concentrações de amônia no sistema com fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.

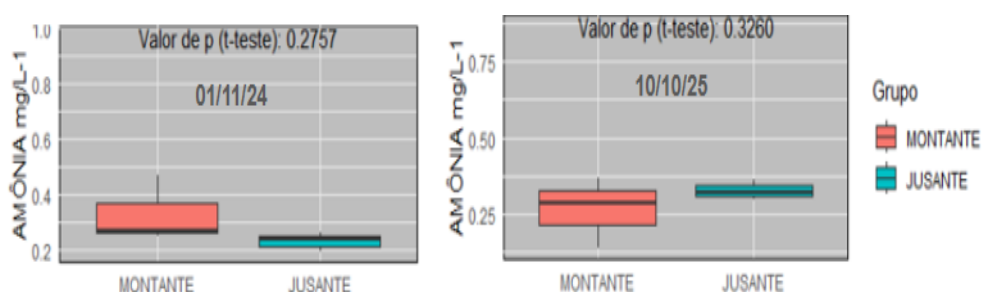


Fonte: Elaborado pela autora com dados da pesquisa.

As análises estatísticas desses dados não apresentaram diferenças significativas (Figura 16). Souza (2020) também não encontrou resultados significativos para este parâmetro. Os resultados não foram suficientes para se chegar a uma conclusão sobre o efeito do aumento do biofilme neste experimento. Entretanto, muitos estudos, Pérez (2015), Marinho (2018), Oliveira (2020) e Brito (2021) apontaram que é possível reduzir este composto com a presença do biofilme.

É possível que, como os substratos artificiais estavam colocados na própria ecobarreira, as plantas tenham feito sombra sobre eles, reduzindo a entrada de luz e consequentemente a produção do biofilme.

**Figura 16:** Concentração de amônia e dados estatísticos a montante e jusante dos sistemas de fitorremediação e biorremediação no Rio Gramame, Mituaçu, Conde, PB.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Melo (2018), em experimento em mesocosmos usando a *E. crassipes* como fitorremediadora, também não verificou diferença significativa nas concentrações de amônia, comparando com o controle. Isso revela que esta espécie não é a mais indicada como fitorremediadora para a redução de concentrações de amônia em águas lânticas ou lóticicas. Pelo fato de as folhas de *E. crassipes* e outras sofrerem senescência e muitas serem decompostas (Figura 17), aumentando a disponibilidade de amônia no ambiente.

**Figura 17:** Imagens das plantas aquáticas das ecobarreiras fitorremediadoras instaladas no Rio Gramame, no trecho que passa em Mituaçu, Conde, PB.



Fotos: Liliane Rodrigues (2024).

Segundo a AESA (1988) o Rio Gramame neste trecho se enquadra na Classe 3, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005. Para o parâmetro “Amônia”, a concentração não deve passar de  $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$ . Nenhum ponto de coleta chegou neste limite, demonstrando ainda se encontrar o rio, neste trecho, como foi classificado anteriormente.

#### **2.3.1.2 Nitrito**

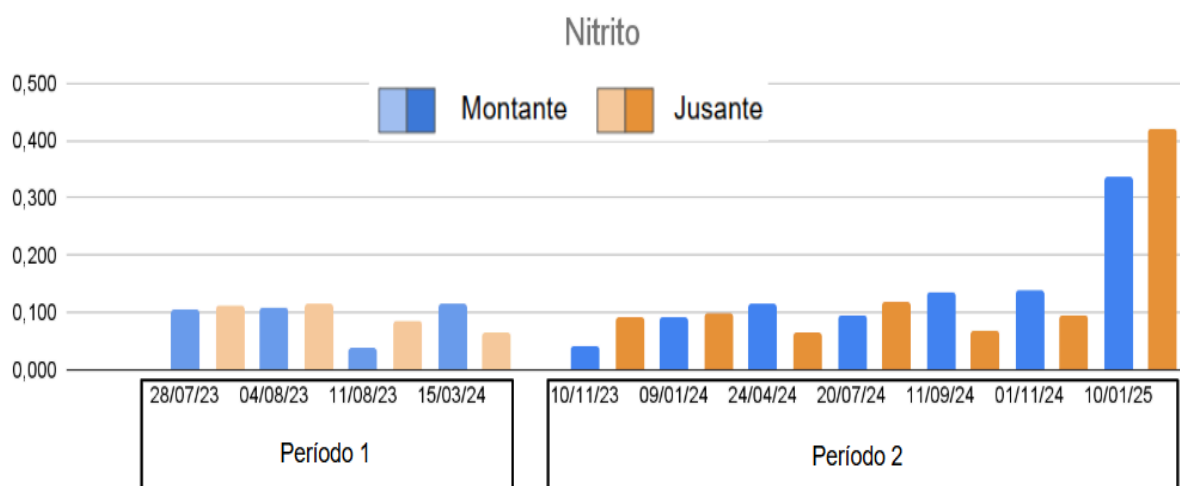
No período anterior à fitorremediação três análises das quatro apresentaram maior concentração de nitrito a jusante. Apenas na maré de sizígia, em que entrou muita água marinha no estuário, o resultado se inverteu. No período da fitorremediação quatro análises apresentaram maior concentração de nitrito a jusante da ecobarreira, enquanto três apresentaram redução (Figura 18). À



semelhança da amônia, não se verificou um padrão claro em relação à eficiência da ecobarreira fitorremediadora.

O que pode-se perceber é que o ponto de coleta a jusante tende a ter maior concentração deste nutriente, e que a ecobarreira conseguiu reduzi-lo apenas em alguns meses, o que não se pode relacionar com a fitorremediação. Da mesma forma que para a amônia, não foi possível identificar uma relação entre o índice pluviométrico e os resultados da concentração de nitrito, visto que em análises após a ocorrência de chuvas tanto aumentava quando diminuía as concentrações do mesmo.

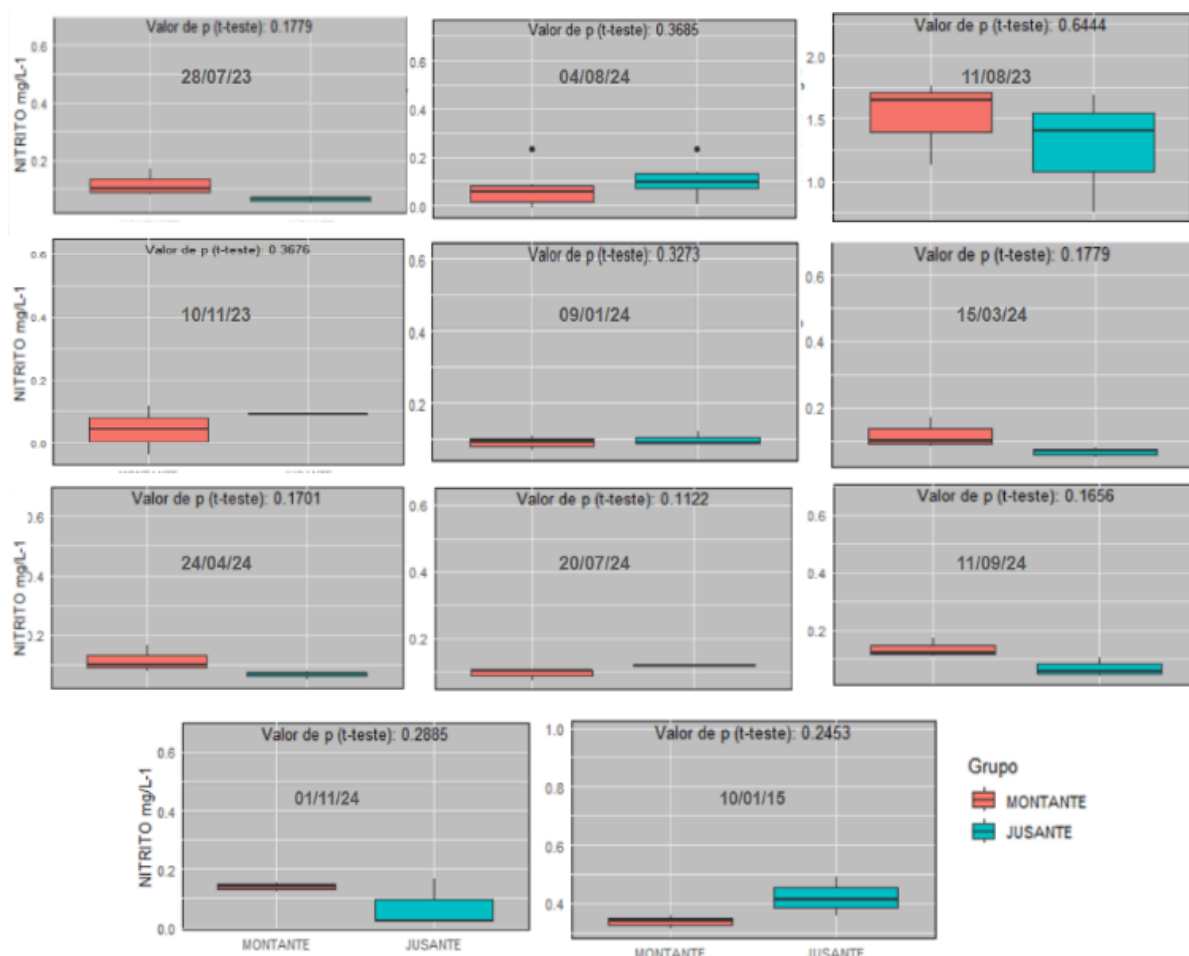
**Figura 18:** Concentração de nitrito a montante e jusante do sistema de fitorremediação inserido no Rio Gramame, no trecho que passa em Mituaçu, Conde, PB.



Fonte: elaborado com dado da pesquisa.

Ao analisar os dados de nitrito estatisticamente, a maioria deles apontaram que o valor de "p" não foi significativo mesmo com a diminuição deste nutriente em alguns meses (Figura 19). Resultado com redução de nitrito após o biotratamento, mas com dados não significativos, foram encontrados também por Brito (2021) ao trabalhar com a fitorremediação em uma lagoa facultativa de uma estação de tratamento de esgoto.

**Figura 19:** Concentrações de nitrito e análises estatísticas entre montante e jusante dos sistemas de fitorremediação no Rio Gramame, trecho de Mituaçu, Conde, PB.



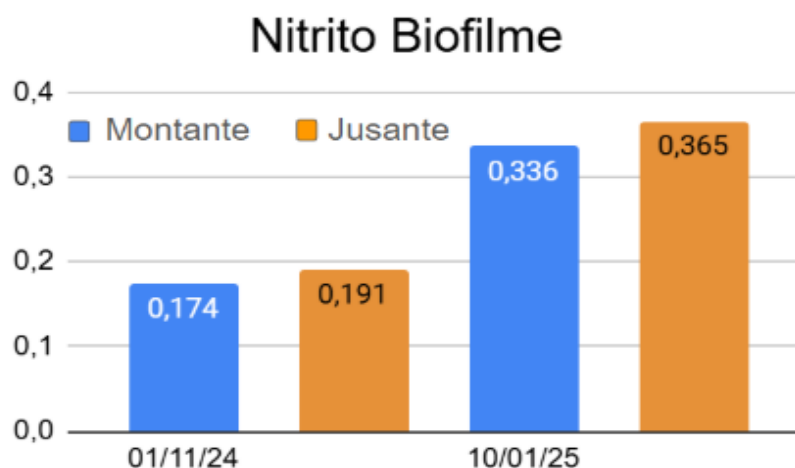
Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Concentrações mais elevadas de nitrito após passar por um sistema de fitorremediação foram citados por Melo (2018) e Oliveira (2020), que associaram esse aumento ao aumento de oxigênio dissolvido na água, o que favoreceu processos de nitrificação. No entanto, Farias *et al.*, (2024) obtiveram reduções significativas de nitrito com sistemas de biorremediação usando o biofilme, na lagoa do Parque Sólon de Lucena, em João Pessoa (PB).

