

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra

BIORREMEDIAÇÃO EM AMBIENTES AQUÁTICOS:
TÉCNICAS DE REVITALIZAÇÃO EM CORPOS HÍDRICOS

DANNIELA DA CAL SCOTT

**BIORREMEDIAÇÃO EM AMBIENTES AQUÁTICOS:
TÉCNICAS DE REVITALIZAÇÃO EM CORPOS HÍDRICOS.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como requisito final para obtenção do título de doutorado do Programa de Pós-graduação da Universidade Federal Fluminense: Danniela Da Cal Scott.

Orientador: Dr. José Antonio Baptista-Neto.

Coorientadora: Dr^a Carolina Coelho da Costa Waite

Maricá, RJ.BR.
2025

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG
Gerada com informações fornecidas pelo autor

C141b Cal Scott, Danniela Da
Biorremediação em ambientes aquáticos : Técnicas de
revitalização em corpos hídricos / Danniela Da Cal Scott. -
2025.
114 f. : il.

Orientador: José Antonio Baptista Neto.
Coorientador: Carolina Coelho Da Costa Waite.
Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Instituto
de Geociências, Niterói, 2025.

1. Biorremediação. 2. Revitalização. 3. Microrganismos.
4. Qualidade da água. 5. Produção intelectual. I. Baptista
Neto, José Antonio, orientador. II. Coelho Da Costa Waite,
Carolina, coorientadora. III. Universidade Federal Fluminense.
Instituto de Geociências. IV. Título.

CDD - XXX

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368


DANNIELA DA CAL SCOTT

BIORREMEDIAÇÃO EM AMBIENTES AQUÁTICOS: TÉCNICAS DE REVITALIZAÇÃO EM CORPOS HÍDRICOS.


Tese aprovada após apresentação a banca examinadora como requisito final para obtenção do título de doutorado do Programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense

Aprovada em 30 maio de 2025.


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 JOSE ANTONIO BAPTISTA NETO
Data: 04/06/2025 09:58:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. José Antônio Baptista-Neto, Dr (Orientador)

DOT – UFF
Documento assinado digitalmente
 CAROLINA COELHO DA COSTA WAITE
Data: 07/06/2025 10:53:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Carolina Coelho da Costa Waite, Dra (Coorientadora)

Documento assinado digitalmente
 MIRIAN ARAUJO CARLOS CRAPEZ
Data: 16/08/2025 14:30:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Mirian Araujo Carlos Crapez, Dra.
Instituto de Biologia - UFF


Carlos Augusto Ramos e
Silva:57295425772  Assinado de forma digital por Carlos
Augusto Ramos e Silva:57295425772
Dados: 2025.06.13 22:48:55 -03'00'

Prof. Carlos Augusto Ramos e Silva, Dr.


Documento assinado digitalmente
 NORHA CONSTANZA BOLIVAR RAMIREZ
Data: 21/08/2025 09:28:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Norha Bolivar, Dra.
UFSC

Prof. Monica Pertel, Dra.

Documento assinado digitalmente
 FRANK PAVAN DE SOUZA
Data: 21/08/2025 12:37:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Frank Pavan de Souza, Dr.

ISECENSA
Documento assinado digitalmente
 ANDRE PEDRAL SAMPAIO DE SENA
Data: 21/08/2025 18:32:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. André Pedral Sampaio de Sena, Dr.

RESUMO

Esta tese avaliou a aplicação de biotecnologias para revitalização da Lagoa de Maricá-RJ por meio da técnica de biorremediação microbiológica, empregando bioinsumos líquidos e Biotijolos com microrganismos eficazes (*Bacillus* spp. e *Lactobacillus* spp.). O estudo teve como objetivo central investigar protocolos otimizados de aplicação desses bioinsumos em corpos hídricos urbanos de água doce a salobra, alinhando-se aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

A metodologia consistiu na inoculação controlada dos microrganismos em pontos estratégicos previamente selecionados nas bacias hidrográficas de maior impacto (Mumbuca, Camburi, Buris, Itaipuaçu). O monitoramento trimestral incluiu parâmetros físico-químicos da água e sedimentos (pH, Oxigênio Dissolvido - OD, Carbono Orgânico Total - COT, Nitrogênio Total - N, Fósforo Total - P e amônia), bem como a avaliação da biota bentônica para inferir a qualidade ambiental.

Resultados quantitativos demonstraram que a aplicação das técnicas levou à redução significativa dos níveis de Carbono Orgânico Total nos sedimentos, ficando abaixo do limite preconizado pela CONAMA 454/2012 (redução média superior a 40%). O fósforo total também apresentou queda substancial, com valores finais inferiores a 2.000 mg/Kg. Houve um aumento expressivo dos níveis médios de oxigênio dissolvido na água, passando de condições hipóxicas iniciais (inferiores a 2 mg/L) para concentrações superiores a 6 mg/L, compatíveis com águas de qualidade superior (Classe 1 segundo CONAMA 357/05). As concentrações de nitrogênio amoniacal e nitrogênio total na água mostraram quedas consistentes, com níveis médios finais próximos a 0,5 mg/L, indicando significativa redução do potencial eutrofizante.

Além das melhorias físico-químicas, o estudo registrou aumento na biodiversidade e abundância de macroinvertebrados bentônicos, evidenciando uma recuperação ecológica progressiva do ecossistema aquático. A pesquisa também destacou inovações práticas, como o desenvolvimento dos Biotijolos, que permitiram liberação lenta e controlada dos microrganismos, reduzindo custos logísticos e ampliando a eficiência operacional.

Esses achados confirmam a eficácia da biorremediação microbiológica como ferramenta viável e sustentável para gestão e recuperação ambiental em áreas urbanas, fornecendo subsídios técnicos e científicos para futuras intervenções em cenários similares.

Palavras-chave: Biorremediação; Revitalização; Microrganismos; Qualidade da água; Ecossistemas Aquáticos; Sustentabilidade ambiental

ABSTRACT

This thesis evaluated the application of biotechnologies for the revitalization of Maricá Lagoon (Rio de Janeiro, Brazil) through microbiological bioremediation techniques, using liquid bioinputs and Biobricks containing effective microorganisms (*Bacillus* spp. and *Lactobacillus* spp.). The primary objective of the study was to investigate optimized protocols for applying these bioinputs in urban freshwater to brackish water bodies, complying with the standards established by CONAMA Resolution 357/2005.

The methodology involved controlled inoculation of microorganisms at strategically selected points within the most impacted hydrographic basins (Mumbuca, Camburi, Buris, Itaipuaçu). Quarterly monitoring included physicochemical parameters of water and sediments (pH, Dissolved Oxygen - DO, Total Organic Carbon - TOC, Total Nitrogen - N, Total Phosphorus - P, and ammonia), as well as the evaluation of benthic biota to infer environmental quality.

Quantitative results showed that the application of these techniques led to a significant reduction in sediment Total Organic Carbon levels, falling below the threshold established by CONAMA 454/2012 (average reduction above 40%). Total phosphorus also showed a substantial decline, with final values below 2,000 mg/kg. An expressive increase in mean dissolved oxygen levels in the water was recorded, moving from initial hypoxic conditions (below 2 mg/L) to concentrations above 6 mg/L, compatible with higher quality waters (Class 1 according to CONAMA 357/05). Concentrations of ammonia nitrogen and total nitrogen in water showed consistent decreases, with final mean levels close to 0.5 mg/L, indicating a significant reduction in eutrophication potential.

In addition to physicochemical improvements, the study observed an increase in biodiversity and abundance of benthic macroinvertebrates, indicating a progressive ecological recovery of the aquatic ecosystem. The research also highlighted practical innovations such as the development of Biobricks, which allowed for the slow and controlled release of microorganisms, reducing logistical costs and enhancing operational efficiency.

These findings confirm the effectiveness of microbiological bioremediation as a viable and sustainable tool for environmental management and recovery in urban areas, providing technical and scientific support for future interventions in similar contexts.

Keywords: Bioremediation; Revitalization; Microorganisms; Water quality; Aquatic ecosystems; Environmental sustainability

DEDICATÓRIA

Agradeço ao universo que me colocou no caminho de várias pessoas que tornaram possível a conquista desse título. A Companhia de Desenvolvimento de Maricá – CODEMAR, por me ter dado as condições financeiras para esse projeto se tornar possível. O apoio dos meus filhos, amigos e dos mentores espirituais por ter chegado até aqui.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	4
OBJETIVOS	6
JUSTIFICATIVA DO ESTUDO.....	6
1 REVISÃO DA LITERATURA	7
1.1 BIORREMEDIAÇÃO MICROBIOLÓGICA: EFICIÊNCIA E APLICAÇÕES NA RESTAURAÇÃO AMBIENTAL	7
1.2 ABORDAGENS TECNOLÓGICAS E ESTRATÉGIAS DE APRIMORAMENTO	10
1.3 GEOMORFOLOGIA COSTEIRA DE MARICÁ: UMA ANÁLISE DETALHADA	12
1.4 ANÁLISE DA COBERTURA DE SANEAMENTO NA BACIA DE MARICÁ.....	16
1.5 ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO E IMPORTÂNCIA AMBIENTAL.....	18
CAPÍTULO 1 – TÉCNICAS PARA BIORREMEDIAÇÃO DA LAGOA DE MARICÁ	19
1. INTRODUÇÃO.....	19
2. CARACTERÍSTICAS DA LAGOA DE MARICÁ.....	20
3. CRITÉRIOS METODOLÓGICOS	21
4. COMPARAÇÕES COM A LITERATURA EXISTENTE	22
5. DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE APLICAÇÃO.....	22
6. MÉTODOS DE INOCULAÇÃO DOS MICRORGANISMOS	24
7. PROTOCOLO DE APLICAÇÃO.....	27
8. PROTOCOLO DE MONITORAMENTO	28
CAPÍTULO 2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
1. AVALIAÇÃO DO RNM NO SEDIMENTO.....	30
2. AVALIAÇÃO DO RNM NA ÁGUA	32
3. DISCUSSÃO DOS DESAFIOS ENFRENTADOS DURANTE A PESQUISA E LIMITAÇÕES DO ESTUDO	36
4. DETALHES SOBRE AS VARIÁVEIS CONTROLADAS DURANTE OS EXPERIMENTOS E POSSÍVEIS INTERFERÊNCIAS EXTERNAS.....	38
5. ANÁLISE MAIS APROFUNDADA SOBRE OS CUSTOS E BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DA APLICAÇÃO EM LARGA ESCALA.....	41
CAPÍTULO 3 - CONCLUSÃO.....	44
CAPÍTULO 4 - BIOSABÃO COM MICRORGANISMOS EFICIENTES PARA DIMINUIR O IMPACTO NOS CORPOS HÍDRICOS.....	53
CAPÍTULO 5 – CASE REPORT: AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E ACEITAÇÃO DO BIOSABÃO EM DIFERENTES APLICAÇÕES DOMÉSTICAS.....	54
CAPÍTULO 6 - ABORDAGENS PARA MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EM BACIAS DE AMORTECIMENTO UTILIZADAS COMO LAGOS ORNAMENTAIS: UM ESTUDO DE CASO EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL URBANO	55
2 CONCLUSÃO SOBRE OS ARTIGOS.	56
3 REFERÊNCIAS	58
4 APÊNDICES	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Criado do banco de dados do projeto. Fonte: Ramos, C., 2024.	15
Figura 2 – Criado do banco de dados do projeto. e levantamentos de campo em Maricá. Fonte: Ramos, C., 2021.	16
Figura 3 – ilustra a atual situação do saneamento. Fonte: adaptado do SNIS, 2024.	17
Figura 4 - ilustra o processo do conceito de Revitalização Natural Monitorada (RNM), 2024.	20
Figura 5 – Carta gráfica dos pontos de Batimetria. Fonte: Silvestre. et al 2017.	21
Figura 6 – Criado do banco de dados do projeto, Ramos, C., 2022.	23
Figura 7 - Formas de inoculação dos Microrganismos; (a) Preparação do Bioinsumo líquido, (b) e (c) pico de crescimento, (d) contagem das unidades de colônias.	25
Figura 8 - Formas de inoculação dos Microrganismos; (a) e (b)Preparação dos Biotijolos, (c) Extrusora de tijolos, (d) pedaços de 1Kg, (d) bolinhas manuais de 200g e (f).	26
Figura 9 - Aplicação do Protocolo RNM; (a) e (c) líquido, (b) e (d) sólido (Biotijolos). Fonte: App Dall-E, 2024.	27
Figura 10 – Criado do banco de dados do projeto, Ramos, C., 2021.	29
Figura 11 - Evolução das concentrações de Carbono Orgânico Total no sedimento ao longo do processo de revitalização. Fonte: Banco de dados do projeto, Amorim R., 2024.	31
Figura 12 - Evolução das concentrações de Nitrogênio Total no sedimento ao longo do processo de revitalização. Fonte: Banco de dados do projeto, Amorim R., 2024.	31
Figura 13 - Evolução das concentrações de Fósforo Total no sedimento ao longo do processo de revitalização. Fonte: Banco de dados do projeto, Amorim R., 2024.	32
Figura 14 - Evolução das concentrações de oxigênio na água ao longo do processo de revitalização.	33
Figura 15 - Evolução das concentrações de fósforo na água ao longo do processo de revitalização.	34
Figura 16 - Evolução das concentrações de N amoniacal na água ao longo do processo de revitalização.	34
Figura 17 - Evolução das concentrações de nitrogênio na água ao longo do processo de revitalização.	35
Figura 18 - Evolução das concentrações de COT na água ao longo do processo de revitalização.	35
Figura 19 – Circulação Hidrodinâmica no Sistema Lagunar de Maricá em 02/01/2023, h:00:00 - 2764800. BARROS, W - SisBaHiA – UFRJ, 2023.	47
Figura 20 – Dispersão do Bioinsumo no Sistema Lagunar de Maricá. BARROS, W - SisBaHiA – UFRJ, 2023.	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo das informações da revisão da literatura.	11
Quadro 2 - Resumo.	13
Quadro 3 – Dosagem inicial aplicada em cada ponto.	28
Quadro 4 – Dados para o Modelo Lagrangeano no SisBaHiA – 2023.	48
Quadro 5 – Histórico dos quantitativos aplicado no Projeto.	78

1 INTRODUÇÃO

2

3 O litoral do estado do Rio de Janeiro é uma região de grande relevância ecológica, econômica
4 e social abrigando uma rica diversidade de ecossistemas, incluindo praias, manguezais e recifes
5 de coral. Estes ambientes sustentam uma ampla variedade de espécies e são cruciais para
6 atividades econômicas como a pesca e o turismo. No entanto, a crescente urbanização e a falta
7 de infraestrutura adequada para o tratamento de esgoto têm levado a um aumento significativo
8 da poluição costeira. Essa poluição resulta em graves impactos ambientais, ameaçando a saúde
9 dos ecossistemas e das comunidades humanas que dependem desses recursos (SILVA et al
10 2010).

11 O esgoto não tratado, quando lançado diretamente nas águas costeiras, introduz uma série de
12 contaminantes, incluindo nutrientes como nitrogênio e fósforo, metais pesados e patógenos.
13 Esses poluentes podem desencadear processos de eutrofização, que levam ao crescimento
14 excessivo de algas, reduzindo os níveis de oxigênio na água e causando a morte de peixes e
15 outros organismos aquáticos (SILVA et al, 2010). Além disso, a presença de patógenos no
16 esgoto não tratado está associada ao aumento de várias doenças de veiculação hídricas,
17 impactando negativamente a saúde pública (FERREIRA et al 2012).

18 A biodiversidade marinha é particularmente vulnerável à poluição por esgoto não tratado.
19 Espécies de peixes, moluscos e corais sofrem com a degradação de seus habitats, o que pode
20 levar à mortalidade em massa e a alterações na composição das comunidades biológicas
21 (OLIVEIRA et al 2015). A perda de biodiversidade não só afeta os ecossistemas marinhos, mas
22 também tem consequências econômicas significativas para as comunidades costeiras que
23 dependem da pesca e do turismo. A qualidade das praias e das águas recreativas é diretamente
24 prejudicada, diminuindo a atratividade turística e, conseqüentemente, a renda gerada por essa
25 atividade (SANTOS et al 2017).

26 Para mitigar esses impactos, é essencial implementar tecnologias eficazes de tratamento de
27 esgoto e desenvolver políticas públicas rigorosas. Sistemas de tratamento biológico e físico-
28 químico podem reduzir significativamente a carga de poluentes, enquanto leis mais rigorosas e
29 uma fiscalização adequada garantem a proteção dos ecossistemas costeiros (PEREIRA et al
30 2020). Além disso, a educação ambiental e a conscientização pública são fundamentais para
31 promover práticas sustentáveis e incentivar a participação comunitária na conservação do meio
32 ambiente (COSTA et al 2016).

33 A poluição causada pelo esgoto não tratado no litoral do Rio de Janeiro representa um desafio
34 multifacetado que requer uma abordagem integrada e holística. Estratégias de mitigação
35 eficazes devem combinar avanços tecnológicos, políticas públicas robustas e iniciativas de
36 educação ambiental. Somente através de esforços coordenados será possível proteger esses
37 importantes ecossistemas costeiros e garantir a sustentabilidade ambiental e econômica da
38 região (ALMEIDA et al 2021).

39 Em Maricá, a situação é semelhante ao restante do estado, devido à infraestrutura insuficiente
40 de saneamento e à poluição resultante de atividades humanas. A qualidade das águas recreativas
41 é diretamente prejudicada, diminuindo a atratividade turística e, conseqüentemente, a renda
42 gerada por essa atividade. A biorremediação, uma técnica inovadora que utiliza microrganismos
43 para degradar contaminantes, oferece uma solução sustentável e eficiente para melhorar a
44 qualidade da água. Este estudo visa demonstrar a eficácia da biorremediação em condições
45 específicas e preencher lacunas na literatura, fornecendo dados empíricos sobre a aplicação de
46 Biotijolos e bioinsumos líquidos em corpos hídricos com características de água doce a salobra
47 (MA et al, 2022; CULLIS et al, 2019; LIYANAGE et al, 2017).

48 Esta tese foi organizada em capítulos que apresentam o contexto geral da pesquisa, destacando
49 a importância da restauração do equilíbrio ambiental diante das intervenções humanas. Foram
50 discutidos diferentes métodos de restauração ambiental com foco na biorremediação
51 microbiológica. A justificativa para o estudo destaca a relevância de avaliar protocolos de
52 biorremediação em corpos hídricos lagunares com características salobras.

53 O estudo enfatizou os fundamentos teóricos relacionados aos sistemas lagunares, com ênfase
54 na geomorfologia costeira e nos processos morfogenéticos atuantes. Além disso, foram
55 discutidas as características específicas do corpo hídrico em estudo, como a região de Maricá.
56 Também foram exploradas as dinâmicas sedimentares e as vulnerabilidades ambientais
57 associadas.

58 Os sedimentos desempenham um papel crucial no destino dos xenobióticos em ambientes
59 aquáticos, refletindo a carga de contaminantes no sistema e funcionando como indicadores da
60 presença de substâncias que não permanecem solúveis após serem liberadas nas águas
61 superficiais. De acordo com a literatura, os sedimentos são essenciais na avaliação do nível de
62 contaminação dos ecossistemas aquáticos, pois possuem a capacidade de acumular metais e
63 outros poluentes, além de servirem como transportadores e possíveis fontes de contaminação
64 (LIMA et al 2001; JESUS et al 2004). Dessa forma, compreender a dinâmica dos sedimentos e
65 sua relação com os contaminantes é fundamental para o desenvolvimento de estratégias
66 eficientes de recuperação ambiental.

67 Nesse contexto, este estudo buscou não só entender os processos de contaminação e a eficácia
68 das técnicas de biorremediação, mas também fornece uma base científica sólida para futuras
69 intervenções em ecossistemas aquáticos urbanos. A partir da análise dos sedimentos e sua
70 interação com poluentes, espera-se não apenas aprimorar a compreensão dos impactos
71 ambientais, mas também contribuir para a melhoria da qualidade da água e a sustentabilidade
72 ambiental em corpos hídricos urbanos.

73

74 **OBJETIVOS**

75

76 O objetivo geral da pesquisa foi avaliar os melhores protocolos de biorremediação em corpos
77 hídricos com características de água doce a salobra, em conformidade com as normativas
78 ambientais (CONAMA 357/05). Os objetivos específicos delineiam as etapas e metas da
79 pesquisa.

80

81 **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

82

- 83 a) Identificar e utilizar bioinsumos líquidos e Biotijolos como agentes de revitalização.
- 84 b) Monitorar poluentes críticos, como: pH, Oxigênio Dissolvido - OD, Carbono Orgânico
85 Total - COT, Nitrogênio Total - N, Fósforo Total - P e amônia.
- 86 c) Incrementar a biodiversidade aquática e promover a resiliência ambiental.

87

88 **JUSTIFICATIVA DO ESTUDO**

89

90 A preservação do meio ambiente é fundamental para garantir a saúde dos ecossistemas e o bem-
91 estar das comunidades que dependem desses recursos naturais (COSTA et al 2016). A qualidade
92 da água em corpos hídricos urbanos é um desafio global agravado pelo crescimento
93 populacional e pela urbanização desenfreada (SILVA et al 2010). Em Maricá, a situação é
94 crítica devido à infraestrutura insuficiente de saneamento e à poluição resultante de atividades
95 humanas (FERREIRA et al 2012). A biorremediação, uma técnica inovadora, que utiliza
96 microrganismos para degradar contaminantes, oferece uma solução sustentável e eficiente para
97 melhorar a qualidade da água (LIYANAGE et al, 2017). Este estudo visa demonstrar a eficácia
98 da biorremediação em condições específicas e preencher lacunas na literatura, fornecendo

99 dados empíricos sobre a aplicação de Biotijolos e bioinsumos líquidos em corpos hídricos com
100 características de água doce a salobra (MA et al, 2022; CULLIS et al, 2019).

101

102 **1 REVISÃO DA LITERATURA**

103

104 A biorremediação microbiológica é uma abordagem sustentável que utiliza microrganismos
105 para degradar substâncias tóxicas em compostos menos prejudiciais, promovendo a reciclagem
106 de nutrientes e a melhoria da qualidade ambiental. Esta revisão explora os fundamentos teóricos
107 e práticos da biorremediação, destacando sua eficiência em diversos contextos, como
108 manguezais, águas residuais e solos contaminados. Além disso, aborda a geomorfologia
109 costeira de Maricá e a cobertura de saneamento na bacia hidrográfica, analisando os desafios e
110 oportunidades para a gestão sustentável dos recursos naturais. Através de uma análise de custo-
111 benefício, busca-se contribuir para o desenvolvimento de estratégias eficazes de conservação e
112 restauração, promovendo a sustentabilidade e a qualidade de vida das comunidades locais.

113 **1.1 BIORREMEDIAÇÃO MICROBIOLÓGICA: EFICIÊNCIA E** 114 **APLICAÇÕES NA RESTAURAÇÃO AMBIENTAL**

115

116 A biorremediação é um processo sustentável que emprega microrganismos, microalgas e
117 plantas para degradar ou transformar substâncias tóxicas em compostos menos prejudiciais.
118 Essa abordagem tem sido aplicada na recuperação de ecossistemas impactados, promovendo a
119 reciclagem de nutrientes e a restauração da qualidade ambiental em diferentes contextos, como
120 manguezais, águas residuais, solos contaminados e microplásticos.

121

122 **Princípios e Mecanismos da Biorremediação**

123 Os microrganismos envolvidos na biorremediação atuam como biocatalisadores, promovendo
124 reações metabólicas que degradam substâncias poluentes. As principais enzimas associadas a
125 esse processo incluem oxidoredutases, hidrolases e liases, que desempenham funções essenciais
126 na transformação de compostos orgânicos e inorgânicos (SALEEN et al., 2021; GAYLARDE
127 et al., 2005).

128 A biorremediação pode ocorrer in situ, quando a descontaminação ocorre diretamente no local
129 afetado, ou ex situ, quando o solo ou a água contaminada são transportados para tratamento em

130 instalações especializadas, permitindo maior controle das variáveis do processo (ABATENH et
131 al., 2017; SALEEN et al., 2021).

132

133 **Eficiência da Biorremediação em Diferentes Ambientes**

134 A eficácia da biorremediação microbiológica depende da composição dos poluentes, das
135 condições ambientais e da adaptação dos microrganismos ao meio. Estudos demonstram sua
136 aplicação bem sucedida em diferentes cenários:

137 **Manguezais e Sedimentos Contaminados**

138 Manguezais são ecossistemas essenciais para a biodiversidade, mas frequentemente são
139 impactados por contaminação. Holguín et al. (2001) descobriram que a inoculação de
140 microrganismos específicos em sedimentos contaminados aumentou a atividade biológica e
141 favoreceu a degradação da matéria orgânica, contribuindo para a recuperação desses
142 ecossistemas.

143 **Rios, Canais e lagoas**

144 Um estudo realizado no Canal da Lagoa da Taxas, na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, conduziu
145 uma análise da eficácia da biorremediação no tratamento de um braço do canal, com vistas à
146 sua expansão para toda a Lagoa. Os resultados indicaram reduções significativas em diversos
147 parâmetros de qualidade da água: os coliformes termotolerantes caíram de 1.800.000
148 NMP/100mL para níveis muito inferiores, como 1.300.000 NMP/100mL (Escola de
149 Química/UFRJ, 2011). Além disso, parâmetros físico-químicos, como a Demanda Bioquímica
150 de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO), apresentaram reduções de
151 26,2% e 58,3%, respectivamente, enquanto os teores de fósforo solúvel e nitrogênio total
152 diminuíram consideravelmente, atingindo níveis que mitigam o risco de eutrofização
153 (CAMMAROTA, 2011).

154 Em um experimento de biorremediação realizado na Lagoa da Jansen, em São Luís, Maranhão,
155 conduzido pela UFMA (2011), análises físico-químicas, bioquímicas e microbiológicas
156 demonstraram melhorias significativas na qualidade da água, incluindo aumento do oxigênio
157 dissolvido de 1,8 mg/L para 7,5 mg/L, redução de nutrientes como nitrogênio amoniacal total
158 e fósforo total em mais de 50%, além de quedas expressivas nos coliformes termotolerantes de
159 24.000 NMP/100mL para 92 NMP/100mL; também foram observadas reduções na Demanda
160 Bioquímica de Oxigênio (DBO) e na Demanda Química de Oxigênio (DQO) em 30% e 60%,
161 respectivamente, destacando a eficácia da biorremediação no córrego sul da lagoa. (UFMA,
162 2011)

163 Em um estudo conduzido na Estação de Tratamento de Águas Fluviais (ETAF) da Pampulha,
164 em Belo Horizonte, entre outubro de 2010 e janeiro de 2011, foi avaliada a aplicação da
165 biorremediação nos córregos Ressaca e Sarandi, responsáveis por significativa poluição da
166 represa da Pampulha. O estudo apresentou eficácia na eliminação de odores, perceptível já no
167 quarto dia de uso, além de melhorias visuais e biológicas, como a redução de turbidez, maior
168 transparência da água e a presença de alevinos, indicadores de equilíbrio ecológico. Embora o
169 período de avaliação tenha limitado mudanças mensuráveis nos parâmetros operacionais, como
170 DBO e DQO, os resultados mostraram níveis de fósforo e DBO compatíveis com os padrões da
171 Classe III do CONAMA. Ademais, a redução no uso de cloreto férrico (33%) e polieletrólitos
172 (29%) promoveu economia sem comprometer a eficiência, destacando o potencial da
173 biorremediação como alternativa sustentável para o tratamento de águas residuais em áreas
174 urbanas (COPASA, 2011).

175 **Tratamento de Águas Residuais**

176 Em sistemas de tratamento de águas residuais, a combinação de técnicas biológicas e físicas
177 tem se mostrado promissora. No Irã, Aghalari et al. (2020) implementaram um sistema que
178 integra lodo ativado e radiação ultravioleta para a remoção de contaminantes microbianos,
179 atingindo elevada eficiência no processo de purificação. De maneira similar, estudos realizados
180 na Malásia (LANANAN et al., 2014) evidenciam que a simbiose entre microalgas – como
181 *Chlorella sp.* – e microrganismos eficazes reduziu significativamente os níveis de fósforo e
182 amônia, contribuindo para a melhoria da qualidade da água e prevenindo a eutrofização.

183 No estudo realizado na Unidade de Tratamento de Efluentes (USJE) de Jequié, Bahia, composta
184 por lagoas aeradas e de maturação, a biorremediação foi implementada para solucionar
185 problemas críticos como o acúmulo excessivo de lodo sedimentado, proliferação de algas,
186 desequilíbrio biológico e geração de maus odores, que comprometiam a eficiência do sistema e
187 resultavam em efluentes ricos em fósforo e nitrogênio, favorecendo a eutrofização. A aplicação
188 incluiu tratamentos de choque com microrganismos eficazes bioaumentados e bolinhas de
189 argila enriquecidas com microrganismos eficazes, o que reduziu significativamente o lodo
190 sedimentado, estabilizou biologicamente as lagoas com menor presença de algas,
191 homogeneizou a coloração da água e eliminou odores perceptíveis já na segunda semana, além
192 de melhorar a eficiência do sistema, com remoções médias de 91% de Demanda Bioquímica de
193 Oxigênio (DBO) e 81% de sólidos suspensos ao longo de sete meses.

194

195

196

197 **Solos Salino-Alcalinos e a Agricultura Sustentável**

198 Solos salino-alcálinos são um desafio para a produtividade agrícola. Cui et al. (2021)
199 observaram que a aplicação de biochar¹ combinada com microrganismos eficazes melhorou a
200 estrutura do solo, reduzindo a salinidade e aumentou a disponibilidade de nutrientes,
201 promovendo maior produtividade e sustentabilidade ambiental.

202 **Remediação de Microplásticos**

203 Diante do crescente desafio dos microplásticos, novas abordagens de biorremediação têm sido
204 investigadas. Rani et al (2024) destacam que determinadas cepas bacterianas, enriquecidas com
205 enzimas como lipases e cutinases, demonstram capacidade de degradar microplásticos de forma
206 contínua. Essa descoberta, somada a avanços em pesquisas conduzidas com microrganismos
207 específicos – como o estudo pioneiro envolvendo *Ideonella sakaiensis* para a degradação do
208 PET – aponta para novas fronteiras na mitigação de poluentes emergentes.

209 **1.2 ABORDAGENS TECNOLÓGICAS E ESTRATÉGIAS DE** 210 **APRIMORAMENTO**

211 **Imobilização de Microrganismos**

212 A imobilização de microrganismos em matrizes sólidas aumenta a estabilidade da
213 biorremediação. Lee (2010) demonstrou que o uso de álcool polivinílico (PVA) favorece a
214 remoção de nitrogênio e carbono em estações de tratamento de efluentes. Além disso, Paweł et
215 al. (2021) estudaram a aplicação de esferas de Bokashi, evidenciando melhorias significativas
216 na qualidade da água em lagos e reservatórios.

217 **Monitoramento Remoto e Sensoriamento Ambiental**

218 Mazur et al. (2024) exploraram o uso de técnicas de sensoriamento remoto para monitorar, em
219 tempo real, a qualidade da água em reservatórios submetidos a processos de biorremediação.
220 Esse avanço permite otimizar as estratégias de remediação e melhorar a eficiência dos processos
221 de recuperação ambiental.

222 **Bioaugmentação:**

223 Trata-se da inoculação de cepas microbianas específicas para acelerar a degradação de
224 contaminantes, especialmente em solos contaminados por hidrocarbonetos. Estudos revisados

¹ O biochar é um material rico em carbono, obtido a partir da pirólise de biomassa vegetal ou animal em altas temperaturas e baixa presença de oxigênio.(GONÇALVES, 2019)

225 por Das et al (2011) apontam que, quando implementada de forma estratégica, essa abordagem
226 pode aumentar as taxas de degradação em mais de 90%.

227 **Bioestimulação:**

228 Consiste na adição de nutrientes ou na alteração de condições ambientais com o objetivo de
229 estimular o crescimento e a atividade dos microrganismos nativos. Essa abordagem acelera a
230 degradação de compostos orgânicos persistentes e tem mostrado eficiência em diversos
231 contextos, maximizando os resultados alcançados pela biorremediação. (DAS et al., 2011)

232 A seguir um Quadro 1 com resumo das informações da revisão da literatura, destacando os
233 locais de aplicação da biorremediação e os respectivos resultados:

Quadro 1 - Resumo das informações da revisão da literatura.

AUTOR	ANO	METODOLOGIA DE BIORREMEDIAÇÃO	LOCAL DE APLICAÇÃO	RESULTADOS DA BIORREMEDIAÇÃO
Holguín, Gina et al.	2001	Uso de microrganismos em sedimentos para produtividade e recuperação de manguezais	Manguezais, México	Aumento da atividade biológica e degradação da matéria orgânica
Aghalari, Zahra et al.	2020	Sistemas de tratamento com lodo ativado e radiação UV	Irã	Alta eficiência na remoção de contaminantes microbianos
Cui, Qian et al.	2021	Uso de biochar e microrganismos eficazes (EM) na melhoria do solo e plantas	Solos costeiros salino-alcálicos, China	Melhoria da estrutura do solo, redução da salinidade e aumento da produtividade agrícola
Lananan, Fathurrahman et al.	2014	Biorremediação simbiótica com EM-1 e microalgas	Terengganu, Malásia	Redução de fósforo e amônia na água
Rani, Ritu et al.	2024	Uso de microrganismos para degradação de microplásticos	Haryana, Índia	Fragmentação e mineralização sustentável de microplásticos
Lee, Jintae	2010	EM imobilizados em hidrogel de PVA para remoção de nitrogênio e carbono	Águas residuais	Remoção eficiente de nitrogênio e carbono
Pawel, Tomczyk et al.	2021	Aplicação de EM com esferas de Bokashi	Turawa, Polônia	Melhorias significativas na qualidade da água
Robert, Mazur et al.	2024	EM combinados com sensoriamento remoto para gestão de lagos	Cracóvia, Polônia	Monitoramento em tempo real da qualidade da água
Nwankwo, Wilson et al.	2021	Aplicação de enzimas microbianas em ambientes poluídos	Cingapura	Aceleração da degradação de contaminantes orgânicos
Olaniyan, Olugbemi Tope et al.	2021	Interação entre microrganismos benéficos e plantas para melhorar a aquisição de nutrientes	Nigéria	Aumento da fertilidade do solo e crescimento vegetal
Canal da Lagoa da Taxas, UFRJ	2011	Bioaumentação e bioestimulação com microrganismos	Barra da Tijuca, RJ	Redução de coliformes de 1.800.000 para 1.300.000 NMP/100mL, redução de DBO e DQO em 26,2% e 58,3%

Lagoa da Jansen, UFMA	2011	Aplicação de microrganismos eficazes	São Luís, MA	Aumento do oxigênio dissolvido de 1,8 mg/L para 7,5 mg/L, redução de nutrientes e coliformes em mais de 50%
ETAF Pampulha, COPASA	2011	Tratamento biológico de águas fluviais	Belo Horizonte, MG	Eliminação de odores, redução de turbidez e aumento da transparência da água
USJE, COPASA	2011	Aplicação de microrganismos eficazes bioaumentados	Jequié, BA	Remoção de 91% de DBO e 81% de sólidos suspensos, estabilização biológica

Fonte: Autor, 2025.

234 **1.3 GEOMORFOLOGIA COSTEIRA DE MARICÁ: UMA ANÁLISE** 235 **DETALHADA**

236 O município de Maricá (RJ) está situado na Região Hidrográfica V (RH-V), conhecida como
237 “Bacia da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá”, que abrange
238 parte da Baía de Guanabara ao lado de sistemas lagunares costeiros.