Analisando após a inserção do sistema de biorremediação, as concentrações de nitrito mantiveram-se como no sistema de fitorremediação, sem um padrão definido. Mas com tendência de aumento após passar pelo sistema Bio Mac (Figura 20) e sem diferença significativa (Figura 21). Souza (2020) e Brito (2021) também

não encontraram resultados significativos de “p” em suas análises estatísticas para nitrito.

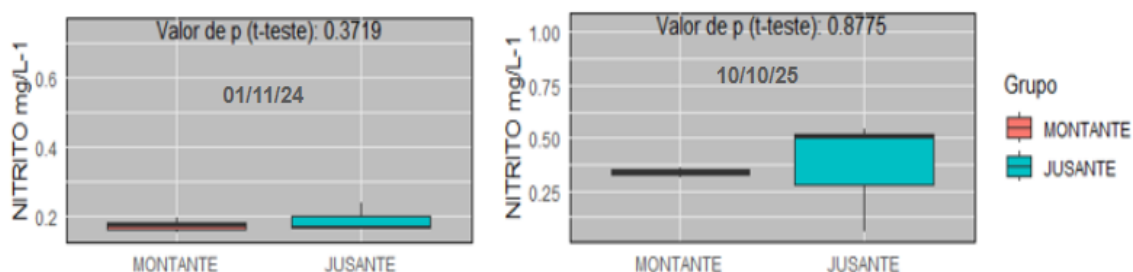
**Figura 20:** Concentrações de nitrito a montante e jusante do sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, a concentração de nitrito não deve passar de  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$  em rios Classe 3. Todas as análises estavam dentro do padrão da resolução.

**Figura 21.** Concentrações de nitrito e dados estatísticos comparando o montante e jusante do sistema de fitorremediação com biorremediação instalados no Rio Gramame, Conde, PB.

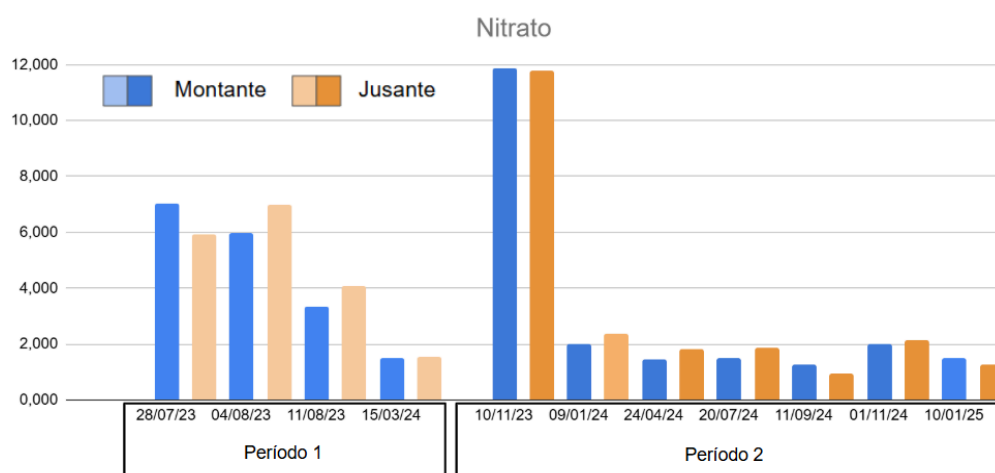


Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

### 2.3.1.3 Nitrato

Durante o período 1, anterior à fitorremediação, apenas na primeira análise (28/07/2023) a concentração de nitrato foi mais elevada a jusante (Figura 22). No período 2, quatro coletas tiveram maior concentração de nitrato a montante e três, a jusante.

**Figura 22:** Concentração de nitrato a montante e jusante do sistema de fitorremediação inserido no Rio Gramame no trecho que passa em Mituaçu, Conde, PB.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

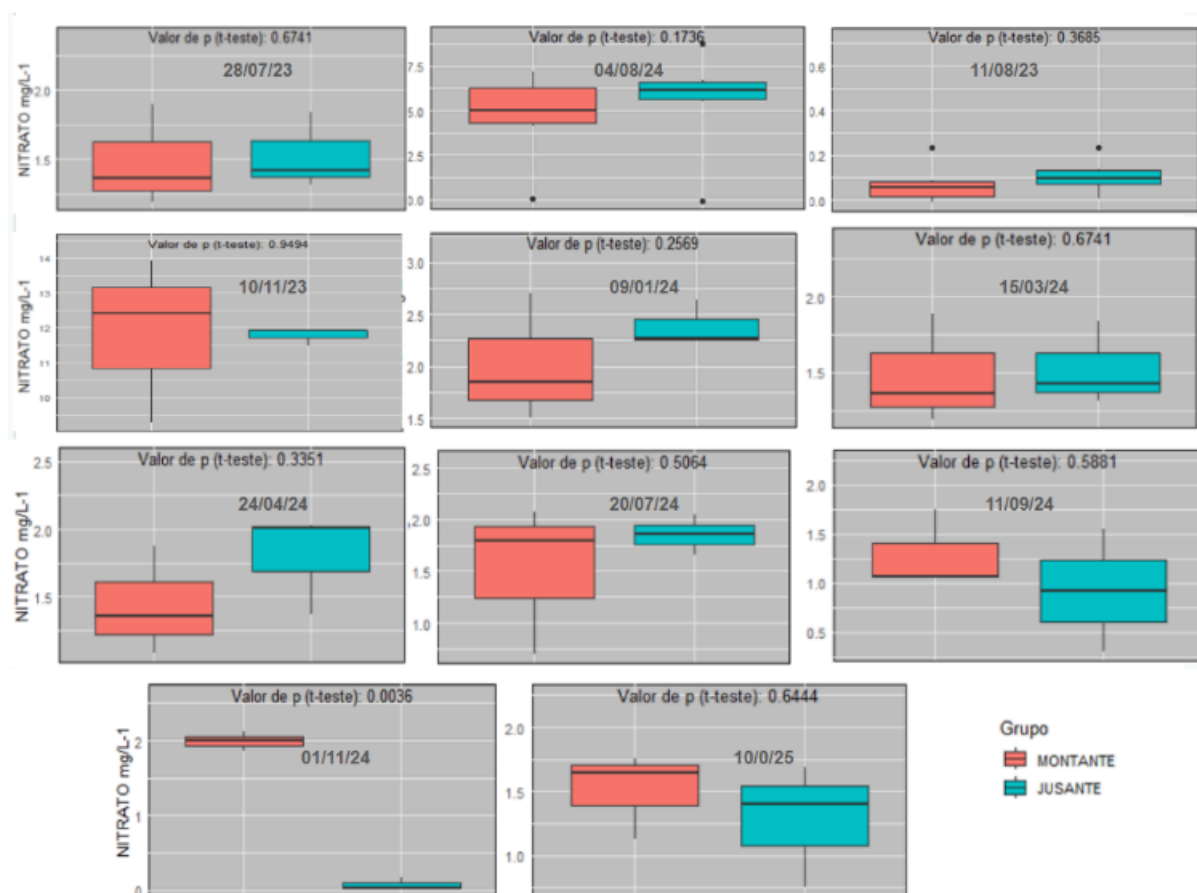
Os valores de nitrato foram os mais elevados em relação aos demais compostos nitrogenados (amônia e nitrito). Também não se verificou relação entre estes valores com o índice pluviométrico.

A concentração de nitrato em um corpo aquático está associada com a disponibilidade de OD, devido ao processo de nitrificação que consome bastante oxigênio. Nas análises feitas no período com a fitorremediação verifica-se que quando a concentração de nitrato estava mais elevada a jusante, o OD estava menor. É possível que essa redução esteja associada ao consumo deste pela nitrificação, ou seja, pela Demanda Química de Oxigênio (DQO). Esse fenômeno ocorreu nas amostragens de: 09/01/24, 20/07/24, 01/11/24 e 10/01/25.

Nos dados estatísticos para esse parâmetro, apenas o do mês de Novembro de 2024 foi significativo, com redução a jusante (Figura 23). Em pesquisa de Brito (2021) também não foram encontrados dados significativos de nitrato após a

passagem pelo sistema de fitorremediação. Neste trabalho (Brito, 2021), foi analisado a fitorremediação com poucas e muita macrófitas e os resultados demonstraram que quando há poucas macrófitas há melhor resultado na fitorremediação do nitrato, o mesmo foi registrado por Pérez (2015), em um estudo realizado no Rio do Cabelo. Isso demonstra que a redução de oxigênio e aumento de nitrato ocorrido com as ecobarreiras em Mituaçu, dependendo da quantidade de macrófitas elas vão fornecer mais matéria orgânica para decomposição do que biorremediar.

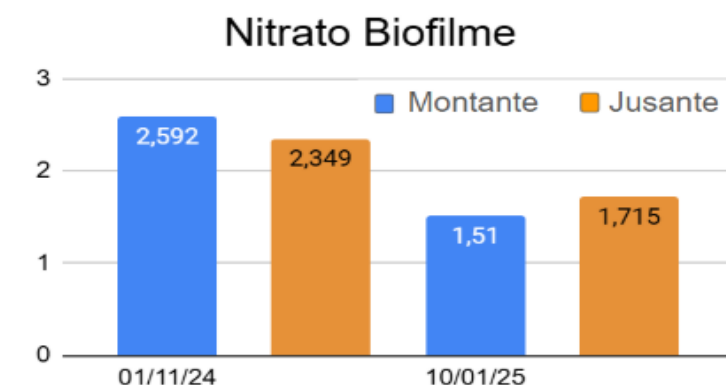
**Figura 23:** Concentrações de nitrato e análise estatística comparando o montante e jusante após passar por sistema de fitorremediação no Rio Gramame, Mituaçu, Conde, PB.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Analizando as concentrações de nitrato, após a inserção do sistema de biorremediação, verifica-se que o mesmo não provocou alterações na qualidade de água entre montante e jusante do sistema (Figura 24).

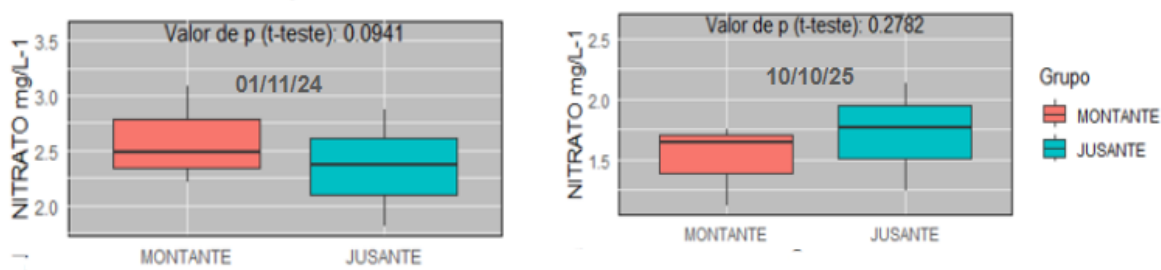
**Figura 24:** Concentrações de nitrato a montante e jusante do sistema com fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Os resultados para concentração de nitrato foram divergentes. No primeiro mês ele foi maior a montante e no segundo a jusante, não sendo possível encontrar um padrão de concentrações associado ao efeito do aumento da biorremediação. Os resultados das análise estatísticas para nitrato não apresentaram valores significativos (Figura 25). Resultado também encontrado por Brito (2021), na Estação de Tratamento de Esgoto..