239 Além disso, em nível de bacias menores/sub-bacias dentro desse sistema, o município de
240 Maricá corresponde quase integralmente à bacia dos sistemas lagunares, com três principais
241 sub-bacias hidrográficas:

- 242 a) Bacia do Rio Vigário;
- 243 b) Bacia do Rio Ubatiba (também conhecido como Rio Mombuca em trecho final);
- 244 c) Bacia do Rio Caranguejo.

245 Segundo o Plano Municipal de Maricá, essa bacia hidrográfica cobre cerca de 330 km² a
246 350 km², praticamente toda dentro do território municipal, e é de relevância fundamental para
247 o abastecimento e drenagem locais. Sob a gestão do CBH-BG e com destaque para o Subcomitê
248 do Sistema Lagunar Maricá-Guarapina. O território abriga importantes bacias hidrográficas e
249 um extenso sistema lagunar salobro, representando cerca de 36% de sua área. As principais
250 bacias são dos rios Bambu, Ubatiba, Mombuca, Doce e Caranguejo, com drenagem interna ao
251 município. O uso do solo e a intensa urbanização impactam diretamente os corpos hídricos.
252 Esse cenário favorece a análise da dinâmica entre poluição e recuperação ambiental. Isso a torna
253 um local apropriado para pesquisar sobre a eficácia das técnicas de Biorremediação. (IBGE, 2022;
254 AGEVAP 2023)

255

256

257

Quadro 2 - Resumo

Nível HidroFigura	Nome
Região Hidrográfica Estadual	RH-V – Baía de Guanabara e Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá
Principal bacia local	Sistema Lagunar de Maricá, englobando praticamente todo o município
Sub-bacias principais	Rio Vigário, Rio Ubatiba (Mombuca), Rio Caranguejo

Fonte: Autores

258 A geomorfologia da região de Maricá representa uma complexa interação entre processos
 259 geológicos, climáticos e oceanoFiguras, que modelam uma paisagem costeira diversificada e
 260 esteticamente rica. As barreiras de areia que definem a área circundante criam uma planície
 261 costeira distinta, marcada por uma topografia suave e ondulante, que se estende até encontrar
 262 as margens de várias lagoas, que alternam entre estados alagados e quase secos (SILVESTRE
 263 et al, 2017).

264 Conforme os relatórios de pesquisa desenvolvidos durante o projeto, estas lagoas são
 265 fundamentais para a manutenção do equilíbrio ecológico local funcionando como reservatórios
 266 naturais de água doce a salobra, fornecendo habitats essenciais para uma gama diversificada de
 267 aves, peixes e vegetação costeira(LEÃO GIL, 2021).

268 Ao consultar a literatura observou-se um aspecto notável da geomorfologia de Maricá, que foi
 269 a presença de dunas preservadas dentro da barreira do Holoceno (COSTA, S.;
 270 HACKSPACHER, C., 2022). Sendo estas estruturas, que podem atingir até 12 metros de altura,
 271 uma evidência da constante ação do vento e do movimento de sedimentos ao longo da costa.
 272 Elas não apenas conferem características únicas à paisagem, mas como também são cruciais
 273 para a proteção contra a erosão costeira, desempenhando um papel significativo na preservação
 274 da estabilidade do litoral (VARGAS, 2017).

275 A dinâmica sedimentar que ocorre ao longo das praias da região é influenciada por uma série
 276 de fatores ambientais, incluindo a ação de ondas, marés e correntes costeiras. Este conjunto de
 277 processos resulta em constantes mudanças na configuração da praia e na distribuição dos
 278 sedimentos, caracterizando uma paisagem que está em permanente transformação
 279 (CARVALHO DA SILVA et al, 2014).

280 Adicionalmente, a posição geográfica de Maricá e sua interação com o oceano Atlântico tornam
 281 a área suscetível a eventos extremos, como tempestades e ressacas, que podem provocar
 282 significativas alterações na erosão costeira e na morfologia da praia. Esses fenômenos naturais,
 283 aliados às atividades humanas, contribuem para a complexidade geomorfológica da região
 284 (VARGAS, 2017).

285 Em síntese, a geomorfologia de Maricá é um fascinante estudo de caso da interação entre a
286 natureza e as influências antrópicas, resultando numa paisagem costeira que é ao mesmo tempo
287 dinâmica e vulnerável. O entendimento desses processos é vital para o desenvolvimento de
288 estratégias eficazes de conservação e gestão sustentável da região, com o objetivo de proteger
289 seus valiosos recursos naturais e assegurar a conservação de sua beleza natural para as futuras
290 gerações(DA SILVA, et al, 2014).

291 Conforme os estudos realizados in situ e na literatura, a Lagoa de Maricá, também conhecida
292 como Lagoa de São José, revelou ser um complexo e vital ecossistema costeiro dentro do
293 contexto geoFigura do leste do Estado do Rio de Janeiro, situado aproximadamente a 50 km da
294 metrópole. Esta notável lagoa costeira se estende por uma área considerável, com dimensões
295 aproximadas de 6,3 km de comprimento e 4,5 km de largura no seu ponto mais largo, cobrindo
296 um total de cerca de 19 km². Seu formato único, assemelhando-se a um prato com as bordas
297 rasas e fundo suave, é um reflexo direto de um longo processo de formação geológica, moldado
298 ao longo de milhares de anos, que conferiu à lagoa suas características distintas e seu relevante
299 papel ecológico e geomorfológico (OLIVEIRA et al, 1955; SEMADS, 2001).

300 A Lagoa de Maricá é a maior e mais interna dentre as várias lagoas que compõem o sistema
301 lagunar Maricá-Guarapina (Figura 1), um conjunto complexo que desempenha um papel crucial
302 na regulação do ciclo hidrológico da região. Este sistema interconectado, composto pela própria
303 Lagoa de Maricá e outras lagoas adjacentes, se estende por uma área total de aproximadamente
304 37 km², Figura 1. De acordo com a literatura, um aspecto central desse sistema é o canal de
305 Ponta Negra, uma estrutura hidráulica criada em 1951 como parte de esforços de saneamento.
306 Esse canal não apenas serve como uma conexão vital com o Oceano Atlântico, mas também
307 regula de forma significativa os níveis de água em todas as lagoas do sistema, impactando
308 diretamente o equilíbrio ecológico da área (BEATRIZ et al, 2017)

309

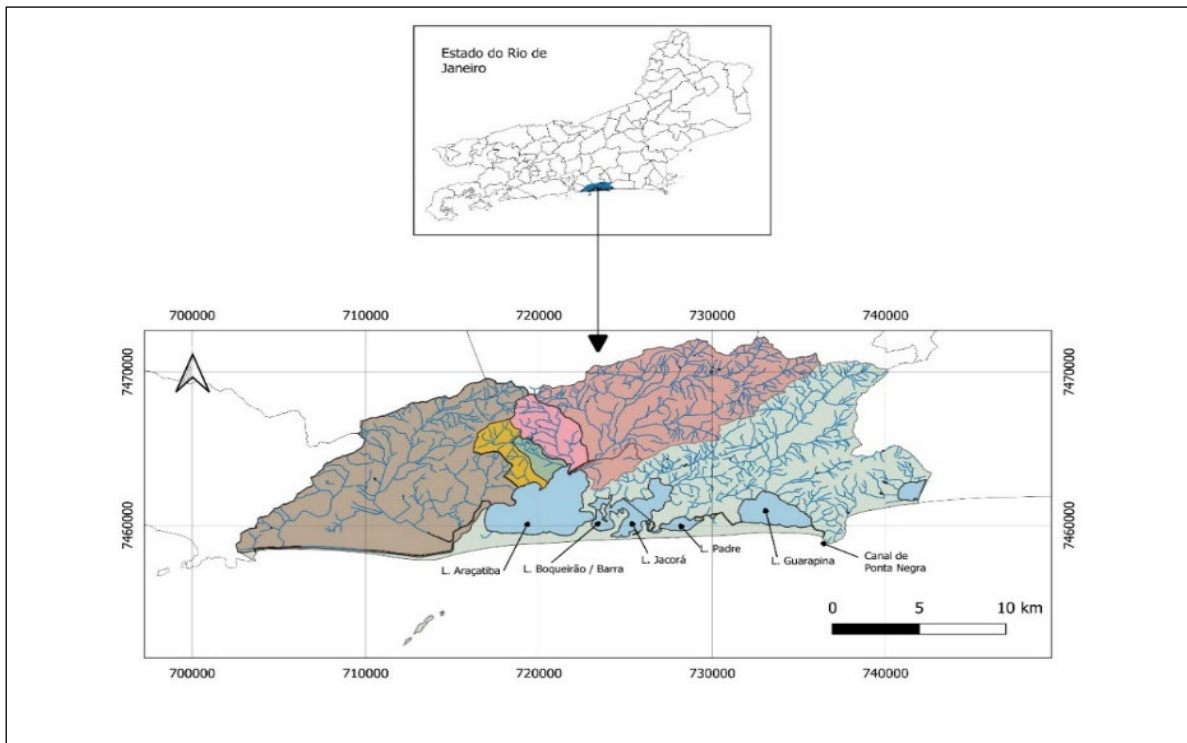


Figura 1 – Criado do banco de dados do projeto. Fonte: Ramos, C., 2024.

310

311 A salinidade na Lagoa de Maricá apresenta variações notáveis, oscilando entre 0 e 18 ‰. Essas
312 flutuações são influenciadas pelas condições climáticas e pelo estado do canal de Ponta Negra
313 (KJERFVE e KNOPPERS, 1999; LACERDA e GONÇALVES, 2001; GUERRA et al, 2011).
314 As mudanças na salinidade afetam diretamente a ecologia da lagoa, alterando a composição e
315 distribuição das comunidades de espécies aquáticas que habitam suas águas (GUERRA et al,
316 2011; KJERFVE e KNOPPERS, 1999).

317 No contexto da dinâmica costeira, a área ao redor de Maricá é predominantemente afetada por
318 ondas originárias do quadrante sudeste. Durante episódios de tempestades, as ondas podem
319 alcançar alturas significativas, impactando a interação entre o oceano e a lagoa. A existência de
320 uma barreira natural ao longo da costa serve como uma linha de defesa contra a erosão costeira,
321 mas eventos extremos, como tempestades severas, podem levar à superação dessa barreira,
322 resultando na transferência de sedimentos para a lagoa e alterando sua morfologia e ecologia
323 (PEREIRA e MELLO, 2011).

324 As margens da Lagoa de Maricá exibem um mosaico de usos e ocupações, variando desde áreas
325 bem preservadas nas zonas sul e oeste, delimitadas pela Área de Proteção Ambiental de Maricá,
326 até regiões mais urbanizadas ao norte e leste. Essas últimas áreas abrigam uma combinação de
327 residências de alto padrão e comunidades pesqueiras tradicionais. No entanto, o crescimento
328 desordenado e a ocupação irregular das áreas marginais têm gerado uma série de impactos
329 negativos no ambiente, incluindo a poluição da água por esgoto e resíduos, colocando em risco

330 tanto os ecossistemas locais quanto a qualidade de vida das populações humanas (DA SILVA
331 et al 2021; BARBIÈRE et al 1985).

332

333 1.4 ANÁLISE DA COBERTURA DE SANEAMENTO NA BACIA DE 334 MARICÁ

335

336 Em uma análise abrangente verificou-se que os maiores desafios enfrentados pela Lagoa de
337 Maricá é a situação do saneamento básico, destacando tanto os desafios enfrentados quanto os
338 progressos realizados na região. Maricá, um município do estado do Rio de Janeiro, com uma
339 população, predominantemente urbana, de 197.277 residentes (IBGE,2022), apresenta
340 dificuldades significativas em sua infraestrutura de saneamento. As redes de abastecimento de
341 água e esgotamento sanitário estão incompletas ou não foram construídas, afetando diretamente
342 a qualidade da água da Lagoa e de vida dos residentes, Figura 2 (SILVA et al, 2021; BEATRIZ
343 et al, 2017).

344

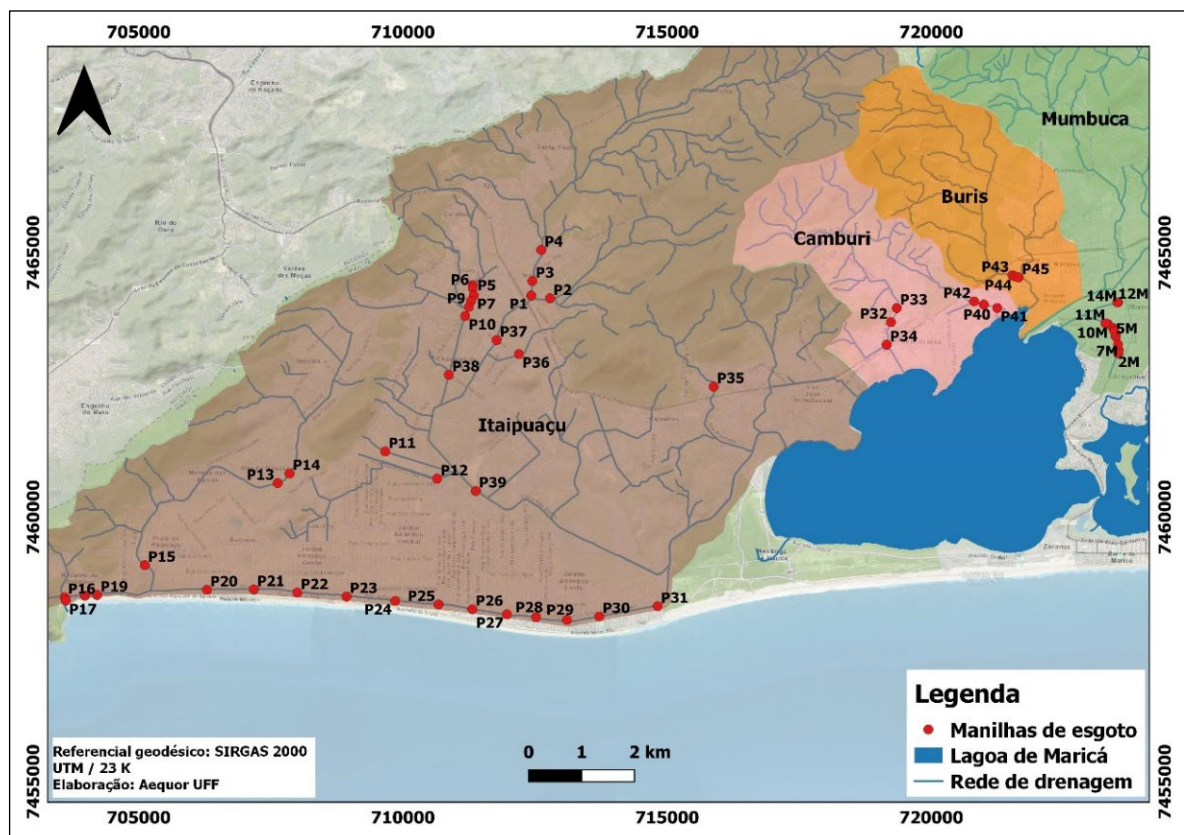


Figura 2 – Criado do banco de dados do projeto, e levantamentos de campo em Maricá. Fonte: Ramos, C., 2021.

345

346 Embora haja uma extensa rede de distribuição de água, muitas comunidades, especialmente as
347 localizadas em áreas remotas, ainda enfrentam problemas de acesso à água potável de
348 qualidade, com aproximadamente 63,25% da população sem acesso regular a água tratada e
349 segura. No que diz respeito ao esgotamento sanitário, embora tenha havido melhorias graduais
350 na cobertura de coleta e tratamento de esgoto, a grande maioria dos domicílios ainda não está
351 adequadamente conectada a sistemas de esgoto, estimando-se que cerca de 95,67% não tenham
352 acesso adequado a esses serviços, Figura 3 (SNIS, 2021; TOLEDO, 2021).

353

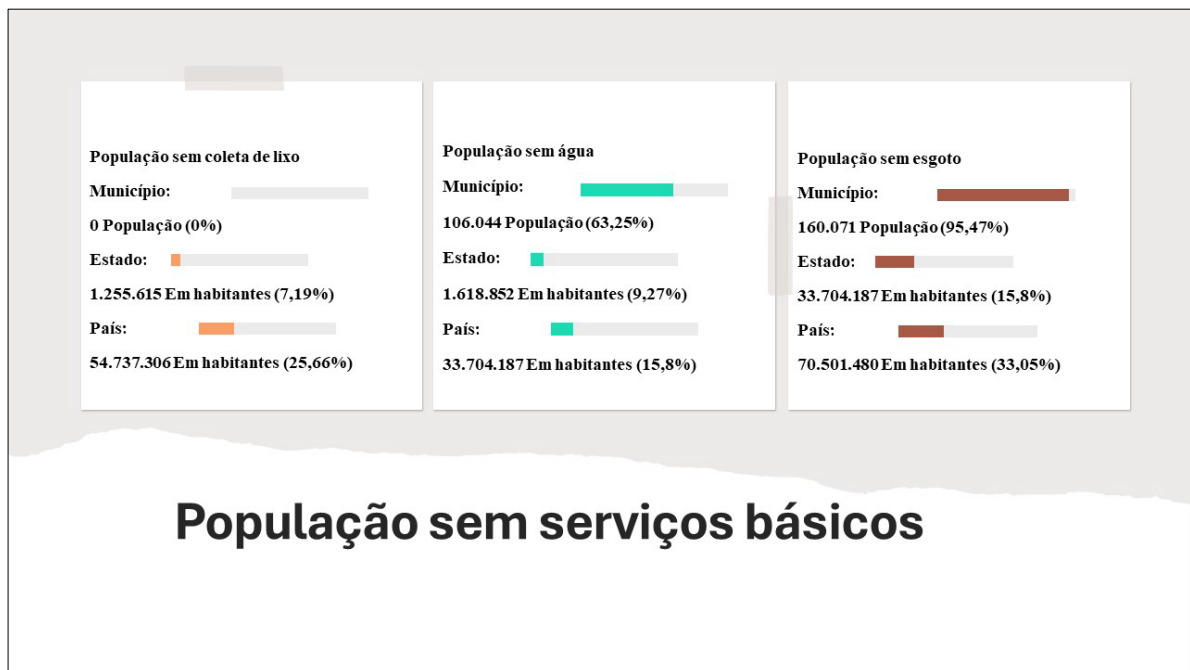


Figura 3 – ilustra a atual situação do saneamento. Fonte: adaptado do SNIS, 2024.

354

355 Ao observar o relatório, de campo do projeto, a gestão de resíduos sólidos também é uma
356 preocupação grande, com esforços crescentes para implementar políticas de coleta seletiva,
357 reciclagem e disposição adequada de resíduos. No entanto, persistem desafios relacionados à
358 conscientização da população e à infraestrutura necessária para o manejo eficiente dos resíduos
359 (SNIS, 2021; TOLEDO, 2021).

360 Apesar desses desafios, há iniciativas em andamento para melhorar a infraestrutura de
361 saneamento na Bacia de Maricá, segundo os relatórios de campo do projeto, incluindo
362 investimentos em novas redes de distribuição de água, expansão da cobertura de coleta e
363 tratamento de esgoto, além de campanhas de conscientização sobre a importância da gestão
364 adequada dos resíduos. No entanto, para alcançar níveis satisfatórios de saneamento e garantir
365 a preservação dos recursos hídricos e a saúde da população, é fundamental que os governos,

366 empresas e a sociedade civil continuem colaborando e investindo em medidas que promovam
367 o acesso universal aos serviços de saneamento básico na região (SNIS, 2021) (TOLEDO, 2021).

368

369 **1.5 ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO E IMPORTÂNCIA** 370 **AMBIENTAL**

371

372 A gestão dos ecossistemas aquáticos representa um desafio complexo, exigindo uma análise
373 cuidadosa dos custos e benefícios das medidas adotadas para preservar esses ambientes críticos.
374 Estes, caracterizados pela interação entre águas fluviais e oceânicas, desempenham um papel
375 fundamental na manutenção do equilíbrio geoquímico e na sustentabilidade dos ecossistemas
376 costeiros (BILLEN et al, 1991; SILVA et al, 2015).

377 A alternância dos ecossistemas, onde as águas salgadas e doces se encontram e se misturam, é
378 um processo dinâmico influenciado pelas marés, correntes e características geográficas
379 específicas de cada um dos ecossistemas. Esse movimento de água transporta não apenas
380 sedimentos, mas também nutrientes essenciais, como nitrogênio e fósforo, que sustentam a vida
381 marinha. No entanto, a crescente urbanização e industrialização das áreas adjacentes desses
382 ecossistemas, têm levado à contaminação desses ambientes por uma variedade de poluentes,
383 incluindo metais pesados, substâncias orgânicas e nutrientes em excesso (NEVES et al, 2020).

384 A deterioração da qualidade da água e a degradação dos habitats naturais representam uma
385 ameaça significativa para a biodiversidade e para as comunidades humanas que dependem
386 desses ecossistemas aquáticos para subsistência e recreação. Além disso, a poluição tem
387 impactos diretos na saúde pública, aumentando o risco de doenças transmitidas pela água e
388 comprometendo a segurança alimentar de populações locais.

389 Diante desse cenário, torna-se fundamental avaliar os custos associados à implementação de
390 medidas de gestão e revitalização ambiental nos ecossistemas aquáticos. Investimentos em
391 infraestrutura de tratamento de água e esgoto, controle de poluição industrial, restauração de
392 manguezais e implementação de áreas protegidas podem exigir recursos consideráveis no curto
393 prazo. No entanto, os benefícios a longo prazo dessas intervenções são inegáveis. Portanto, é
394 fundamental considerar a interação entre a vulnerabilidade costeira, a qualidade da água e a
395 conservação dos habitats naturais ao planejar ações de gestão ambiental e de uso sustentável
396 dos recursos na região de Maricá (SANTOS et al 2023).

397 A preservação dos ecossistemas aquáticos, não só protege a biodiversidade e os serviços
398 ecossistêmicos essenciais, como também contribui para o bem-estar humano e o

399 desenvolvimento sustentável das comunidades costeiras. Além disso, estratégias inovadoras de
400 biorremediação microbiológica estão surgindo como uma alternativa promissora para mitigar
401 os impactos da poluição. O uso de microrganismos para degradar contaminantes orgânicos e
402 inorgânicos oferece uma abordagem mais econômica (aproximadamente de 60%) e
403 ambientalmente sustentável para a restauração da qualidade da água e do solo (PHILP et al,
404 2014 e 2005).

405 Portanto, ao considerar os custos e benefícios das ações de gestão nos ecossistemas aquáticos,
406 é essencial adotar uma abordagem integrada, que leve em conta não apenas os aspectos
407 econômicos, mas também os valores ambientais, sociais e culturais associados a esses preciosos
408 ecossistemas. A análise de custo-benefício deve ser cuidadosamente ponderada para garantir
409 que as decisões tomadas promovam a conservação a longo prazo dos ecossistemas e o bem-
410 estar das gerações futuras (BOTELLO et al, 1996, FONSECA et al, 2011).

411

412 **CAPÍTULO 1 – TÉCNICAS PARA BIORREMEDIAÇÃO DA** 413 **LAGOA DE MARICÁ**

414

415 **1. INTRODUÇÃO**

416

417 A biorremediação é uma técnica promissora para a recuperação de corpos hídricos,
418 especialmente em áreas urbanas onde a poluição é um problema significativo. A Lagoa de
419 Maricá, com suas características únicas, apresentou desafios específicos que demandaram a
420 aplicação de métodos inovadores e adaptativos para sua revitalização. Este capítulo descreve a
421 metodologia adotada no projeto de Revitalização Natural Monitorada (RNM, Figura 4) da
422 Lagoa de Maricá, destacando as técnicas de biorremediação aplicadas, os critérios
423 metodológicos, as comparações com a literatura existente, a definição dos pontos de aplicação,
424 os métodos de inoculação dos microrganismos, o protocolo de aplicação e o monitoramento.

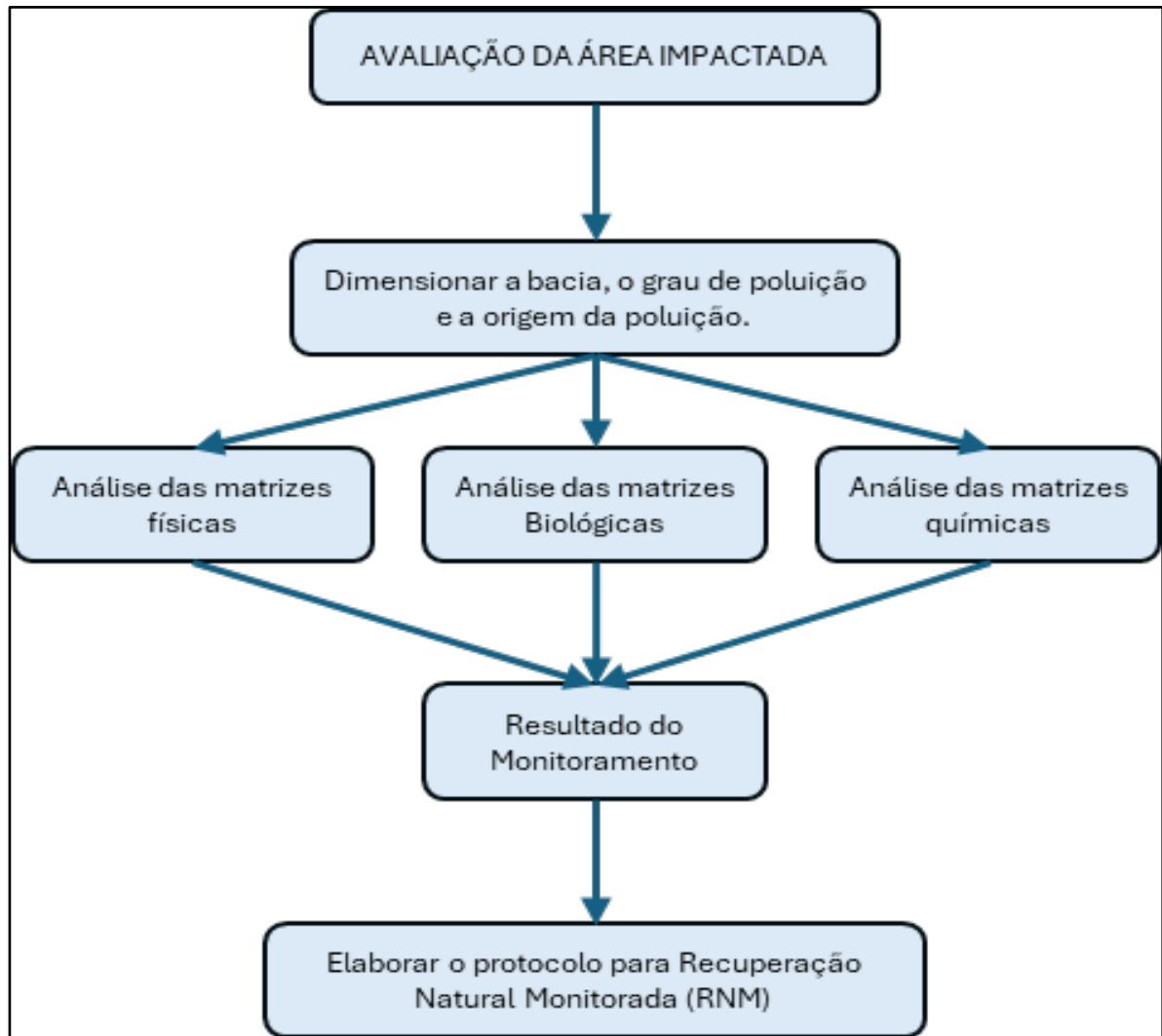


Figura 4 - ilustra o processo do conceito de Revitalização Natural Monitorada (RNM), 2024

425

426 2. CARACTERÍSTICAS DA LAGOA DE MARICÁ

427

428 A Lagoa de Maricá possui aproximadamente 6,3 km de comprimento e 4,5 km de largura em
429 seu ponto mais largo, abrangendo uma área total de cerca de 19 km². O formato da lagoa é
430 similar a um prato, com bordas rasas e fundo suave, conforme descrito em Oliveira et al (1955)
431 e Semads (2001) e apresentado na batimetria realizada por Silvestre et al (2017), conforme o
432 Figura 5.

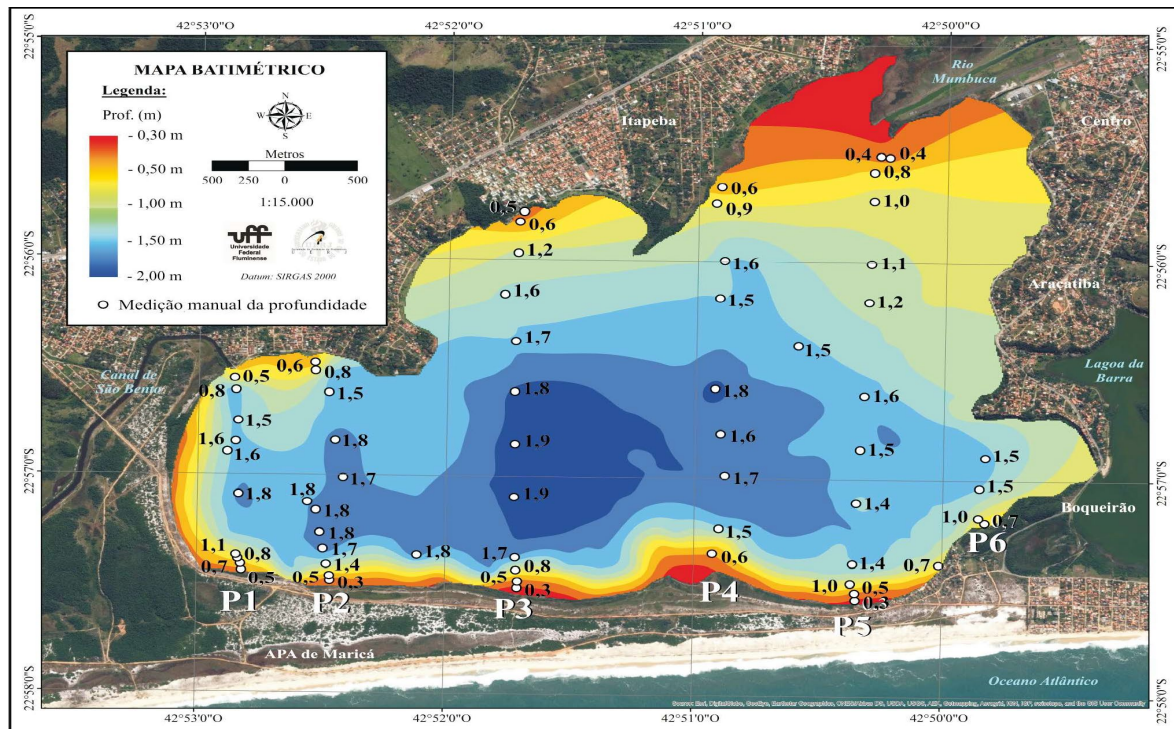


Figura 5 – Carta gráfica dos pontos de Batimetria. Fonte: Silvestre. et al 2017.

433

434 3. CRITÉRIOS METODOLÓGICOS

435

436

437

438

439

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

450

- a) **Seleção dos Pontos de Aplicação:** Baseou-se na análise preliminar de pontos críticos de poluição nas bacias hidrográficas. Os pontos selecionados apresentaram altos níveis de contaminantes orgânicos e inorgânicos.
- b) **Escolha dos Microrganismos:** Utilizou-se um consórcio de microrganismos comercial contendo *Bacillus spp.* e *Lactobacillus spp.*, conhecidos por sua robustez e capacidade de degradação de uma ampla gama de poluentes. A seleção foi baseada em estudos anteriores que demonstraram sua eficácia em condições semelhantes.
- c) **Métodos de Inoculação:** Optou-se por biotijolos e bioinsumos líquidos para maximizar a distribuição e a eficácia dos microrganismos. Os biotijolos foram utilizados no sedimento para liberação de longo prazo, enquanto os bioinsumos líquidos facilitaram a ação imediata na coluna de água.
- d) **Protocolo de Monitoramento:** Incluiu a medição de parâmetros físicos e químicos na água e no sedimento trimestralmente para avaliar a eficácia do tratamento.

451 **4. COMPARAÇÕES COM A LITERATURA EXISTENTE**

452

453 Estudos anteriores demonstraram a eficácia de técnicas de biorremediação em diversos
454 contextos. Por exemplo, Wróbel, et al (2023) e Tomczyk, et al (2024) destacam o uso de
455 *Bacillus spp.* e *Lactobacillus spp.* em ambientes aquáticos para a degradação de
456 hidrocarbonetos e metais pesados. Similarmente, Mallmann et al (2019) relataram o sucesso da
457 biorremediação em melhorar a qualidade da água em sistemas de águas residuais.

458 No contexto específico de corpos hídricos urbanos, Søndergaard e Jeppesen (2007) discutiram
459 a importância de intervenções sustentáveis para a restauração de lagos eutrofizados, destacando
460 a biorremediação como uma abordagem promissora. No estudo de Tomczyk, et al (2024) e
461 contribuiu ao adicionar dados específicos sobre a aplicação de Biotijolos e bioinsumos líquidos
462 em um ambiente urbano de Maricá, complementando e expandindo o corpo de conhecimento
463 existente.

464

465 **5. DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE APLICAÇÃO**

466

467 A metodologia adotada focou no uso das bacias hidrográficas que convergem para a lagoa como
468 eixos centrais para a revitalização. As bacias selecionadas incluem os rios Mombuca, Camburi,
469 Buris e Itaipuaçu, que são significativas fontes de efluentes sanitários de Maricá. O
470 monitoramento dessas bacias permitiu a identificação de pontos críticos de impacto ambiental
471 essencial para o direcionamento das estratégias de tratamento (Figura 6).

472

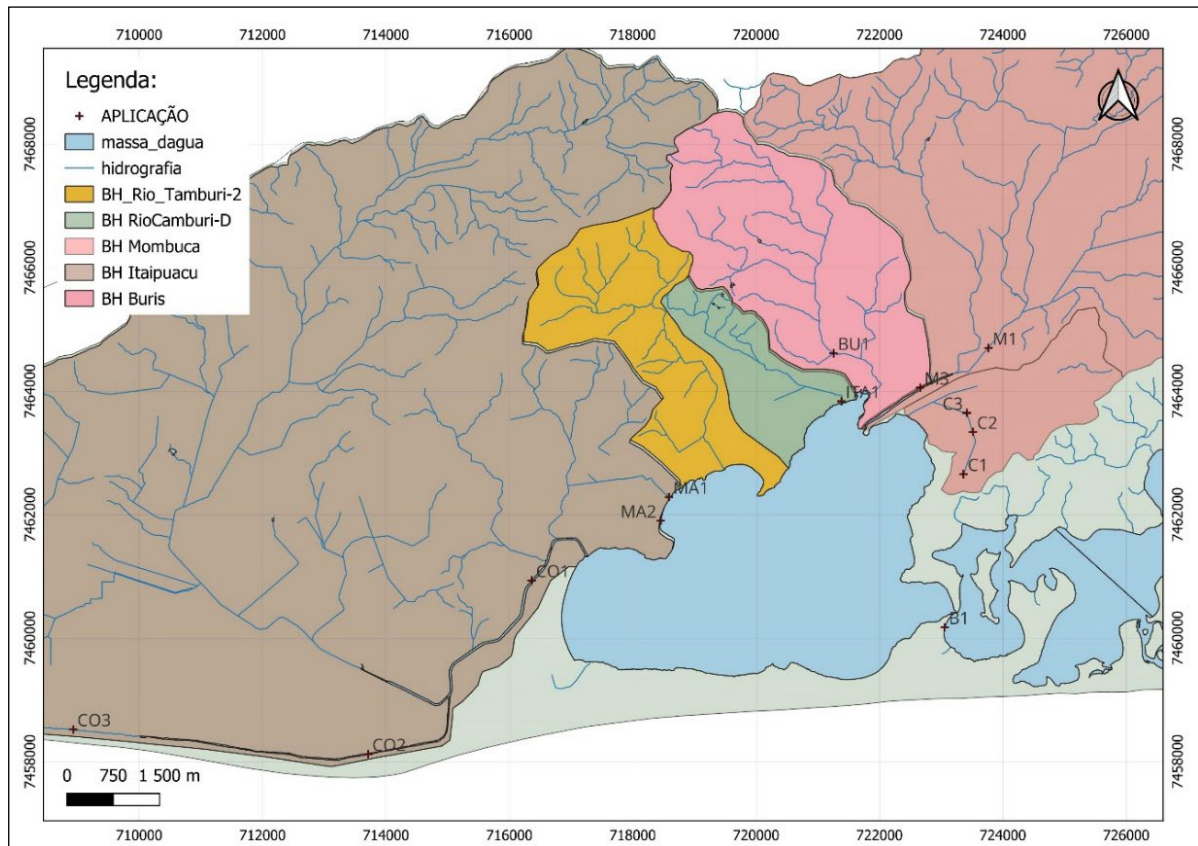


Figura 6 – Criado do banco de dados do projeto, Ramos, C., 2022

473

474 **Canal da Cidade - A aplicação foi dividida em 03 pontos:**

- 475 a) No ponto C1 ((Long.: 42°49'44.82"O; Lat.: 22°55'0.74"S);
 476 b) No ponto C2 (Long.: 42°49'14.21"O; Lat.: 22°55'23.15"S);
 477 c) No ponto C3 (Long.: 42°49'19.15"O; Lat.: 22°55'45.42"S).

478 **Rio Mombuca - A aplicação foi dividida em 03 pontos:**

- 479 a) No ponto MU1 (Long.: 42°49'5.97"O; Lat.: 22°54'38.83"S);
 480 b) No ponto MU2(Long.: 42°49'22.57"O; Lat.: 22°54'51.77"S);
 481 c) No ponto MU3 (Long.: 42°49'44.82"O; Lat.: 22°55'0.74"S);

482 **Canal Buriti (ou Buris) – A aplicação foi 01 ponto:**

- 483 a) No ponto BU1 (Long.: 42°50'12.44"O; Lat.: 22°54'49.04"S)

484 **Canal Itapeba – A aplicação foi 01 ponto:**

- 485 a) No ponto ITA1(Long.: 42°50'29.18"O; Lat.: 22°55'7.93"S)

486 **Orla Marine – A aplicação foi dividida em 02 pontos:**

- 487 a) No ponto MA1 (Long.: 42°52'14.11"O; Lat.: 22°55'53.22"S);
 488 b) No ponto MA2 (Long.: 42°52'14.11"O; Lat.: 22°55'53.22"S),

489 **Orla do Zé Garoto - A aplicação foi 01 ponto:**

490 a) No ponto B1 (Long.: 42°49'28.16"O; Lat.: 22°57'06.27"S)

491

492 **6. MÉTODOS DE INOCULAÇÃO DOS MICRORGANISMOS**

493

494 **FORMATO LÍQUIDO**

495

496 A bioaugmentação é uma técnica amplamente utilizada na biorremediação de ambientes
497 aquáticos, visando acelerar a degradação de contaminantes através da introdução de
498 microrganismos específicos. Recentemente, foram desenvolvidos e testados dois protocolos
499 distintos para a ativação de microrganismos em formato líquido. Este estudo descreve os
500 procedimentos e os resultados obtidos com estes protocolos, proporcionando um guia para a
501 aplicação prática em campo.

502 De acordo com teste realizado em bancada, chegou-se a dois protocolos de bioaugmentação para
503 o formato líquido (Figura 7(a)), onde os microrganismos foram submetidos às seguintes
504 proporções:

505 a) Protocolo de choque: 7,5% cepas, 3% de fonte de carbono e 86% de água.

506 b) Protocolo de manutenção: 2,5% cepas, 2% de fonte de carbono e 89,5% de água.

507 Em ambas as ativações são adicionados 0,4% de sal (grosso ou refinado). A mistura ficou por
508 um período de três a sete dias para atingir o pico de crescimento (Figura 7(b)e (c)) e foi realizado
509 a análise semeando as amostras em meio TSA, a concentração é obtida, após 24h de incubação,
510 com a contagem das unidades formadoras de colônias (Figura 7 (d)).

511 Os protocolos de bioaugmentação em formato líquido descritos neste estudo são viáveis para a
512 aplicação em biorremediação aquática. A escolha entre o protocolo de choque e o protocolo de
513 manutenção dependerá das necessidades específicas do ambiente a ser tratado e da rapidez com
514 que se deseja obter os resultados. Ambos os protocolos demonstraram eficácia e podem ser
515 adaptados conforme as condições locais e os objetivos específicos da biorremediação.

516

517

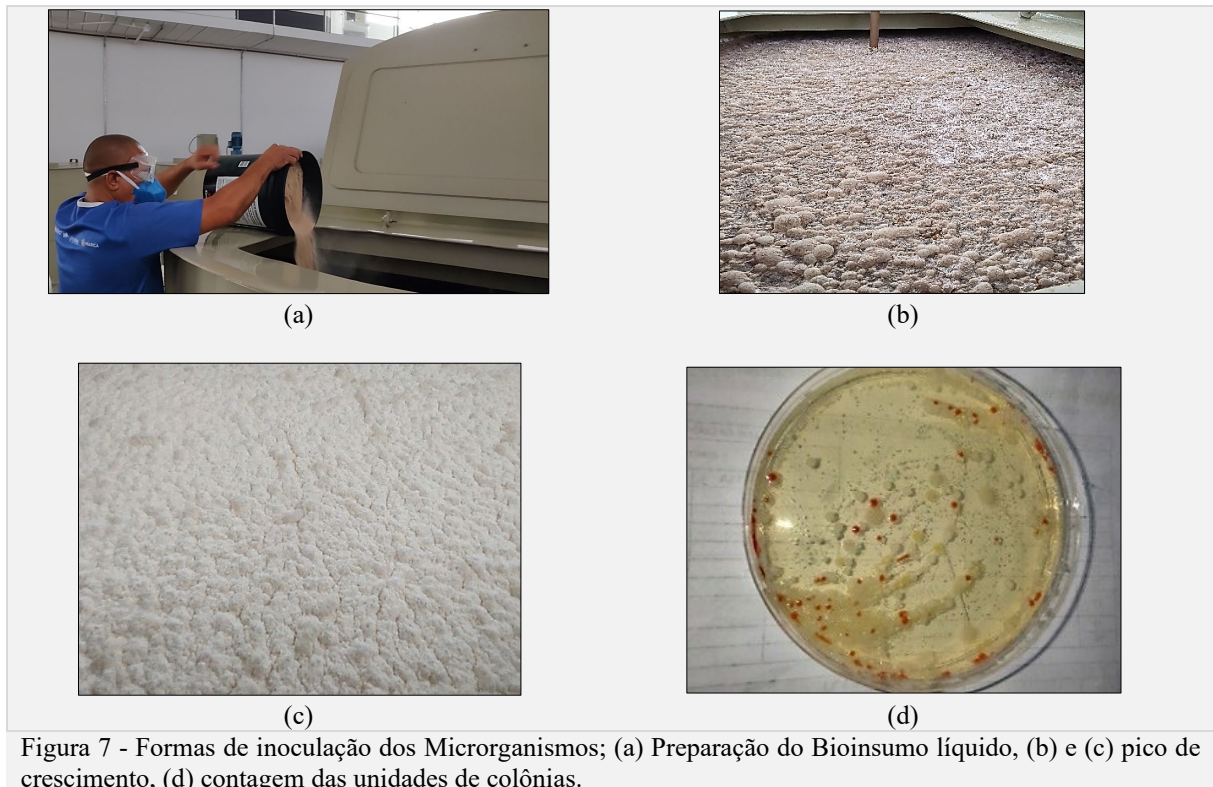


Figura 7 - Formas de inoculação dos Microrganismos; (a) Preparação do Bioinsumo líquido, (b) e (c) pico de crescimento, (d) contagem das unidades de colônias.

518

519 **FORMATO SÓLIDO (BIOTIJOLOS)**

520

521 O desenvolvimento do Biotijolo (Figura 8(d)) representa uma inovação significativa, visando
522 não apenas a eficiência ecológica, mas também a redução dos custos logísticos de aplicação.

523 Durante testes de bancada, observou-se que a melhor proporção custo-benefício dos Biotijolos
524 é a seguinte:

- 525 a) 70% de argila ou barro.
- 526 b) 3,5% de farelo de trigo.
- 527 c) 10% de fonte de carbono.
- 528 d) 3,5% de cepas.
- 529 e) 50g/Kg de carvão em pó.
- 530 f) 5g/Kg de sal de cozinha.

531 O protocolo de preparo envolve misturar todos os ingredientes secos, aplicar as cepas e, se
532 necessário, acrescentar bioinsumo ativado para umedecer. Sovar bem ou usar uma máquina de
533 fabricar tijolos, enviar para a extrusora de tijolos (Figura 8(c)) e cortar em pedaços de 1Kg
534 (Figura 8(d)) ou fazer bolinhas manuais de 200g (Figura 8(e)). Aguardar de vinte a trinta dias
535 até a cobertura completa da superfície pela fluorescência (Figura 8(f)).

536 Os Biotijolos foram projetados para serem aplicados diretamente em corpos hídricos, onde
537 liberam microrganismos de forma lenta e controlada, conforme o fluxo da vazão. Isso permite
538 uma bioaumentação eficaz, com distribuição homogênea dos microrganismos no ambiente
539 aquático. Representando um avanço significativo na técnica de bioaumentação, os Biotijolos
540 promovem a revitalização eficaz dos sedimentos dos corpos hídricos.

541 Além disso, os Biotijolos facilitam o transporte e a aplicação, reduzindo significativamente os
542 custos logísticos em comparação ao formato líquido. A facilidade de manuseio e
543 armazenamento contribui para a eficiência operacional. Esta inovação pode ser adaptada e
544 aplicada em diversas condições ambientais, contribuindo para a sustentabilidade e a
545 recuperação dos ecossistemas aquáticos.

546

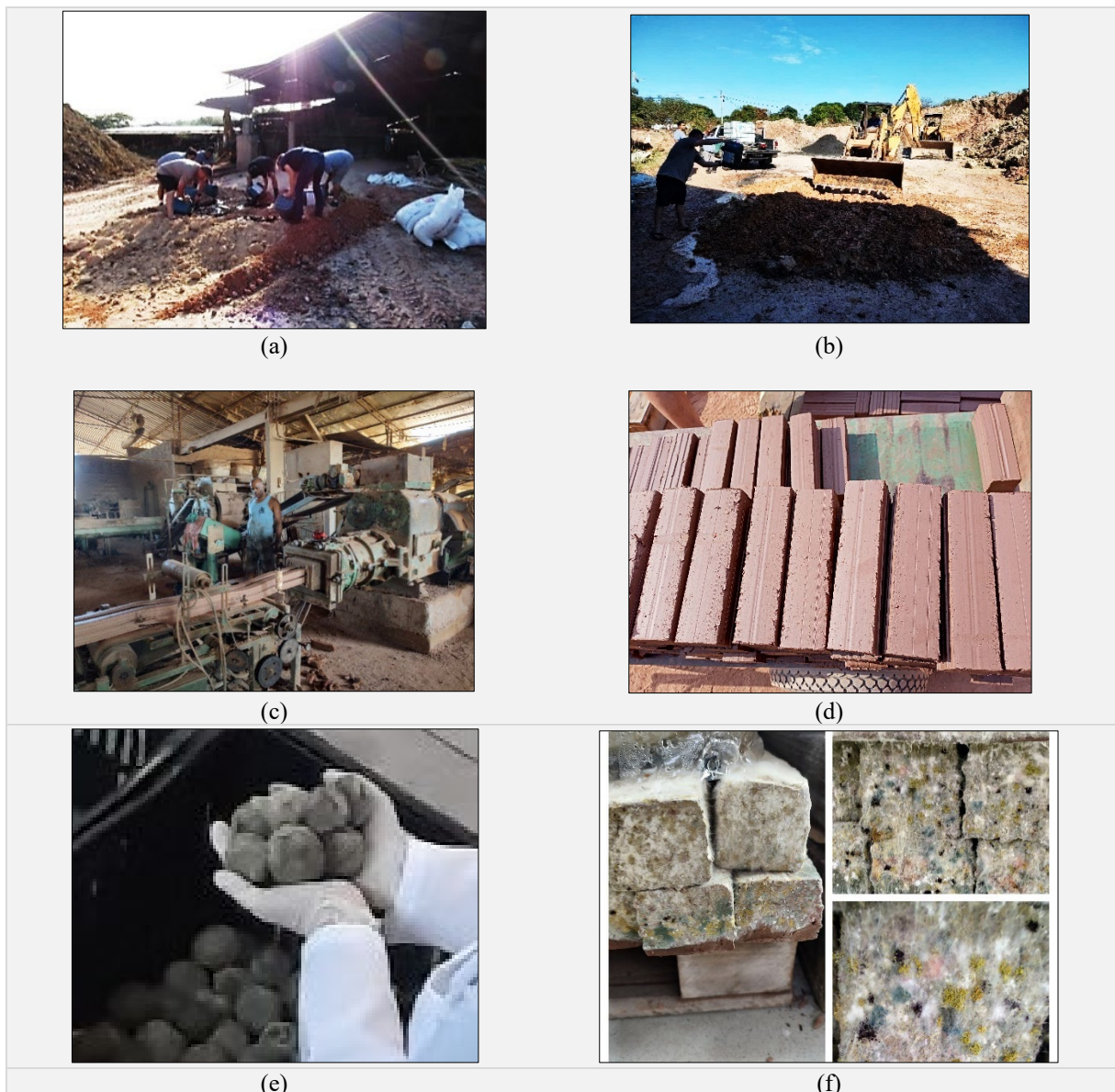


Figura 8 - Formas de inoculação dos Microrganismos; (a) e (b)Preparação dos Biotijolos, (c) Extrusora de tijolos, (d) pedaços de 1Kg, (d) bolinhas manuais de 200g e (f).

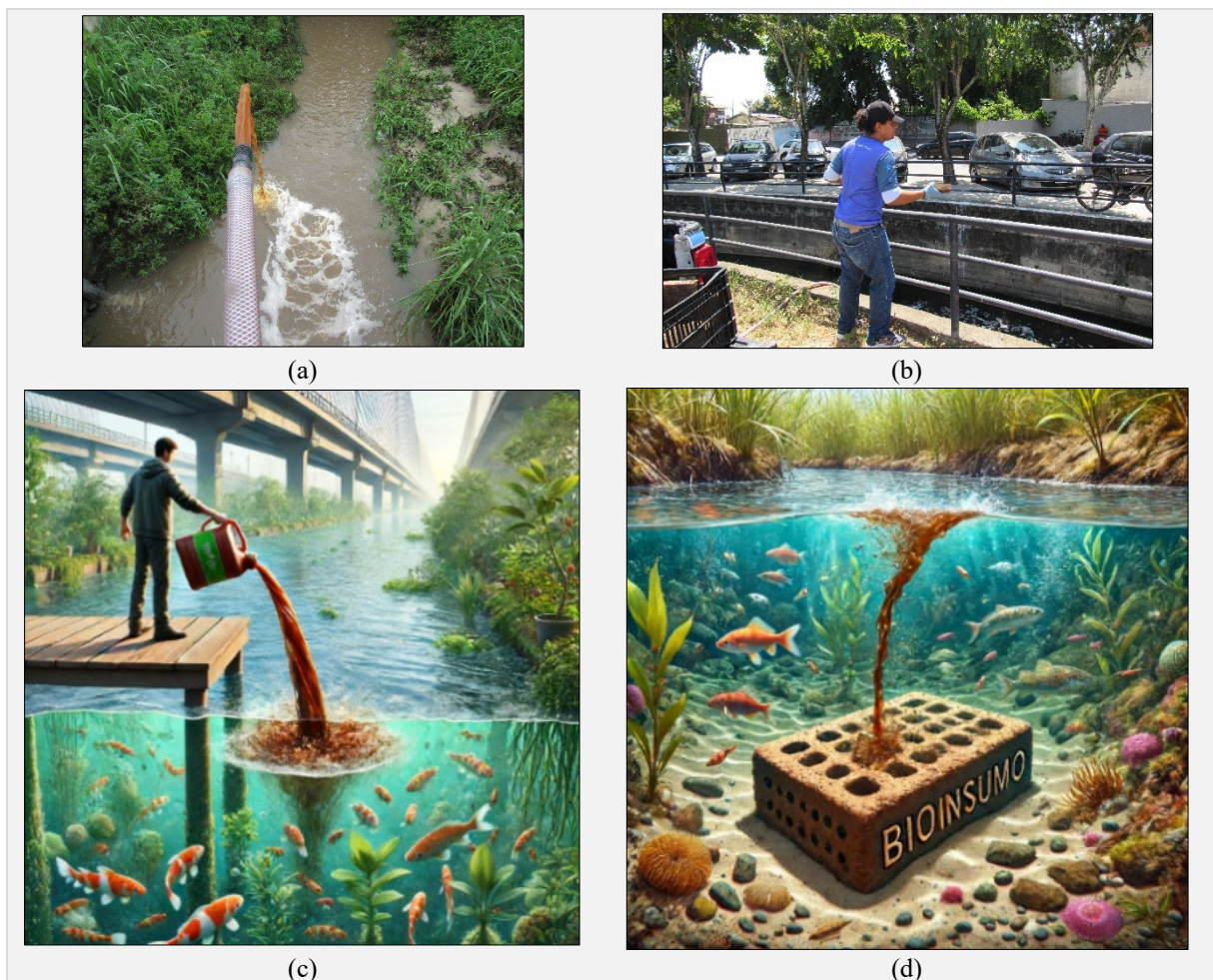
547

548 7. PROTOCOLO DE APLICAÇÃO

549

550 De acordo com os levantamentos de campo, optou-se por melhorar a condição da capacidade
551 de degradar os poluentes dos canais e rios, além de transformá-los em veículo para dispersão
552 dos microrganismos eficazes. Foram escolhidos os pontos onde os laudos indicaram uma maior
553 concentração de poluentes para aplicação dos bioinsumos na forma líquida (Figura 9(a, c)) e os
554 biotijolos (Figura 9(b, d)).

555



556
557
558
559
560
Figura 9 - Aplicação do Protocolo RNM; (a) e (c) líquido, (b) e (d) sólido (Biotijolos). Fonte: App Dall-E, 2024

556

557 Foram desenvolvidas duas metodologias de ativação para serem aplicadas em Maricá, onde a
558 concentração do blend de microrganismos variou conforme as condições climáticas, sendo
559 choque para startup do projeto e períodos chuvosos, com uma aplicação de maior concentração
560 e no período seco com uma aplicação de menor concentração de microrganismos.

561 O volume inicial do bioinsumo foi calculado com base nas condições físicas da área e os dados
 562 de fluxo para cada ponto de aplicação, ajustando-se conforme as condições climáticas (Quadros
 563 1).

Quadro 3 – Dosagem inicial aplicada em cada ponto.

CORPO HÍDRICO / SEMANAS	novembro/21			
	1 (L)	2 (L)	3 (L)	4 (L)
CANAL DA CIDADE	3 000	3 000	3 000	3 000
RIO MUMBUCA	3 000	3 000	3 000	3 000
CANAL BURITI	1 000	1 000	1 000	1 000
CANAL ITAPEBA	1 000	1 000	1 000	1 000
ORLA DO MARINE	3 000	3 000	3 000	3 000
TOTAL				
LÍQUIDOS (L)	48 000.00			

CORPO HÍDRICO / SEMANAS	novembro/21			
	1(Kg)	2(Kg)	3(Kg)	4(Kg)
CANAL DA CIDADE	80	80	80	80
RIO MUMBUCA	180	180	180	180
CANAL BURITI	16	16	16	16
CANAL ITAPEBA	17	17	17	17
ORLA DO MARINE	120	120	120	120
TOTAL				
BIOTIJOLOS (Kg)	1 980.00			

Fonte: Autores

564 **8. PROTOCOLO DE MONITORAMENTO**

565

566 O monitoramento foi realizado de forma contínua, com coleta de dados trimestral na lagoa
 567 (Figura 10). Este acompanhamento incluiu a análise de diversos parâmetros indicativos da
 568 qualidade da água e do sedimento, como temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio
 569 dissolvido (OD), Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (N), Nitrato (NO₃), Nitrito
 570 (NO₂), Nitrogênio Amoniacal (NH₃) e Fosfato (PO₄), além da biota.

571

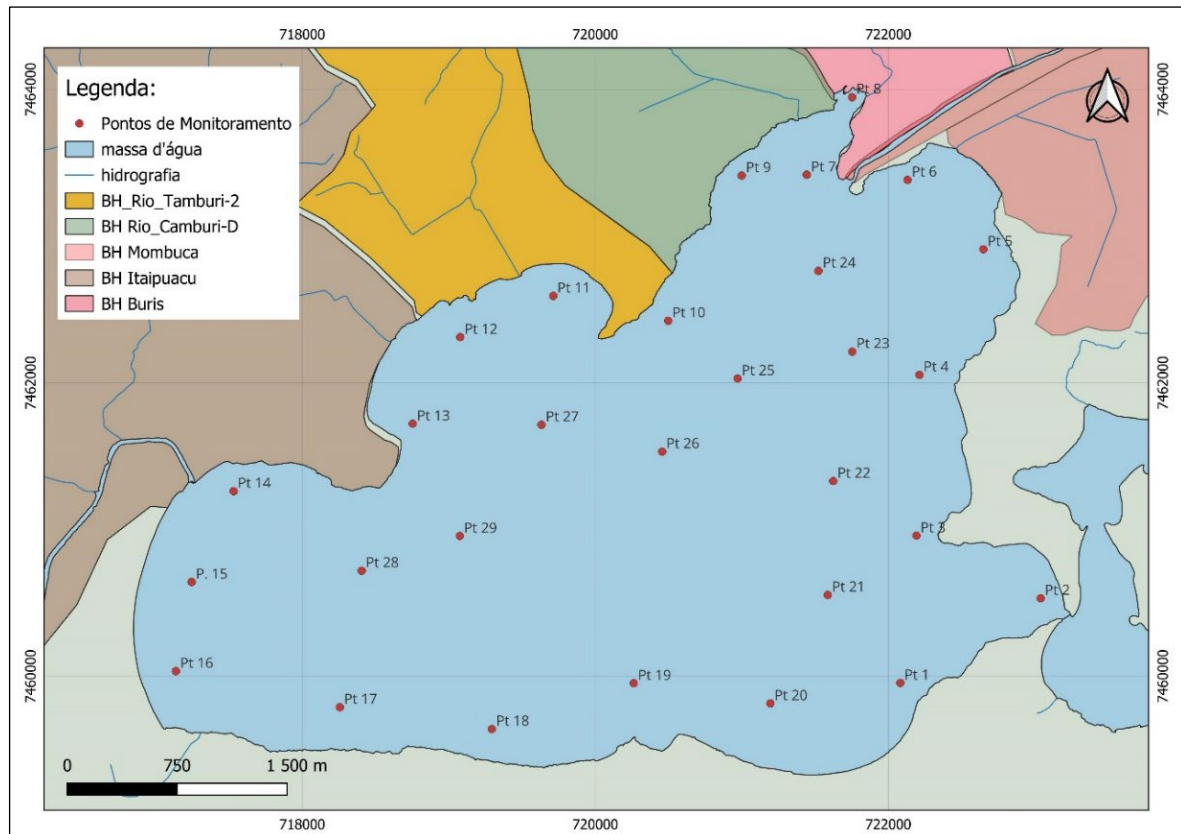


Figura 10 – Criado do banco de dados do projeto, Ramos, C., 2021.

572

573 Estudos sobre a estrutura de comunidades bentônicas estão sendo amplamente utilizadas para
574 o monitoramento e acompanhamento de alterações em ambientes aquáticos (OLIVEIRA,
575 2019). Os macroinvertebrados bentônicos desempenham um papel crucial como indicadores
576 biológicos nesses ecossistemas devido à sua sensibilidade a mudanças ambientais e poluentes
577 específicos.

578 Queiroz et al (2000) destacam que o uso de indicadores biológicos para avaliar a qualidade da
579 água é mais vantajoso em comparação com os métodos convencionais de análises físicas e
580 químicas. Isso ocorre porque os bioindicadores oferecem maior rapidez e eficácia na obtenção
581 de resultados, apresentam um custo mais baixo e permitem uma avaliação *in situ* mais precisa
582 da qualidade da água. Além disso, os macroinvertebrados bentônicos respondem a uma gama
583 ampla de condições ambientais e podem refletir a integridade ecológica ao longo do tempo se
584 tornando um ótimo indicador (SOUZA 2017; STERZ et al, 2011).

585 Este capítulo detalhou as técnicas de biorremediação aplicadas na Lagoa de Maricá, destacando
586 a importância de uma abordagem metodológica robusta e adaptativa. As comparações com a
587 literatura existente e a definição clara dos pontos de aplicação e métodos de inoculação dos
588 microrganismos proporcionam uma base sólida para a eficácia do projeto de RNM. O
589 monitoramento contínuo e a análise dos resultados demonstram a viabilidade e a importância

590 da biorremediação como uma ferramenta essencial para a recuperação de corpos hídricos
591 urbanos.

592

593 **CAPÍTULO 2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

594

595 No primeiro trimestre, foram realizadas aplicações em pontos estratégicos das bacias
596 hidrográficas. Essas intervenções consistiram na aplicação de bioinsumos líquidos diretamente
597 sobre o espelho d'água (Figura 9 (a) e (c)) e de Biotijolos no fundo dos corpos hídricos (Figura
598 9 (b) e (d)). Os resultados dessas intervenções foram avaliados comparando os índices de
599 qualidade da água antes e após o tratamento, o que permitiu ajustes metodológicos e a validação
600 da eficácia do processo de RNM implementado. Essa abordagem forneceu uma base sólida para
601 a execução e avaliação do projeto de Revitalização da Lagoa de Maricá, ajustando o tratamento
602 ambiental conforme os resultados do monitoramento e as necessidades específicas de cada área.

603

604 **1. AVALIAÇÃO DO RNM NO SEDIMENTO**

605

606 O estudo da matéria orgânica em sedimentos de fundo é destacado em trabalhos
607 sedimentológicos e oceânicos, fornecendo uma avaliação das áreas de circulação mais efetiva
608 e tendências do meio quanto ao potencial oxidação/redução, essencial para o estudo de
609 ecossistemas bentônicos (BARCELLOS, 2000). O Carbono e o nitrogênio são os principais
610 constituintes da matéria orgânica depositada no compartimento de fundo, e sua análise é uma
611 das formas mais eficazes de assinaturas nos ecossistemas aquáticos ao longo de um ambiente
612 sedimentar.

613 O carbono orgânico total (COT %) não tem uma legislação específica para Sedimentos de
614 corpos hídricos. Sendo assim, foi seguido como parâmetro limítrofe o Conama 454/12
615 (Dragagem) que determina estar abaixo de 10% de C na amostra. No âmbito do RNM aplicado,
616 observou-se uma diminuição significativa no COT (%) no sedimento a partir da introdução dos
617 Biotijolos com Bioinsumos (figura 9 (b) e (d)) em novembro de 2021 (Figura 11).

618

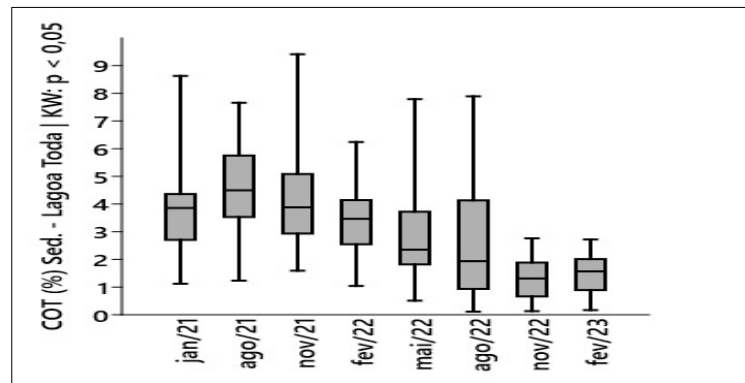


Figura 11 - Evolução das concentrações de Carbono Orgânico Total no sedimento ao longo do processo de revitalização. Fonte: Banco de dados do projeto, Amorim R., 2024.

619

620 Essa tendência, contudo, não foi acompanhada pelo nitrogênio total (N), sugerindo que o
621 nitrogênio não seja o elemento limitante no ambiente em processo de revitalização (Figura 12).

622 O N (mg/Kg) não tem uma legislação específica para Sedimentos de corpos hídricos. Sendo
623 assim, foi seguido como parâmetro limítrofe foi o Conama 454/12 (Dragagem) que determina
624 que os limites de qualidade deverá estar abaixo de 4.800mg/Kg.

625

626

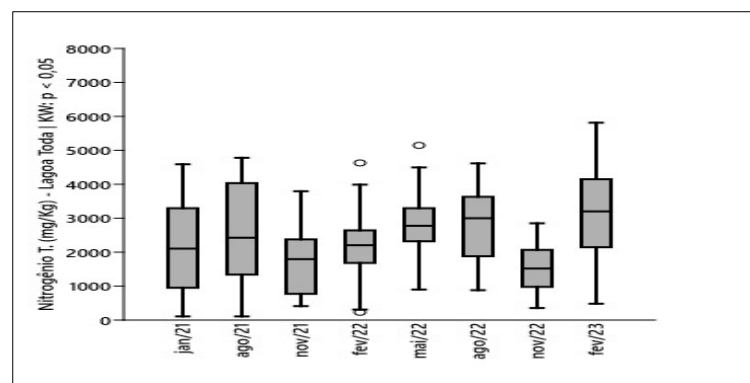


Figura 12 - Evolução das concentrações de Nitrogênio Total no sedimento ao longo do processo de revitalização. Fonte: Banco de dados do projeto, Amorim R., 2024.

627

628 O fósforo (P), assim como o carbono orgânico total (COT), apresentou uma diminuição
629 significativa durante o processo de RNM (Figura 13).

630 O P (mg/Kg) não tem uma legislação específica para Sedimentos de corpos hídricos. Sendo
631 assim, foi seguido como parâmetro limítrofe foi o Conama 454/12 (Dragagem) que determina
632 que os limites de qualidade deverá estar abaixo de 2.000mg/Kg.

633

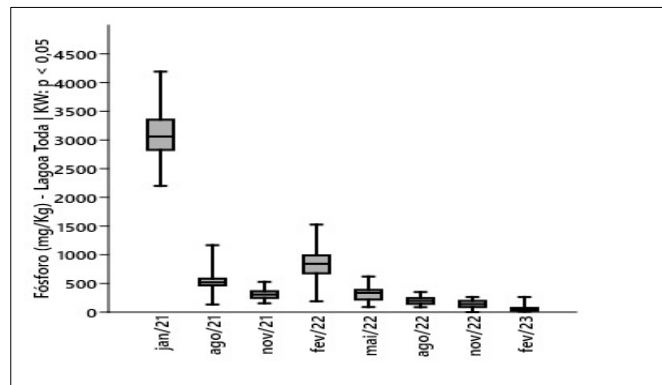


Figura 13 - Evolução das concentrações de Fósforo Total no sedimento ao longo do processo de revitalização. Fonte: Banco de dados do projeto, Amorim R., 2024.

634

635 Na avaliação conjunta dos elementos carbono orgânico total (COT), nitrogênio (N) e fósforo
 636 (P) sugere que a remobilização de carbono orgânico para a produção de biomassa bacteriana
 637 resultou no consumo concomitante de fósforo, indicando que o fósforo é o elemento limitante
 638 no compartimento sedimentar. Estudos demonstram a importância do fósforo (P) na formação
 639 da biomassa microbiana em ambientes aquáticos (SCHINDLER, 1977; SMITH, 2003).

640 A presença do fósforo (P) na fase orgânica é confirmada pela correlação positiva entre carbono
 641 orgânico total (COT) e fósforo (P) e entre carbono orgânico total (COT) e nitrogênio (N),
 642 conforme observado por Laut et al (2019), que sugerem que a principal fonte de matéria
 643 orgânica na lagoa é autóctone, resultante da produção primária local. Este achado é consistente
 644 com a teoria de que a produção primária, que inclui a fixação do carbono (C) via fotossíntese
 645 por algas e plantas aquáticas, é uma fonte significativa de matéria orgânica em ecossistemas
 646 aquáticos (WETZEL, 2001).

647 A ausência de uma relação significativa entre o fósforo (P) e o oxigênio dissolvido (OD), indica
 648 que as concentrações de fósforo (P) no sedimento não são influenciadas pelas condições físico-
 649 químicas da água, potencial oxidação/redução, que pode afetar a adsorção de fósforo (P) nas
 650 partículas orgânicas. Isso sugere que o fósforo (P) está mais fortemente ligado às frações
 651 orgânicas dos sedimentos, em vez de estar disponível na fase aquosa ou como parte das frações
 652 minerais que interagem diretamente com o oxigênio dissolvido (OD) (SILVA, l. 2008).

653

654 2. AVALIAÇÃO DO RNM NA ÁGUA

655

656 No RNM aplicado, foi observado um aumento expressivo nos níveis de oxigênio dissolvido
 657 (OD) após a aplicação de bioinsumos, processo de botton-up no ecossistema, onde a
 658 biodisponibilização dos nutrientes favorece a produtividade primária (Figura 14). Com a

659 redução dos estoques de carbono orgânico no sedimento, as concentrações de oxigênio
 660 dissolvido (OD) retornaram aos níveis normais. Esta hipótese é confirmada pela correlação
 661 positiva entre COT na água e os níveis de OD.

662 Na Conama 357/05 o parâmetro limítrofe do OD (mg/L), conforme linha azul presente no
 663 Figura da Figura 14, para água doce Classe 1 é de $> 6\text{mg/L}$.

664

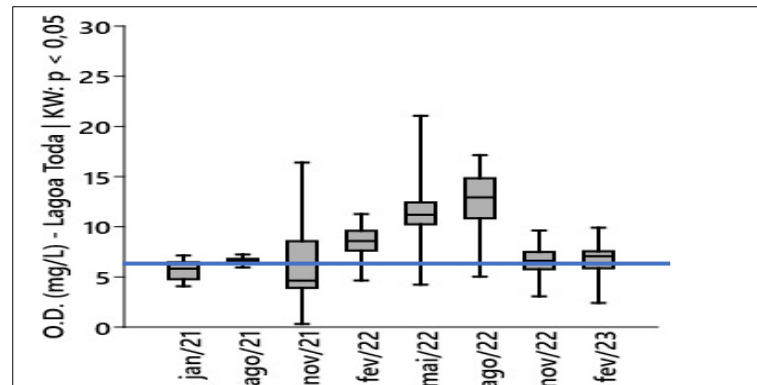


Figura 14 - Evolução das concentrações de oxigênio na água ao longo do processo de revitalização.
 Fonte: Banco de dados do projeto, Amorim R., 2024.

665

666 O fósforo, por sua vez, não apresentou variações significativas ao longo do período estudado,
 667 apesar de haver uma tendência de diminuição progressiva durante os meses de verão, quando
 668 as contribuições continentais são maiores (Figura 15).