**Figura 25:** Concentrações de nitrato e estatística comparando montante e jusante em sistema de fitorremediação e biorremediação instalado no Rio Gramame, Mituaçu, Conde, PB.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

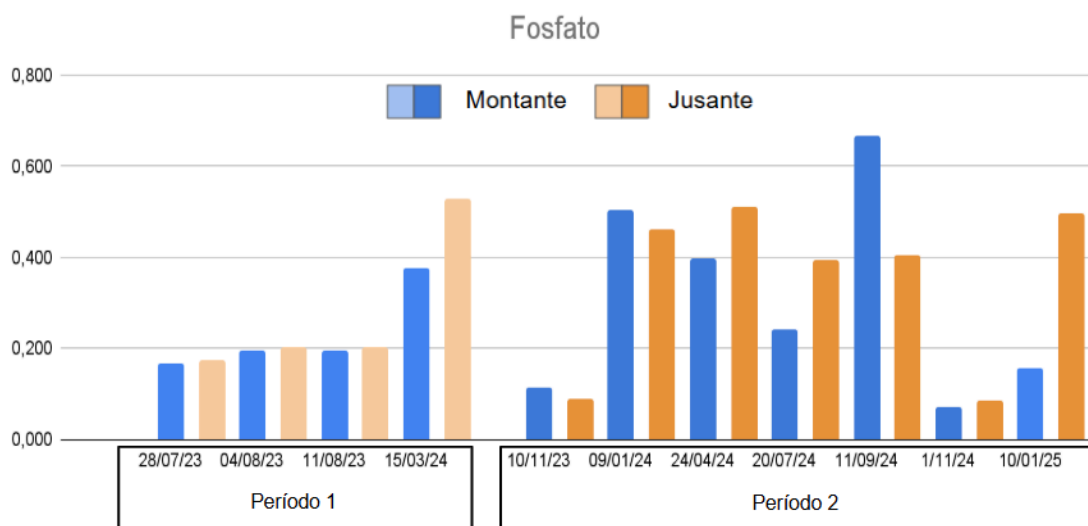
De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, a concentração de nitrato em rios Classe 3, não deve passar de 10,0 mg.L<sup>-1</sup>. Apenas em novembro de

2023 as concentrações de nitrato tanto montante quanto a jusante foram superiores ao limite ( $11,87\text{mg.L}^{-1}$  e  $11,77\text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente).

#### 2.3.1.4 Fosfato

O fosfato é frequentemente introduzido por esgotos, detergentes e fertilizantes agrícolas que escoam para o rio. Das quatro coletas realizadas no período em que as ecobarreiras não tinham plantas, todas apresentaram maior concentração de fosfato a jusante. Das análises feitas tendo as barreiras com as macrófitas, três apresentaram maior concentração de fosfato a montante e quatro a jusante (Figura 26). A maior concentração de fosfato a jusante ocorreu no período 2, quando três dias anteriores a esta coleta houve o maior pico de pluviosidade ( $56,4\text{ mm}$ ), demonstrando que entre os pontos montante e jusante deve ter uma entrada de fósforo no rio, provavelmente por ações humanas, visto que nesse espaço tem uma propriedade com residência e criação de animais.

**Figura 26:** Concentração de fosfato ao longo do tempo analisado no Rio Gramame, Conde, PB, antes e após a inserção de sistema de fitorremediação.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Pelas análise dos dois períodos, verifica-se que a tendência é possuir maior concentração de fosfato a jusante, embora a ecobarreira, em alguns meses tenha

conseguido reduzir o fosfato. Resultado positivo com biorremediação de fosfato foram encontrados por Marinho (2018) e por Oliveira (2020) no Rio do Cabelo em João Pessoa, e também por Souza (2020) no Rio Jaguaribe na mesma cidade.

Na maré de sizígia houve a maior concentração de fosfato a montante e jusante do período anterior à inserção das plantas. Isso pode ser justificado pelo fato da maré mais forte, ter remobilizado fosfato do sedimento do rio, já que esta substância tem facilidade em se adsorver em partículas sólidas, ou por ter conseguido arrastar mais nutrientes do estuário para jusante.

Estatisticamente analisando os dados para as concentrações de fosfato, apesar de terem sido reduzidos a jusante do biotratamento em alguns meses, estas diferenças não foram significativas (Figura 27).

**Figura 27:** Concentrações de fosfato e análises estatísticas comparando montante e jusante do sistema de fitorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.

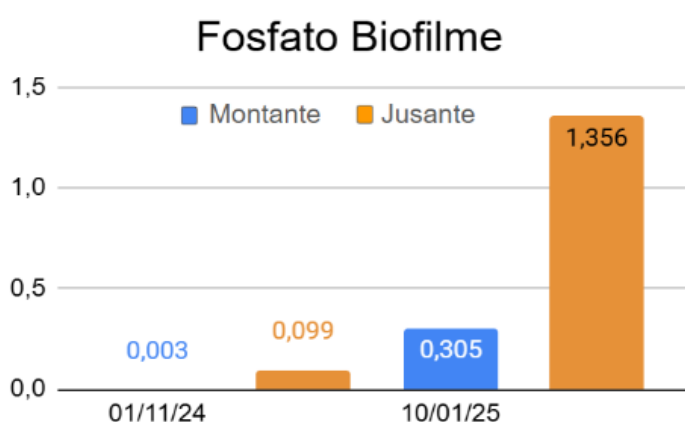


Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.



Após a inserção de substratos artificiais para a adesão de biofilme (ecobarreira 3) os valores de fosfato foram mais elevados a jusante da ecobarreira (Figura 28), resultado um pouco diferente do esperado, pois após a instalação da ecobarreira a concentração de fosfato começou a reduzir no ponto jusante, em alguns meses. Maior concentração de fosfato, também foi encontrado por Brito (2021), no seu estudo aplicando fitorremediação em uma ETE.

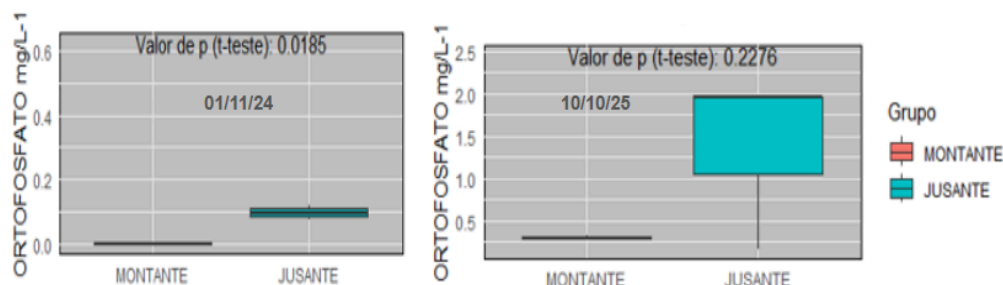
**Figura 28:** Concentrações de fosfato a montante e jusante de um sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Analisando as concentrações de fosfato após a inserção do sistema de biorremediação verifica-se que houve diferença significativa, sendo as concentrações mais elevadas a jusante, em Novembro (2024). Mas, não se verificou diferença significativa em Janeiro de 2025 (Figura 29), pelo que a alteração registrada em Novembro (2024) não pode ser atribuída exclusivamente ao biofilme.

**Figura 29:** Concentrações de ortofosfato e dados estatísticos após a inserção do sistema de biorremediação junto ao de fitorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.



Fonte: elaborada pela autora com dados da pesquisa.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 a concentração de fosfato para ambientes lóticos não deve passar de  $0,15 \text{ mg.L}^{-1}$  e nenhum ponto de coleta chegou neste limite.

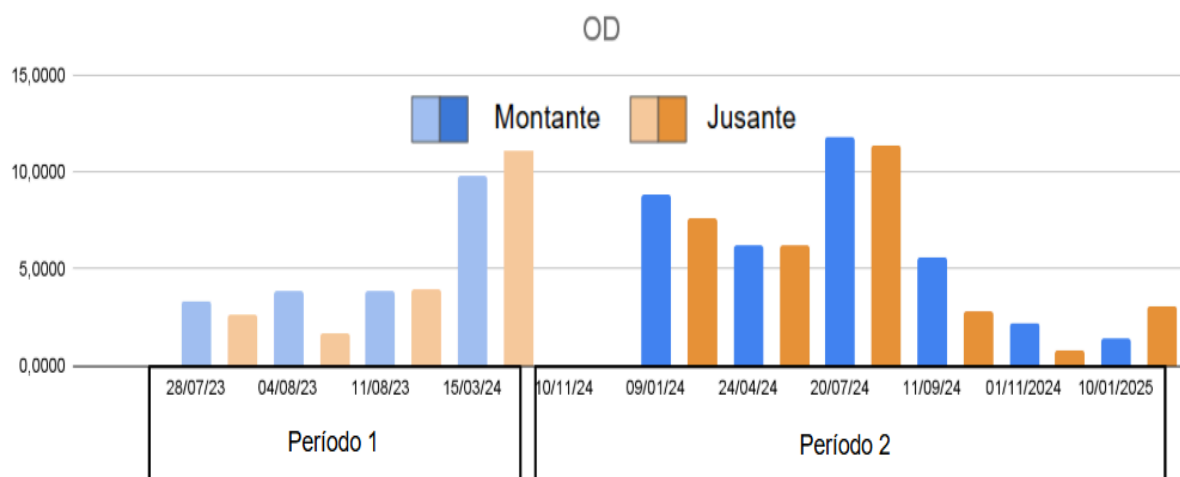
### 2.3.1.5 Oxigênio Dissolvido-OD

Concentrações adequadas de OD são necessárias para manter a biodiversidade nos ecossistemas aquáticos. Além deste fazer parte da respiração dos organismos, atua na decomposição da matéria orgânica e nas reações redox. No período em que as ecobarreiras estavam sem as plantas (quatro coletas), duas coletas apresentaram concentração de OD mais elevado a montante, e as outras duas a jusante. Dentre uma dessas coletas com maior concentração a jusante, teve a maré de Sizígia (15/03/2024), quando se registrou um maior pico de OD a jusante ( $13,36 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Figura 30). Esse fator pode ser explicado pelo motivo de, na maré de sizígia, entrar muito mais água marinha (menos poluída) no estuário, trazendo mais OD para o ambiente. Assim, permite que mais oxigênio seja introduzido na água do rio em boa parte da sua extensão.

As análises realizadas no período em que as ecobarreiras já estavam com as macrófitas, mostraram que em quatro coletas a concentração de oxigênio foi mais elevada a montante, duas a jusante e uma teve o mesmo valor para montante

e jusante (6,23, em 24/04/2024). As maiores concentrações de oxigênio no ponto montante e jusante deste período foi registrado no dia 20 de Julho de 2024, dia em que houve chuva durante a coleta e no dia anterior e na maré de sizígia, 15 e Março de 2024, o que é justificado pelo aumento da turbulência da água e maior troca gasosa com a atmosfera.

**Figura 30:** Concentração de oxigênio dissolvido (OD) a montante e a jusante do sistema de fitorremediação no Rio Gramame, Mituaçu, Conde, PB.