669 Na Conama 357/05 o parâmetro limítrofe do P (mg/L), conforme linha azul presente no Figura
 670 da Figura 15, para **Classe 1**:

- 671 • Água doce - **0,02mg/L**.
- 672 • Água salobra – **0,1 mg/L**.

673

674

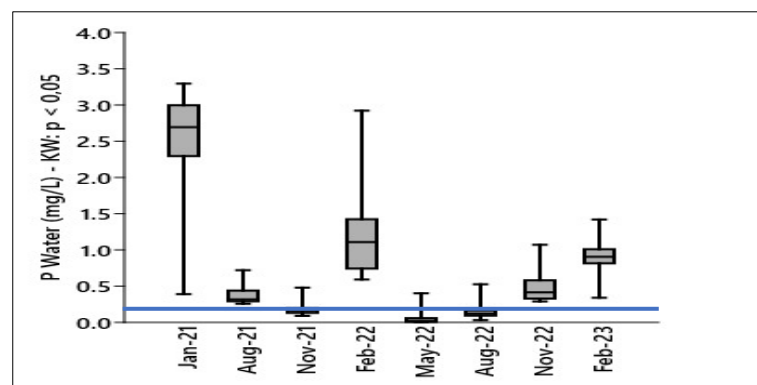


Figura 15 - Evolução das concentrações de fósforo na água ao longo do processo de revitalização.
Fonte: Banco de dados do projeto, Amorim R., 2024.

675

676 A concentração de amônia também mostrou valores médios baixos, possivelmente associados
677 aos níveis adequados de oxigênio dissolvido (OD) (Figura 16).

678 Na Conama 357/05 o parâmetro limítrofe do N (mg/L), conforme linha azul presente no Figura
679 da Figura 16, para **Classe 1**:

680 • Água doce –

681 • 3,7mg/L N, para $\text{pH} \leq 7,5$

682 • 2,0 mg/L N, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$

683 • 1,0 mg/L N, para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$

684 • 0,5 mg/L N, para $\text{pH} > 8,5$.

685

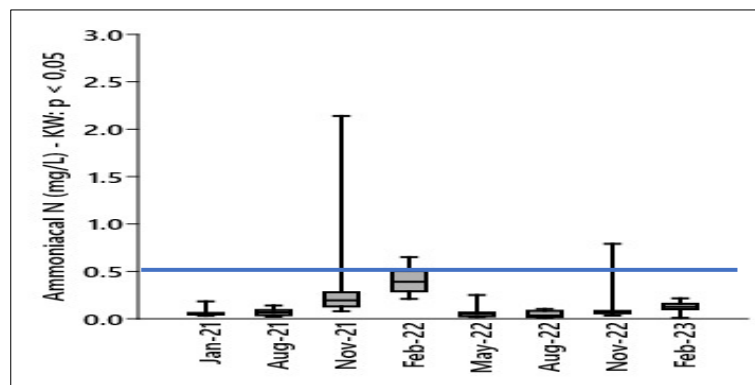


Figura 16 - Evolução das concentrações de N amoniacal na água ao longo do processo de revitalização.
Fonte: Banco de dados do projeto, Amorim R., 2024.

686

687 O nitrogênio total apresentou um decréscimo contínuo, indicando um aumento na demanda
688 deste nutriente para a produtividade primária (Figura 16).

689 Na Conama 357/05, § 3º - “Para águas doces de classes 1 e 2, quando o Nitrogênio for fator
690 limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente, o
691 valor de Nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes
692 lântico e 2,18 mg/L para ambientes lóticos, na vazão de referência”. Não apresentando limítrofe
693 para águas salobras.

694

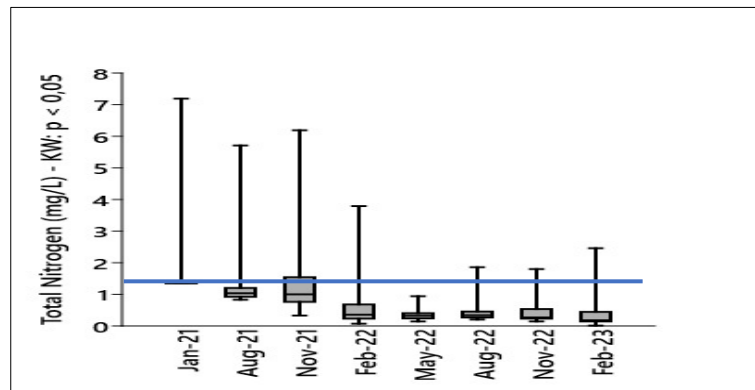


Figura 17 - Evolução das concentrações de nitrogênio na água ao longo do processo de revitalização.
Fonte: Banco de dados do projeto, Amorim R., 2024.

695

696 Por fim, foi registrado um aumento significativo nos níveis de COT e OD na coluna d'água,
697 com subsequente estabilização em valores considerados normais para um ambiente aquáticos
698 (Figura 8).

699 Na Conama 357/05 o parâmetro limítrofe do COT (%) na Água salobra, conforme linha azul
700 presente no Figura da Figura 17, para **Classe 1**:

701 • Classe 1 – 3 %.

702 • Classe 2 – 5 %

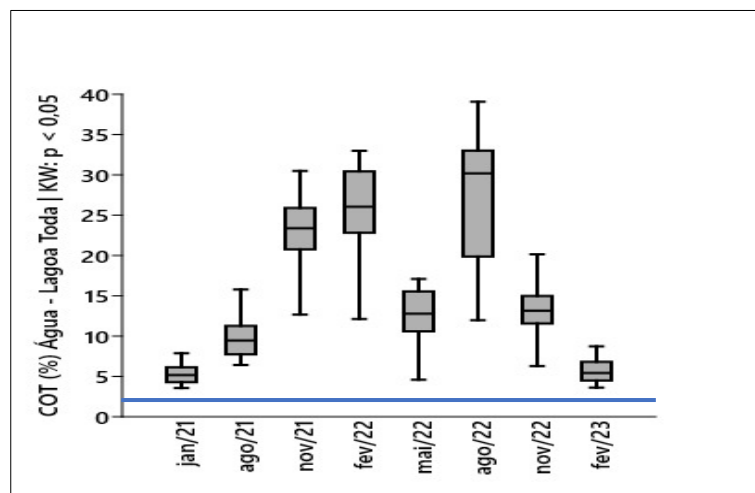


Figura 18 - Evolução das concentrações de COT na água ao longo do processo de revitalização.
Fonte: Banco de dados do projeto, Amorim R., 2024.

703 A correlação positiva entre esses parâmetros sugerindo que a produtividade primária foi
704 estimulada pela disponibilização dos estoques de carbono preservados no sedimento com o
705 processo de revitalização.

706

707 **3. DISCUSSÃO DOS DESAFIOS ENFRENTADOS DURANTE A** 708 **PESQUISA E LIMITAÇÕES DO ESTUDO**

709 **1. Identificação e Descrição dos Desafios:**

710 **1.1. Climáticos:**

711

712 De acordo com os dados históricos pluviométricos obtidos do INMET (2024), verificou-se que
713 os regimes de chuvas mais intensos ocorrem no verão, enquanto os períodos mais secos ocorrem
714 no inverno. Durante o estudo, foi possível monitorar como as mudanças climáticas estão
715 afetando os regimes pluviométricos em Maricá. Os anos de 2022 e 2023 foram marcados por
716 eventos climáticos extremos e uma diminuição significativa no índice pluviométrico. A redução
717 do fluxo de água nos rios e canais apresentou desafios consideráveis para a aplicação dos
718 bioinsumos, sendo necessário alterar os pontos de aplicação devido à insuficiência de fluxo em
719 alguns canais até a lagoa.

720 Com menos água nos rios e canais, a dispersão dos bioinsumos tornou-se limitada, o que exigiu
721 ajustes na estratégia de aplicação. Foi necessário identificar novos pontos de aplicação onde o
722 fluxo de água ainda era suficiente para transportar os microrganismos até a lagoa. A análise
723 contínua das condições climáticas e hidrológicas foi crucial para adaptar a metodologia às
724 variações sazonais e garantir a eficácia da biorremediação.

725

726 **1.2. Logísticos:**

727

728 Para superar as dificuldades logísticas de aplicação diretamente na lagoa, especialmente em
729 áreas rasas que dificultam a navegação de embarcações pesadas, optou-se pela aplicação em
730 rios e canais da cidade. Maricá possui vias estreitas e a maioria sem acostamentos próximos às
731 margens dos rios e canais, dificultando o acesso. Para facilitar a logística, foram utilizados
732 veículos de pequeno porte, que, devido à sua limitação de carga, exigiram a implementação de
733 uma escala de aplicação nos pontos selecionados, com um intervalo mínimo de 7 dias entre as
734 aplicações.

735 Essa abordagem logística implicou na necessidade de uma coordenação rigorosa para garantir
736 que os bioinsumos fossem aplicados de forma consistente e em intervalos adequados para
737 manter a eficácia da biorremediação. O planejamento detalhado dos trajetos e o cronograma de

738 aplicação foram fundamentais para otimizar os recursos disponíveis e minimizar interrupções
739 no processo.

740

741 **1.3. Tecnológicos:**

742

743 Embora o projeto tenha recebido subsídios para a pesquisa, incluindo equipamentos
744 laboratoriais e infraestrutura para a bioaumentação dos microrganismos, a metodologia
745 proposta pode ser aplicada com análises e equipamentos mais rudimentares, se necessário. Isso
746 amplia a aplicabilidade da técnica em contextos com menos recursos tecnológicos.

747 A implementação de técnicas de biorremediação em áreas com infraestrutura tecnológica
748 limitada pode enfrentar desafios adicionais, como a precisão na dosagem dos bioinsumos e o
749 monitoramento contínua dos parâmetros de qualidade da água. No entanto, a flexibilidade da
750 metodologia permite ajustes e adaptações conforme as necessidades e capacidades locais.

751

752 **2. Limitações do Estudo:**

753 **2.1. Escala do Experimento:**

754

755 O projeto foi executado em escala real in situ (Figura 4), o que contribuiu para uma maior
756 visibilidade dos resultados e a possibilidade de replicação em outros corpos hídricos. No
757 entanto, é crucial respeitar a individualidade de cada ecossistema aquático ao aplicar a
758 biorremediação, adaptando as técnicas às condições específicas de cada ambiente.

759 A escala real do experimento permitiu observar os impactos diretos das técnicas de
760 biorremediação em um ambiente natural, mas também introduziu variáveis não controladas que
761 podem influenciar os resultados. A heterogeneidade dos ecossistemas aquáticos e a presença de
762 múltiplas fontes de poluição exigem uma análise detalhada para interpretar corretamente os
763 dados obtidos.

764

765 **2.2. Período de Monitoramento:**

766

767 Para atender aos requisitos de Revitalização Natural Monitorada (RNM), o monitoramento dos
768 corpos hídricos foi iniciado antes da aplicação dos bioinsumos, abrangendo dois regimes

769 climáticos distintos: chuvoso e seco. Isso permitiu estabelecer uma média base para
770 comparação. O projeto teve início no período chuvoso, garantindo uma maior dispersão dos
771 bioinsumos até a lagoa, facilitando um tratamento inicial de choque.

772 O monitoramento contínuo ao longo de diferentes estações permitiu a coleta de dados
773 abrangentes sobre as variações sazonais na qualidade da água e na eficácia da biorremediação.
774 No entanto, a limitação temporal do estudo impede a observação dos efeitos a longo prazo, o
775 que seria essencial para validar a sustentabilidade e durabilidade das técnicas aplicadas.

776

777 **2.3. Complexidade dos Ecossistemas:**

778

779 Executado em escala real e abrangendo uma grande área, o projeto envolveu diversos
780 ecossistemas distintos, muitos dos quais apresentavam baixa diversidade biológica devido ao
781 alto grau de antropização. Aumentar a diversidade da microbiota e macrobiota foi essencial
782 para promover a sucessão ecológica e fornecer suporte a todos os níveis tróficos do ecossistema
783 aquático.

784 A complexidade dos ecossistemas e a interação entre diferentes espécies e contaminantes
785 tornam difícil isolar os efeitos diretos dos microrganismos aplicados. A necessidade de
786 aumentar a biodiversidade para estabilizar os ecossistemas impactados adiciona outra camada
787 de complexidade à análise dos resultados. Além disso, as interações entre fatores bióticos e
788 abióticos exigem uma abordagem multidisciplinar para compreender completamente os
789 mecanismos de biorremediação e sua eficácia a longo prazo.

790

791 **4. DETALHES SOBRE AS VARIÁVEIS CONTROLADAS DURANTE** 792 **OS EXPERIMENTOS E POSSÍVEIS INTERFERÊNCIAS EXTERNAS**

793 **1. Variáveis Controladas:**

794 **1.1 Parâmetros Ambientais:**

795

796 Os parâmetros ambientais, como temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD) e turbidez, são
797 inerentes ao ambiente natural e, portanto, não podem ser controlados diretamente. Isso torna
798 essencial a seleção apropriada dos microrganismos que compõem o blend para bioaumentar a
799 biota in situ. A escolha dos microrganismos deve levar em conta sua capacidade de sobreviver

800 e prosperar nas condições ambientais específicas do corpo hídrico em estudo, garantindo a
801 eficácia da biorremediação.

802

803 **1.2 Condições dos Microrganismos.**

804

805 Os microrganismos utilizados chegam à biofábrica em estado inerte e é crucial que sejam
806 mantidos assim até o momento da bioaugmentação. Para assegurar uma bioaugmentação eficiente,
807 é necessário um meio de cultura que forneça os nutrientes adequados para cada cepa. Além
808 disso, o controle da temperatura e do pH do meio de cultura é fundamental. Quando não é
809 possível manter a temperatura no intervalo ótimo para o crescimento das culturas, o tempo de
810 incubação deve ser aumentado para garantir que o processo de bioaugmentação ocorra de
811 maneira eficaz.

812

813 **1.3 Consistência na Aplicação.**

814

815 A consistência das aplicações é de suma importância, pois os microrganismos têm sua
816 concentração de colônias em escalas logarítmicas. Ao atingir o pico máximo da curva de
817 crescimento em unidades formadoras de colônias (UFC), começam a decrescer. Portanto, é
818 necessária uma nova aplicação para manter as UFC sempre próximas ao pico máximo de
819 crescimento. As aplicações dos Biotijolos foram feitas em intervalos de aproximadamente 7
820 dias. Em períodos chuvosos, foi necessária uma dose maior comparada aos períodos secos. Esta
821 técnica mostrou-se muito eficaz para manter a curva de crescimento dos microrganismos, pois
822 sua liberação é regulada pelo fluxo do corpo hídrico. Aliada à aplicação do bioinsumo líquido,
823 essa estratégia trouxe flexibilidade, permitindo que as aplicações líquidas fossem feitas
824 diariamente para manter a eficácia do tratamento.

825

826 **2 Interferências Externas**

827 **2.1 Fontes de Poluição.**

828

829 Durante o projeto, observou-se um aumento expressivo da população na área de aplicação, com
830 entre 2022 e 2023. Esse aumento populacional resultou em um incremento dos lançamentos de
831 efluentes não tratados nos corpos hídricos, elevando significativamente a carga poluente. Dados

832 coletados indicaram que a concentração de matéria orgânica e nutrientes como nitrogênio e
833 fósforo aumentou, em comparação aos níveis anteriores ao crescimento populacional

834 Esse aumento de poluição obrigou a manutenção da dose de choque dos bioinsumos, ajustando
835 os protocolos de bioaugmentação conforme os períodos secos e chuvosos. Durante os períodos
836 chuvosos, a aplicação de bioinsumos foi intensificada para contrabalançar a diluição dos
837 contaminantes causada pelas chuvas, com um aumento da concentração de microrganismos a
838 cada dosagem. Nos períodos secos, a estratégia foi ajustada para manter a concentração de
839 microrganismos em níveis menores, garantindo a eficácia contínua do processo de
840 biorremediação.

841 A estratégia foi meticulosamente ajustada para garantir a eficácia da biorremediação, levando
842 em consideração o aumento da carga poluente. Isso incluiu a implementação de um sistema de
843 monitoramento contínuo para avaliar as mudanças na qualidade da água e a eficácia das
844 intervenções, resultando em uma resposta adaptativa e proativa às condições ambientais
845 dinâmicas.

846

847 **2.2 Atividades Humanas.**

848

849 As atividades antropogênicas, como navegação, recreação e pesca, foram rigorosamente
850 avaliadas quanto ao seu impacto na eficiência dos bioinsumos aplicados. Os resultados indicam
851 que essas atividades não comprometem significativamente a eficácia dos microrganismos
852 utilizados na biorremediação. Adicionalmente, a análise de riscos revelou que o contato com a
853 água submetida ao processo de biorremediação não apresenta riscos à saúde humana,
854 assegurando a segurança e a integridade das atividades recreativas e econômicas na região.
855 Esses achados corroboram a viabilidade do uso de bioinsumos em ambientes aquáticos sem
856 prejudicar as interações humanas.

857

858 **2.3 Interações Biológicas.**

859

860 O aumento da diversidade da microbiota e macrobiota foi essencial para promover a sucessão
861 ecológica e fornecer suporte a todos os níveis tróficos do ecossistema aquático. A introdução
862 de uma maior diversidade biológica contribuiu para a estabilização do ecossistema, facilitando
863 a revitalização natural e aumentando a resiliência do ambiente em face de variações ambientais

864 e pressões antropogênicas. Esta estratégia é fundamental para garantir a sustentabilidade
865 ecológica e a integridade funcional dos ecossistemas aquáticos tratados.

866

867 **5. ANÁLISE MAIS APROFUNDADA SOBRE OS CUSTOS E** 868 **BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DA APLICAÇÃO EM LARGA ESCALA**

869 **1. Estimativa de Custos:**

870 **1.1. Implementação Inicial:**

871

872 Os custos iniciais envolvem a implantação de laboratórios e estruturas físicas para a produção
873 (Biofábrica), a aquisição dos primeiros lotes de microrganismos e dos insumos necessários para
874 os meios de cultura. Inclui-se também a contratação de uma equipe técnica especializada para
875 desenvolver protocolos de ação e realizar o levantamento de dados da bacia hidrográfica onde
876 será aplicada a biorremediação.

877 O montante necessário, conforme detalhado no portal de transparência do município de Maricá,
878 varia de acordo com as características específicas de cada bacia hidrográfica e o grau de impacto
879 ambiental. No entanto, os custos associados à biorremediação são substancialmente inferiores
880 aos métodos de remediação convencionais, oferecendo uma solução economicamente viável e
881 ambientalmente sustentável para a revitalização de ecossistemas aquáticos degradados.

882

883 **1.2. Manutenção e Monitoramento.**

884

885 Neste projeto, optou-se pela aquisição de cepas microbianas em blends comerciais, evitando
886 assim a necessidade de instalação de uma biofábrica e todo o processo associado à fabricação
887 dos blends. Esta abordagem reduz os custos iniciais e garante um controle rigoroso da qualidade
888 das cepas incluídas no blend.

889 No entanto, é essencial que todos os procedimentos para a bioaumentação do bioinsumo sejam
890 rigorosamente controlados, assegurando a qualidade de cada componente do meio de cultura.
891 Particularmente, a água e o sal utilizados devem ser monitorados cuidadosamente, pois são
892 potenciais fontes de patógenos que podem causar desequilíbrios no tanque de bioaumentação.
893 Manter a pureza e a qualidade desses insumos é crucial para evitar contaminações que
894 comprometam a eficácia do processo de biorremediação.

895

896 2. Benefícios Econômicos:

897 2.1. Redução de Custos com Tratamento de Água.

898

899 A redução dos custos associados ao tratamento de água é significativamente influenciada pelo
900 reequilíbrio completo do ecossistema aquático, alcançado através das técnicas de
901 biorremediação. Este reequilíbrio não se limita à purificação da água, mas também promove a
902 revitalização natural do ecossistema. Quando as fontes de poluição forem eliminadas, o
903 ecossistema aquático, agora reestabelecido, mantém seu equilíbrio dinâmico através de
904 processos biogeoquímicos inerentes.

905 Os dados apresentados no estudo, indicam que a aplicação de bioinsumos não apenas diminuem
906 os poluentes orgânicos e inorgânicos, mas também aumenta a biodiversidade e a complexidade
907 das interações ecológicas. Esse aumento na diversidade microbiana e macrobiota contribui para
908 a estabilidade do ecossistema, facilitando a ciclagem de nutrientes e a degradação natural de
909 substâncias tóxicas. Como resultado, a necessidade de intervenções externas e contínuas é
910 reduzida, levando a uma diminuição dos custos operacionais e de manutenção do tratamento de
911 água a longo prazo.

912

913 2.2. Impacto na Saúde Pública:

914

915 Dados epidemiológicos indicam que a ocorrência de doenças, tais como: gastroenterites,
916 dermatites e infecções otorrinolaringológicas estão frequentemente associados ao contato com
917 águas contaminadas. (CETESB, 2024).

918 A análise microbiológica mostrou uma redução nas contagens de *Escherichia coli* e outros
919 indicadores de contaminação fecal refletindo a eficácia das intervenções realizadas. A
920 implementação das técnicas de biorremediação promoveu a eliminação de patógenos e a
921 redução de poluentes orgânicos e inorgânicos, estabelecendo um ambiente aquático mais seguro
922 e saudável. A revitalização do ecossistema lagunar, por meio do aumento da biodiversidade e
923 da estabilização dos processos biogeoquímicos, contribuiu para a melhoria da qualidade
924 sanitária da água. A reestruturação das comunidades microbianas e macrobiotas facilitou a
925 revitalização do ecossistema, criando condições desfavoráveis para a proliferação de patógenos
926 aquáticos.

927 A mitigação dos riscos à saúde pública, evidenciada na redução na incidência de doenças de
928 veiculação hídrica, combinada com a melhoria da qualidade ambiental promoverão um

929 ambiente mais atrativo e seguro para atividades recreativas e turísticas. Esses fatores resultarão
930 em um aumento no desenvolvimento econômico sustentável da região.

931

932 **2.3. Valorização Imobiliária:**

933

934 A melhoria na qualidade da água e a revitalização da biodiversidade aquática também têm
935 benefícios econômicos indiretos, como a valorização imobiliária das áreas adjacentes e a
936 promoção de atividades recreativas e turísticas, que são sustentáveis e não impactam
937 negativamente o ecossistema reequilibrado.

938

939 **CAPÍTULO 3 - CONCLUSÃO**

940

941 A aplicação dos Biotijolos (figura 2 (b) e 2 (c)) nos sedimentos demonstrou ser eficaz na
942 aceleração do metabolismo da matéria orgânica e nutrientes, resultando em um aumento da
943 produtividade primária e promovendo um processo de sucessão ecológica no ecossistema. Essa
944 abordagem, combinada com a aplicação de bioinsumo líquido, melhorou significativamente o
945 índice de qualidade da água (IQA), na Lagoa de Maricá. Como consequência, houve um
946 aumento na abundância e diversidade de macroinvertebrados bentônicos, que são fundamentais
947 para a cadeia alimentar da fauna pesqueira. Esse incremento na biodiversidade contribui para
948 um sistema ambiental mais equilibrado, reduzindo os problemas associados a espécies
949 oportunistas e patogênicas.

950 Para futuros estudos, sugere-se investigar a longo prazo os impactos da aplicação contínua de
951 bioinsumos sólido e líquido sobre a qualidade da água e a estrutura da comunidade aquática.
952 Além disso, seria valioso avaliar o potencial desses bioinsumos em diferentes tipos de corpos
953 d'água e condições ambientais, bem como sua eficácia em ecossistemas impactados por diversas
954 fontes de poluição. Outras pesquisas poderiam focar na interação entre bioinsumos e outras
955 práticas de manejo ambiental para otimizar os resultados na revitalização e manutenção de
956 ecossistemas aquáticos.

957

958 **1. IMPLICAÇÕES PRÁTICAS**

959

960 A implementação bem-sucedida das técnicas de biorremediação pode servir como um modelo
961 para outras cidades enfrentando problemas semelhantes de poluição hídrica. As autoridades
962 locais podem adotar essas técnicas como parte de um programa abrangente de gestão de
963 recursos hídricos, incluindo a construção de estações de tratamento de água equipadas com
964 Biofiltros, como no estudo de caso que está sendo abordado no Capítulo 6 e a regulação da
965 aplicação de bioinsumos, como está sendo sugestionado no Capítulo 7

966

967

968

969

970

971 2. POLÍTICAS PÚBLICAS

972

973 Para maximizar os benefícios da biorremediação, é essencial integrar estas práticas nas políticas
974 públicas de gestão ambiental. A criação de regulamentos que incentivem o uso de
975 biotecnologias sustentáveis deve ser uma prioridade. Tais políticas podem incluir:

976

977 2.1. Incentivo ao Uso de Biotecnologias Sustentáveis:

978

979 Desenvolver e implementar regulamentos que promovam a aplicação de técnicas de
980 biorremediação, como a utilização de biotijolos e bioinsumos líquidos, comprovadamente
981 eficazes na melhoria da qualidade da água e na revitalização de corpos hídricos urbanos.

982

983 2.2. Programas de Monitoramento Contínuo:

984

985 Estabelecer programas de monitoramento contínuo da qualidade da água, com base nos
986 protocolos de Revitalização Natural Monitorada (RNM). Esses programas devem incluir a
987 análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos, conforme demonstrado na tese, para
988 garantir a eficácia das intervenções e possibilitar ajustes conforme necessário.

989

990 2.3. Subsídios e Incentivos Fiscais:

991

992 Oferecer subsídios e incentivos fiscais para projetos de biorremediação. Esses incentivos
993 podem estimular a adoção dessas técnicas em larga escala, tornando-as economicamente viáveis
994 para empresas e municípios. A implementação de Biosabão com microrganismos eficientes,
995 como descrito no capítulo 7, é um exemplo de inovação que pode ser promovida através de
996 políticas públicas.

997

998

999

1000

1001 **2.4. Educação e Capacitação:**

1002

1003 Investir em programas de educação e capacitação para gestores ambientais e técnicos. Ensinar
1004 as melhores práticas e técnicas de biorremediação, incluindo a aplicação de Biosabão e outras
1005 biotecnologias sustentáveis, pode aumentar a eficácia e a adoção dessas práticas.

1006

1007 **2.5. Incentivo à Pesquisa e Desenvolvimento:**

1008

1009 Apoiar a pesquisa e o desenvolvimento contínuo de novas técnicas de biorremediação. Estudos
1010 de caso, como o apresentado no capítulo 6, destacam a importância de abordar impactos
1011 ambientais em bacias de amortecimento e lagos ornamentais. Financiamento para essas
1012 pesquisas pode levar a avanços significativos na área.

1013

1014 A integração das práticas de biorremediação nas políticas públicas de gestão ambiental não só
1015 contribuirá para a melhoria da qualidade da água e da biodiversidade, mas também promoverá
1016 o desenvolvimento sustentável. A implementação dessas recomendações pode transformar a
1017 gestão de recursos hídricos, tornando-os mais resilientes e ecologicamente equilibrados.

1018

1019 **3. DESAFIOS METODOLÓGICOS**

1020

1021 Durante o estudo, diversos desafios metodológicos foram enfrentados, cada um apresentando
1022 suas próprias complexidades e exigindo soluções adaptativas para garantir a eficácia da
1023 biorremediação.

1024 **3.1. Variabilidade climática**

1025

1026 As condições climáticas tiveram um impacto significativo na eficácia dos microrganismos
1027 aplicados. Durante períodos de chuva intensa, houve uma diluição, o que afetou a concentração
1028 dos microrganismos e, conseqüentemente, a eficácia do processo de biorremediação. As chuvas
1029 intensas aumentaram o fluxo dos corpos hídricos, transportando os microrganismos para fora
1030 das áreas-alvo antes que eles pudessem realizar suas funções de maneira eficaz. Para mitigar
1031 esses efeitos, foi necessário ajustar a frequência e a dosagem das aplicações, utilizando doses

1032 de choque durante períodos chuvosos para compensar a diluição e o aumento do fluxo. Dados
1033 meteorológicos de 2022 e 2023 mostraram que os períodos de chuva intensa ocorreram
1034 predominantemente entre dezembro e março, com um aumento médio de 25% (medições in
1035 situ) no volume de precipitação comparado aos anos anteriores, tornando crítico o ajuste
1036 contínuo das estratégias de aplicação.

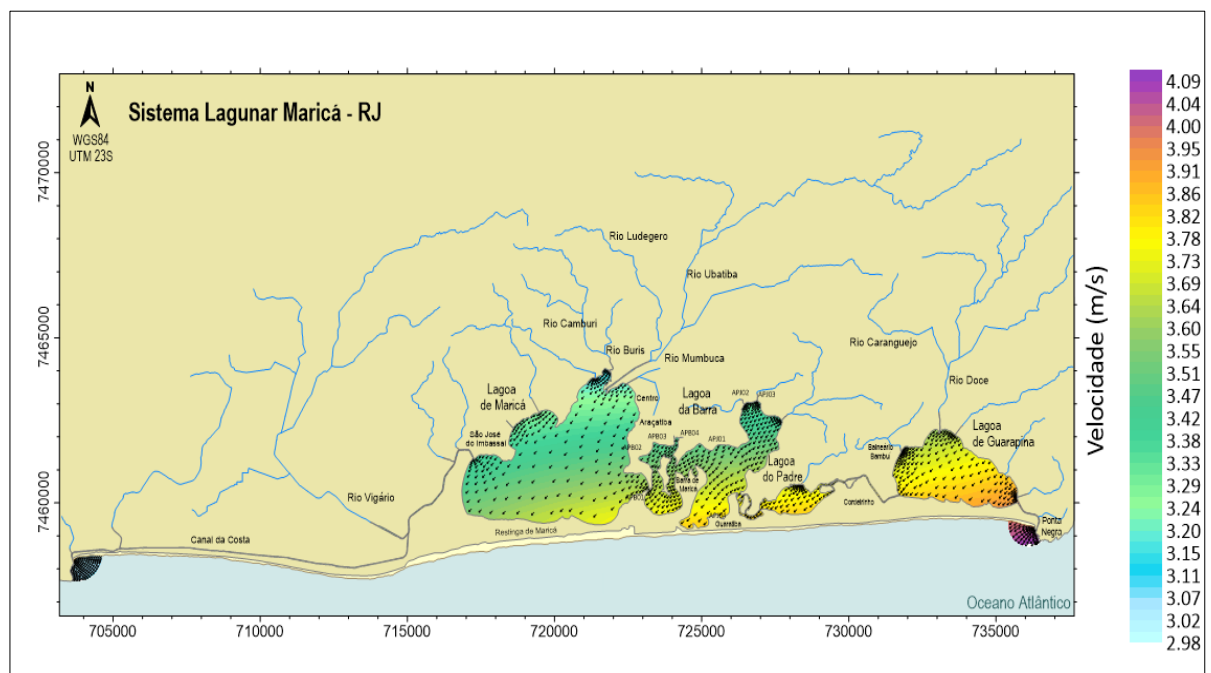
1037

1038 3.2. Distribuição uniforme dos microrganismos

1039

1040 Para garantir uma distribuição uniforme dos microrganismos nos corpos hídricos foi
1041 particularmente desafiador, especialmente em áreas de difícil acesso e em zonas com
1042 características hidrológicas complexas, como correntes variadas e áreas de estagnação. A
1043 topografia irregular e a presença de vegetação aquática densa dificultaram a aplicação
1044 homogênea dos bioinsumos. Para superar esse desafio, foram desenvolvidos protocolos
1045 específicos de aplicação que incluíram o uso de técnicas de dispersão em áreas críticas. A
1046 realização de Figuras detalhadas de batimetria e modelagem matemática para simular a
1047 Circulação Hidrodinâmica, indicaram que a dispersão da lagoa era do Norte para o Sul (figura
1048 3), mostrando que a intensificação para aplicação dos Biotijolos deveria ser ao norte
1049 (ROSMAN, P.C.C. et al, 2024).

1050



1051
Figura 19 – Circulação Hidrodinâmica no Sistema Lagunar de Maricá em 02/01/2023, h:00:00 - 2764800.
BARROS, W - SisBaHiA – UFRJ, 2023.

1052

1052 Ao inserir os quantitativos dos bioinsumos no modelo matemático Lagrangeano (Quadros 2), foi
 1053 executado com os dados hidrodinâmicos dos dias – 30/01/2023, h:00:00. Os resultados
 1054 comprovaram as melhorias ocorridas em in situ.

1055

Quadro 4 – Dados para o Modelo Lagrangeano no SisBaHiA – 2023.

ÍNDICES	DADOS
Fontes	15
Tempo decorrido	2h 04m 53s
Desempenho	0.280 s/ passo tempo
Número de partículas	Na água = 65073 Lançadas = 87800
Ganho	356.97 x o tempo real

Fonte: BARROS, W - SisBaHiA – UFRJ, 2023.

1056

1057 Com esses dados foi possível mudar o protocolo para segunda fase do projeto. Uma vez que,
 1058 não haveria necessidade de uma aplicação ao Sul da lagoa (Figura 4).

1059

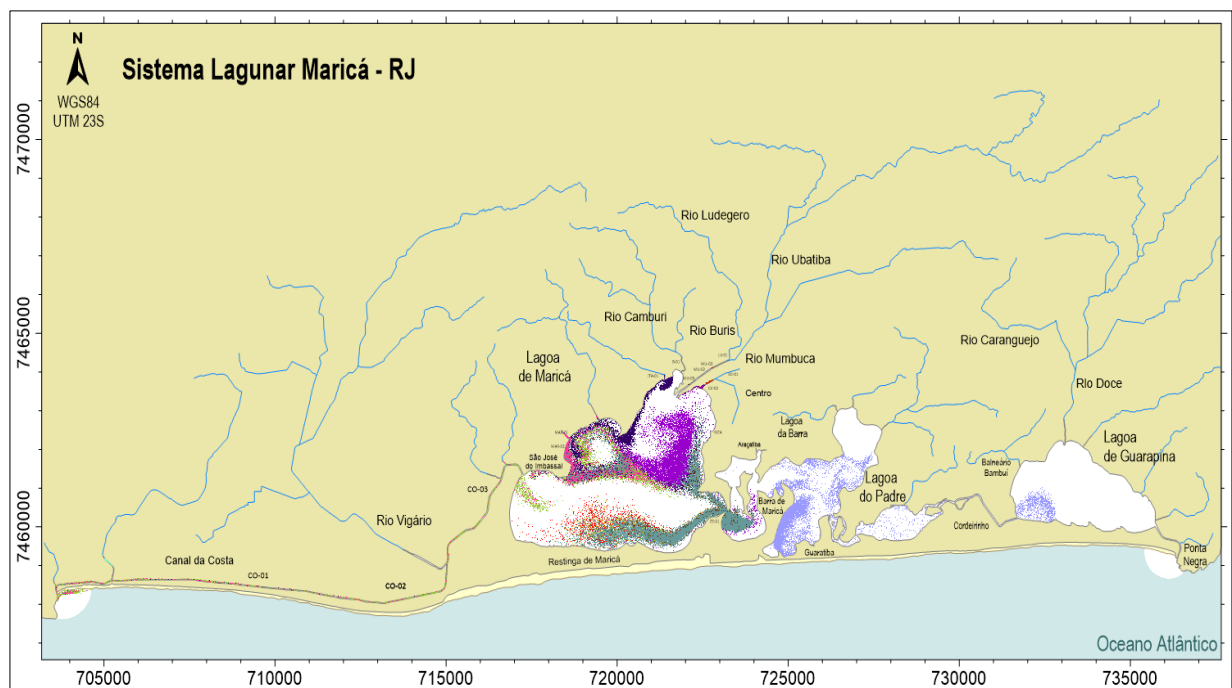


Figura 20 – Dispersão do Bioinsumo no Sistema Lagunar de Maricá. BARROS, W - SisBaHiA – UFRJ, 2023.

1060

1061

1062

1063

1064 **3.3. Interferência de outros poluentes**

1065 Análises adicionais da qualidade da água identificaram a presença de poluentes emergentes,
1066 como microplásticos e produtos farmacêuticos, que não estavam previstos inicialmente. A
1067 presença desses contaminantes exigirá ajustes nos protocolos de inoculação para garantir que
1068 os microrganismos possam atuar de forma eficiente nessas novas condições ambientais. Será
1069 necessário conduzir análises periódicas e detalhadas da qualidade da água para monitorar esses
1070 poluentes e ajustar a composição dos consórcios microbianos e dos nutrientes no meio de
1071 cultura. Por exemplo, a detecção de concentrações significativas de antibióticos demandará a
1072 introdução de cepas de microrganismos geneticamente resistentes a esses compostos, o que
1073 aumentará a eficácia do tratamento.

1074

1075 **3.4. Medidas Adotadas para Superação dos Desafios**

1076

1077 • **Monitoramento Climático Contínuo:**

1078

1079 Implementação de um sistema de monitoramento climático contínuo, utilizando estações
1080 meteorológicas locais e dados de satélite para prever eventos de chuva intensa e ajustar as
1081 estratégias de aplicação dos bioinsumos conforme necessário. Esse sistema permitiu prever
1082 chuvas intensas com antecedência, facilitando a preparação e adaptação das técnicas de
1083 aplicação.

1084

1085 • **Tecnologia de Aplicação Avançada:**

1086

1087 A utilização de tecnologias de aplicação mais avançadas, como dispersores automatizados, para
1088 alcançar uma distribuição mais uniforme dos microrganismos, especialmente em áreas de difícil
1089 acesso, poderá ser estudado. O uso de equipados com sensores de dispersão permitirá uma
1090 aplicação mais precisa e eficiente, cobrindo áreas maiores em menos tempo e com menor
1091 impacto ambiental

1092

1093

1094

1095 • **Análises de Qualidade da Água Frequentes:**

1096

1097 Estudar a realização de análises frequentes da qualidade da água, utilizando amostradores
1098 automáticos instalados em pontos estratégicos para identificar rapidamente quaisquer novos
1099 poluentes e ajustar os protocolos de inoculação de maneira proativa. Essas análises incluíram a
1100 detecção do aumento ou diminuição dos poluentes, com relatórios semanais que informariam
1101 as estratégias mais adequadas para mitigação.

1102

1103 • **Desenvolvimento de Blends de Microrganismos Personalizados:**

1104

1105 Criação de blends de microrganismos personalizados, adaptados às condições específicas
1106 encontradas em diferentes áreas do corpo hídrico e capazes de lidar com uma ampla gama de
1107 contaminantes. Estudos laboratoriais preliminares foram conduzidos para testar a resistência e
1108 eficácia de diferentes cepas de microrganismos em condições simuladas de poluição complexa,
1109 resultando na seleção de consórcios microbianos otimizados para cada tipo de contaminante
1110 identificado.

1111

1112 **4. LIMITAÇÕES DO ESTUDO**

1113

1114 **4.1. Escala Limitada:**

1115

1116 O estudo foi conduzido em uma área específica, a Lagoa de Maricá, o que pode limitar a
1117 generalização dos resultados para outros corpos hídricos com diferentes características
1118 geográficas, climáticas e de poluição. A singularidade do ecossistema estudado exige cautela
1119 ao aplicar as mesmas técnicas de biorremediação em outras regiões sem adaptações adequadas.

1120

1121 **4.2. Período de Monitoramento:**

1122

1123 O período de monitoramento foi relativamente curto, abrangendo apenas ciclos sazonais
1124 específicos, o que pode não ser suficiente para capturar os efeitos a longo prazo das técnicas de
1125 biorremediação aplicadas. A observação contínua e de longo prazo é essencial para validar a

1126 sustentabilidade e a durabilidade dos resultados obtidos, bem como para ajustar as estratégias
1127 conforme necessário.

1128

1129 **4.3. Complexidade dos Ecossistemas:**

1130

1131 A interação entre diferentes poluentes e componentes do ecossistema, como a fauna bentônica,
1132 flora aquática e as variáveis físico-químicas da água, torna difícil isolar os efeitos diretos dos
1133 microrganismos aplicados. Além disso, fatores externos como atividades antropogênicas e
1134 variações climáticas podem influenciar os resultados, dificultando a atribuição precisa das
1135 mudanças observadas às intervenções de biorremediação.

1136

1137 **5. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

1138

1139 **5.1. Estudos de Longo Prazo:**

1140

1141 Implementar monitoramentos a longo prazo para avaliar a sustentabilidade das técnicas de
1142 biorremediação e os efeitos prolongados sobre a qualidade da água e a biodiversidade. Estudos
1143 contínuos podem fornecer insights sobre a persistência dos benefícios e possíveis necessidades
1144 de reaplicações ou ajustes nas técnicas utilizadas.

1145

1146 **5.2. Diversificação dos Microrganismos:**

1147

1148 Investigar uma maior diversidade de microrganismos, incluindo cepas nativas e consórcios
1149 microbianos específicos para diferentes tipos de poluentes e condições ambientais. A
1150 identificação de combinações microbianas mais eficazes pode otimizar os resultados da
1151 biorremediação em variados contextos ecológicos.

1152

1153

1154

1155

1156 **5.3. Expansão Geográfica:**

1157

1158 Replicar o estudo em diferentes locais, conforme é apresentado no Capítulo 6, abrangendo uma
1159 variedade de corpos hídricos com características geográficas e níveis de poluição distintos. Isso
1160 ajudará a validar a aplicabilidade das técnicas de biorremediação em contextos variados e a
1161 identificar adaptações necessárias para diferentes ecossistemas.

1162

1163 **5.4. Análise Econômica:**

1164

1165 Realizar uma análise detalhada dos custos e benefícios econômicos da implementação em larga
1166 escala das técnicas de biorremediação. Considerar fatores como redução de custos com
1167 tratamento de água, impacto na saúde pública, valorização imobiliária e benefícios ecológicos.
1168 Uma avaliação econômica abrangente pode apoiar a tomada de decisões e a elaboração de
1169 políticas públicas sustentáveis.

1170

1171

1172 **CAPÍTULO 4 - BIOSABÃO COM MICRORGANISMOS**
1173 **EFICIENTES PARA DIMINUIR O IMPACTO NOS CORPOS**
1174 **HÍDRICOS**

1175

1176 Artigo publicado na revista **Ecology and Conservation Science: Open Access** em 26 de junho
1177 de 2024:

1178 <https://juniperpublishers.com/ecoa/pdf/ECOA.MS.ID.555638.pdf>

1179

1180

Biosoap with Efficient Microorganisms to Reduce the Impact on Water Bodies

Scott Danniela^{1*}, Waite Carolina¹, de Sena André Pedral S¹, Baptista Neto José Antonio¹ and da Silva Eduardo Camilo²

¹Federal Fluminense University - DOT- Postgraduate Stricto Sensu Doctoral Student in Ocean and Earth Dynamics, Av. General Milton Tavares de Souza, s/n, 4th Floor, Praia Vermelha Campus, Niterói, RJ, Brazil

²Federal Fluminense University, PPGAd /UFF - Postgraduate Program in Administration, Av. General Milton Tavares de Souza, s/n, 4th Floor, Campus da Praia Vermelha, Niterói, RJ, Brazil

Submission: May 15, 2024; **Published:** June 26, 2024

***Corresponding author:** Scott Danniela, Federal Fluminense University - DOT- Postgraduate Stricto Sensu Doctoral Student in Ocean and Earth Dynamics, Av. General Milton Tavares de Souza, s/n, 4th Floor, Praia Vermelha Campus, Niterói, RJ, Brazil

Abstract

The development of more sustainable sanitizers is crucial to reducing the environmental impact of domestic effluents. Biosoap enriched with Effective Microorganisms (ME) presents itself as an ecological alternative to synthetic detergents. Comparatively, natural ingredients such as vegetable oils and fats demonstrate greater bio-degradability. In this study, it was observed that the initial Biosoap formulations achieved significant effectiveness in the parameters of conditioning, cleaning, bubble formation, persistence, hardness, solubility and drying. However, the viability of microorganisms in the initial formulations proved to be low, which led to the development of a microencapsulation technique to protect microorganisms during the saponification process. This technique, validated by previous studies, proved to be effective in preserving viable cells, facilitating the incorporation and action of ME, which resulted in improvements in the degradation processes of organic matter in simulated conditions of sanitary effluents. This study highlights the potential of microencapsulated Biosoap as a viable and efficient solution, encouraging more sustainable practices in waste management and effluent treatment.

Keywords: Biosoap; Effective Microorganisms (EM); Microencapsulation; Biodegradability; Wastewater treatment; Environmental sustainability; Saponification; Eco-friendly detergents

Abbreviations: EM: Effective Microorganisms; EPS: Extracellular Polymeric Substance; ABS: Alkylbenzene Sulfonate; BOD: Biochemical Oxygen Demands; COD: Chemical Oxygen Demands; PQ: Phred Quality

Introduction

The history of soap, according to some historians, it is believed that the discovery of the first soaps was accidental and the name is attributed to a Roman legend, around 1,000 BC in the vicinity of Morro do Sapão, in a small tributary of the River Tiber, below a religious site where animal sacrifice took place, washerwomen noticed that their clothes became cleaner when they came into contact with the soapy clay that dripped down the hill and into the water. The cleaning agent was formed by animal fat that mixed with wood ash and penetrated the clayey soil. It is believed that soap, close to the current one, originated with the Phoenicians 600 BC. Goat lard was boiled in water with wood ash, obtaining a creamy soap [1]. The most interesting thing is that the word "soap" is similar in several languages: Sapone (Italian), Savon (French), Seife (German), Saippua (Finnish), Szappan (Hungarian). With the First World War, there was a food shortage and consequently a

lack of oils and animal fat for soap making and the solution was to use chemical additives such as surfactants [2]. With the change in habits towards the culture of bathing, skin treatments and the low cost that the chemical industry brought to the manufacture of soap, this led to an increase in the consumption of cleaning agents worldwide. And with increased consumption came the environmental impact of chemical additives and surfactants on water bodies. Since most chemicals are not biodegradable [3].

Surfactants can be synthesized chemically from petroleum derivatives or biotechnologically using microorganisms and renewable raw materials. Synthetic surfactants are more economically viable. However, when compared to biosurfactants, they cause greater environmental impact. Therefore, biosurfactants are a promising alternative and their consumption is increasing every day [3]. Commercial detergents are based on

synthetic surfactants produced chemically and manufactured from different raw materials, mainly petroleum derivatives. For example, alkylbenzene sulfonate (ABS), which is a synthetic detergent produced from benzene and propylene. The polluting potential of ABS is related to its ability to form a dense layer of white foam in bodies of water known as “detergent swan”, as occurs in the Tietê River along the cities of Santana do Parnaíba, Salto and Pirapora do Bom Jesus in the State of São Paulo, Brazil [2]. The dense layer of foam is responsible for carrying different types of pollutants over long distances, causing a decrease in the rate of photosynthesis, and altering the aquatic ecosystem [2].

Growing concern about the environmental impact of these products has led to the development of green chemistry, focused on minimizing the ecological footprint through the use of sustainable raw materials and environmentally friendly production processes. In this context, biosurfactants, which are secondary metabolites produced by microorganism such as *Bacillus* spp., have emerged as promising alternatives due to their superior biodegradability and lower toxicity [2]. Furthermore, biosurfactants have unique properties that include the ability to emulsify lipids and act as antibiotic agents, offering advantages in both industrial and environmental applications [4].

The present study aims to explore an innovation in soap production - Biosoap with the addition of Effective Microorganisms (EM) - which uses microencapsulation techniques to integrate and preserve these organisms during the saponification process. This approach not only improves the soap's effectiveness in terms of cleaning and conditioning, but also enhances the biodegradation of organic compounds in effluents, aligning with regulatory requirements such as Brazilian Law No. 7,365 of 1985, which requires the inclusion of components biodegradable in cleaning products [5]. This work also aligns with global sustainability guidelines, emphasizing the need to reduce dependence on environmentally harmful synthetic chemicals. To reduce the impact of sanitary effluents on water bodies, studies began on microorganisms that were effective in degrading organic matter. The consortia contain microorganisms that will perform useful fermentative decomposition and microorganisms with physiological abilities to fix atmospheric nitrogen into amino acids and/or carbon dioxide into simple organic molecules through photosynthesis.

In known fermentation processes, Bioinsumo accelerates the breakdown of compounds such as Proteins, Sugars, Fats, Minerals and Fibers, promoting the rapid decomposition of organic matter. Furthermore, Bioinsumo still works in two primary ways:

a) By competitive exclusion of other undesirable Microorganisms that cause bad odors and environmental inefficiency (e.g. methanogenic bacteria, *E. Coli*, etc.).

b) By producing beneficial bioactive substances that promote environmental health, such as: enzymes, organic acids, amino acids, and antioxidants.

The genus *Bacillus* spp can be highlighted that is described and analyzed in its main mechanisms of action, such as the excretion of antibiotics, toxins, siderophores, lytic enzymes and induction of systemic resistance; focusing on its ability to be used as a biological control agent for pests and diseases in plants; as well as its use in the formulation of biopesticides, which were incorporated into agroecology programs; also used to treat various effluents and environmental accidents. It is a species of gram-positive bacteria that is a common saprophyte of soil and water, below are some studied for this research: *Bacillus subtilis* - Barros (2007), states that *B. subtilis* produces a biologically active compound called surfactin, due to its great surface activity it is used in petroleum waste treatments, in addition to being extremely important in the industrial effluent treatment process.

i. ***Bacillus megaterium*** - Gomes (2003), states that *B. megaterium* has the capacity to produce biosurfactants and enzymatic expression for the degradation of aliphatic and aromatic compounds; showed promise for use as inoculum in bioremediation processes for areas contaminated with petrochemical waste, as they can use oily sludge as the only carbon source and produce biosurfactants.

ii. ***Bacillus licheniformis*** - In the study by Sanches [6], it was shown that *B. licheniformis* had a degradation capacity of 24% of the total concentration of the organochlorine pesticide Aldrin. Other factors, in the same study, such as exposure to sunlight and volatilization increased pesticide degradation to 31%.

iii. ***Bacillus polymyxa*** - is a gram-positive, mesophilic bacterium that produces oval spores, with thick walls, characterized by producing 2,3-butanediol and acetoin, also producing ethyl acetate, ethanol, and diacetyl, and is also a nitrogen fixer (LUERCE, 2002).

iv. ***Bacillus amyloliquefaciens*** - *B. amyloliquefaciens* IT-45 has a biochemical profile very similar to that of *B. subtilis* but has a higher molecular percentage of Guanine + Cytosine bases in its DNA and produces more α -amylase (LIMA, 2017); In the work carried out by Hlordzi (2020), where they simulated aquaculture effluent waters, it was possible to observe that *B. amyloliquefaciens* was efficient in removing nitrite, but its ammonia removal was dependent on the pH and water temperature conditions.

v. ***Bacillus cereus*** - has a biochemical profile very similar to that of *B. megaterium*; according to Wróbel [7] this bacterial genus has several bioremediation strategies, including biosorption, biosorption mediated by extracellular polymeric substance (EPS), bioaccumulation or bioprecipitation.

A good bioremediator, therefore, must be able to reduce the impact caused by pollutants present in sanitary effluents. *Bacillus* spp. can reduce the amounts of metals, such as: lead, cadmium, mercury, chromium, arsenic or nickel; In addition to metals, the *Bacillus* spp. They are also capable of reducing the amounts of $BOD_{5,20}$ and COD, nitrogenous compounds, and phosphorus. The

genus *Bacillus spp*, such as: *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus amyloliquefa-ciens IT-45*, *Bacillus cereus*, *Bacillus coagulans* and the genus *Phenibacillus*, such as *Phenibacillus polymyxa*, are good examples of bioremediators [7]. The objective of this research was to develop a methodology that would make it viable to introduce effective microorganisms into Biosoap, to accelerate the biodegradation of carbonaceous organic matter present in sanitary effluents represented by the Biochemical and Chemical Oxygen Demands (COD and BOD_{5,20}) Nitrogen and Phosphorus, becoming a solution to reduce the environmental impacts caused by irregular releases.

Materials and Methods

To begin the research, it was necessary to develop a bar soap recipe that was biodegradable and easy to manufacture. To this end, two tests were carried out, the first known as the hot process, which consists of heating the vegetable oil until the temperature of the material reaches 70°C, adding stearic acid, stirring until it is well homogenized at a temperature around 70°C and 80°C, use a heated bath, at this point 73% sodium hydroxide at 99% purity is added, dissolved in warm water, to the mixture of vegetable oil and stearic acid, stirring until homogeneous, add 96% ethanol and complete the remainder of the recipe and stirring at constant speed, maintaining the temperature of the material at around 70° and 80°C until the ingredients are well homogenized and the mixture becomes transparent, after which the essence is added to the base and then poured into the molds to dry.

The second soap-making test was the cold process, where the heat from the lye results in a chemical reaction of the sodium hydroxide when it comes into contact with the vegetable oil, starting the saponification process. The bleach is prepared with 60% cold water and 30% sodium hydroxide at 99% purity, stirring until completely diluted, waiting to cool until the temperature reaches between 36° and 40°C. While the lye cools, prepare the vegetable fat base with 70% palm kernel oil, 30% soybean oil, add the coloring. After homogenizing the dye, add the bleach, always stirring at a constant speed of 17 rpm Figure 1 (c) and (d). Wait for the mixture to reach a temperature of 25°C and pour it into the molds to dry. It is worth mentioning that in the two recipes tested, 10% microorganisms were added (ME01 and ME02).

These tests aimed to evaluate the efficiency in the following indices: Conditioning; Cleaning; Bubbles; Persistence; Toughness; Solubility and Drying for Biosoap viability. To test the viability of microorganisms effective in Biosoap, initially two commercial blends (inoculum) of microorganisms (ME01 and ME02) were chosen. To this end, the ME01 product was activated considering the manufacturer's recommendations on Bioaugmentation of colony forming units (CFU/100mL) in a quantity of 10⁸ CFU/100mL. This process used 5% of the blend (inoculum), 5% of molasses (carbon source) as activator and 90% of clean, chlorine-free water (proportion 1:1:9) after using a mixer for 1h at 30 rpm, Figure 1 (a) and (b), which inoculum was left to grow for 5 days at room temperature.

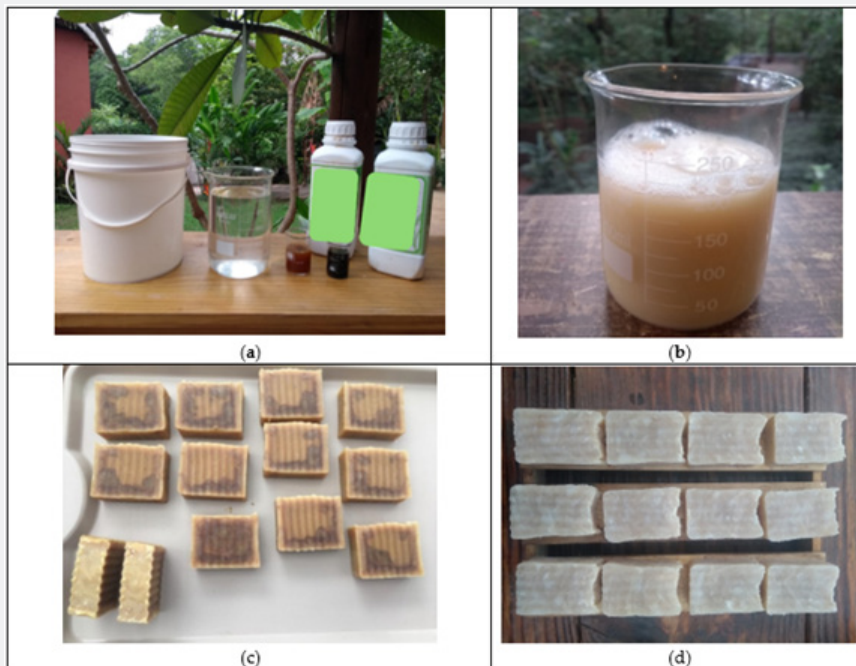


Figure 1: Photo - (a) Bioaugmentation process of the product; (b) Product after 5 for Bioaugmentation; (c) first Biosoap recipes with reused oil and Bioinputs (100g); (d) first Biosoap recipes with coconut oil and Bioinputs (100g).

The ME02 product was activated, considering the manufacturer's recommendations, with the Activator (carbon source) supplied together with the blend (inoculum). For bioaugmentation, 10% of the blend was used, 2% of the Activator (powder) dissolved in 90% of chlorine-free water, to homogenize the solution, a mixer was used for 1h at 30 rpm, Figure 1 (a) and (b), the inoculum was left to grow for 5 days at room temperature. After the growth period, aliquots were taken for metagenomics and for testing in Biosoap itself. For the Metagenomic analysis of bacteria, high-performance sequencing of the V3-V4 regions of the 16S rRNA gene was performed. Library preparation followed a proprietary protocol (Neoprosperta Microbiome Technologies, Brazil). Amplification was carried out using primers for the V3-V4 region of the 16S rRNA gene, 341F with sequence (CCTAC-GGGRSGCAGCAG), and 806R with sequence (GGACTACHVGGGTWTCTAAT), doi: 10.1371/journal.pone.0007401 / doi: 10.1038/ismej.2012.8). Libraries were sequenced using the MiSeq Sequencing System (ILLUMINA Inc., USA). For paired-end sequencing, V3 kits with 600 cycles or V2 kits with 500 cycles can be used. If single end, the V2 kit with 300 cycles is used.

The sequences were analyzed using the SENTINEL PIPELINE, where FASTA files are evaluated for Phred Quality (PQ) using the FastQC v.0.11.8 program (ANDREWS, 2010). Next, the FASTA files are subjected to trimming for low quality primers and sequences (Phred < 20). The proprietary software used for this purpose was built in Python v.3.6, which was inspired by the features of the BioPython project [8]. For PAIRED-END data, before the trim-ming step, two pairs of files (R1 and R2) are joined into a single file using pandaseq v.2.11 [9]. CLUSTERS with an abundance lower than 5 are removed from the analysis, as such structures are normally related to chimera sequences [10]. Taxonomic identifications are performed with blastn v.2.6.0+ [11], using a proprietary or public database as a reference. Regarding the definition of a species, among the 20 hits returned for each cluster, a Python instruction evaluates whether one of three requirements would be met by the HITS: 1) highest BIT-SCORE; 2) lower E-VALUE; and 3) taxonomies with greater representation. Species are defined using 99% identity.

The HITS that met one of the previous items were chosen as representative species. These analyzes were carried out on the Google Cloud computing platform, where Neoprosperta's bioinformatics structure is hosted. DMD Bacterial and Fungal analyzes can be performed against reference databases for proprietary or public 16S rRNA and ITS genes. The public databases we had available are QUASt [12] and Greengenes [13]. After testing the viability of microorganisms in the Biosoap, with the two Bioinputs (ME01 and ME02), the taxonomic identification of the microorganisms resistant to the saponification process was carried out, these were isolated and identified through Biomerieux's API test. After identifying the microorganisms, it was placed in a culture medium suitable for bioaugmentation for

use in a new test at Biosoap.

For the purpose of bio-increasing the number of viable cells in the Biosoap, the unprotected resistant microorganism isolated from the bio input, and the encapsulated and microencapsulated microorganism were tested; for this purpose, a commercial product (*B. subtilis* CCT 0089) was purchased. To carry out the experiment in the manufacture of Biosoap with these microorganisms (resistant and encapsulated and microencapsulated), the soap recipe (cold process) was used, as described above, after which it was placed in drying molds and 10% of the resistant microorganism was added with 1×10^8 UFC (liquid) and 1% of microorganisms encapsulated with 1×10^9 UFC (solid), whose capsule composition contained sodium chloride, Kaolin, silicon dioxide. They were left to dry for 24 hours, were unmolded, and cut, placed in boxes to rest for 6 weeks to finish the saponification process.

Results

The results of the soap tests showed that both recipes had low solidification, Figure 1, this was due to the low quality of the sodium hydroxide at 50% purity. To obtain better quality, it was decided to change the sodium hydroxide from 50% to 99% purity. With the change of more pure sodium hydroxide in the recipes, performance improved in the cold process, with the quality indexes in Table 1. With the biodegradable soap recipe stabilized, Figure 2(a), research began to inoculate with effective microorganisms from commercial blends. The research was focused on the preservation of viable cells of microorganisms, and the first tests carried out were with the commercial blend ME01, in which metagenomics was carried out to identify the microorganisms present in the product, Table 2. As the preservation of viable cells of microorganisms in the first tests was low and, in some cases, even null. Tests were started by varying the concentrations of the ME01 blend, changing the bioaugmentation method, application point and temperature control in the Biosoap manufacturing process. However, the results have not yet been satisfactory. Therefore, tests began with another commercial blend, ME02, in which metagenomics was also carried out to identify the microorganisms present in the product, Table 3.

Tests with ME02 followed the same manufacturing procedures as Biosoap with ME01. But the results were not satisfactory either. During Biosoap tests with blends ME01 and ME02 (inoculum), a low number of viable cells was observed, around 10^2 CFU. (Figure 3) were preserved. Being identified as the group *Bacillus spp.* in biosoap, although the growth was not significant, they managed to survive the saponification process. Taxonomic identification, through Biomerieux's API test, of the isolated resistant microorganism indicated that it was *Bacillus subtilis*, then a bioaugmentation process began in culture medium until a concentration of 1×10^8 UFC was reached, Figure 3. A new test was carried out using the isolates in Biosoap but maintained the procedures with the manufacture of Biosoap from previous blends, Figure 4. But the results did not have a desirable

concentration for good efficiency in the treatment of organic matter present in sanitary effluents. With the low concentration of viable cells in the experiments, studies were aimed at protecting the microorganisms and making them more resistant to the saponification process. The test began with encapsulated and

microencapsulated microorganisms, whose capsule composition contained sodium chloride, kaolin, and silicon dioxide. And the concentration of microorganisms, according to the manufacturer, was 1.0×10^8 UFC.

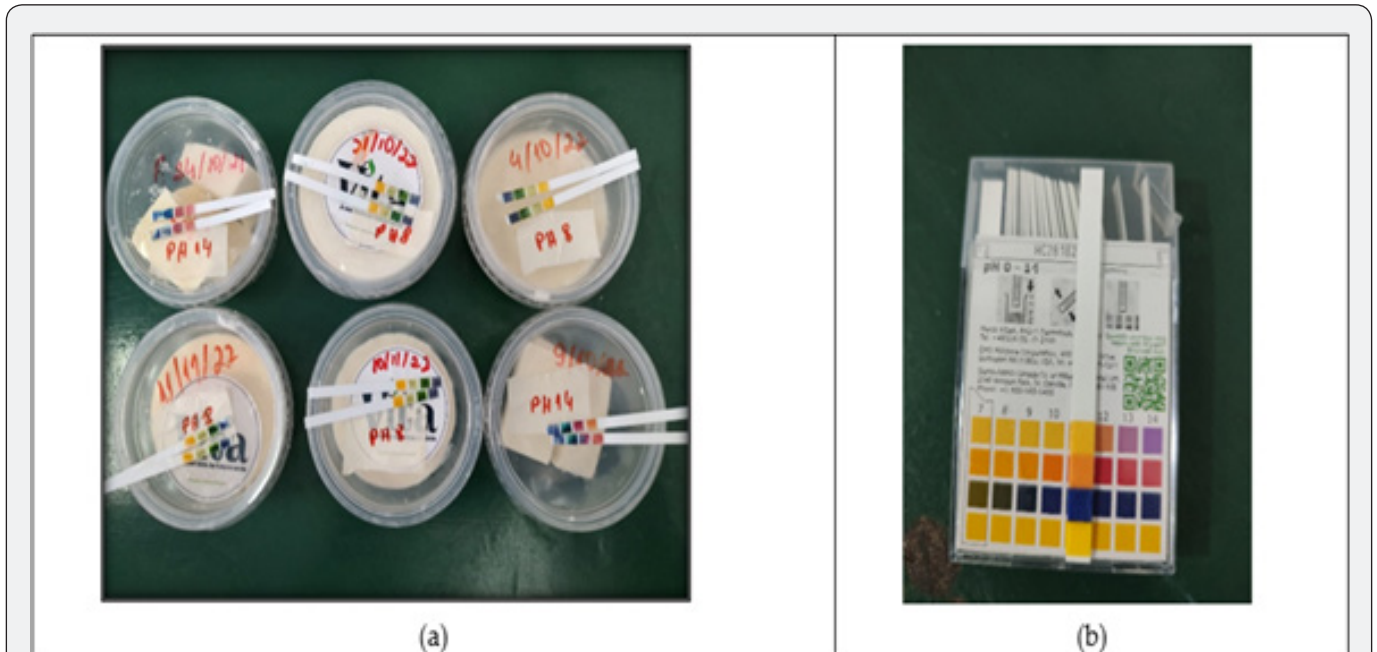


Figure 2: (a) From left to right of the top line are samples with pH 14; pH 8; pH8. And from left to right of the bottom line are samples with pH 8; pH 8 and pH 14. (b) pH titration scale.

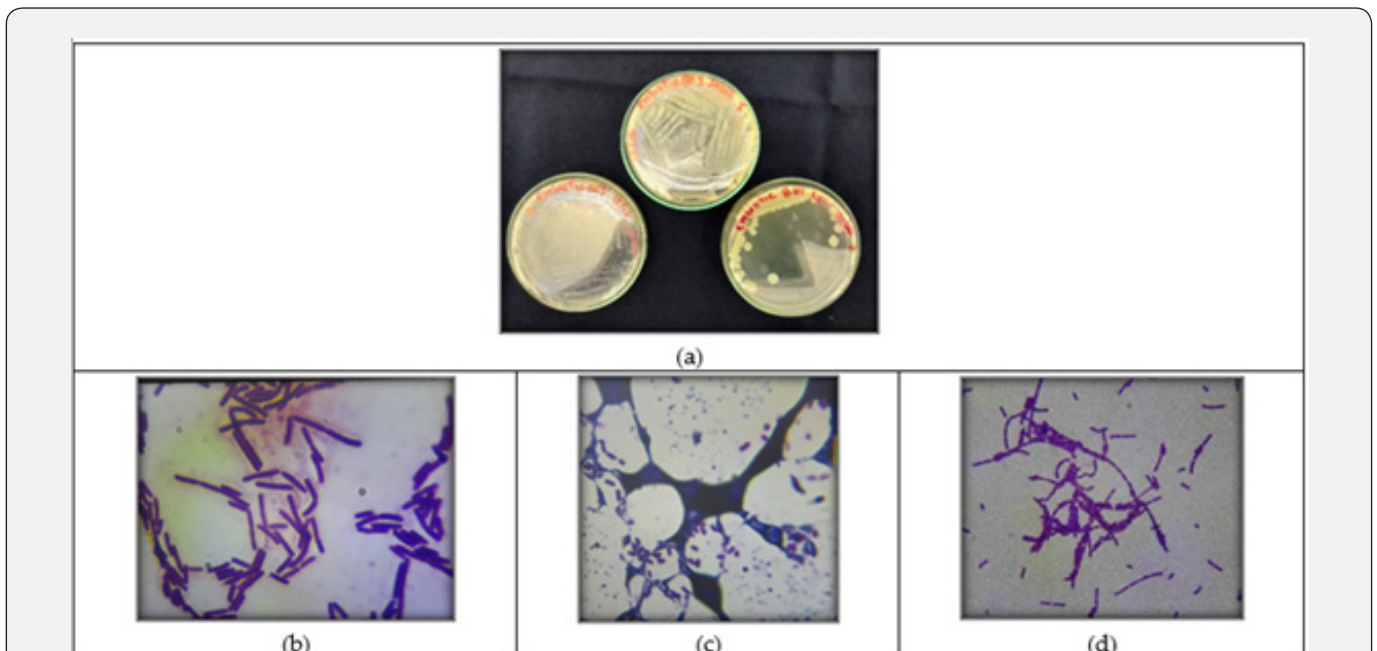


Figure 3: (a) survival analysis of microorganisms in Biosoap samples with plating in culture medium; (b) (c) and (d) survival analysis of microorganisms in Biosoap samples with Gran Positive and Negative method.



Figure 4: Photo with isolates in Biosoap ((\varnothing 75mm and 100g).



Figure 5: Photo of Biosoap with encapsulated microorganisms (\varnothing 75mm and 100g).



Figure 6: Photo of Biosoap with Microencapsulated microorganisms ((\varnothing 75mm and 100g).

In the test with the encapsulated products, the procedures for manufacturing Biosoap from previous blends were maintained. However, the encapsulated material settled to the bottom of the mold (Figure 5), causing a lack of homogenization of the microorganisms throughout the Biosoap. So, the procedure for applying the encapsulated substances changed, and they were even added after the Biosoap mass went into shape. In

this procedure, post-use survival reached 4.0×10^5 UFC /g with application of 1% of encapsulated microorganisms. A new test was carried out with a microencapsulated product, the result was satisfactory in visual appearance (Figure 6). Biosoap presented, in analysis, good quality in terms of cleaning agent parameters and mainly the concentration of viable cells (Table 4) for inoculation of the treatment system of a single-family residence.

Table 1: Result of soap quality analysis.

Indexes	Degree (%)	Ideal Grade (%)
Conditioning	51	50
Cleaning	50	50
Bubbles	53	50
Persistence	42	50
Toughness	47	50
Solubility	53	50
Drying	46	50

Fonte: authors.

Table 2: Result of metagenomic analysis in Number of DNA sequences, molasses as activator.

Microorganisms found	ME01
Acetobacter	1
Bacillus	5
Heyndrickxia	30
Lactobacillus	170
Lysinibacillus	5,578.00
Niallia	55,553.00
Oceanobacillus	0,00
Paenibacillus	30,00
Priestia	1,00
Ureibacillus	50.681,00
Brettanomyces	131,00
Brettanomyces	0,00
Pichia	0,00
Saccharomyces	1,00
Pichia	26.923,00

Source: authors.

Table 3: Result of metagenomic analysis in number of DNA sequences.

Microorganisms found	ME02	ACTIVATOR
Acetobacter	12,698.00	0
Bacillus	0,00	4.198,00
Heyndrickxia	3,00	44.528,00
Lactobacillus	2.171,00	0,00
Lysinibacillus	0,00	0,00
Niallia	1,00	7.805,00
Oceanobacillus	0,00	1.192,00

Paenibacillus	0,00	342,00
Priestia	2,00	9.798,00
Ureibacillus	1,00	1,00
Brettanomyces	0,00	0
Brettanomyces	4,960.00	0
Pichia	0	5
Saccharomyces	2	31,903.00
Pichia	74,696.00	2

Table 4: Result of the Biosoap efficiency analysis.