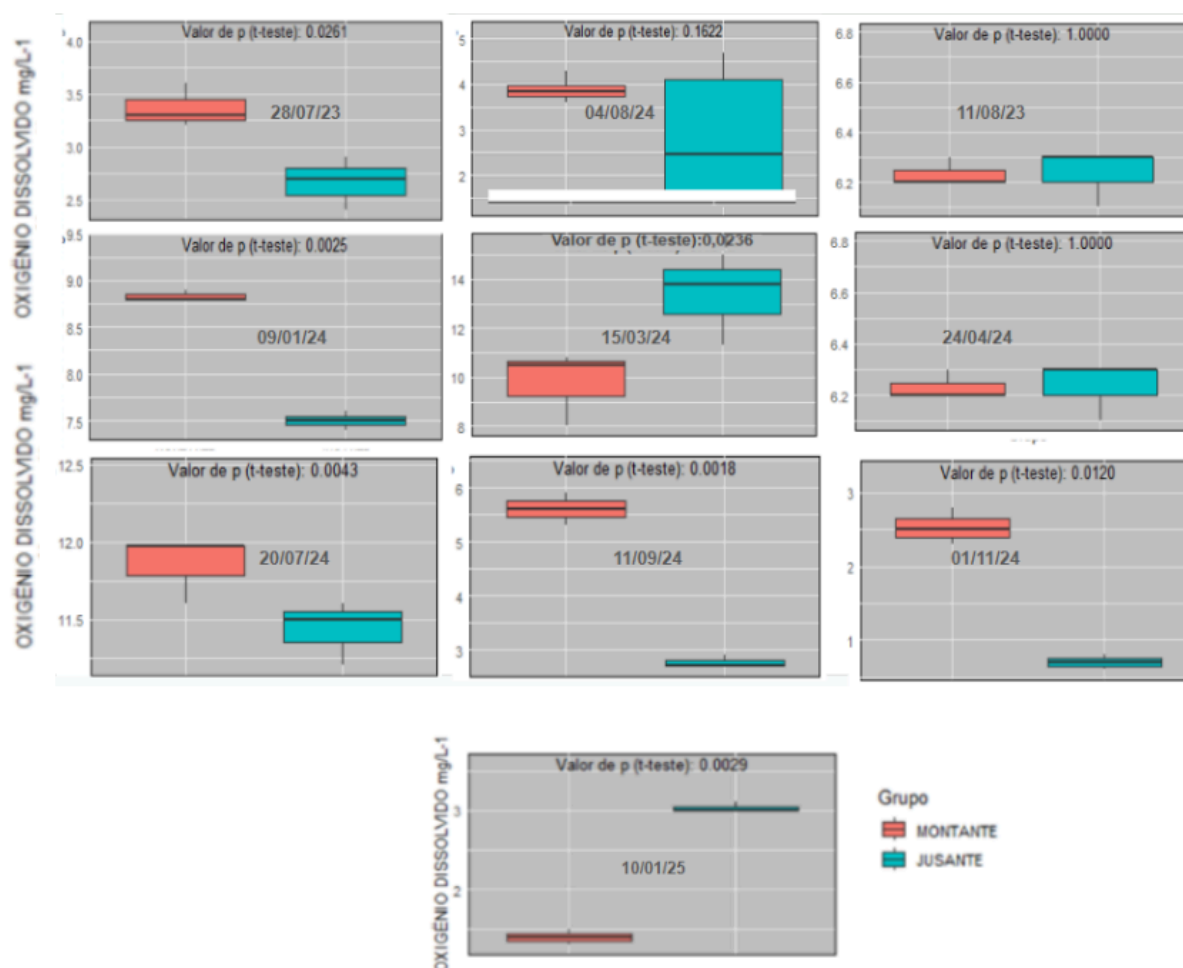


Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Mesmo antes das ecobarreiras terem plantas suficientes, a concentração de oxigênio já era mais elevada a montante. Entre o ponto de análise a montante e as ecobarreiras tem uma propriedade com criação de animais. Isso pode estar também interferindo na qualidade da água no trecho analisado. No entanto, após as macrófitas das ecobarreiras se multiplicarem, o oxigênio pode estar sendo consumido pela decomposição da matéria orgânica proveniente da própria ecobarreira, assim como de processos de nitrificação. Este fato condiz com o resultado do nitrato, pois no período 2, onde o OD estava baixo o nitrato estava mais elevado a jusante.

As análises estatísticas para os valores de OD foram, na maioria das coletas, significativas (Figura 31) em sete das dez análises. Antes da inserção da fitorremediação verificou-se uma redução significativa entre os pontos montante e jusante em Julho de 2023, o que já demonstra haver um impacto negativo nesse trecho. Após a fitorremediação em Janeiro, Julho e Setembro de 2024, também se registrou uma redução significativa nas concentrações de oxigênio dissolvido, após passar pela fitorremediação.

**Figura 31:** Concentrações de oxigênio dissolvido (OD) e análise estatística a montante e jusante do sistema de fitorremediação no Rio Gramame, Mituaçu Conde, PB.



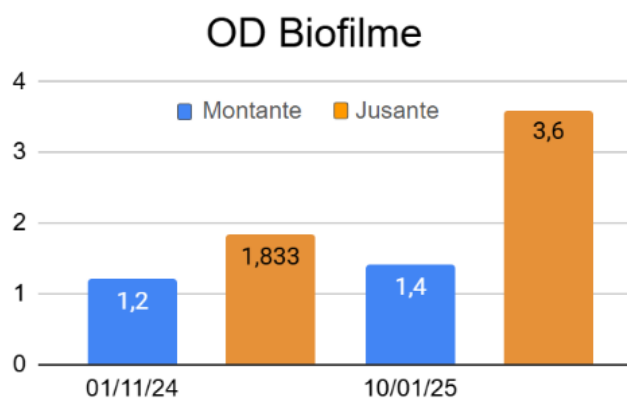
Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

No trabalho de Souza (2020), no Rio Jaguaribe, os valores de OD foram significativos. Mas as maiores concentrações foram registradas a jusante do tratamento, demonstrando a eficácia da biorremediação nessa pesquisa. O mesmo se verificou nas pesquisas de Melo (2018) e Oliveira (2020) em que também foi registrado aumento significativo de OD após os sistemas de biorremediação. Nestas pesquisas, eram aplicadas a biorremediação com o aumento de biofilme. Mas na pesquisa de Lima (2020), que trabalhou com *E. crassipes*, a autora também registrou aumento significativo das concentrações de OD, revelando melhor qualidade de água.

Para rios Classe 3, a Resolução CONAMA nº 357/2005, determina que a concentração de OD não deve ser inferior a 4 mg.L<sup>-1</sup>. Nas três primeiras análises do Período 1, todas estavam com concentração de OD abaixo do indicado para montante e jusante. Na maré de sizígia (março) os valores se elevaram. No Período 2, as concentrações de oxigênio a montante e jusante aumentaram, mas nas duas últimas coletas ela baixou (Montante e Jusante). Na antepenúltima, a coleta de jusante, também, ficou abaixo do padrão estabelecido.

Analisando após a inserção do sistema de biorremediação, verifica-se que houve um aumento significativo nas concentrações de OD (Figura 32).

**Figura 32:** Concentrações de oxigênio dissolvido (OD) a montante e jusante de sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.

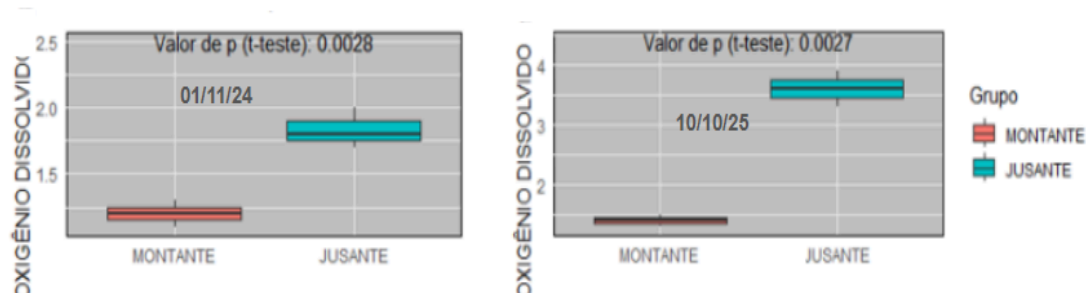


Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Os dados estatísticos mostraram que os valores de “p” para as duas análises foram significativos (Figura 35). Resultados com aumento de OD a jusante do tratamento e com valores significativos também foram encontrados por Crispim *et al.* (2019), em estudos no Rio Cabelo, e por Souza (2020) no Rio Jaguaribe, ambos em João Pessoa, PB.

Antes da instalação da fitorremediação havia uma tendência de redução de oxigênio entre os dois pontos de análise, com a fitorremediação havia redução significativa nas concentrações de oxigênio (o que revela um impacto negativo por parte das plantas) e que só em Janeiro de 2025, após a inserção do biofilme, se registrou um aumento significativo nesse gás. Isso demonstra que o efeito de aumento de O<sub>2</sub> pode ser maior, visto que já tinha uma redução, que provavelmente continuou, pela presença das plantas. Fica comprovado que o biofilme foi eficaz no aumento significativo das concentrações de oxigênio. (Figura 33).

**Figura 33:** Concentrações de oxigênio dissolvido (OD) e dados estatísticos a montante e jusante de sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

### 2.3.1.6 potencial Hidrogeniônico - pH

O pH é a medida da concentração de íons ( $H^+$ ) presente na água. Valores de pH inferior a 7 indicam acidez e valores superiores indicam basicidade.

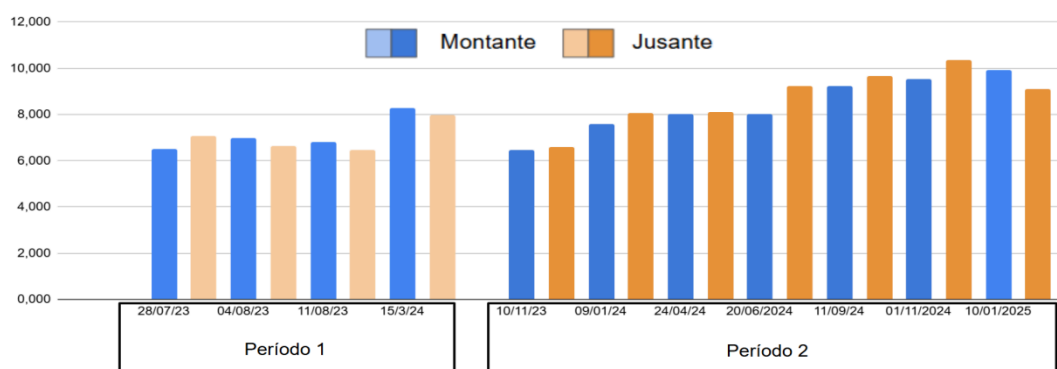
No período anterior à colocação das plantas, três coletas apresentaram maior valor de pH a montante. Apenas a primeira coleta apresentou maior pH a jusante.

Os maiores valores de pH desse período foram durante a maré de sizígia, que é justificado pela entrada da água do mar no rio, visto que o pH marinho é mais elevado (NOAA, 2025).

Após a instalação da fitorremediação, seis coletas apresentaram maior valor de pH a jusante, variando de 6,6 a 10,35, não demonstrando também um padrão definido.

De um modo geral observa-se um aumento gradativo dos valores de pH ao longo do tempo, o que representa uma pior qualidade de água no rio, visto que o ponto a montante também apresenta aumento do pH (Figura 34). Mas em janeiro de 2025 verificou-se uma redução nos valores de pH, o que pode ser um efeito positivo da biorremediação, semelhante ao registrado para o oxigênio. Não houve relação do índice pluviométrico com os valores de pH.