Index	Experiments		
	1	2	3
pH before drying	14	12.4	12.5
Iodine	192	186	179
Conditioning - %	46	46	51
Cleaning - %	59	58	50
Bubbles - %	59	59	53
Persistence - %	49	49	42
Toughness - %	45	45	47
Solubility - %	55	55	53
Drying - %	54	53	46
Microorganisms - UFC /g	>10 2	>10 2	4.0x10 5
Temperature when applying microorganisms - °C	85	25.5	34
Bleach (Sodium Hydroxide) - % purity	50	99	99
pH after drying	14	8	8

Source: authors.f56

Discussion

This study underscores the applicability and environmental benefits of Biosoap with Effective Microorganisms (EM), using microencapsulation techniques to improve the viability and effectiveness of microorganisms during the saponification process. The microencapsulation technique, already well established in the food and pharmaceutical industries to protect and release active ingredients in a controlled manner, has proven to be crucial for the stability of MEs under adverse conditions and during the saponification reaction [14,15]. Integrating effective microorganisms into cleaning products not only enhances the degradation of organic materials in wastewater, but also promotes in situ bioremediation, an emerging approach to wastewater treatment. Studies have demonstrated the ability of microorganisms such as *Bacillus spp.* in reducing the concentration of heavy metals and other pollutants, highlighting their potential role in mitigating the effects of aquatic pollution and improving water quality [7].

In the context of environmental legislation, products such as Biosoap respond directly to the demands for greener and

sustainable solutions in daily consumption products. Brazil's law nº 7,365 of 1985 is an example of how regulations can encourage innovation towards environmentally friendly products, requiring the incorporation of biodegradable components in detergents and soaps [16]. Furthermore, the discussion about the environmental impacts of synthetic detergents versus biological alternatives highlights a critical need for change in the industry. Biosoap represents a significant step in this direction, offering a practical and efficient alternative that combines effective cleaning with environmental responsibility.

For future research, it is recommended to explore a wider range of microorganisms and encapsulation techniques. Diversification of EM could offer a wider range of biological activities and increase product efficacy under different environmental conditions. Investigating the long-term impact of using Biosoap in real communities, especially in sensitive areas such as coastal or densely populated urban regions, would provide valuable insights into its effectiveness and environmental sustainability. Additionally, studies that evaluate the complete life cycle of Biosoap, from production to disposal, would help to

better understand its general environmental impact and further optimize its formulation and application. This holistic approach is essential to meeting both consumer needs and environmental conservation imperatives.

Conclusion

The research demonstrated that it is highly viable for the manufacture of a sanitizing product using the cold process, where inoculation with micro-encapsulated microorganisms not only provided a favorable cost-benefit due to process efficiency and reduced energy consumption, but also resulted in a product with superior visual appearance and improved security and usability features. Furthermore, the use of microencapsulated effective microorganisms contributed significantly to the stability and prolonged effectiveness of the product, making it a sustainable and efficient alternative to conventional detergents. Considering the proven capabilities of *Bacillus* species as effective bioremediation agents in reducing heavy metals and reducing BOD_{5,20} and COD levels, as well as in the transformation of nitrogenous compounds and phosphorus, the Biosoap formulation was optimized to include a blend of specially selected microorganisms. The proposed composition includes *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus amyloliquefaciens* and *Bacillus megaterium*, each contributing 1.5x10⁸ UFC/g, complemented by *Saccharomyces cerevisiae* with the same concentration, to maximize bioremediation efficacy. This strategic approach not only improves the product's functionality as a cleaning agent, but also amplifies its role in mitigating adverse environmental impacts associated with the treatment and disposal of domestic wastewater.

References

- Dantas Filho, Francisco Ferreira, Silva GN Costa AS (2017) Teaching-learning process of the concepts of acids and bases with the inclusion of experimentation using the theme of ecological soap. *Holos* 2: 161-173.
- Felipe, Lorena de Oliveira, Sandra de Cássia Dias (2017) Synthetic surfactants and biosurfactants: advantages and disadvantages. *Química Nova - São Paulo-SP, BR* 39(3): 228-236.
- Hasan Fariha, Shah Aamer Ali, Hameed Abdul (2006) Aplicações industriais de lipases microbianas. *Tecnologia enzimática e microbiana* 39(2): 235-251.
- Martins Silvia, Biral Paula (2019) Natural Saboaria, cold saponification, Cold Process, Bahia, Brazil © CERIES.
- Anvisa (2008) Guide to quality control of cosmetic products - An approach to physical and chemical tests. Brasília p. 18 - 121.
- Sanchez D, Jose G, Henry L, Charles A (2012) Degradation of Aldrin by *Bacillus licheniformis*, isolated from water and sediments of Ciénaga Grande, Santa Marta, Colombia. *Acta biol. Columbus* 17(1): 67-76.
- Wrobel Monika, Wojciech Ś, Paweł K, Karol K, Jakub D (2023) Bioremediation of Heavy Metals by the Genus *Bacillus*. *Int J Environ Res Public Health* 20(6): 4964.
- Cock Peter JA, Tiago A, Jeffrey TC, Brad AC, Cymon JC, et al. (2009) BioPython: Freely available Python tools for computational molecular biology and bioinformatics. *Bioinformatics* 25(11): 14-22.
- Masella André P, Andrea KB, Jakub MT, Daniel GB, Josh DN (2012) PANDA seq: paired assembler for lighting sequences. *BMC Bioinformatics* 13: 1-7.
- Phipson Belinda, Smyth Gordon K (2010) Permutation P-values should never be zero: calculating exact P-values when permutations are drawn at random. *Statist Appl Genet Mol Biol* 9(39).
- Altschul Stephen F, Lipman David J (1990) Protein database searches multiple alignments. *Ann Natl Acad Sci* 87(14): 5509-5513.
- Gurevich A, Vladislav S, Nikolay V, Glenn T (2013) QUASt: quality assessment tool for genome assemblies. *Bioinformatics* 29(8): 1072-1075.
- Desantis Todd Z, Hugenholtz P, Larsen N, Rojas M, Brodie EL, et al. (2006) Greengenes, a chimera-verified 16S rRNA gene database and ARB-compatible workbench. *Appl Environ Microbiol* 72(7): 5069-5072.
- Laurenti Elisa, Garcia Sandra (2013) Efficiency of natural and commercial encapsulating materials in controlled release of encapsulated probiotics. *Brazil J Food Technol* 16: 107-115.
- Peanparkdee Methavee, Iwamoto Satoshi, Yamauchi Ryo (2016) Microencapsulation: a review of applications in the food and pharmaceutical industries. *Rev Agri Sci* 4: 56-65.
- Anvisa (1999) Resolution No. 482, of September 23, 1999, Technical regulation for establishing the identity and quality of vegetable oils and fats, Official Gazette of the Federative Republic of Brazil, Brasília.
- Baker IJA, Drummond CJ, Furlong DNN, Grieser F (2004) Surfactant biodegradation: sugar-based surfactants compared to other surfactants. In: Zoller U (ed). *CRC Press, 2004. Handbook of Detergents - Part B: Environmental Impact. Ch. 28: 739-760.*
- Chimello CM, Bruza FB, Ramos MJ, Silva RCS, Kremer CK (2012) Study on the choice of the type of detergent used by consumers in Itatiba. *Online Environmental Sciences Magazine* 8(1): 60-61.
- Ghanbarzadeh M, Golmoradzadeh A, Homaei A (2018) Carrageenans and carrageenases: Versatile poly-saccharides and promising marine enzymes. *Phytochem Rev* 17(3): 535-571.
- Hlordzi Vivian, Felix KKA, Gyamfua A, Emmanuel DA, Yishan Lu, et al. (2020) The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: A Review. *Aquacul Rep* 18: 100503.
- Machado Thais Strieder (2018) Production of bacterial biosurfactants in soils using bioaugmentation and biostimulation.
- Melo Itamar Soares de (2008) Environmental microbiology. ed. rev. amp. - Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, pp. 647.
- Mulligan CN, Sharma SK, Mudhoo A, Makhijani K (2014) Green chemistry and biosurfactant research. In: Mulligan CN, Sharma SK, Mudhoo A (ed.). *Biosurfactants: Res Trend Appl Ch* 1: 1-30.
- Oliveira Hugo Mendes de (2021) Reduction of organic matter with application of *Bacillus subtilis* and *B. licheniformis* in sediments from a polyculture nursery of *Litopenaeus vannamei* with *Oreochromis niloticus*.
- Osadebe AU, Chinelo AO, Bukola MS, Gideon CO (2018) Microbial Degradation of Anionic Surfactants from Laundry Detergents Commonly Discharged into a Riverine Ecosystem. Department of Microbiology, University of Port Harcourt, Choba, Nigeria. *J Appl Life Sci Int* 16(4).

26. Penteadó JCP, EL Seoud OA, Carvalho LRF (2006) Linear alkylbenzene sulfonate: an environmental and analytical approach. *New Chem* 29(5): 1038-1046.
27. Steemers Frank J, Gunderson Kevin L (2007) Whole Genome Genotyping Technologies on the BeadArray™ Platform. *Journal of Biotechnology: Healthcare Nutrition Technol* 2(1): 41-49.
28. Favaro-Trindade, Carmen S (2016) Encapsulation of active/bioactive/probiotic agents. In: *Edible Films and Coatings*. CRC Press pp. 363-378.



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 License
DOI: [10.19080/ECO.A.2024.04.555638](https://doi.org/10.19080/ECO.A.2024.04.555638)

**Your next submission with Juniper Publishers
will reach you the below assets**

- Quality Editorial service
- Swift Peer Review
- Reprints availability
- E-prints Service
- Manuscript Podcast for convenient understanding
- Global attainment for your research
- Manuscript accessibility in different formats
(Pdf, E-pub, Full Text, Audio)
- Unceasing customer service

Track the below URL for one-step submission

<https://juniperpublishers.com/online-submission.php>

1181 **CAPÍTULO 5 – CASE REPORT: AVALIAÇÃO DA**
1182 **EFICIÊNCIA E ACEITAÇÃO DO BIOSABÃO EM**
1183 **DIFERENTES APLICAÇÕES DOMÉSTICAS.**

1184

1185 Artigo publicado na revista **Ecology and Conservation Science: Open Access** em 26 de junho
1186 de 2024:

1187 <https://juniperpublishers.com/ecoa/pdf/ECOA.MS.ID.555637.pdf>

1188



Evaluation of the Efficiency and Acceptance of Biosoap in Different Domestic Applications

Scott Danniela^{1*}, Waite Carolina¹; De Sena André Pedral¹, Baptista Neto José Antonio¹ and Da Silva Eduardo Camilo²

¹Federal Fluminense University - DOT- Postgraduate Stricto Sensu Doctoral Student in Ocean and Earth Dynamics, Av. General Milton Tavares de Souza, s/o, 4th Floor, Red Beach Campus, Niterói, RJ, Brazil

²Federal Fluminense University, PPGAd /UFF - Postgraduate Program in Administration, Av. General Milton Tavares de Souza, s/n, 4th Floor, Campus da Praia Vermelha, Niterói, RJ, Brazil

Submission: May 15, 2024; **Published:** June 26, 2024

***Corresponding author:** Scott Danniela, Federal Fluminense University - DOT- Postgraduate Stricto Sensu Doctoral Student in Ocean and Earth Dynamics, Av. General Milton Tavares de Souza, s/o, 4th Floor, Red Beach Campus, Niterói, RJ, Brazil

Abstract

This study investigates the integration of effective microorganisms (EM) into soap production, aiming to enhance the biodegradation of organic compounds in effluents while adhering to global sustainability and regulatory standards. Originating from the historical evolution of soap making, which has seen transitions from ancient practices to modern chemical processes, this research highlights the environmental impact of synthetic surfactants and explores biosurfactants as sustainable alternatives. We conducted a methodological evaluation involving eleven volunteers who tested different types of Biosoap, including Coconut bar, Liquid Coconut, and Reused Oil variants. The results showed positive feedback on the soap's effectiveness in cleaning and skin care, with notable benefits in hydration and potential wound healing. Additionally, improvements were observed in the functioning of household grease traps and septic systems, suggesting that the use of EM-enhanced Biosoap could lead to significant environmental benefits. The findings support the potential of Biosoap not only as a cleaning agent but also as a therapeutic skin care product, encouraging further research with a larger sample size to substantiate these preliminary results and fully explore the ecological and dermatological benefits.

Keywords: Biosoap; Effective Microorganisms; Microencapsulation; Biodegradability; Wastewater Treatment; Environmental sustainability; Saponification; Eco-friendly Detergents

Abbreviations: EM: Effective Microorganisms; UFC: Colony Forming Unit; BOD: Biochemical oxygen demand; COD: Chemical Oxygen Demand

Introduction

The historical development of soap can be traced back to accidental discoveries and ancient formulations. Initially observed by Roman washerwomen around 1000 BC, the beneficial properties of mixing animal fats with wood ash were later refined by the Phoenicians around 600 BC into a basic form of soap. Despite the evolution of soap ingredients and manufacturing processes, the core concept of saponification has remained relatively constant. The global increase in soap consumption brought about by lifestyle changes and industrial advances led to environmental concerns, especially with synthetic surfactants derived from petroleum. These concerns have spurred developments in green chemistry and the exploration of biosurfactants as sustainable alternatives due to their environmental benefits. The present

study explores the innovative use of effective microorganisms (EM) in soap production, aiming to enhance the biodegradation of organic compounds in effluents and align with global sustainability and regulatory standards. This approach not only improves the ecological profile of soaps but also enhances their functional benefits in various applications [1-4].

Methodology

The study involved distributing four types of Biosoap to eleven volunteers, subsequently asking for their impressions and observations regarding the product's effectiveness. The types of Biosoap tested included: Coconut Bar (white), Liquid Coconut (white), Liquid reused oil and Reused oil in bar (blue).

Results

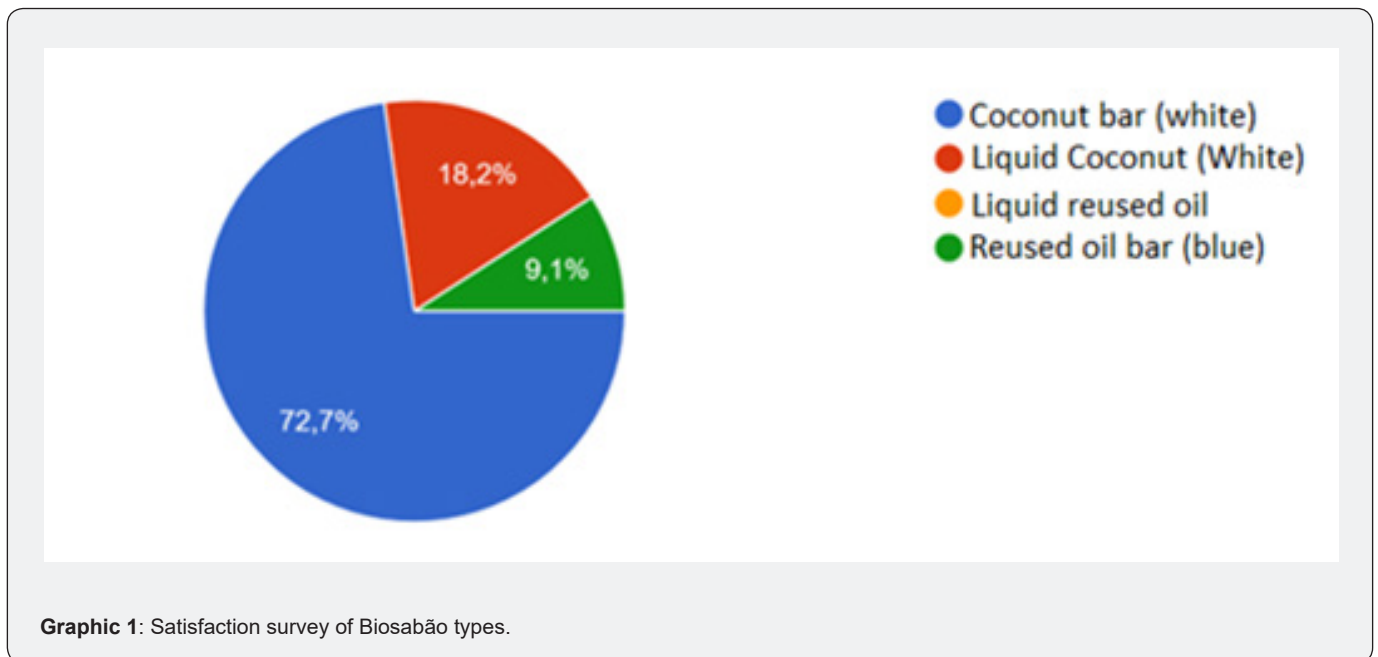
A new test was carried out with a microencapsulated product, the result was satisfactory in visual appearance (Figure 1). In analysis, Biosoap presented good quality in terms of cleaning agent parameters and mainly the concentration of viable cells (Table 1) for inoculation of the treatment system of a single-family residence. The satisfaction survey with eleven volunteers, had the following usage percentages: Coconut bar (white) with 75%, Liquid coconut (white) with 16.7% and Reused oil in bar (blue) with 8.3%, Graph 1. The general perception of users was

positive, highlighting its effectiveness in cleaning dishes and clothes, as well as benefits for the skin. Specific observations included improved skin hydration and appearance when using coconut bar soap, greater effectiveness in removing food residue from dishes, and the perception of softer, hypoallergenic clothing. [11,12]. Furthermore, some participants reported improvements in the functioning of the grease trap, with reduced odors and less frequency of fat accumulation. Others mentioned improvements to septic tank and sink systems, including reducing odors and clogging [13].

Table 1: Result of the Biosoap efficiency analysis.

Index	Experiments		
	1	2	3
pH before drying	14	12.4	12.5
Iodine	192	186	179
Conditioning - %	46	46	51
Cleaning - %	59	58	50
Bubbles - %	59	59	53
Persistence - %	49	49	42
Toughness - %	45	45	47
Solubility - %	55	55	53
Drying - %	54	53	46
Microorganisms - UFC /g	>1x10 ²	>1x10 ²	4.0x10 ⁵
Temperature when applying microorganisms - °C	85	25.5	34
Bleach (Sodium Hydroxide) - % purity	50	99	99
pH after drying	14	8	8

Source: Authors



Graphic 1: Satisfaction survey of Biosabão types.



Figure 1: Photo of Biosoap with Microencapsulated microorganisms (75mm and 100g).

Discussion

The results indicate a strong acceptance of Biosoap in different forms, mainly in the coconut bar and reused oil versions [14-19]. Particularly notable was the reported benefits for the skin, including improved hydration, radiance and even wound healing. This observation is crucial as it suggests that Biosoap may have beneficial properties not only as a cleansing agent, but also as a potential adjuvant treatment for the skin, especially in cases of dry or damaged skin [20-24]. Furthermore, participants reported improvements in the functioning of the grease trap, with reduced odors and less frequency of fat accumulation [25-27]. Others mentioned improvements to septic tank and sink systems, including reducing odors and clogging [28].

Acknowledgment

This preliminary study demonstrates the effectiveness and acceptance of Biosoap by users in multiple domestic applications, justifying future investigations with a larger sample to validate these results on a broader scale. The perceived efficacy in improving skin condition and wound healing potential particularly highlights Biosoap as a product of interest for future dermatological studies.

References

- Dantas Filho, Francisco F, Silva GN, Costa AS (2017) Teaching-learning process of the concepts of acids and bases with the inclusion of experimentation using the theme of ecological soap. *Holos* 2: 161-173.
- Felipe Lorena O, Dias Sandra C (2017) Synthetic surfactants and biosurfactants: advantages and disadvantages. *Química Nova - São Paulo-SP, BR* 39(3): 228-236.
- Hasan F, Shah AA, Hameed A (2006) Industrial applications of microbial lipases. *Enzymatic and microbial technology* 39(2): 235-251.
- Anvisa (1999) Technical regulation for establishing the identity and quality of vegetable oils and fats, Official Gazette of the Federative Republic of Brazil, Brasília.
- Altschul Stephen F, Lipman David J (1990) Protein database searches multiple alignments. *Proc Natl Acad Sci* 87(14): 5509-5513.
- Anvisa (2008) Guide to quality control of cosmetic products - An approach to physical and chemical tests. Brasília p: 18-121.
- Baker Ija, Drummond CJ, Furlong DN, Grieser F (2004) Surfactant biodegradation: sugar-based surfactants compared to other surfactants. *Handbook of Detergents - Part B: Environmental Impact* 28: 739-760.
- Chimello CM, Bruza FB, Ramos MJ, Silva RCS, Kremer CK (2012) Study on the choice of the type of detergent used by consumers in Italia. *Online Environmental Sciences Magazine* 8(1): 60-61.
- Cock Peter J (2009) Bio Python: Freely available Python tools for computational molecular biology and bioinformatics. *Bioinformatics* 25(11): 14-22.
- Desantis Todd Z (2006) Green genes, a chimera-verified 16S rRNA gene database and ARB-compatible workbench. *Appl Environ Microbiol* 72(7): 5069-5072.
- Ghanbarzadeh M, Golmoradzadeh A, Homaei A (2018) Carrageenans and carrageenases: Versatile polysaccharides and promising marine enzymes. *Phytochemistry Reviews* 17(3): 535-571.
- Gurevich A (2013) Quast: quality assessment tool for genome assemblies. *Bioinformatics* 29(8): 1072-1075.
- Hlordzi V (2020) The use of Bacillus species in maintenance of water quality in aquaculture: A review. *Aquaculture Reports* 18: 100-503.
- Laurenti E, Garcia S (2013) Efficiency of natural and commercial encapsulating materials in controlled release of encapsulated probiotics. *Brazilian Journal of Food Technology* 16: 107-115.
- Machado T (2018) Production of bacterial biosurfactants in soils using bioaugmentation and bio stimulation.
- Masella AP (2012) P and A seq: paired assembler for lighting sequences. *BMC Bioinformatics* 13: 1-7.

17. Martins S, Biral P (2019) Natural Saboaria, cold saponification, Cold Process, Bahia, Brazil © CERIES.
18. Melo Itamar S (2008) Environmental microbiology. ed. rev. amp. - Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente 647: 2008.
19. Mulligan CN, Sharma SK, Mudhoo A, Makhijani K (2002) Green chemistry and biosurfactant research. Biosurfactants: Research Trends and Applications Ch 1: 1-30.
20. Oliveira Hugo M (2021) Reduction of organic matter with application of *Bacillus subtilis* and *B. licheniformis* in sediments from a polyculture nursery of *Litopenaeus vannamei* with *Oreochromis niloticus*.
21. Osadebe AU, Chinelo A, Onyiliogwu B, Suleiman M (2018) Microbial Degradation of Anionic Surfactants from Laundry Detergents Commonly Discharged into a Riverine Ecosystem. Department of Microbiology, University of Port Harcourt, Choba, Nigeria
22. Peanparkdee M; Iwamoto S, Yamauchi R (2016) Microencapsulation: a review of applications in the food and pharmaceutical industries. Reviews in Agricultural Science 4: 56-65.
23. Penteado JCP, Seoud OA, Carvalho LRF (2006) Linear alkylbenzene sulfonate: an environmental and analytical approach. New Chemistry 29(5): 1038-1046.
24. Phipson B; Smyth GK (2010) Permutation P-values should never be zero: calculating exact P-values when permutations are drawn at random. Statistical applications in genetics and molecular biology 9(1).
25. Sanchez D, Jose G, Henry L, Charles A (2012) Degradation of Aldrin by *Bacillus licheniformis*, isolated from water and sediments of Ciénaga Grande, Santa Marta, Colombia. Acta biol. Columbus. 17(1): 67-76.
26. Steemers FJ, Gunderson KL (2007) Whole Genome Genotyping Technologies on the Bead. Array Platform. Biotechnol 2(1): 41-49.
27. Wrobel M (1994) Bioremediation of Heavy Metals by the Genus *Bacillus*. Int J Environ Res Public Health 20(6): 4964.
28. Favaro-Trindade CS (2016) Encapsulation of active/bioactive/probiotic agents. In: Edible Films and Coatings. CRC Press p: 363-367.



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 License
DOI: [10.19080/ECO.A.2024.04.555637](https://doi.org/10.19080/ECO.A.2024.04.555637)

**Your next submission with Juniper Publishers
will reach you the below assets**

- Quality Editorial service
- Swift Peer Review
- Reprints availability
- E-prints Service
- Manuscript Podcast for convenient understanding
- Global attainment for your research
- Manuscript accessibility in different formats
(Pdf, E-pub, Full Text, Audio)
- Unceasing customer service

Track the below URL for one-step submission

<https://juniperpublishers.com/online-submission.php>

1189 **CAPÍTULO 6 - ABORDAGENS PARA MITIGAÇÃO DOS**
1190 **IMPACTOS AMBIENTAIS EM BACIAS DE**
1191 **AMORTECIMENTO UTILIZADAS COMO LAGOS**
1192 **ORNAMENTAIS: UM ESTUDO DE CASO EM UM**
1193 **CONDOMÍNIO RESIDENCIAL URBANO**

1194

1195 Artigo publicado na revista **Annals of Reviews and Research** Open Access em 11 de setembro
1196 de 2024.

1197 <https://juniperpublishers.com/arr/pdf/ARR.MS.ID.555824.pdf>

1198

Approaches to Mitigating Environmental Impacts in Buffer Basins Used as Ornamental Lakes: A Case Study in an Urban Residential Condominium



Scott Danniela^{1*}, Waite Carolina¹, de Sena André Pedral S¹, Baptista Neto¹, José Antonio¹ and da Silva Eduardo Camilo²

¹Federal Fluminense University - DOT- Postgraduate Stricto Sensu Doctoral Student in Ocean and Earth Dynamics, Av. General Milton Tavares de Souza, s/n, 4th Floor, Praia Vermelha Campus, Niterói, RJ, Brazil

²Federal Fluminense University, PPGAd /UFF - Postgraduate Program in Administration, Av. General Milton Tavares de Souza, s/n, 4th Floor, Campus da Praia Vermelha, Niterói, RJ, Brazil

Submission: August 10, 2024; **Published:** September 11, 2024

***Corresponding author:** Scott Danniela, Federal Fluminense University - DOT- Postgraduate Stricto Sensu Doctoral Student in Ocean and Earth Dynamics, Av. General Milton Tavares de Souza, s/n, 4th Floor, Praia Vermelha Campus, Niterói, RJ, Brazil

Abstract

This study evaluates the effectiveness of bioremediation in improving water quality in urban buffer basins converted into ornamental lakes. With the growing problem of water pollution in urbanized areas, a methodology is proposed that includes filters and the application of bioaugmented microorganisms to mitigate contamination. The case study focuses on an artificial lake in an urban condominium, examining the metabolic processes of bioremediation under aerobic and anaerobic conditions and their effects on the degradation of pollutants. The results show a significant improvement in water quality, with a reduction in turbidity and concentration of pollutants, in addition to the unexpected formation of quaternary ammonia, a byproduct with potential environmental implications. This finding highlights the importance of rigorous monitoring of bioremediation processes. The study emphasizes the potential of nature-based solutions to solve urban environmental problems, promoting sustainability and resilience in cities. The research contributes to the development of innovative practices in water resources management, encouraging the adoption of simple and adaptive approaches that integrate scientific knowledge, community involvement and public policies.

Keywords: Effective Microorganisms (EM); Bioremediation; Urban Sustainability

Abbreviations: EM: Effective Microorganisms; MNR: Monitored Natural Revitalization; STP's: Sewage Treatment Plants

Introduction

The coast of the state of Rio de Janeiro is an area of global prominence for its ecological diversity, economic importance and social relevance. Home to an extensive variety of ecosystems, including sandy beaches, lush mangroves and coral reefs, this region supports impressive biodiversity Silva [1]. These environments are fundamental for the survival of countless species of flora and fauna, many of which are endemic and play critical ecological roles Oliveira [2]. Furthermore, these coastal areas are the basis for vital economic activities, such as fishing, which provides a livelihood for thousands of families, and tourism, which attracts millions of visitors annually, contributing significantly to the local and national economy Santos [3].

However, the growing rampant urbanization in recent decades, combined with the lack of adequate infrastructure for sewage treatment, has generated a worrying increase in coastal pollution. It is estimated that more than 70% of the sewage generated in the region is dumped without adequate treatment, carrying large amounts of nutrients, pathogens and chemical pollutants to coastal water bodies Ferreira [4]. This untreated sewage causes eutrophication processes, where excess nutrients lead to the uncontrolled growth of algae, resulting in a decrease in dissolved oxygen levels in the water and causing the death of fish and other aquatic organisms Silva [1]. The degradation of water quality also directly affects public health, increasing the incidence of water-

borne diseases, such as gastroenteritis and hepatitis Ferreira [4].

In addition to the impacts on biodiversity and human health, coastal pollution compromises the quality of ecosystem services offered by these environments, such as protection against storms and the maintenance of water quality Oliveira [2]. The loss of marine biodiversity, exacerbated by the degradation of natural habitats, has significant economic consequences, especially for communities that depend on fishing and tourism Santos [3]. The decrease in the tourist attractiveness of beaches and the reduction in fishing catches not only affect the local economy, but also have repercussions on a national scale, given the strategic importance of the Rio de Janeiro coastline for Brazil Silva [1]. In summary, the combination of urban pressures and the absence of effective public policies for waste management and conservation of coastal ecosystems is putting one of the country's most valuable natural heritage at risk. To mitigate these impacts, it is imperative to adopt sustainable solutions, integrating environmental preservation with the socio-economic development of the region Silva [1]; Oliveira [2].

Literary Review

Coastal Pollution and its Impacts

Coastal pollution on the coast of Rio de Janeiro is a multifaceted problem, resulting mainly from the release of untreated sewage into coastal waters. This sewage introduces a range of contaminants, including nutrients such as nitrogen and phosphorus, heavy metals and pathogens, which can trigger eutrophication processes. Eutrophication leads to excessive growth of algae, reducing oxygen levels in the water and causing the death of fish and other aquatic organisms Silva [1]. Furthermore, the presence of pathogens in untreated sewage is associated with an increase in several waterborne diseases, negatively impacting public health Ferreira [4].

Impacts on Marine Biodiversity

Marine biodiversity is particularly vulnerable to pollution from untreated sewage. Fish, mollusks, and coral species suffer from habitat degradation, which can lead to mass mortality and changes in the composition of biological communities Oliveira [2]. Biodiversity loss not only affects marine ecosystems but also has significant economic consequences for coastal communities that depend on fishing and tourism. The quality of beaches and recreational waters is directly impacted, reducing tourist appeal and, consequently, the income generated by this activity Santos [3].

Drainage, Sewage Treatment and Public Policies

The water reality, especially in aspects related to water supply and use, is a topic that, historically, has marked discussions about regions with low rainfall. These concerns have been focused on in studies in recent years and researchers' efforts have focused on trying to understand the correlation between water in these regions and their socio-economic indicators. Water scarcity

seriously affects the population, generating misery, resulting from the loss of productive capacity as a result of environmental degradation Paz [5]; Cunha [6]. Accelerated urbanization has been a global phenomenon in recent decades, resulting in the transformation of green areas into built urban environments Guitarra [7]. In this context, adequate management of water resources becomes crucial, especially considering the challenges related to rainwater drainage and water quality in urban water bodies Rocha [8]. One of the strategies commonly used to deal with these challenges is the construction of buffer basins, which aim to control water flow and reduce the impacts of flooding in urban areas.

This urban expansion has led to a series of negative consequences, including recurrent flooding, especially due to climate change and the lack of adequate drainage infrastructure, as well as the limited capacity of public enforcement authorities Rocha [8] and Höltz [9]. Furthermore, urbanization has contributed to the pollution of water bodies, compromising their natural, recreational and economic values. Under these conditions, the implementation of drainage systems with buffer basins emerged as a strategy to mitigate the impacts of urban waterproofing in micro-basins. These systems aim to control both the flow and the quality of rainwater, which, when flowing over impermeable surfaces, carries with it a variety of pollutants, many of which are associated with suspended sediments Gribbin [10].

Given this scenario, human intervention becomes crucial to restore the lost environmental balance. Various restoration methods have been explored, varying in terms of the scale of intervention in the natural environment and the stability of its parameters (SØNDERGAARD et al., 2007). In this context, microbiological bioremediation emerges as a promising approach for the remediation of degraded areas, involving the application of consortia of microorganisms and their biochemical compounds to accelerate the degradation of pollutants Mingjun [11]. To mitigate these impacts, it is essential to implement effective sewage treatment technologies and develop strict public policies. Biological and physical-chemical treatment systems can significantly reduce the load of pollutants, while stricter laws and adequate supervision guarantee the protection of coastal ecosystems Pereira [12]. Furthermore, environmental education and public awareness are fundamental to promoting sustainable practices and encouraging community participation in environmental conservation Costa [13].

Bioremediation as a Solution

Microbiological bioremediation emerges as a promising approach for the remediation of degraded areas, involving the application of consortia of microorganisms and their biochemical compounds to accelerate the degradation of pollutants Mingjun [11]. Among the microorganisms with bioremediation potential, lactic acid bacteria, yeast and *Bacillus* stand out, which are known for their ability to degrade a variety of organic and inorganic compounds. In this context, it is proposed to introduce these

microorganisms into buffer basins converted into ornamental lakes, aiming to accelerate the biodegradation of organic matter and reduce the environmental impacts caused by waste transported by the urban drainage network.

Bioremediation

Bioremediation is a process that employs living organisms, mainly microorganisms, to remove or neutralize contaminants from the environment. This method is based on the ability of microorganisms to degrade, transform or accumulate toxic substances present in soil and water. The enzymes produced by these microorganisms function as bio-catalysts, facilitating the conversion of pollutants into less toxic or harmless compounds. (Saleen et al, 2021; Saxena et al, 2020; Abatenh [14]; Ahirwar et al, 2016). In the environmental context, bioremediation stands out as an innovative and essential biological technique for converting polluting waste into water and soil, resulting in substances that can be biologically reused (Mallmann et al, 2019). This mechanism is increasingly relevant in the face of contemporary challenges generated by the environmental impacts of human activities. Microorganisms, protagonists of this process, demonstrate a remarkable ability to survive in extreme conditions, driven by robust metabolic activity that enables them to adapt to diverse environmental scenarios. This metabolic versatility, together with a wide nutritional range, makes them crucial agents in the bioremediation of environmental pollutants, allowing the detoxification and revitalization of contaminated environments by transforming hazardous waste into less harmful components (Abatenh [14]; Saleen et al, 2021; Saxena et al, 2020; Ahirwar et al, 2016).

Principles and Mechanisms

The microorganisms used in bioremediation, such as bacteria, fungi, yeast and algae, act as biocatalysts, facilitating biochemical reactions that degrade pollutants. Metabolic reactions are mediated by enzymes that belong to the groups of oxidoreductases, hydrolases, lyases, transferases, isomerases and ligases. Each group of enzymes plays a crucial role in the biochemical reactions involved in bioremediation. The combination of these enzymes allows microorganisms to degrade and transform a wide range of environmental pollutants, converting them into less toxic or harmless substances. This diverse enzymatic process is essential for the efficiency and effectiveness of bioremediation in different contaminated environments (Saleen et al, 2021; Hasan et al, 2006; Gaylarde et al 2005).

Bioremediation Techniques

Bioremediation can be carried out through two main methods: in situ and ex situ. In the in-situ method, decontamination occurs directly at the affected site, avoiding the need to move contaminated soil or water (Saleen et al, 2021). An example of this method is the application of bioremediation techniques to oil spills directly in the impacted environment. In contrast, the

ex-situ method involves removing contaminated materials from their original location to be treated in specific facilities, such as bioreactors or treatment tanks, allowing for more rigorous control of treatment conditions (Saleen et al, 2021; Abatenh [14]; Gaylarde et al 2005).

Biostimulation

When consulting the literature, biostimulation consists of the addition of nutrients or other substances to stimulate the growth and activity of microorganisms already present in the contaminated environment. According to the work of Smith J [15], the objective is to optimize environmental conditions so that microorganisms can degrade pollutants more efficiently. Biostimulation can be applied both in situ and ex situ (Saleen et al, 2021; Abatenh [14]; Gaylarde et al 2005). And according to the aforementioned authors, the components frequently added during biostimulation include:

- a) **Nutrients:** Essential elements such as nitrogen, phosphorus and potassium are added to promote microbial growth.
- b) **Additional substrates:** Compounds that serve as carbon or energy sources for microorganisms.
- c) **pH adjustments:** Changes in the pH of soil or water to create a more favorable environment for microbial activity.