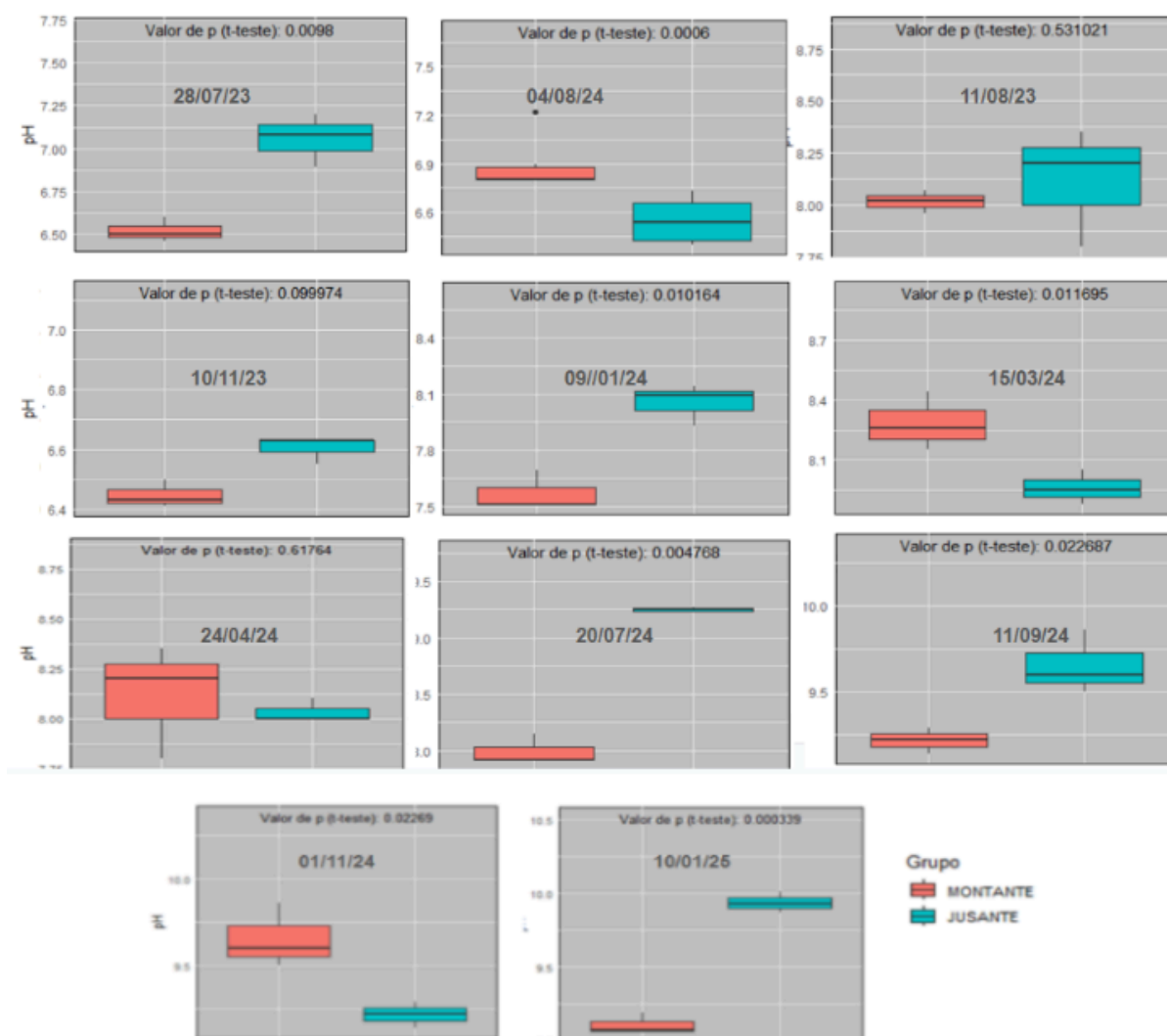
**Figura 34:** Valores de pH.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

As análises estatísticas para os valores de pH mostram que, oito das doze análises apresentaram valores significativos tanto com o aumento quanto com a redução de pH a jusante (Figura 35).

**Figura 35:** Variações de pH e dados estatísticos a montante e jusante de um sistema de biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.



Fonte: Elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Antes do biotratamento foi possível observar aumentos e reduções significativas dos valores de oxigênio dissolvido nos dois pontos analisados, montante e jusante, um deles foi na maré de sizígia. Mas após a instalação da fitorremediação, verificaram-se diferenças significativas de julho a novembro (2023-2024), mas os valores de pH já eram acima de 8,0 e ficaram ainda mais elevados.

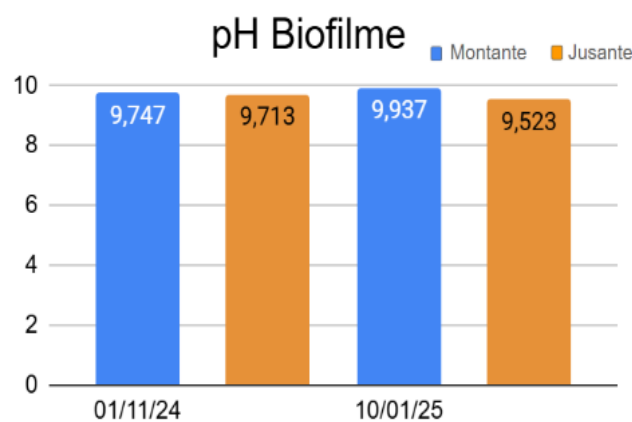
Resultados significativos e semelhantes também foram encontrados por Brito (2021), na fitorremediação em uma ETE. Mas lá, apesar dos valores de pH também



terem aumentado após o biotratamento, ficaram mais baixos, visto que os valores a montante eram abaixo de 7,0.

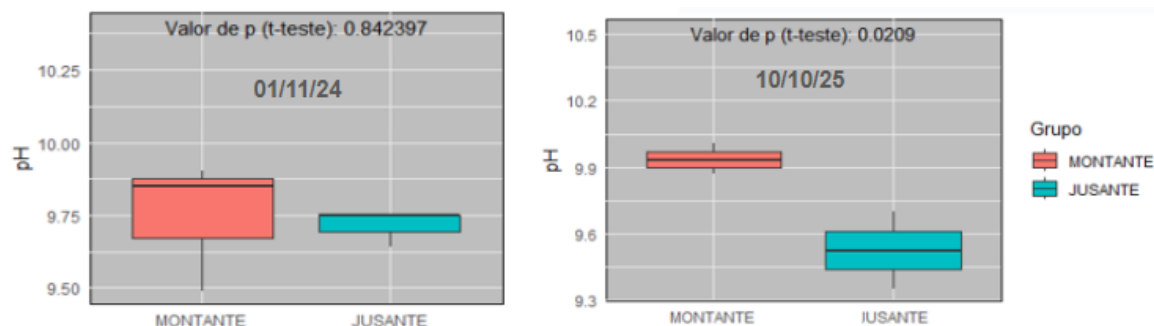
Após a inserção do sistema de biorremediação junto com a fitorremediação, verificou-se que não houve diferença em Novembro de 2024 (Figura 36). No entanto, no mês de Janeiro de 2025 já ocorreu uma redução significativa no valor de pH após a água passar pelo sistema BioMac (Figura 37).

**Figura 36:** Valores de pH a montante e jusante de um sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Mituaçu, Conde, PB.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

**Figura 37:** Variação de pH e dados estatísticos a montante e jusante de sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios Classe 3 estabelece que o pH esteja de 6,0 a 9,0. Apenas três análises do período 2 apresentaram valores de montante e jusante dentro do permitido. A análise jusante do dia 20/07/2024 registrou um pH de 9,25, e as três posteriores a essa data, variaram de 9,22 a 9,93 a montante, e de 9,10 a 10,38 a jusante. Esses valores são muito alcalinos para um rio, resultado de impactos ambientais. Esse rio já sofreu vários impactos por derrames de produtos químicos. No ano de 2018 houve um derrame de soda cáustica (Pinheiro e Paixão, 2020) e em 2019, houve o rompimento de uma lagoa de decantação de uma fábrica de papel (SUDEMA, 2019). Apesar de não ter passado por episódios de mortandade de peixes nos anos desta pesquisa, impactos de menores dimensões e contínuos continuam ocorrendo em virtude do distrito industrial de João Pessoa e Conde estarem na sua bacia de drenagem, assim como algumas urbanizações, como Mituaçu.

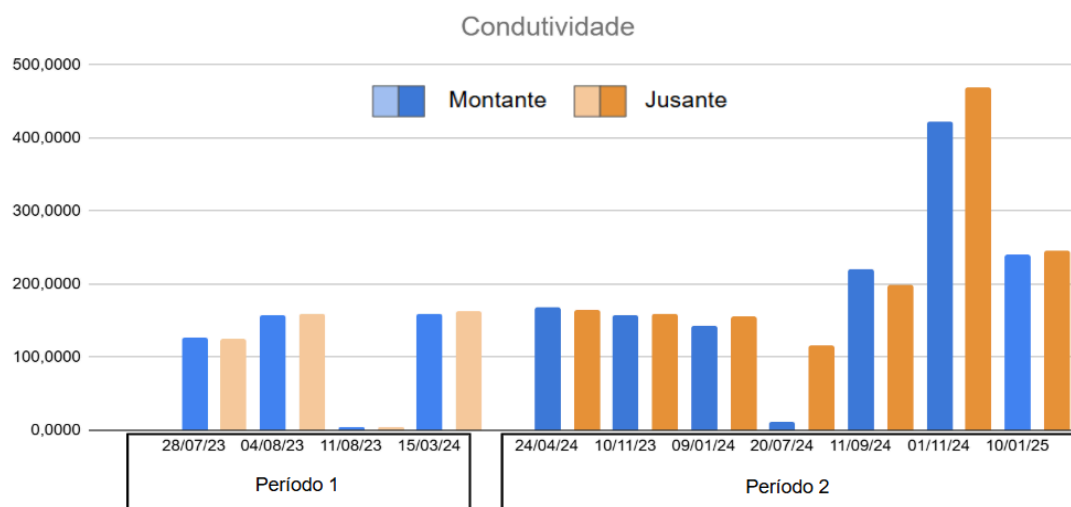
#### **2.3.1.7 Condutividade elétrica**

No contexto de um rio ou corpo de água, a condutividade elétrica indica quantos íons (partículas carregadas) estão presentes na água. Esses íons podem ser sais dissolvidos (cloretos, sódio, cálcio, etc) e/ou minerais.

No período 1, duas coletas apresentaram maior condutividade a montante, e duas a jusante, demonstrando mais uma vez ausência de padrão claro no trecho analisado. No entanto, os valores menos elevados estiveram associados a períodos de maior precipitação. Os menores valores desse parâmetro (montante e jusante) ocorreram na data de 11/08/2023, nesse dia houve precipitação de 1,8 mm, o que pode justificar a diluição desses íons e os menores valores, registrados.

No período 2, houveram quatro coletas com maior condutividade elétrica a jusante, duas a montante e uma praticamente igual ( $1,5820 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , em 10/11/2024). As menores condutividades elétricas desse período (montante e jusante) ocorreram no dia 20/07/2024 (Figura 38). Nesta data e no dia anterior houve bastante precipitação (23,1 mm e 24,4 mm, respectivamente), provocando um efeito diluidor na água.

**Figura 38:** Condutividade elétrica a montante e jusante das ecobarreiras fitorremediadoras.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

A frequência de condutividade maior a jusante da ecobarreira, justifica-se pela decomposição da matéria orgânica da própria barreira, que acaba liberando íons (Figura 39). Até mesmo nas coletas em que houveram os menores valores de condutividade, o ponto jusante teve maior concentração que o montante.

**Figura 39:** Plantas nas ecobarreiras, mostrando grande quantidade de material orgânico em decomposição.

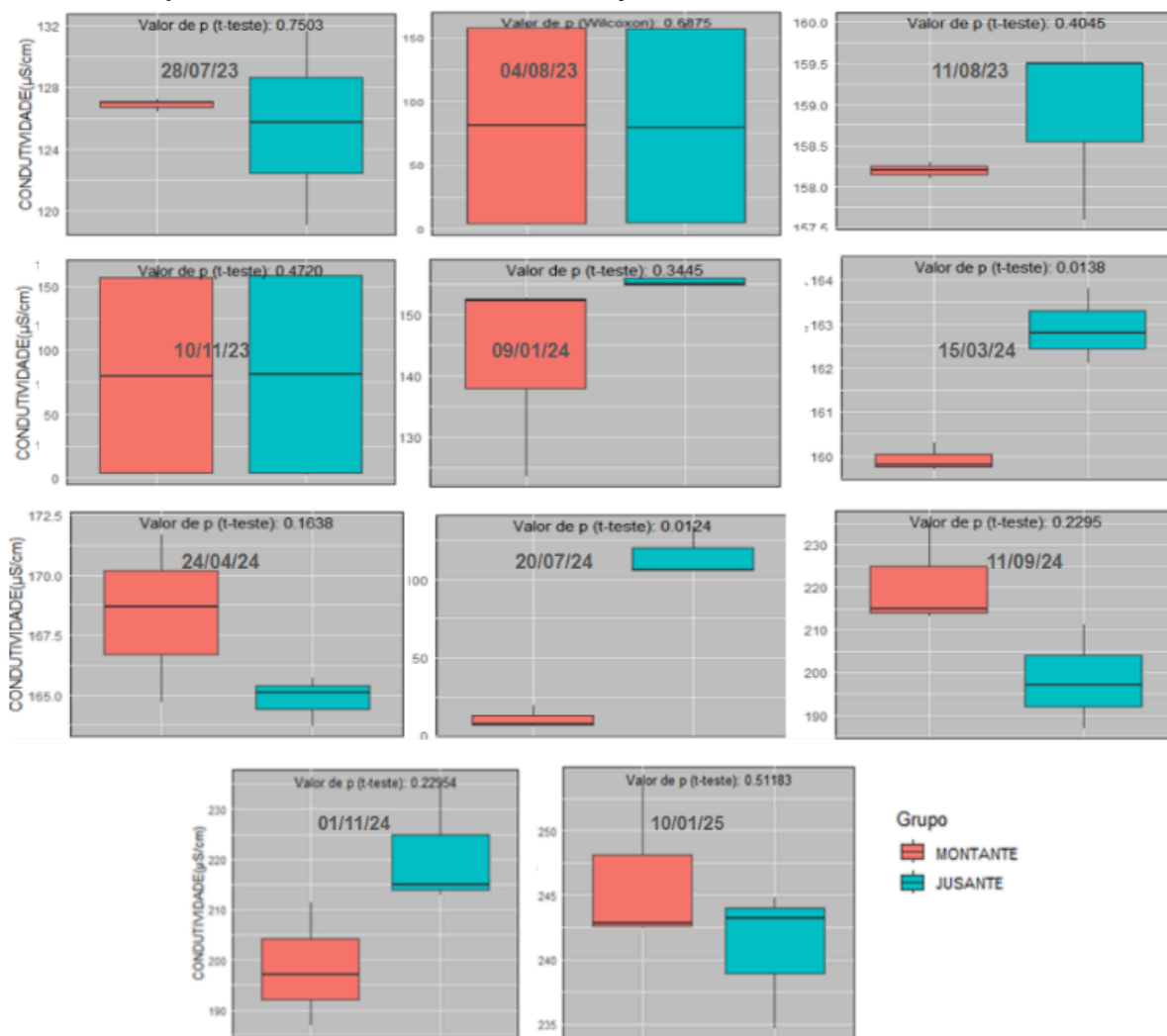


Foto: autora (2024).

As análises estatísticas demonstraram que das 11 análises, apenas a de Março e Julho de 2024 apresentaram diferenças significativas (Figura 40), com maior concentração a jusante. A de Março de 2023 foi devido à entrada de água salgada no estuário, na maré de sizígia, o que inclusive levou à mortalidade das plantas das ecobarreiras. A maior condutividade elétrica em Julho de 2024 foi provavelmente devido à ocorrência de chuvas no dia da coleta e anterior, o que pode ter carregado matéria orgânica para o rio, aumentando a decomposição e liberação de sais minerais. Oliveira (2020) em suas análises estatísticas, para comparar a diferença de condutividade elétrica após o biotratamento, encontrou resultados significativos, porém com redução desse parâmetro a jusante. O tratamento utilizado por esta autora foi a biorremediação. O mesmo foi registrado por Souza (2020), em experimento em mesocosmos, usando a *E. crassipes* como fitorremediadora em água de efluente de ETE.

Brito (2020), que trabalhou com a fitorremediação também não registrou diferenças significativas para este parâmetro. Melo (2018) não registrou na sua pesquisa com a *E. crassipes* como fitorremediadora redução de condutividade elétrica.

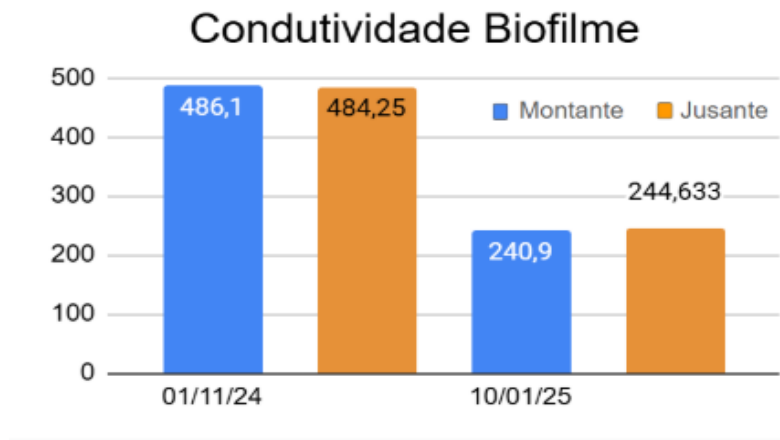
**Figura 40:** Variações das condutividades elétricas e dados da análise estatística, a montante e jusante de um sistema de fitorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Analisando após, aumento do sistema de biorremediação, pode se observar que no primeiro mês a condutividade elétrica reduziu no ponto jusante e no segundo verificou-se o inverso (Figura 41).

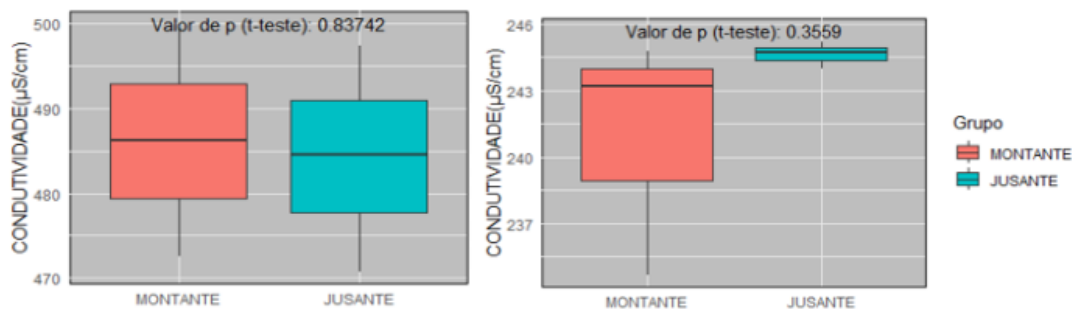
**Figura 41:** Valores de condutividade elétrica a montante e jusante de um sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Mituaçu, Conde, PB.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Em relação aos dados estatísticos, observa-se que não houve diferença significativa na água ao passar pelo sistema BioMac (Figura 42).

**Figura 42:** Valores de condutividade elétrica a montante e jusante de um sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Mituaçu, Conde, PB.



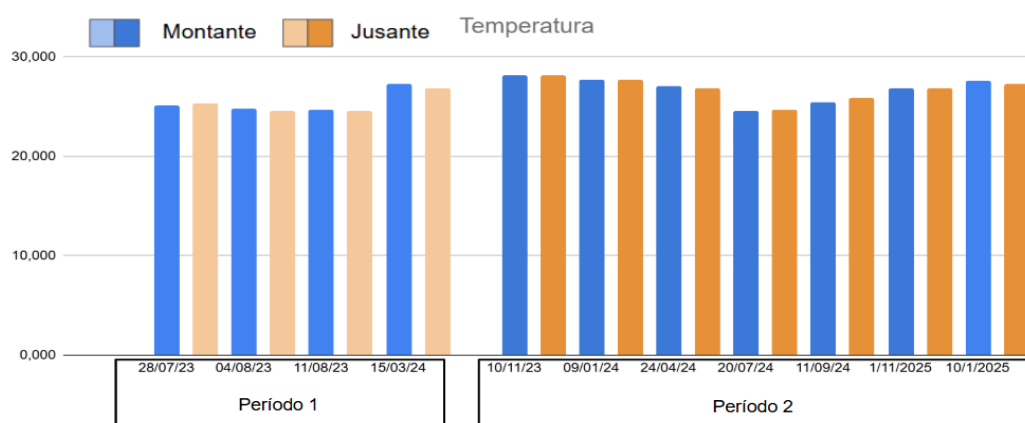
Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 não especifica um valor máximo ou mínimo de condutividade elétrica em rios de Classe 3.

### 2.3.1.8 Temperatura

A temperatura é um parâmetro que mede o grau de agitação das moléculas em um sistema. Ela influencia diferentes reações químicas e processos biológicos no meio ambiente (MARINHO, 2018). Os demais parâmetros de qualidade da água são influenciados por essa grandeza. No período 1, três coletas apontaram maior temperatura a montante da ecobarreira. Já no período 2 das sete coletas, quatro apresentaram temperaturas maiores a jusante e uma coleta com igual valor (Figura 43).

**Figura 43:** Temperatura a montante e jusante das ecobarreiras fitorremediadoras instaladas no Rio Gramame, Mituaçu, Conde, PB.



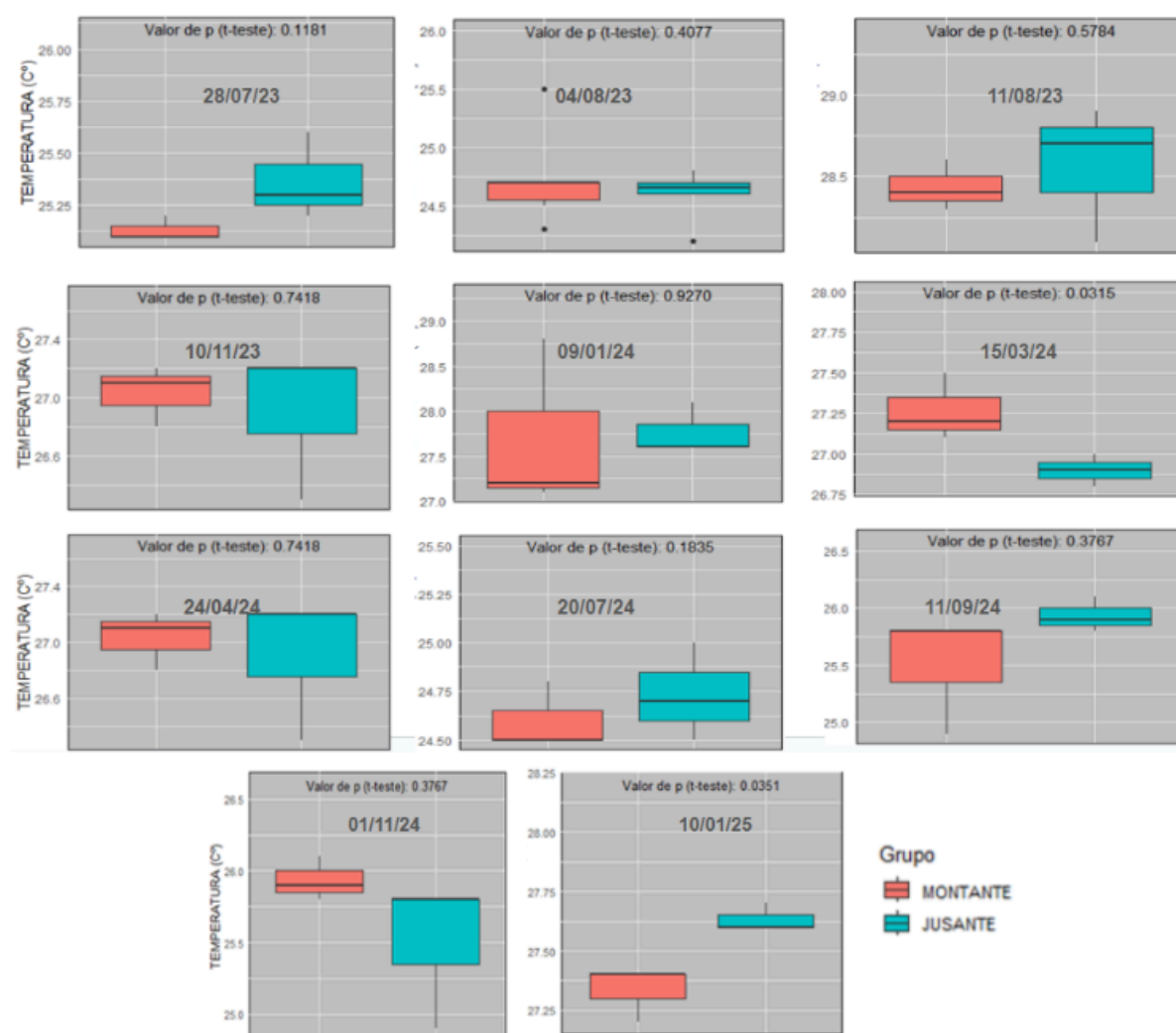
Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