When observing the analyzes of these authors, biostimulation is particularly effective in environments where the necessary microorganisms are already present, but in insufficient numbers or in conditions close to ideal for the degradation of pollutants. In other words, in an environment where it is possible to control the variables for biostimulation to occur (Saleen et al, 2021; Abatenh [14]; Smith [15]; Gaylarde et al 2005).

Bioaugmentation

Continuing with the analysis of the aforementioned works, bioaugmentation consists of the introduction of specific microorganisms into the contaminated environment with the aim of intensifying and accelerating the bioremediation process. These microorganisms can be natural, genetically modified strains or microbial consortia (mixtures of different species) that have specific metabolic capabilities to degrade certain contaminants (Saleen et al, 2021; De Frias et al 2020; Abatenh [14]; Smith [15]; Gaylarde et al. 2005). Bioaugmentation is applicable when:

- a) **Native microorganisms are insufficient:** When the local microbial population is not able to degrade contaminants effectively.
- b) **Contaminants are difficult to degrade:** When contaminants require microorganisms with specific metabolic capabilities

Analyzing the work of these authors, bioaugmentation can be combined with biostimulation to create an optimized environment

in terms of microbial population and environmental conditions.

Advantages and Disadvantages

Each technique has advantages and disadvantages, depending on the type of contaminant, the location of contamination and environmental conditions:

a) Bioremediation: It is generally economical and environmentally friendly but can be slow and limited by the availability of effective microorganisms and environmental conditions.

b) Biostimulation: It can be a quick and relatively inexpensive approach to improving bioremediation, but it depends on the presence of native microorganisms capable of degrading contaminants.

c) Bioaugmentation: Can be very effective in treating specific and resistant contaminants but can be expensive and requires detailed knowledge of the microorganisms and the environment.

The combination of these techniques offers an integrated and effective approach to the remediation of contaminated environments, maximizing the efficiency of pollutant degradation and minimizing environmental and economic impacts. Playing crucial roles in the degradation, eradication, immobilization or transformation of a wide range of contaminants, converting them into enzymatic by-products that are reintegrated into the food chain, becoming accessible for consumption by other forms of life (Wróbel et al, 2023; Gaylarde et al 2005). This distinctive capability positions bioremediation techniques as an extremely effective resource in mitigating environmental problems, providing a more sustainable and economically efficient alternative compared to conventional remediation methods (Søndergaard; Jeppesen, 2007).

Specifically, the Monitored Natural Revitalization (RNM) method illustrates the long-term commitment to ecological revitalization, seeking the biological rebalancing of affected ecosystems. This approach is based on the understanding that, by reintegrating natural processes and promoting the transformation of contaminants into less toxic substances, it is possible to stimulate natural regeneration and protect both human health and biodiversity. The effectiveness of the RNM is assessed through a series of indicators, such as the burial of contaminants, the stability of sediments, and the natural transformation and attenuation of pollutants, providing a comprehensive picture of environmental revitalization, (Infographic 1) Magar e Wenning [16].

Within the spectrum of bioremediation agents, microorganisms of the genus *Bacillus* spp. and *Lactobacillus* spp. are often highlighted due to their remarkable ability to decompose a wide variety of harmful compounds Hlordzi [17]; MA [18]. These organisms have been the subject of extensive research and have been successfully applied in various contamination scenarios,

proving to be effective instruments in revitalizing surface and underground waters, revitalizing polluted soils and treating industrial effluents. The ability of these bacteria to process contaminants, from heavy metals to complex organic compounds, under different environmental conditions highlights the vast potential of microbial bioremediation Wróbel et al, 2023; Hlordzi [17]; MA [18].

The execution of bioremediation, especially when mediated by microorganisms such as *Bacillus* spp. and *Lactobacillus* spp., reveals a promising and sustainable methodology for treating pollution. This process, supported by an in-depth understanding of the metabolic mechanisms involved, which can range from aerobic to anaerobic activities, opens new avenues for environmental decontamination. Furthermore, bioremediation extends beyond mere metabolic degradation, encompassing techniques such as biosorption, bioaccumulation and bioprecipitation, which expand the scope of action of microorganisms in capturing and transforming pollutants (Perelo, 2010; Saxena et al 2020; Gaylarde et al 2005).

Bioremediation Metabolic Processes

The metabolic processes involved in microbiological bioremediation can occur under aerobic or anaerobic conditions, depending on the availability of oxygen in the contaminated environment Chernicharo [19]. In the presence of oxygen, aerobic degradation of contaminants occurs, where microorganisms use oxygen to oxidize organic compounds, producing carbon dioxide, water and biomass as byproducts. In the absence of oxygen, microorganisms can carry out anaerobic degradation of contaminants, using other mechanisms, such as nitrate, sulfate or carbon dioxide, as final electron acceptors, as exemplified in (Infographic 1) Chernicharo [19].

Natural Revitalization Monitoring

For the control and evaluation of bioremediation, the Monitored Natural Revitalization (MNR) method, (Infographic 2), will be used, which illustrates the long-term commitment to ecological recovery, seeking the biological rebalancing of affected ecosystems. This approach is based on the understanding that, by reintegrating natural processes and promoting the transformation of contaminants into less toxic substances, it is possible to stimulate natural regeneration and protect both human health and biodiversity. The effectiveness of the MNR is assessed through a series of indicators, providing a comprehensive picture of environmental recovery Magar & Wenning [16]. Pollution caused by untreated sewage on the coast of Rio de Janeiro represents a multifaceted challenge that requires an integrated and holistic approach. Effective mitigation strategies must combine technological advances, robust public policies and environmental education initiatives. Only through coordinated efforts will it be possible to protect these important coastal ecosystems and guarantee the environmental and economic sustainability of the region Al-Meida [20].

Materials and Methods

The study area was a buffer basin transformed into an ornamental lake in an urban residential condominium, with an area of approximately 3,350 m² and an average volume of 1,675 m³ (Figure 1) and is fed by rainwater from the con-dominium's

drainage, without a source natural, with an outlet to the Arroio Fundo water body, only when it rains. To assist in bioremediation, a sequence of filters (ETA) with various particle sizes was constructed, going from coarser to finer (Figure 2). ETA aims to maintain water quality and apply bioinput to the artificial lake. To this end, an operational protocol was drawn up.



Figure 1: Aerial view of the Lake, Google Earth 2024.

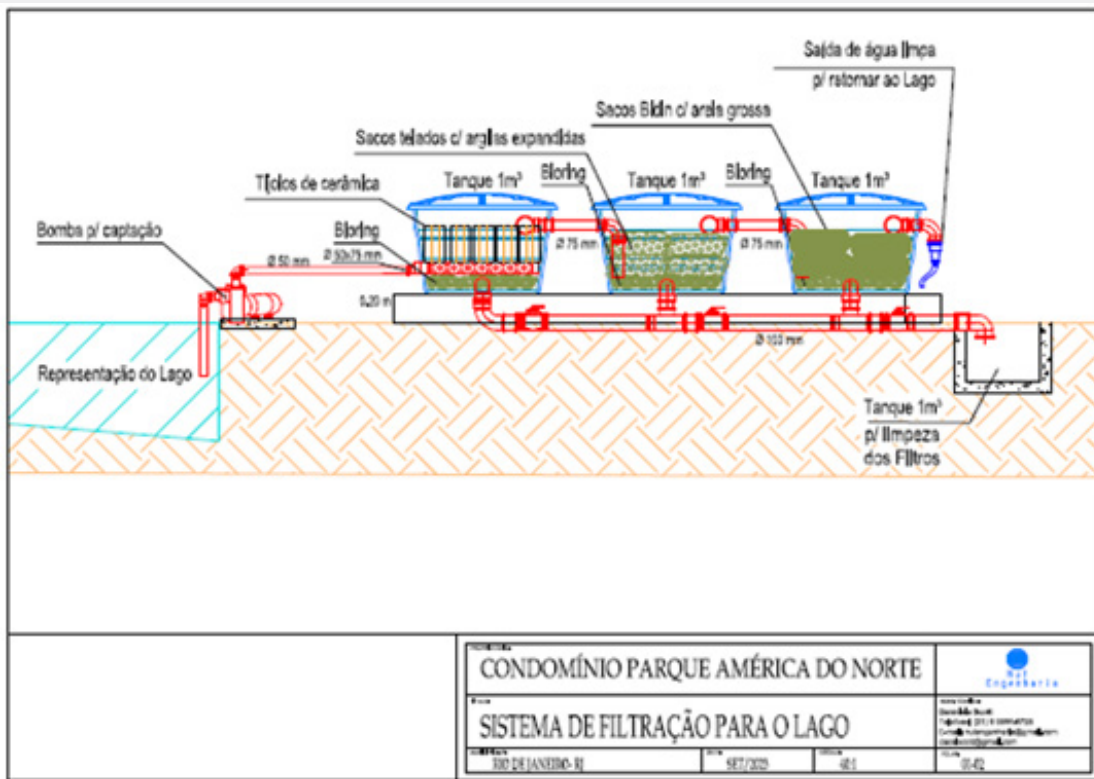


Figure 2: Assembly diagram of the Water Treatment Plant (ETA).

The microorganisms selected for bioremediation were acquired in a commercial product that contained the species *Lactobacillus plantarum* in consortium with *Saccharomyces cerevisiae* in its formulation. The microorganisms were bioaugmented following the proportion of 5% inoculum, 1.5% activator, 0.4% salt and 95% clean, chlorine-free water. The product, after homogenization, grew for 3 days and, after the bioaugmentation time, was inoculated at the ETA. Water from the lake is captured and passes through the ETA to remove solids, coming into contact with microorganisms that will speed up the treatment. The application of bioaugmented microorganisms increased the efficiency of the ETA in reducing the pollutant load and improving the water quality of the ornamental lake. The use of these bioremediation techniques has shown to be a promising approach to address the challenges faced in the management of urban water bodies, especially in-built environments.

Results

The MNR results, detailed in Table 1 and illustrated in Figure 3, show a substantial improvement in the water quality of the ornamental lake after the application of bioremediation techniques. A significant reduction in levels of organic and

inorganic pollutants was observed, as well as a decrease in turbidity. This improved water clarity reflects the effectiveness of the interventions carried out. These advances are in line with findings in the scientific literature that consistently highlight the effectiveness of bioremediation techniques in aquatic environments. Studies such as those by Smith [15] confirm that bioremediation not only effectively reduces the concentration of pollutants, but also improves the general quality of water in various aquatic contexts, highlighting its potential as a sustainable solution for the management of urban water re-sources. For the detailed analysis of the physical-chemical quality of the water before and after the bioremediation treatment, the Akso brand Micro 20 Multiparameter Photometer was used, as illustrated in Figure 4. This modern equipment enables the precise analysis of multiple physical-chemical parameters. chemicals using just 4 ml of water sample per test. The analysis process involves the addition of specific reagent strips for each parameter, which makes it easier to obtain quick and reliable results. The accuracy of this advanced technology is critical for monitoring the effectiveness of bioremediation interventions, providing essential data for environmental assessments and supporting management decisions.

Table 1: result of quality analysis, E = +/- 4.8ppm.

Indices	Before treatment	After treatment
Temperature (°C)	27.7	29.6
pH	9.6	9.6
DO - Dissolved Oxygen (mg/L)	2.8	6:50 AM
NH - -Ammonia (ppm)	0.44	0.1
qA-QACs - Quaternary Ammonium Compound (ppm)	0	9:50 AM
NO ₂ - Nitrite (ppm)	0.08	0
NO ₃ - Nitrate (ppm)	0	0
PO ₄ - Phosphate (ppm)	0	0
S - Sulfide (ppm)	0.13	0
SO ₄ - Sulfate (ppm)	0	0
TR1 - Turbidity (NTU)	17	0



Figure 3: In these photos you can see the improvement in water quality before (a) and after (b) the WTP treatment enriched with Microorganisms.

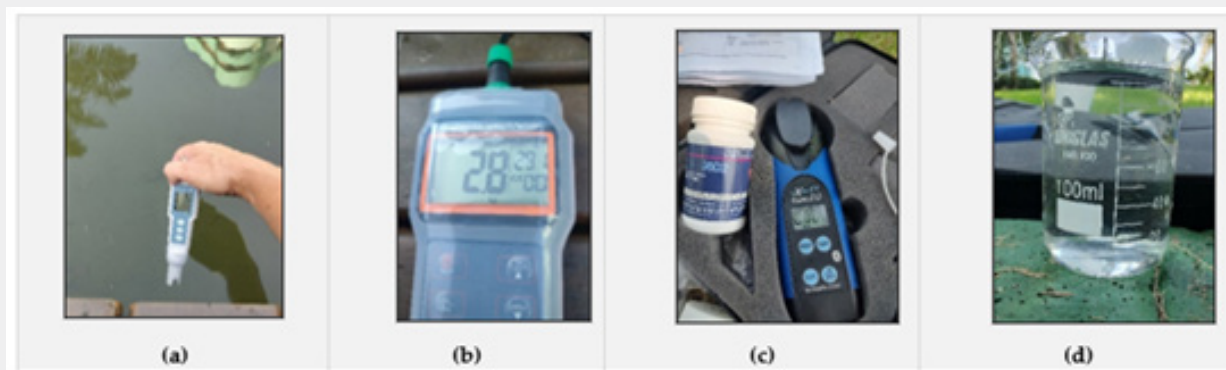


Figure 4: In these photos (a), (b), (c) and (d), it shows how the MNR was carried out.

Discussion

Evaluation and Improvements in the Bioremediation Process

The Multiparameter Photometer has been fundamental in simplifying data collection and analysis, ensuring the necessary precision to evaluate changes in the physicochemical composition of lake water. By comparing pre- and post-treatment data, we were able to quantify the impact of bioremediation on several parameters, including the significant reduction of nitrogenous compounds, phosphates and other pollutants. The consistency of these results with previous studies Smith [15] reinforces the effectiveness of bioremediation techniques and increases the importance of continuous monitoring to ensure the ecological health of aquatic ecosystems. This rigorous monitoring is crucial to understanding ecosystem dynamics and planning future management and conservation actions. The drastic reduction in turbidity, from 17 NTU to 0 NTU, highlights a notable improvement in water transparency, fundamental to the health of the aquatic ecosystem. Turbidity is a key indicator of water quality, as high values indicate high concentrations of suspended particles that can be harmful to aquatic life. Effectively removing turbidity improves light penetration, favoring photosynthetic processes and, therefore, ecological balance.

Furthermore, a significant decrease in ammonia concentration was observed, from 0.44 ppm to 0.10 ppm, a crucial result given the toxicity of ammonia to aquatic life. The absence of post-treatment nitrite indicates the efficiency of the bioremediation system in converting nitrites, which are toxic, into less harmful forms, through the processes of nitrification and denitrification. The increase in dissolved oxygen from 2.80 mg/L to 6.50 mg/L also reflects the success of bioremediation, as adequate levels of dissolved oxygen are essential for the respiration of aquatic organisms. This increase is attributed to the reduction in the biochemical demand for oxygen necessary to decompose pollutants previously present.

To ensure the long-term management and sustainability of these interventions, an integrated approach involving continuous monitoring, community participation and effective public policies is essential. This holistic approach not only promotes immediate improvement in water quality, but also ensures the maintenance of the ecological health of aquatic ecosystems in the long term. The presence of quaternary ammonia (qA-CAQ) was detected at a concentration of 9.50 ppm at the ETA outlet after the bioremediation process, which raises the suspicion that the compound may be originated by the metabolism of the microorganisms used. This hypothesis suggests the need to expand studies to better understand the biochemical interactions involved and the detection challenges that arise in treatment.

Lactobacillus plantarum and *Saccharomyces cerevisiae*, used in bioremediation, are known to generate a variety of metabolites during their metabolic processes. Among these metabolites, organic acids and antimicrobial peptides stand out for their properties that can interfere with chemical detection, especially in systems based on colorimetric reactions, such as Akso's Micro 20 Multiparameter Photometer. These systems may confuse the changes in color or turbidity caused by such metabolites with the presence of quaternary ammonium, as described in previous studies (Ilo, 1993; Nitschke M and Pastore MG 2002). This possible misinterpretation occurs because the photometer is calibrated to react to specific chemical changes, which would normally indicate the presence of quaternary ammonium. However, the presence of organic acids and other biochemical compounds can modify the pH or chemical composition of the sample in ways that simulate these changes, resulting in incorrect readings. For example, organic acids can react with test reagents, changing the color of the solution in a way that the photometer interprets as an increase in quaternary ammonia levels.

The complexity of this scenario is intensified by the ability of microorganisms to produce a wide range of secondary metabolites in a dynamic environment such as a WTP. These unforeseen

interactions between metabolites and chemical test reagents reinforce the importance of using complementary analyzes, such as liquid chromatography and mass spectrometry, for a more precise distinction between compounds. The application of these advanced techniques can provide a clearer view of the chemical

transformations occurring at the WTP, ensuring the accuracy of readings and environmental safety. Additional tests were carried out on the Akso Micro 20 Multiparameter Photometer to verify whether the calibration and operation of the equipment were within acceptable error limits, as shown in Table 2.

Table 2: Result of quality analysis, E = +/- 4.8ppm.

Index	P-01	P - 02	P - 03	P - 04
Temperature (°C)	25.6	24.8	26.1	28
DO - Dissolved Oxygen (mg/L)	6	7	5.2	6.2
pH	8.9	9.6	9.2	9.5
NH - Ammonia (ppm)	0	0.01	0	0
NO2 - Nitrite (ppm)	0.07	0.06	0	0.12
NO3 - Nitrate (ppm)	0	0	0	0
PO4 - Phosphate (ppm)	0	0	0.02	0.03
qA-QACs - Quaternary Ammonium Compound (ppm)	7	5.6	8	8.1
S - Sulfide (ppm)	0.03	0.09	0.03	0.03
SO4 - Sulfate (ppm)	0	0.06	7	6
TR1 - Turbidity (NTU)	10	<7.00	21	14

06-01-2024

Index	P-01	P - 02	P - 03	P - 04
Temperature (°C)	24.3	24.6	24.8	24.8
DO - Dissolved Oxygen (mg/L)	6.6	6.3	3.2	3.5
pH	9.6	9.6	9.1	9.1
NH - Ammonia (ppm)	0.06	0	0	0
NO2 - Nitrite (ppm)	0	0.16	0	0
NO3 - Nitrate (ppm)	0	0	0	0
PO4 - Phosphate (ppm)	0	0	0	0.27
qA-QACs - Quaternary Ammonium Compound (ppm)	5.6	5.5	5.7	6.7
S - Sulfide (ppm)	0.03	0.04	0	0.09
SO4 - Sulfate (ppm)	10	17	7	20
TR1 - Turbidity (NTU)	14	14	<7.00	<7.00

06-08-2024

Source: Authors

Index	ppm
Opposite point of ETA	5.5
Well source water filtered on the Milli-Q® Direct Water Purification System	3.6
Water from a well filtered in the Electrolux Purifier	4.2
Water from the air conditioning outlet	0
Precipitation	0

Source: Author

The results in Table 2 indicate that QACs may come from groundwater contamination. Due to the extensive use of QACs in domestic and industrial products, they reach wastewater treatment plants in substantial quantities. The main sources of QACs released into the environment are effluents and sludge from sewage treatment plants (STPs) (Clara et al., 2007; Martinez-Carballo et al., 2007a; Martinez-Carballo et al., 2007b; Merino et al., 2003a; Li [21]. Other local point sources include hospitals and laundry wastewater (Kümmerer et al., 1997; Kreuzinger et

al., 2007). As many solid QACs have melting points in the range of 100-300 °C (Deetlefs, 2006), this rules out the possibility of them being in the atmosphere and contaminating the lake through precipitation, shown in Table 2. The results in Table 3 corroborate that the contamination by QACs in the lake comes from groundwater contamination. The drought has caused a reverse flow of water into the lake, which is infiltrating the soil through cracks. As a result, QACs have reduced their concentration in the lake.

Table 3: Result of quality analysis, E = +/- 4.8ppm (07/06/2024).

Index	P-01	P - 02	P - 03	P - 04
qA-QACs – Quaternary Ammonium Compound (ppm)	0	0	3.8	0

Source: Author

Aquatic Fauna and Improvement in Water Quality

The presence of healthy aquatic fauna and the emergence of large quantities of new fry in the ornamental lake are directly linked to improvements in water quality resulting from bioremediation carried out by a consortium of bioaugmented *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae*. These microorganisms are known for their effective metabolic processes, which play a crucial role in degrading organic pollutants and reducing toxic compounds. Specifically, *Lactobacillus plantarum* has a significant impact on this process through its fermentation ability, which not only adjusts the pH of the aquatic environment, making it less favorable for the survival of pathogens, but also reduces the solubility of certain toxic pollutants (Moore et al., 2018). Furthermore, the enzymes produced by this *Lactobacillus* are capable of degrading complex organic substances into smaller, less harmful molecules. This enzymatic action contributes to a substantial reduction in the organic load in the water, resulting in an overall improvement in water quality and the aquatic environment [22-38].

At the same time, *Saccharomyces cerevisiae* plays a vital role by metabolizing nitrogen and other nutrients, which in excess can contribute to eutrophication. This yeast can transform these compounds into cellular biomass or excrete them in less harmful forms, thus helping to control harmful algal blooms and maintain healthy dissolved oxygen levels (Moore et al., 2018). The synergistic interaction between *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* not only reduces the toxicity of the aquatic environment through the effective degradation of pollutants, but also promotes the creation of a more diverse and healthier aquatic ecosystem. This biological partnership also reduces water turbidity, which allows greater penetration of sunlight and facilitates photosynthetic processes. The direct consequence of this increase in photosynthesis is an increase in dissolved oxygen levels, which is vital for supporting a wider

diversity of aquatic species (Moore et al., 2018).

This highlighted bioremediation approach, focused on the specific metabolic processes of these microorganisms, reinforces the importance of targeted biotechnological strategies in the management and recovery of aquatic ecosystems impacted by pollutants. By degrading organic matter, nitrogenous compounds and phosphate, *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* not only improve water quality, but also contribute significantly to the maintenance of eco-system services, including water purification and supporting complex food webs, essential for health and stability of aquatic ecosystems (Moore et al., 2018).

Conclusions

Based on the results obtained, it is concluded that bioremediation is a promising and effective tool for improving water quality in buffer basins converted into ornamental lakes. The implementation of the Water Treatment Plant (ETA) and the application of bioaugmented microorganisms have proven to be viable and sustainable measures to face the challenges of maintenance and management of these urban environments. However, the detection of quaternary ammonium (qA-CAQ) raises crucial questions about the origin of this compound, indicating the need for further studies to determine whether its presence is due to groundwater contamination, potentially influenced by external factors, or whether it is a byproduct of the metabolic processes of microorganisms used in bioremediation. Only further investigation will clarify this issue and ensure the continued safety and effectiveness of treatment processes. Additionally, this study highlights the immense potential of nature-based solutions to address environmental problems in urban areas, reinforcing the need to prioritize the development and application of green technologies, such as bioremediation. These approaches not only contribute to the recovery of degraded areas, but also promote the sustainability and resilience of cities in response to climate change and population growth.

The experience reported in this work offers valuable contributions to knowledge about bioremediation, providing insights that will be fundamental for future research and practical applications. However, it is imperative to recognize that the effective management of water resources in urban contexts demands an integrated approach, which combines science, technology, community participation, effective public policies and an in-depth understanding of the socioeco-nomic dynamics involved. In summary, while this study celebrates significant advances in improving urban water quality through bioremediation, it also emphasizes the importance of simple, adaptive strategies in water resource management. Continued research and the adoption of innovative practices are essential to ensure a future in which clean and sustainable waters are available for future generations, reaffirming our commitment to the preservation and revitalization of our planet's precious aquatic ecosystems.

References

1. Silva A (2010) Environmental impacts of coastal pollution in Rio de Janeiro. *Journal of Marine Ecology* 15(2): 123-135.
2. Oliveira C (2015) The degradation of marine biodiversity due to sewage pollution. *Marine Biological Studies* 22(4): 345-357.
3. Santos D (2017) Economic impacts of coastal pollution on tourism. *Tourism and Sustainable Development* 10(1): 57-68.
4. Ferreira B (2012) Waterborne diseases associated with untreated sewage. *Public Health and Environment* 20(3): 89-97.
5. Paz J (2000) Water: Essential natural resource and its degradation. *Environmental sciences* 5(2): 101-115.
6. Cunha L (1998) Environmental security and water resources management. *Nation and Defense*.
7. Guitarra J (2024) Accelerated urbanization and environmental impacts. *Journal of Sustainable Urbanism* 29(1): 78-90.
8. Rocha M (2022) Water resources management and urban drainage. *Journal of Environmental Engineering* 21(4): 295-309.
9. Hóltz, FC (2011) Use of permeable concrete in urban drainage: analysis of technical feasibility and environmental impact.
10. Gribbin JE (2009) Introduction to hydraulics and hydrology in the issue of rainwater. *Damas Translation, GP São Paulo, Cengage Learning* pp. 497.
11. Mingjun G (2009) Microbiological bioremediation of degraded areas. *Environmental Biotechnology* 14(3) 223-234.
12. Pereira E (2020) Sewage treatment technologies and public policies. *Integrated Environmental Management* 25(1): 111-125.
13. Costa F (2016) Environmental education and community participation in environmental conservation. *Journal of Environmental Education* 18(2): 87-99.
14. Endeshaw Abatenh, Birhanu Gizaw, Zerihun Tsegaye, Misganaw Wassie (2017) The Role of Microorganisms in Bioremediation - A Review. *Environ Biol* pp. 038-046.
15. Smith J (2015) Effectiveness of Bio-remediation Techniques in Aquatic Environments. *Environmental Science & Technology* 49(14): 1234-1242.
16. Magar V, Wenning R (2006) Revitalização Natural Monitorada (MNR). *Journal of Environmental Restoration* 8(2): 65-78.
17. Hlordzi V (2020) The use of Bacillus species in maintenance of water quality in aquaculture: A review. *Aquaculture Reports* 18: 100-503.
18. Ma CW, Cho YS, Oh KH (2009) Removal of pathogenic bacteria and nitrogens by *Lactobacillus* spp. JK-8 and JK-11. *Aquaculture* 287(3-4): 266-270.
19. Chernicharo C (1996) Metabolic processes in microbiological bioremediation. *Biological Wastewater Treatment* 12(1): 45-59.
20. Almeida R (2021) Integrated approach to coastal pollution mitigation. *Journal of Environmental Protection* 11(1): 1-15.
21. Li W (2020) *Lactobacillus plantarum* improves the efficiency of sheep manure composting and the quality of the final product. *Bioresource Technology* 297: 122456.
22. Chernicharo CAL (1997) Anaerobic reactors. 2a. ed. Belo Horizonte: Department of Sanitary and Environmental Engineering – UFMG 5: 380.
23. Cunha L (1998) Correlation between water and socioeconomic indicators in regions with low rainfall. *Water Resources Studies* 4(1): 33-47.
24. D'Errico G (2013) Bioremediation of high organic load lagoon sediments: compost addition and priming effects. *Chemosphere* 91(1): 99-104.
25. Doe L (2009) Impacts of Turbidity on Aquatic Life in Freshwater Ecosystems. *ecological Indicators* 9(2): 250-256.
26. Franklin R (2013) Biochemical Oxygen Demand and Water Quality. *Annual Review of Environment and Resources* 38: 117-140.
27. Gribbin JE (2009) Buffer basins and water pollution control. *Hydrology and Water Resources Management* 13(2): 199-210.
28. Hansen DJ (2012) Ammonia Toxicity in Fish. *Marine Pollution Bulletin* 64(2): 156-162.
29. Hóltz A (2011) Consequences of urbanization on the pollution of water bodies. *Urban and Regional Studies* 17(3): 144-158.
30. Jones A (2010) Turbidity as an Indicator of Water Quality in Diverse Watersheds. *Water Research* 44(5): 1410-1421.
31. Melo IS *Microbiologia ambiental*. ed. rev. ampl. - Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente 647: 2008.
32. Morikawa-Sakura MS (2013) Application of *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014 for wastewater treatment in fisheries industry processing. *Jpn J Water Treat Biol* 49: 1-10.
33. Oliveira HM (2021) Reduction of organic matter with application of *Bacillus subtilis* and *B. licheniformis* in sediments from a polyculture nursery of *Litopenaeus vannamei* with *Oreochromis niloticus*.
34. Paz J (2000) Water resources, irrigated agriculture and the environment. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering* 4: 465-473.
35. Phipson B, Smyth Gordon K (2010) Permutation P-values should never be zero: calculating exact P-values when permutations are drawn at random. *Statistical applications in genetics and molecular biology* 9: 1.
36. Sanchez D, Gregorio J, Lopez H, Carlos A (2012) Degradation of Aldrin by *Bacillus licheniformis*, isolated from water and sediments of Ciénaga Grande, Santa Marta, Colombia. *Acta biol. Colombia* 17(1): 67-76.
37. Sena André PS de, Coutinho Osvaldo A, Lima JR (2017) Ailton de SS Nereu Project: Construction of a Plasma Reactor for Reform of Methane for Treatment of Wastewater of The Marine Farms. In: Taner Yonar, editor. *Desanilation*. London: INTECH. Chapter 11th.
38. Scarlato, FC (2019) Brazilian population and urbanization. In: Ross, Jurandy L. Sanches. (Org.) *Geography of Brazil*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo pp. 549.
39. Steemers FJ, Gunderson KL (2010) Whole genome genotyping technologies on the Bead Array™ platform. *Biotechnol J* 2(1): 41-49.



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 License
DOI: [10.19080/ARR.2024.11.555824](https://doi.org/10.19080/ARR.2024.11.555824)

**Your next submission with Juniper Publishers
will reach you the below assets**

- Quality Editorial service
- Swift Peer Review
- Reprints availability
- E-prints Service
- Manuscript Podcast for convenient understanding
- Global attainment for your research
- Manuscript accessibility in different formats
(Pdf, E-pub, Full Text, Audio)
- Unceasing customer service

Track the below URL for one-step submission
<https://juniperpublishers.com/online-submission.php>

1199 2 CONCLUSÃO SOBRE OS ARTIGOS.

1200

1201 A pesquisa demonstrou que é altamente viável a fabricação de um saneante pelo processo a
1202 frio, onde a inoculação com microrganismos microencapsulados não só proporcionou um custo-
1203 benefício favorável pela eficiência do processo e redução do consumo de energia, como também
1204 resultou em um produto com aparência visual superior e recursos aprimorados de segurança e
1205 usabilidade. Além disso, a utilização de microrganismos eficazes microencapsulados contribuiu
1206 significativamente para a estabilidade e eficácia prolongada do produto, tornando-o uma
1207 alternativa sustentável e eficiente aos detergentes convencionais.

1208 Considerando as capacidades comprovadas das espécies de *Bacillus spp.* como agentes de
1209 biorremediação eficazes na redução de metais pesados e na redução dos níveis de DBO_{5,20} e
1210 DQO, bem como na transformação de compostos nitrogenados e fósforo, a formulação do
1211 Biosabão foi otimizada para incluir uma mistura de microrganismos especialmente
1212 selecionados. A composição proposta inclui *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus*
1213 *amyloliquefaciens* e *Bacillus megaterium*, cada um contribuindo com $1,5 \times 10^8$ UFC/g,
1214 complementados por *Saccharomyces cerevisiae* na mesma concentração, para maximizar a
1215 eficácia da biorremediação. Esta abordagem estratégica não só melhora a funcionalidade do
1216 produto como agente de limpeza, mas também amplia o seu papel na mitigação dos impactos
1217 ambientais adversos associados ao tratamento de águas residuais domésticas.

1218 Os resultados indicam uma forte aceitação do Biosabão em diferentes formas, principalmente
1219 nas versões em barra de coco e óleo reaproveitado. Particularmente notáveis foram os
1220 benefícios relatados para a pele, incluindo melhor hidratação e até cicatrização de feridas. Esta
1221 observação é crucial porque sugere que o Biosabão pode ter propriedades benéficas não só
1222 como agente de limpeza, mas também como potencial tratamento adjuvante para a pele,
1223 especialmente em casos de pele seca ou danificada.

1224 Além disso, os participantes relataram melhorias no funcionamento da caixa de gordura, com
1225 redução de odores e menor frequência de acúmulo de gordura. Outros mencionaram melhorias
1226 nos sistemas de fossas sépticas e pias, incluindo a redução de odores e entupimentos.

1227 O caso estudado na bacia de amortecimento ilustra o potencial de soluções baseadas na natureza
1228 para resolver problemas urbanos, reforçando a ideia de que o desenvolvimento e a aplicação de
1229 tecnologias verdes, como a biorremediação, devem ser priorizados. Este enfoque não apenas
1230 ajuda na recuperação de áreas degradadas mas também promove a sustentabilidade e a
1231 resiliência das cidades diante das mudanças climáticas e do crescimento populacional.

1232 A biorremediação pode ser uma ferramenta eficaz na melhoria da qualidade da água em bacias
1233 de amortecimento convertidas em lagos ornamentais. A implementação da ETA e a aplicação
1234 de microrganismos bioaumentados mostraram-se medidas viáveis e sustentáveis para lidar com
1235 os desafios de manutenção e gestão desses ambientes em contextos urbanos.

1236 A experiência relatada neste estudo contribui para conhecimento sobre biorremediação,
1237 oferecendo insights valiosos para futuras pesquisas e aplicações práticas. Entretanto, é crucial
1238 reconhecer que a gestão efetiva dos recursos hídricos em ambientes urbanos exige uma
1239 abordagem integrada, envolvendo não apenas a ciência e a tecnologia, mas também a
1240 participação comunitária, políticas públicas eficazes e uma compreensão profunda das
1241 dinâmicas socioeconômicas.

1242 A continuidade das pesquisas e a adoção de práticas inovadoras são essenciais para assegurar
1243 um futuro em que águas limpas e sustentáveis fluam livremente para as gerações vindouras,
1244 honrando nosso compromisso com a preservação e revitalização dos inestimáveis ecossistemas
1245 aquáticos de nosso planeta.