As temperaturas variaram de um valor mínimo de 24,5 °C jusante, na primeira coleta do mês Agosto de 2023, a um máximo de 28,2 °C no mês de Novembro de 2023. Verifica-se também um aumento gradativo da temperatura ao longo do ano, como registrado para o pH. Isso pode ser o reflexo de uma atmosfera mais quente, o que tem sido registrado, mas também, o reflexo de maior quantidade de partículas na água, associado ao aumento de poluição, como indica o aumento do pH.

A recorrência de maior temperatura a jusante da ecobarreira com a fitorremediação, pode ser justificada por diferentes fatores. O primeiro é que o ponto jusante possui fluxo de água mais lento, pela presença da ecobarreira, fazendo

com que a água permaneça mais tempo na região e absorva mais calor solar. O segundo é que a reação de decomposição da matéria orgânica libera calor (exotérmica), promovendo o aumento da temperatura da água. O terceiro fator é que a matéria orgânica dissolvida na água (cor escura), permite que o calor seja retido aumentando a temperatura. Vale mencionar que as variações entre os pontos montante e jusante foram pequenos. Os próprios dados das análises estatísticas apontam isso. Das onze análises, apenas duas apresentaram valores significativos (15/03/23 e 10/01/2025) com maior temperatura a montante da ecobarreira em março e menor em janeiro (Figura 44).

**Figura 44:** Variações das temperaturas e dados da análise estatística a montante e jusante de um sistema de fitorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.



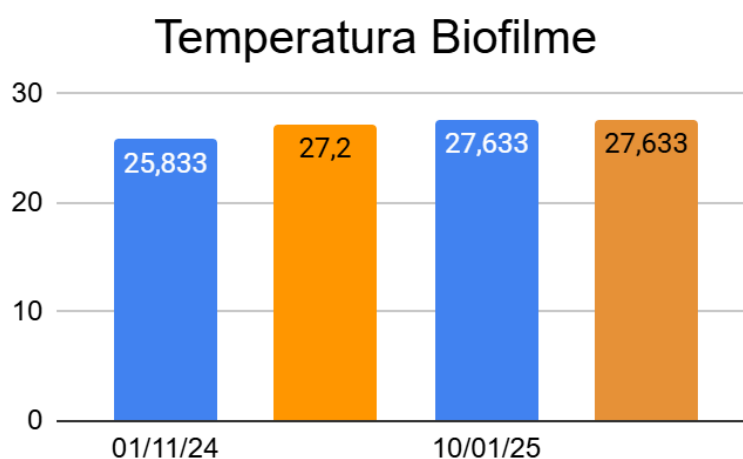
Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.



Os dias em que as coletas tiveram menores temperaturas foram aqueles em que choveu no dia da coleta ou no dia anterior.

Com a inserção do sistema de biorremediação na ecobarreira fitorremediadora não se verificaram grandes diferenças. Mas, apesar de ter um pequeno aumento a jusante em Novembro de 2024, em Janeiro de 2025 a temperatura não sofreu alteração ao passar pelo sistema de fito e biorremediação (Figura 45). Em nenhum dos meses se verificou diferença significativa.

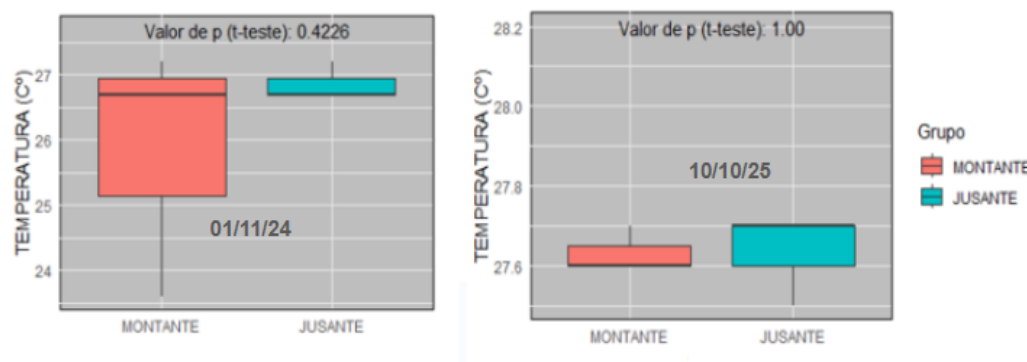
**Figura 45:** Valores de temperatura a montante e jusante de um sistema de fito e biorremediação no Rio Gramame, Conde, PB.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

Os dados estatísticos para temperatura não apresentaram diferença significativa (Figura 46). Oliveira (2020) em seu trabalho também não encontrou resultados significativos, antes e após a inserção do sistema de biorremediação.

**Figura 46:** Resultados das análise estatísticas para temperatura com aumento do biofilme.



Fonte: elaborado pela autora com dados da pesquisa.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 não especifica um valor máximo ou mínimo para temperatura em rios de Classe 3.

### 2.3.2 Aspectos visuais

Ao longo do desenvolvimento do trabalho foi possível perceber como as macrófitas reagem à dinâmica do rio (Figura 47). Quando elas se reproduziam muito era feita a retirada de algumas plantas, por parte de um pescador parceiro do trabalho, e mantido pela ONG Salve o Meio Ambiente.

**Figura 47:** Ecobarreira 3 ao longo dos meses. A- Agosto de 2023. B-Março de 2024 após maré sizígia.C- Abril de 2024.D- Julho de 2024.E-Setembro de 2024. F-Novembro de 2024.G.Janeiro de 2025.



Fotos: autora e Maria Cristina Crispim .

Nem sempre as ecobarreiras permaneciam no local exato da sua instalação devido à correnteza. A ecobarreira 2 era a maior e no mês de Março de 2024, ela foi carregada em direção ao mar. O pescador colaborador do projeto refez uma nova barreira com troncos de Aninga (*Montrichardia linifera*) e fitas de plástico, utilizadas para prender materiais de construção. Como ela era a barreira que mais crescia, algumas vezes precisava ser refeita para não obstruir a passagem das embarcações (Figura 48).

**Figura 48:** Ecobarreira 2 ao longo dos meses: A- Agosto de 2023. B-Abril de 2024.C- Julho de 2024.D- Setembro de 2024.E-Novembro de 2024.



Fotos: autora.

A ecobarreira 3 era a menor. Mas, como estava posicionada num local estratégico onde passava o principal fluxo da corrente, era a que retinha mais resíduos sólidos.

A análise visual da ecobarreira ao longo das coletas de água para análise detectou que a estrutura da barreira resistiu às ações ambientais (Figura 49) e permitiu a fixação do biofilme. Além da planta *E. crassipes* se reproduzir com facilidade (Figura 50).

**Figura 49:** Estrutura das garrafas de plástico da ecobarreira instalada no Rio Gramame, Mituaçu, Conde PB, com destaque para o biofilme aderido

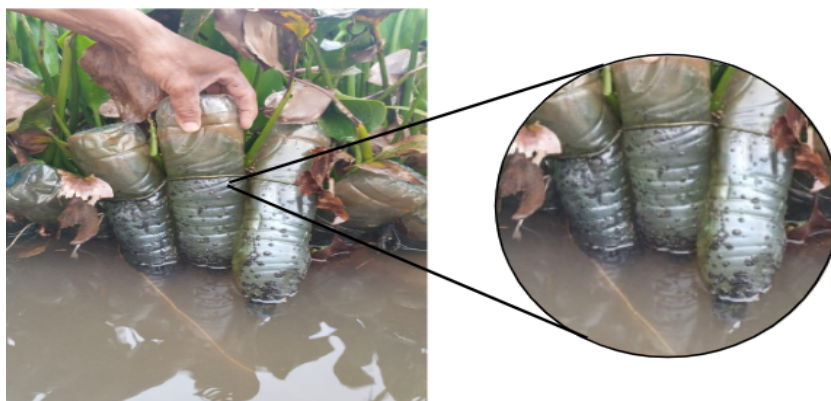


Foto: autora (2024).



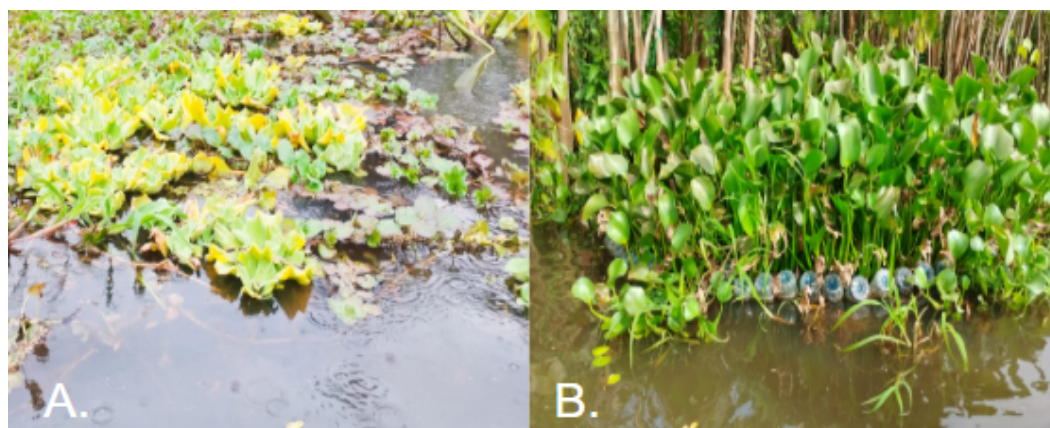
**Figura 50:** Ecobarreira 3 em Agosto de 2023 (A) e Janeiro de 2025 (B).



Fotos: autora e Maria Cristina Crispim.

Apesar de no início apenas *P.stratiotes* e *E. crassipes* terem sido inseridas dentro da ecobarreira fitorremediadora (Figura 51), outras espécies de macrófitas foram se agregando à barreira: *Salvinia auriculata*, *Salvinia sp.*, uma espécie semelhante a “capim”, uma outra espécie do gênero *Eichornnia*, a *E. azurea* e *Ludwigia helminthorrhiza*.

**Figura 51:** Macrófitas aquáticas que cresceram nas ecobarreiras fitorremediadoras inseridas no Rio Gramame, Mituaçu, Conde, PB.



Fotos: autora (2024).

## **2.4 CONCLUSÃO**

Em conformidade com os resultados das análises de água das coletas a montante e a jusante da instalação das ecobarreiras no Rio Gramame, foi possível detectar que elas não foram eficientes na redução dos seguintes parâmetros: amônia, fosfato, nitrito, nitrato, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura.

Em relação ao pH, observou-se um aumento significativo na concentração a jusante. Nas últimas coletas, verificou-se que o valor desse parâmetro estava acima do limite estabelecido pela legislação em ambos os pontos (a montante e a jusante), mesmo em dias em que a ecobarreira conseguiu reduzir seu valor. Isso revela um desequilíbrio na água do rio, por impactos humanos.

A não redução da maioria dos parâmetros analisados pode ser justificada pelo fato de a ecobarreira estar fornecendo mais matéria orgânica ao ponto a jusante do que a taxa de biorremediação é capaz de compensar.

Ao se adicionarem as cortinas de plástico, com o objetivo de aumentar o biofilme, verificou-se que as concentrações de oxigênio dissolvido aumentaram e o pH diminuiu significativamente. No entanto, esse efeito foi muito localizado, apenas a redução do pH foi sentida na barreira (3).

## **2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O que se verificou nesta pesquisa, com o uso da fitorremediação corrobora com dados de uso de fitorremediação em uma ETE, em que não se verificou melhoria na qualidade de água, diferente dos sistemas que usam biorremediação os quais sempre relatam resultados positivos. O sistema de biorremediação aqui só melhorou a oxigenação.

O fato do sistema de biorremediação ter sido pequeno (6 m<sup>2</sup> de superfície de adesão), ou o fato do mesmo ter sido inserido na própria ecobarreira fitorremediadora, pode ter impedido a entrada de luz para o biofilme, prejudicando o seu potencial de biorremediação. Dessa forma, futuras pesquisas devem colocar os dois sistemas em separado, para evitar interferência de um no outro.

## REFERÊNCIAS

AESA- Bacia Hidrográfica do Litoral Sul. 1988. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/comite-de-bacias/litoral-sul/>>. Acesso em: 01 Set. 2024.

AMALINA, F. RAZAK. A, S, A; KRISHNAN, S; ZULARISAM, A,W; NASRULLAH. M. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for organic contaminants removal in water – A review. [Journal of Hazardous Materials Advances](#). [Volume 7](#), August 2022. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772416622000481?via%3Dihub>>. Acesso em: 6 Aug. 2024.

BARBOSA, T. FURRIER, M. CLASSIFICAÇÃO MULTITEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DO CONDE – PB . **Revista Geoamazônia**. June 2014. 1(2):113-122. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapa-de-Localizacao-do-municipio-o-do-Conde-PB-Fonte-Elaboracao-propria\\_fig1\\_272385729](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapa-de-Localizacao-do-municipio-o-do-Conde-PB-Fonte-Elaboracao-propria_fig1_272385729)>. Acesso: Jun 2024

BRITO. L.D. **Potencial de uso de macrófitas e biofilme como ferramenta de biorremediação na lagoa facultativa da estação de tratamento de esgoto de Mamanguape-PB**. Dissertação. Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. UFPB. 2021. 110f. Disponível em:<[https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/23369?locale=pt\\_BR](https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/23369?locale=pt_BR)>. Acesso em: 6 Aug. 2024.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.

CLESCERI, L.S.; GREENBERG, A.E.; EATON, A.D. Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, APHA 20th.ed., Washington.1998. Acesso em: 6 Aug. 2024

CRISPIM, M.C.;Geraldés, A.M.; Oliveira, F.M.F; MORAIS, M.M. Potencialidades da Implementação de Biorremediação na Reabilitação de Rios: Dados iniciais e

considerações. In: Ana Cristina Roque; Davis Pereira de Paula; João Alverino Dias; Luis Cancela da Fonseca; Maria Antonieta C. Rodrigues; Miguel da Guia Albuquerque; Silvia Dias Pereira (Org.) **Saindo da zona de conforto: a interdisciplinaridade das zonas costeiras**. - Rio de Janeiro: FGEL-UERJ, 2019, v1, p.278-295. Disponível em: <<https://www.redebraspor.org/livros/2019/Intro.pdf>>. Acesso em 15 Març.2025.

FARIAS. L. M.S; CRISPIM. M.C.B; ADLOFF.C.T; MARINHO. R.S.A. Análise da qualidade da água em uma lagoa urbana na cidade de João Pessoa (pb): diagnóstico e propostas de melhoria. OKARA: Geografia em Debate. VOL 18. N3. 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/okara/article/view/70858>. Acesso em: 6 Jan. 2025.

FERREIRA, M. A. .; LOPES, T. C. .; NASCIMENTO, D. de N. O. do .; CASTRO, A. P. S. . Macrophytes and their phytoremediative potential in sewage treatment plants: a literature review . **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. e13711225457, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i2.25457. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25457>. Acesso em: 6 aug. 2024.

LIMA. L,R,F. **Percepção ambiental de uma comunidade nova católica frente à eficiência da aplicação da fitorremediação de um córrego urbano**. 2020. 198 f. Dissertação. (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: <[https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/18474?locale=pt\\_BR](https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/18474?locale=pt_BR)>. Acesso em: 01 Set. 2024.

MARINHO, R. S. A. Biorremediação para o melhoramento da qualidade da água em rios urbanos em João Pessoa –PB: efeitos na ictiofauna. 2018. 95f. Dissertação (Mestrado em 105 Desenvolvimento e Meio Ambiente). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018.

MARTINS, A.T; PITELLI, R.A. Effects of Water Hyacinth Management on Water Quality under Mesocosmic Conditions. **Plantas Daninhas**. Viçosa-MG, v. 23, n. 2, p. 233-242, 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pd/a/5sQ78QjQj6yPpmcFqsxCh9d/?lang=pt#>> Acesso em: 27 mai. 2023, 20:30:00.

MELO, S. C. **Uso De Macrófitas Aquáticas Fitorremediadoras Como Incremento Ao Tratamento De Esgoto e o Potencial de sua Biomassa na Produção de**



**Biogás.** 2018. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA. João Pessoa. 2018. Disponível em :  
<[https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS\\_dd058df3147917cdff479527c101943e](https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_dd058df3147917cdff479527c101943e)> Acesso em 09/09/2024.

MOREIRA, G. DE O. **Impacto das ecobarreiras na qualidade de água e redução da poluição flutuante em rio urbano.** Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental)- Universidade Federal de São Carlos.São Paulo, p.90. 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15675?show=full>>. Acesso em: 15 set. 2023

MUSA, S. OKE, F. NDIRIBE, C.. Research Article Bioremediation of diesel polluted soils with Eichhornia crassipes (water hyacinth) .**Notulae Scientia Biologicae.** v. 12, n. 4, p. 920–928, 2020. 2020 DOI:10.15835/12410814 Disponível em: <<https://www.notulaebiologicae.ro/index.php/nsb/article/view/10814> >. Acesso em: 16 set. 2023

NOAA.National Oceanic and Atmospheric Administration.Disponível em:<<https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>>. Acesso em 15 Jan. 2025.

OLIVEIRA, F. M. M. **Biorremediação: uma forma de despoluição de ecossistema lótico com a utilização de biofilme e macrófitas.** 2020. 251f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

PÉREZ,J, M .**Biofilme e macrófitas como ferramenta de biorremediação em ecossistemas aquáticos e tratamento de esgoto.** 2015. 163 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: [https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/9094?locale=pt\\_BR](https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/9094?locale=pt_BR). Acesso em: 1 set. 2024.

PINHEIRO, P. dos S.; PAIXÃO, A. M. P. da . QUANDO A DESTERRITORIALIZAÇÃO VEM DO RIO: A POLUIÇÃO DO RIO GRAMAME NA COMUNIDADE QUILOMBOLA DE MITUAÇU, PB. **Vivência: Revista de Antropologia**, [S. l.], v. 1, n. 53, 2020. DOI: 10.21680/2238-6009.2019v1n53ID20599. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/vivencia/article/view/20599>. Acesso em: 1 set. 2024.

RODRIGUES, Gabriela Cristina Soares; GADELHA, Carmem Lucia Moreira; FILGUEIRA, Hamilcar José Almeida; DA SILVA, Elson Santos. Identificação das causas de conflitos pelo uso da água na bacia hidrográfica do rio Gramame, Paraíba, Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 59, 2022. DOI: 10.5380/dma.v59i0.76107. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/76107>. Acesso em: 22 jun. 2025.

SAMPAIO. J.A.A; CRISPIM. M.C; SILVA. G.S. Efeito da biorremediação na saúde e crescimento do camarão *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931, em berçários de carcinicultura. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade** (2024): 11(27): 277-304. Disponível em: <https://revista.ecogestaobrasil.net/v11n27/v11n27a19a.htmla>. Acesso em: 6 Jan. 2025.

SANTOS, G.B; SOUZA. E,B; SOUZA. J,J; INVENÇÃO, F,S ; SOBRINHO. E.L; SOUSA. L.R.O. Bioquímica ambiental: as macrófitas aquáticas como fitorremediadoras e bioindicadoras de poluentes. **Revista Macambira**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. e042004, 2022. DOI: 10.35642/rm.v4i2.461. Disponível em: <https://revista.lapprudess.net/RM/article/view/461>. Acesso em: 6 ago. 2024.

SOUZA, A. H. F. F. **Avaliação da eficiência da biorremediação por perifiton em um rio urbano**. 2020. 199f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2020.

SUDEMA. **Nota à imprensa sobre o vazamento de resíduos no Rio Gramame**. Disponível em: <https://sudema.pb.gov.br/noticias/nota-a-imprensa-sobre-o-vazamento-de-residuos-no-rio-gramame>. Acesso Fev 2025.

VIEIRA. D, M. **Aquicultura Familiar: Contribuições para a Sustentabilidade**. 2018. 225 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2018.

## Anexos

### Anexo 1

Valores de p para as análise estatística dos parâmetros de qualidade de água analisados ,\*  
 Maior concentração a montante.

Datas Parâmetros	28/07/23	04/08/23	11/08/23	10/11/23	09/01/24	15/03/24	24/04/24	20/07/24	11/09/24	01/11/24	10/01/25	BIO/11/24	BIO01/25
Amônia	0,3533	0,3533	0,9494	0,1776	0,835	0,3533	0,3488	0,1595	0,2086	0,625	0,4367	0,2757	0,3260
Fosfato	0,8223	0,3216	0,1122	0,2873	0,5827	0,2556	0,0706	0,5132	0,1093	0,4439	0,2067	0,0185	0,2276
Nitrato	0,6741	0,1736	0,3685	0,9494	0,2569	0,6741	0,3351	0,5064	0,5881	<b>0,0036*</b>	0,6444	0,0941	0,2782
Nitrito	0,1779	0,3685	0,6444	0,3676	0,3273	0,1779	0,1701	0,1122	0,1656	0,2885	0,2453	0,3719	0,8775
OD	<b>0,0261*</b>	0,1622	1,000	-	<b>0,0025*</b>	0,1346	1,000	<b>0,0043*</b>	<b>0,0018*</b>	<b>0,012*</b>	<b>0,0029</b>	<b>0,0028</b>	<b>0,0027</b>
Temp.	0,1181	0,4077	0,5784	0,7418	0,9270	<b>0,0315*</b>	0,7418	0,1835	0,3767	0,3767	<b>0,0351*</b>	0,4226	1,000
pH	<b>0,0098</b>	<b>0,00061*</b>	0,5310	0,09997	<b>0,01016*</b>	<b>0,0117*</b>	0,61764	<b>0,00477</b>	<b>0,02269</b>	<b>0,02269</b>	<b>0,000339*</b>	0,842397	<b>0,0209</b>
Condut.	0,7503	0,6875	0,4045	0,4720	0,34454	<b>0,01385</b>	0,16377	<b>0,01243</b>	0,22954	0,22954	0,5183	0,83742	0,3559

Fonte: autora com dados da pesquisa.