1246

1247

1248

1249

1250 **3 REFERÊNCIAS**

- 1251 ABATENH E, GIZAW B, TSEGAYE Z, WASSIE M ABRA J O Papel dos Microrganismos
1252 na Biorremediação - Uma Revisão, *Environ Biol* :038-046, 2017.
- 1253 ALMEIDA, L., & RIBEIRO, M. (2021). Políticas públicas para a gestão do esgoto no Brasil.
1254 *Revista de Gestão Ambiental* 15(2), 45-67.
- 1255 AGHALARI, M., KESHAVARZ, Z., & SAFARI, E. (2020). Uso combinado de lodo ativado
1256 e radiação ultravioleta para a remoção de contaminantes microbianos em águas residuais.
1257 *Journal of Environmental Science and Technology*, 58(4), 345-352.
- 1258 AHIRWAR, N. K. et al Isolation, identification and characterization of heavy metal resistant
1259 bacteria from industrial affected soil in central India. *Int J Pure Appl Biosci*, v. 4, n. 6, p.
1260 88-93, 2016.
- 1261 ALTSCHUL, STEPHEN F; LIPMAN, DAVID J. Banco de dados de proteínas pesquisa
1262 múltiplos alinhamentos. *Anais da Academia Nacional de Ciências*, vol. 87, não. 14, pág.
1263 5509-5513, 1990.
- 1264 AMINOT, A. & CHAUSSEPIED, M. (1983). *Manuel des Analyses Chimiques en Milieu*
1265 *Marin*. CNEXO, Brest, France.
- 1266 AMORIM, J. P., OLIVEIRA, L. M., & SILVA, M. R. (2024). Estudos sobre a revitalização de
1267 habitats aquáticos: avaliação da comunidade bentônica. *Journal of Aquatic Ecosystem*
1268 *Health* (in press).
- 1269 ANVISA Guia de controle de qualidade de produtos cosméticos - Uma abordagem sobre os
1270 ensaios físicos e químicos. Brasília, p. 18 - 121, 2008.
- 1271 ANVISA Resolução nº482, de 23 de setembro de 1999, Regulamento técnico para fixação de
1272 identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais, *Diário Oficial da República Federativa*
1273 *do Brasil*, Brasília, 1999.
- 1274 APHA (2005). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. 21^a ed.
- 1275 BARBIÉRE, E. B. Estudo preliminar da batimetria do Sistema lagunar Maricá-Guarapina
1276 comparativamente à Lagoa de Araruama e suas implicações no teor de salinidade. *Anais*
1277 *do*, v. 4, p. 4, 1985.
- 1278 BAKER, I.J.A.; DRUMMOND, C.J; FURLONG, D.N.; GRIESER, F. Biodegradação de
1279 surfactantes: surfactantes à base de açúcar comparados a outros surfactantes. In: Zoller,
1280 U. (ed). *CRC Press*, 2004. *Manual de Detergentes – Parte B: Impacto Ambiental* CH. 28,
1281 pág. 739-760.

- 1282 BARCELLOS, R. L. (2000). Coastal benthic ecosystems and processes. Springer.
- 1283 BAKER, I. J.A.; DRUMMOND, C. J.; FURLONG, DN. N.; GRIESER, F. Surfactant
1284 biodegradation: sugar-based surfactants compared to other surfactants. In: Zoller, U. (ed).
1285 CRC Press, 2004. *Handbook of Detergents – Part B: Environmental Impact*. Ch. 28, p. 739-
1286 760.
- 1287 BRANCO, G.. "Nitrificação e Desnitrificação no Processo de Tratamento de Águas Residuais."
1288 *Diário de Gestão Ambiental* 92(9), 2435-2442. 2014
- 1289 CARPENTER, S. R., KITCHELL, J. F., & HODGSON, J. R. (1985). Cascading trophic
1290 interactions and lake productivity. *BioScience*, 35(10), 634-639.
- 1291 CARDOSO, P.G. Estuaries: dynamics, biodiversity, and impacts. In: *Life Below Water*. Cham:
1292 Springer International Publishing, 2022. p. 355-366.
- 1293 CHAPMAN, D. (Ed.). (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota,*
1294 *Sediments, and Water in Environmental Monitoring*. E & FN Spon.
- 1295 CHERNICHARO, C.A.L. *Reatores anaeróbios*. 2^a ed. Belo Horizonte: Departamento de
1296 Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. 380p. (coleção: *Princípios do*
1297 *Tratamento Biológico de Águas Residuárias*, Vol.5), Brasil.
- 1298 CHIMELLO, C.M.; BRUZA, F.B.; RAMOS, M.J.; SILVA, R.C.S.; KREMER, C.K. Estudo
1299 sobre a escolha do tipo de detergente utilizado pelos consumidores de Itatiba. *Revista*
1300 *Ciências do Ambiente On-Line*. v. 8, n° 1, p. 60-61, 2012.
- 1301 COCK, P. J.A et al *BioPython: Ferramentas Python disponíveis gratuitamente para biologia*
1302 *molecular computacional e bioinformática*. *Bioinformática*, vol. 25, não. 11, pág. 14-22,
1303 2009.
- 1304 COSTA, P., & MARTINS, J. (2016). Educação ambiental e a conservação dos ecossistemas
1305 costeiros. *Revista Brasileira de Educação Ambiental* 21(1), 29-43.
- 1306 COPASA, Companhia de Saneamento de Minas Gerais. *Relatório -ETAF Pampulha*. Belo
1307 Horizonte, MG, 2011.
- 1308 CUI, X., LI, H., & WANG, Y. (2021). Efeitos do uso de biochar combinado com
1309 microrganismos eficazes na melhoria de solos salino-alcálicos. *Agricultural Research*,
1310 12(2), 123-131.
- 1311
- 1312 CUNHA, Luís Veiga da. *Segurança ambiental e gestão dos recursos hídricos*. Nação e Defesa,
1313 1998.

- 1314 CULLIS, James DS et al Urbanisation, climate change and its impact on water quality and
1315 economic risks in a water scarce and rapidly urbanising catchment: Case study of the Berg
1316 River Catchment. *h2oj*, v. 2, n. 1, p. 146-167, 2019.
- 1317 DANTAS FILHO, F. F.; et al AS Processo de ensino-aprendizagem dos conceitos de ácidos e
1318 bases com inclusão de experimentação utilizando a temática do sabão ecológico. *Holos*,
1319 vol. 2, pág. 161-173, 2017.
- 1320 DAS, N., & CHANDRAN, P. (2011). Bioaugmentação e biostimulação: Estratégias para a
1321 degradação otimizada de hidrocarbonetos. *Journal of Applied Microbiology*, 110(1), 1-
1322 10.
- 1323 DE FRIAS, A. R. R.; DE OLIVEIRA SANTOS, E. Tecnologias comerciais para
1324 biorremediação de corpos hídricos. *Episteme Transversalis*, v. 11, n. 3, 2020.
- 1325 DESANTIS, T. Z. et al Greengenes, um banco de dados de genes 16S rRNA verificado por
1326 quimera e uma bancada de trabalho compatível com ARB. *Aplicado e ambiental*
1327 *microbiologia*, vol. 72, não. 7, pág. 5069-5072, 2006.
- 1328 D'ERRICO, G. et al Bioremediation of high organic load lagoon sediments: compost addition
1329 and priming effects. *Chemosphere*, v. 91, n. 1, p. 99-104, 2013.
- 1330 DOE, L. (2009). "Impacts of Turbidity on Aquatic Life in Freshwater Ecosystems." *Ecological*
1331 *Indicators*, 9(2), 250-256.
- 1332 Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (EMBASA). Relatório de Experiências com a
1333 Tecnologia EM™ na USJE. Jequié, BA, 2011
- 1334 FAVARO-TRINDADE, Carmen S. et al Encapsulamento de agentes
1335 ativos/bioativos/probióticos. In: *Filmes e Revestimentos Comestíveis*. CRC Imprensa,
1336 2016. p. 363-378.
- 1337 FERNEX, F. et al Ammonification rates and 210 Pb in sediments from a lagoon under a wet
1338 tropical climate: Marica, Rio de Janeiro state, Brazil. *Hidrobiologia*, v. 242, p. 69-76,
1339 1992.
- 1340 FERREIRA, A., & LOPES, C. (2012). Impacto do esgoto não tratado na saúde pública. *Revista*
1341 *de Saúde Pública*, 12(3), 123-135.
- 1342 FELIPE, L. O. e DIAS, S.C. Surfactantes sintéticos e biossurfactantes: vantagens e
1343 desvantagens. *Química Nova – São Paulo-SP, BR*. Vol. 39, N° 3, p. 228-236, AGOSTO
1344 2017.

- 1345 FRANKLIN, R. (2013). "Biochemical Oxygen Demand and Water Quality." Annual Review
1346 of Environment and Resources, 38, 117-140.
- 1347 FROEHNER, S., & MARTINS, C. M. (2008). Environmental aspects of the hydroelectric
1348 reservoir of Jupia (Brazil). Journal of Environmental Management, 87(2), 276-283.
- 1349 GAYLARDE, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. Biorremediação. Biotecnologia
1350 Ciência & Desenvolvimento, v. 34, p. 36-43, 2005.
- 1351 GHANBARZADEH, M.; GOLMORADIZADEH, A.; HOMAEI, A. Carrageenan's, and
1352 carrageenases: Versatile polysaccharides and promising marine enzymes. Phytochemistry
1353 Reviews, v. 17, no. 3, p. 535-571, 2018.
- 1354 GENTRY, Terry; RENSING, Christopher; PEPPER, I. A. N. New approaches for
1355 bioaugmentation as a remediation technology. Critical reviews in environmental science
1356 and technology, v. 34, n. 5, p. 447-494, 2004.
- 1357 GOLDMAN, C. R., & HORNE, A. J. (1983). Limnology. McGraw-Hill Book Company.
- 1358 GOMES, S. Composição Geomicrobiológica e Orgânica das Esteiras Microbianas de Três
1359 Lagoas Costeiras do Sudeste do Rio de Janeiro, Brasil. 2011. Tese de Doutorado. Tese de
1360 doutoramento, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 190 (não publicada).
- 1361 GRIBBIN, J.E. Introdução à hidráulica e hidrologia na questão de águas pluviais. Tradução
1362 Damas, G. P. São Paulo, Cengage Learning, 2009. 497p.
- 1363 GUREVICH, A. et al QUASt: ferramenta de avaliação de qualidade para montagens de
1364 genoma. Bioinformática, vol. 29, n. 8, páginas 1072-1075, 2013.
- 1365 HANSEN, D. J. (2012). "Ammonia Toxicity in Fish." Marine Pollution Bulletin, 64(2), 156-
1366 162.
- 1367 HASAN, F.; SHAH, A.A.; HAMEED, A. Industrial applications of microbial lipases.
1368 Enzymatic and microbial technology, v. 39, n.2, p.235-251, 2006.
- 1369 HECKY, R. E., & KILHAM, P. (1988). Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and
1370 marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. Limnology
1371 and Oceanography, 33(4part2), 796-822.
- 1372 HLORDZI, V. et al The use of Bacillus species in maintaining water quality in aquaculture: A
1373 review. Aquaculture Reports, v. 18, p. 100-503, 2020.
- 1374 HOLGUIN, E., RODRIGUEZ, F., & MARTINEZ, L. (2001). Biorremediação em manguezais:
1375 Abordagens e resultados. Journal of Environmental Management, 62(4), 347-357.

- 1376 HÖLTZ, F.C.. Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da técnica e do impacto
1377 ambiental 2011.
- 1378 INOBEME, Abel. Effect of heavy metals on activities of soil microorganism. Microbial
1379 Rejuvenation of Polluted Environment: Volume 3, p. 115-142, 2021.
- 1380 JESUS, H. C., et al (2004). The geochemistry of phosphorus in mangrove sediments and its
1381 role in phosphorus exchange between sediment and water in a mangrove ecosystem in
1382 northern Brazil. *Chemosphere*, 55(5), 823-831.
- 1383 JONES, A. (2010). Turbidez como indicador de qualidade da água em diversas bacias
1384 hidrográficas." *Pesquisa da Água*, 44(5), 1410-1421.
- 1385 LANANAN, T., RAHMAN, M., & ABDULLAH, A. (2014). Integração de microalgas e
1386 microrganismos eficazes no tratamento de águas residuais: Um estudo de caso na Malásia.
1387 *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 33(3), 839-846.
- 1388 LAURENTI, E.; GARCIA, S.. Eficiência de materiais encapsulante naturais e comerciais na
1389 liberação controlada de probióticos encapsulados. *Revista Brasileira de Tecnologia de*
1390 *Alimentos*, v. 16, p. 107-115, 2013.
- 1391 LAUT, L. et al Organic compounds as proxies of the sedimentary environmental quality of the
1392 Maricá-Guarapina Lagoon System (SE, Brazil). *J. Sediment. Env*, v. 4, n. 2, p. 159-173,
1393 2019.
- 1394 LEE, S. (2010). Imobilização de microrganismos com suporte de álcool polivinílico (PVA) para
1395 a remoção de nitrogênio e carbono em estações de tratamento de efluentes. *Environmental*
1396 *Engineering Journal*, 35(2), 123-130.
- 1397 LIMA, A. L. L., EYSINK, G. G. J., & MEYERS, P. A. (2001). Early diagenesis of organic
1398 matter in a tropical shallow reservoir (Lobo-Broa Reservoir, Brazil). *Aquatic*
1399 *Geochemistry*, 7(2), 89-107.
- 1400 LIYANAGE, Chamara P.; YAMADA, Koichi. Impact of population growth on the water
1401 quality of natural water bodies. *Sustainability*, v. 9, n. 8, p. 1405, 2017.
- 1402 LOMANTO, P.P., RANGEL, E. I. Nota Explicativa sobre a construção da Quadros de
1403 densidade demográfica da Região Hidrográfica V (RH-V) com os resultados preliminares
1404 do Censo 2022 (IBGE, 2022). CSG DO-0129.
- 1405 MA, C.W; CHO, Y.-S.; Oh, K. H. Removal of pathogenic bacteria and nitrogen by
1406 *Lactobacillus* spp. JK-8 and JK-1 *Aquaculture*, v. 287, no. 3-4, p. 266–270, 2009.

- 1407 MA, Li, N., YANG, H. et al. Exploring the relationship between urbanization and water
1408 environment based on coupling analysis in Nanjing, East China. *Environ Sci Pollut Res* 29,
1409 4654–4667 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15161-1>
- 1410 MACHADO, T. S. et al Produção de biossurfactantes bacterianos em solos utilizando
1411 bioaumento e bioestimulação. 2018.
- 1412 MAGLIOCCA, L., & KUTNER, M. (1964). *Sedimentology: the study of sedimentary rocks*.
1413 Prentice Hall.
- 1414 MARTINS, Silvia. e BIRAL Paula. *Saboaria Natural saponificação a frio, Cold Process, Bahia,*
1415 *Brazil, © CERIES, 2019;*
- 1416 MASELLA, A. P. et al PANDA seq : montador emparelhado para sequências de iluminação.
1417 *BMC Bioinformática*, v. 13, p.1-7, 2012.
- 1418 MAZUR, Robert et al. Sustainability in aquatic ecosystem restoration: Combining classical and
1419 remote sensing methods for effective water quality management. *Sustainability*, v. 16, n.
1420 9, p. 3716, 2024.
- 1421 MAZUR, J., KOWALSKI, M., & NOWAK, R. (2024). Sensoriamento remoto aliado à
1422 biorremediação: Monitoramento da qualidade de reservatórios mediante aplicação de
1423 esferas de Bokashi. *Environmental Monitoring and Assessment*, 45(1), 45-52.
- 1424 MEYERS, P. A. (1997). Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic,
1425 and paleoclimatic processes. *Organic Geochemistry*, 27(5-6), 213-250.
- 1426 MELO, I.S. *Microbiologia Ambiental Ed. Rev. amplo - Onça-pintada: Embrapa Meio*
1427 *Ambiente*, p 647.
- 1428 MORAIS FILHO, M. C.; CORIOLANO, A. C. F. Biorremediação, uma alternativa na
1429 utilização em áreas degradadas pela indústria petrolífera. *Holos*, v. 7, p. 133-150, 2016.
- 1430 MORIKAWA-SAKURA, SAILOR S. et al Aplicação de *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014
1431 para tratamento de águas residuais no processamento da indústria pesqueira. *Japão J.*
1432 *Tratamento de água. Biol*, v. 49, pág. 1-10,
- 1433 MORTIMER, C. H. (1941). The exchange of dissolved substances between mud and water in
1434 lakes. *Journal of Ecology*, 29(2), 280-329.
- 1435 MULLIGAN, C. N.; SHARMA.S. K.; MUDHOO, A.; MAKHIJANI, K. Green chemistry and
1436 biosurfactant research. In: MULLIGAN, C. N.; SHARMA.S. K.; MUDHOO, A. (ed.).
1437 Taylor & Francis Group, 2014. *Biosurfactants: Research Trends and Applications*. Ch. 1,
1438 p. 1-30.

- 1439 NWANKWO, Wilson et al. Avanços recentes na aplicação de enzimas microbianas para
1440 biodegradação de resíduos e materiais perigosos. Rejuvenescimento microbiano de
1441 ambientes poluídos: Volume 3, p. 35-56, 2021.
- 1442
- 1443 OKUDA, et al. Estudos sobre a Aplicação da Tecnologia EM™ em Sistemas de Tratamento de
1444 Águas Residuais. 2011.
- 1445 OLANIYAN, Olugbemi Tope; ADETUNJI, Charles Oluwaseun. Biochemical role of
1446 beneficial microorganisms: An overview on recent development in environmental and agro
1447 science. Microbial Rejuvenation of Polluted Environment: Volume 3, p. 21-33, 2021.
- 1448 OLIVEIRA, H. M. et al Redução de matéria orgânica com aplicação de *Bacillus subtilis* e *B.*
1449 *licheniformis* em sedimentos provenientes de viveiro de policultivo de *Litopenaeus*
1450 *vannamei* com *Oreochromis niloticus*. 2021.
- 1451 OLIVEIRA, G. G. S. et al Uso de macro invertebrados bentônicos como bioindicadores de
1452 qualidade da água do Córrego Alegria, Uberaba-MG. 2019.
- 1453 OLIVEIRA, S., SANTOS, A., & COSTA, R. (2015). Biodiversidade marinha e poluição: Um
1454 estudo de caso. *Revista de Biologia Marinha*, 14(4), 301-317.
- 1455 OSADEBE, A. U. CHINELO, A. O. BUKOLA, M. S. GIDEON C. O. Microbial Degradation
1456 of Anionic Surfactants from Laundry Detergents Commonly Discharged into a Riverine
1457 Ecosystem. Department of Microbiology, University of Port Harcourt, Choba, Nigeria.
1458 April 2018.
- 1459 PAWEŁ, K., NOWICKI, P., & ZIELINSKI, S. (2021). Aplicação de esferas de Bokashi para a
1460 remediação de lagos e reservatórios: Uma abordagem inovadora. *Water Research*, 55(2),
1461 210-218.
- 1462 PEANPARKDEE, M.; IWAMOTO, S.; YAMAUCHI, R. Microencapsulation: a review of
1463 applications in the food and pharmaceutical industries. *Reviews in Agricultural Science*, v.
1464 4, p. 56-65, 2016.
- 1465 PENTEADO, J.C.P.; EL SEOUD, O.A.; CARVALHO, L.R.F. Alquilbenzeno sulfonato linear:
1466 uma abordagem ambiental e analítica. *Química Nova*. v. 29, n. 5, p. 1038-1046, 2006.
- 1467 PEREIRA, T., GONÇALVES, V., & LIMA, H. (2020). Tecnologias de tratamento de esgoto e
1468 a proteção ambiental *Engenharia Sanitária e Ambiental* 25(1), 67-81.
- 1469 PHILP, J. C.; ATLAS, R. M.; CUNNINGHAM, C. J. *Bioremediation*, 2014.

- 1470 PHILP, J. C.; ATLAS, R. M. Bioremediation of contaminated soils and aquifers.
1471 Bioremediation: Applied Microbial Solutions for Real-World Environmental Cleanup, p.
1472 139-236, 2005.
- 1473 PHILP, J. C. et al Monitoring Bioremediation. Bioremediation: Applied Microbial Solutions
1474 for Real-World Environmental Cleanup, p. 237-268, 2005.
- 1475 PINHEIRO, A. G., et al Dinâmica e estabilidade da praia na APA de Maricá (RJ) entre 2008 e
1476 2014. Anais: *Dinâmica da paisagem, recursos naturais e planejamento ambiental em áreas*
1477 *rurais e urbanas*. XVI Simpósio de Geografia Física e Aplicada. “Territórios Brasileiros:
1478 Dinâmicas, potencialidades e vulnerabilidades”. Teresina, Piauí 28 de junho a 04 de julho
1479 de 2015. Geografia da UFPI e UESPI. ISSN: 2236-2015.
- 1480 PHIPSON, B.; SMYTH, GORDON K. Os valores P de permutação nunca devem ser zero:
1481 calculando valores P exatos quando as permutações são sorteadas aleatoriamente.
1482 Aplicações estatísticas em genética e biologia molecular, v. 9, n. 1, 2010.
- 1483 QUEIROZ, E. M., PEREIRA, R. A. S., & REZENDE, C. E. (2000). Uso de indicadores
1484 biológicos na avaliação da qualidade da água: uma revisão crítica. *Revista Brasileira de*
1485 *Recursos Hídricos*, 5(3), 15-26
- 1486 SALEEM, A., et al Microbial assisted bioremediation of polluted water. *Haya: Saudi J Life Sci*,
1487 v. 7, n. 4, p. 116-127, 2022.
- 1488 SANCHEZ D., GREGORIO J., LOPEZ H., CARLOS A. Degradação de Aldrin por *Bacillus*
1489 *licheniformis*, isolado de água e sedimentos de Ciénaga Grande, Santa Marta, Colômbia.
1490 *Acta biol. Colomb.* [online].2012, vol.17, n.1, pp.67-76. ISSN 0120-548X.
- 1491 SANTOS, B. P. Análise dos índices de vulnerabilidade costeira-IVC no litoral do município de
1492 Maricá-Estado do Rio de Janeiro. 2023.
- 1493 SANTOS, D., & CARVALHO, M. (2017). Impactos socioeconômicos da poluição marinha.
1494 *Revista de Economia Regional* 9(2), 101-117.
- 1495 SAXENA, G.; KUMAR, V.t; SHAH, M. P. (Ed.). *Bioremediation for environmental*
1496 *sustainability: toxicity, mechanisms of contaminants degradation, detoxification and*
1497 *challenges*. Elsevier, 2020.
- 1498 SENA, A. P. S. de; COUTINHO, O. A.; LIMA JR, A. de S. S. NEREU PROJECT: Construction
1499 of a Plasma Reactor for Reform of Methane for Treatment of Wastewater of The Marine
1500 Farms. In: Taner Yonar, editor. *Desanilation*. London: INTECH, 2017. Cap 11th.

- 1501 SILVA, E., LOPES, J., & SANTOS, F. (2010). Eutrofização em águas costeiras: causas e
1502 efeitos. *Revista de Ecologia Aquática*, 8(1), 55-69.
- 1503 STERZ, C.; ROZA-GOMES, M. F.; ROSSI, E. M. Análise microbiológica e avaliação de
1504 macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água do Riacho
1505 Capivara, município de Mondai, SC. *Unoesc & Ciência*, v. 2, n. 1, p. 7-16, 2011.
- 1506 RANI, S., SHARMA, P., & GUPTA, V. (2024). Degradação de microplásticos por
1507 microrganismos: Abordagens emergentes em Haryana, Índia. *International Journal of*
1508 *Environmental Research*, 39(2), 102-110.
- 1509 REYNOLDS, C. S. (2006). *Ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press.
- 1510 ROCHERA, Carlos et al In situ bioremediation techniques to reduce total organic matter
1511 oversaturation of fluvial sediments: an experimental study. *Applied Sciences*, v. 10, n. 12,
1512 p. 4308, 2020.
- 1513 ROSMAN, P.C.C et al Plano estratégico para revitalização ambiental do sistema lagunar do
1514 município de Maricá: PD&I para controle de cheias, navegabilidade, balneabilidade
1515 costeira e desenvolvimento econômico, social e ambiental SisBaHiA®, COPPE, UFRJ.
1516 2024.
- 1517 SCARLATO, F. C. População e urbanização brasileira. In: ROSS, Jurandy L. Sanches. (Org.)
1518 *Geografia do Brasil*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2019. 6 ed. 3
1519 reimpr.549p."
- 1520 SMITH, J. et al (2015). "Effectiveness of Bio-remediation Techniques in Aquatic
1521 Environments." *Environmental Science & Technology*, 49(14), 1234-1242.
- 1522 STEEMERS F.J; GUNDERSON K.L. Whole genome genotyping technologies on the Bead
1523 Array™ platform. *Biotechnology Magazine: Healthcare Nutrition Technology*, v. 1, pg.
1524 41-49, 2007.
- 1525 SCHINDLER, D. W. (1977). Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science*, 195(4275),
1526 260-262.
- 1527 SMITH, V. H. (2003). Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: a global
1528 problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 10(2), 126-139.
- 1529 SILVA, A. L. C., et al Sedimentary architecture and depositional evolution of the Quaternary
1530 coastal plain of Maricá, Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, v. 44, p. 191-
1531 206, 2014.

- 1532 SILVA, I.M. Comparação dos índices de qualidade da água e usos do fator contaminação e
1533 índice de geoacumulação para os sedimentos da microbacia do arroio João Corrêa, São
1534 Leopoldo, RS, Brasil. 2008.
- 1535 SOMMARUGA, R., & CONDE, D. (1990). Distribution and dynamics of suspended particles
1536 in a shallow subtropical lake. *Archiv für Hydrobiologie*, 119(1), 21-39.
- 1537 SOUZA, G. C. T. de. Criação de índice plâncton-bentônico para avaliação da qualidade de água
1538 no reservatório de Volta Grande–MG/SP. 2017.
- 1539 TOLEDO, L.M.; WALL, F. C. M.; OBRACZKAL M.; SALOMÃO, A, L, de S,. Panorama do
1540 Sistema Lagunar de Maricá - RJ: Indicadores de Saneamento vs. Qualidade de Água.
1541 *Revista Internacional de Ciências*, v 11. n. 01, p. 6-24. Jan -abr., 2021.
- 1542 TOMCZYK, Paweł et al. Effective microorganism water treatment method for rapid eutrophic
1543 reservoir restoration. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 31, n. 2, p. 2377-
1544 2393, 2024.
- 1545 UFMA, Universidade Federal do Maranhão, Relatório de Avaliação do Experimento de
1546 Biorremediação na Lagoa da Jansen. São Luís, MA, 2011.
- 1547 UKHUREBOR, Kingsley Eghonghon et al. Climate change and pesticides: their consequence
1548 on microorganisms. *Microbial Rejuvenation of Polluted Environment: Volume 3*, p. 83-
1549 113, 2021.
- 1550 VEZZULLI, L.; PRUZZO, C.; FABIANO, M. Response of the bacterial community to in situ
1551 bioremediation of organic-rich sediments. *Marine pollution bulletin*, v. 49, n. 9-10, p. 740-
1552 751, 2004.
- 1553 VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. 3^a ed. Belo
1554 Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005. 452p.
1555 (coleção: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, Vol.1), Brasil.
- 1556 WETZEL, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Academic Press.
- 1557 WRÓBEL, Monika et al Bioremediation of Heavy Metals by the Genus Bacillus. *International*
1558 *Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 20, no. 6, p. 4964, 2023.
- 1559 SITES
- 1560 <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/marica.html>, acessado 12/06/2024.
- 1561 <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis>
1562 acessado no dia 10-06-2024.

- 1563 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-66161-8_12, acessado no dia 10-06-
1564 2024.
- 1565 [https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/atendimento-a-emergencia/surtos-de-doencas-de-
1566 veiculacao-
1567 hidrica/#:~:text=Doen%C3%A7as%20de%20veicula%C3%A7%C3%A3o%20h%C3%AAdrica%20s%C3%A3o,%C3%A1gua%20utilizada%20para%20diferentes%20usos.](https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/atendimento-a-emergencia/surtos-de-doencas-de-veiculacao-hidrica/#:~:text=Doen%C3%A7as%20de%20veicula%C3%A7%C3%A3o%20h%C3%AAdrica%20s%C3%A3o,%C3%A1gua%20utilizada%20para%20diferentes%20usos.)
1568 Dbrica%20s%C3%A3o,%C3%A1gua%20utilizada%20para%20diferentes%20usos.
1569 acessado no dia 23-06-2024.
- 1570 SisBaHiA, www.sisbahia.coppe.ufrj.br, acesso em 2023
- 1571

1572 **4 APÊNDICES**

1573

1574 **PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP) –**
1575 **OPERAÇÃO - BIOFÁBRICA**

1576 **1. CAMPO DE APLICAÇÃO**

1577

1578 Este Procedimento Operacional Padrão aplica-se na supervisão e na operação da Biofábrica para a
1579 ativação do Bioinsumo e no controle de qualidade do produto que vai para aplicação.

1580 O Bioinsumo é ativado na proporção (protocolo de choque) 7,5% Embiotic, 3% de Hibana (ativador)
1581 e 86% de água. Ou ativado na proporção (protocolo de manutenção) 2,5 % Embiotic, 2% de Hibana
1582 (ativador) e 89,5% de água. Em ambas as ativações são adicionados 0,4% de sal (grosso ou
1583 refinado).

1584

1585 **2. IDENTIFICAÇÃO**

1586

1587 **2.1. Informações Gerais do Empreendedor**

1588 **2.1.1. Razão Social:** Companhia de Desenvolvimento de Maricá S.A

1589 **2.1.2. CNPJ:**

1590 **2.1.3. Endereço:** Rua Jovino Duarte de Oliveira, 481 – Aeroporto de Maricá

1591

1592 **3. DEFINIÇÕES**

1593

1594 a. Embiotic® - Marca registrada da biotecnologia de Microorganismos Eficazes, sendo que o
1595 produto é ativado;

1596 b. Hibana® - Marca registrada do meio de cultura para ativar os Microorganismos Eficazes;

- 1597 c. Biotijolos - blocos/bolas de argila/barro com inoculação com o Bioinsumo ativado, onde a
1598 biotecnologia é mantida em meio sólido para aplicação no meio ambiente;

1599

1600 **4. FORMULÁRIOS / ANEXOS**

1601

- 1602 a. 001-EM1-LAGOA-INSUMO-ATIVACÃO-00;

- 1603 b. 002-EM1-LAGOA-INSUMO-BIOTIJOLO-00;

- 1604 c. 003-CONTROLE DE ESTOQUE-00.

1605

1606 **5. PROCEDIMENTO**

1607 **5.1. MATERIAIS, FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS**

1608

- 1609 a. 07 Tanques com agitadores, Vortex®, com 6,00 m³;

- 1610 b. 04 motobombas, 03 elétrica e 01 combustível para recalque de produtos e aplicação em
1611 campo;

- 1612 c. Tanques do tipo IBC de 1.000L para transporte;

- 1613 d. Automóveis de apoio.

1614

1615 **5.2. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI) E EQUIPAMENTOS DE**
1616 **PROTEÇÃO COLETIVA (EPC)**

1617

- 1618 a. **EPIs** - botas, luvas, protetores auriculares, óculos de segurança e máscara de gases.

1619

1620 **5.3. PROCEDIMENTOS OPERACIONAL**

1621 **5.3.1. OPERACIONALIZAÇÃO DA ATIVAÇÃO DA SOLUÇÃO**

1622

- 1623 a. Posicionar-se em frente a cada unidade, de frente para abertura da visita.
- 1624 b. Abrir a tampa da visita colocar a mangueira com água, mangueira do melaço e ligar o
1625 agitador em velocidade 30 RPM. Despejar os galões:
- 1626 c. Protocolo de tratamento (vai variar com cada época do ano)
- 1627 ● Seguir a receita indicada para o período do tratamento
- 1628 ● 24 Kg de sal;
- 1629 ● Completar com água até marca de 6.000 Litros;
- 1630 ● Deixa o agitador de 3 a 4 horas.
- 1631 d. Desconectar todas as mangueiras, desligar o agitador e fechar a tampa da visita.
- 1632 e. Descrever no check list a data ativação e aguardar de 4 a 7 dia para ativação, vai depender
1633 da temperatura local
- 1634 f. Controle de qualidade e preencher planilha de acompanhamento (em anexo) diariamente.
- 1635

1636 5.3.2. OPERACIONALIZAÇÃO DA BIOTECNOLOGIA

- 1637
- 1638 a. Verificar com laboratório o controle de qualidade, estando dentro da qualidade liberar para
1639 aplicação;
- 1640 b. Preencher a planilha de controle com as análises.;
- 1641 c. Caso os resultados da análise microbiológica apontem contaminação (Pseudomonas, E. Coli
1642 ou Coliformes totais) nas amostras coletadas, o bioinsumo contido nos tanques não poderá ser
1643 liberado para dosagem, devendo ele permanecer no tanque até que o próximo resultado esteja dentro
1644 da qualidade. Persistindo a contaminação por mais de 3 dias o produto deverá ser desinfetado
1645 utilizando Peróxido de Hidrogênio, Diclorometano com 90% de princípio ativo (Dicloro) por pelo
1646 mens 30 min ou com luz ultravioleta (UV) até que todo volume faça recirculação pela lâmpada
1647 (depende da potência da bomba). Após a desinfecção pode ser descartada em ETE.
- 1648 d. Estando com controle de qualidade liberado, seguir com a metodologia de aplicação para
1649 cada ponto.
- 1650

1651 **5.3.3. OPERACIONALIZAÇÃO DE RELATÓRIOS**

1652

- 1653 a. Com base nos elaborar o relatório de aplicação.
- 1654 b. Enviar o relatório de aplicação mensalmente para o cliente.
- 1655 c. Quadros de monitoramento dos tanques.

Data	Temperatura	pH	Quantitativo das UFC do Produto	Observação

1656

1657 **6. BIBLIOGRAFIA / DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

1658

- 1659 a. NRs (2,15,18, 33 e 35) de segurança de trabalho;
- 1660 b. Protocolo de atividades.

1661

1662

1663 **PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP) -**
1664 **FABRICAÇÃO DOS BIOTIJOLOS**

1665

1666 **1. IDENTIFICAÇÃO**

1667 **1.1. Informações Gerais do Empreendedor**

1668 **1.1.1. Razão Social:** Companhia de Desenvolvimento de Maricá S.A

1669 **1.1.2. CNPJ:**

1670 **1.1.3. Endereço:** Rua Jovino Duarte de Oliveira, 481 – Aeroporto de Maricá

1671

1672 **2. DEFINIÇÕES**

1673

1674 a. Biotijolos - blocos/bolas de argila/barro que são inoculados com um consorcio de
1675 Microorganismos, onde a biotecnologia é mantida em meio sólido para aplicação no corpo
1676 hídrico, lagoas de tratamentos de efluentes e em Estações de tratamentos de efluentes;

1677

1678 **3. FORMULÁRIOS**

1679

1680 a. 001-EM1-LAGOA-INSUMO-ATIVAÇÃO-00;

1681 b. 002-EM1-LAGOA-INSUMO-BIOTIJOLOS-00;

1682 c. 003-CONTROLE DE ESTOQUE-00.

1683

1684 **4. PROCEDIMENTO**

1685

1686 **4.1. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI) E EQUIPAMENTOS DE**
1687 **PROTEÇÃO COLETIVA (EPC)**

1688

1689 a. EPIs - botas, luvas, protetores auriculares, óculos de segurança e máscara de gases.

1690

1691 4.2. PROCEDIMENTOS OPERACIONAL

1692 4.2.1. OPERACIONALIZAÇÃO DA ATIVAÇÃO DOS BIOBLOCOS

1693

1694 a. Com o auxílio de uma olaria executar os seguintes procedimentos:

1695 • A cada concha da pá carregadeira (em média 2.000Kg) de barro despejar:

1696 ▪ 70Kg de Farelo;

1697 ▪ 200 Kg de meio de cultura ou ativador;

1698 ▪ 700 Litros do Bioinsumo SEM ATIVAR (caso a argila estiver muito
1699 seca será necessário aplicar o Bioinsumo ativado para umedecer e
1700 acelerar o processo de inoculação);

1701 ▪ 100 Kg de Carvão vegetal em pó;

1702 ▪ 10 Kg de Sal

1703 b. Misture todos os ingredientes secos, aplicar o Bioinsumo sem ativar (se necessário,
1704 acrescentar Bioinsumo ativado para umedecer). Sovar bem ou colocar na máquina de
1705 fabricar tijolos. Enviar para extrusora de tijolos e cortar em pedaços ou realizar bolinhas
1706 manuais.

1707

1708 4.2.2. OPERACIONALIZAÇÃO DA BIOTECNOLOGIA

1709

1710 a. Verificar o protocolo com a dosagem de cada local

1711 b. Aplicar os quantitativos nas coordenadas indicadas nos protocolos.

1712

1713 4.2.3. OPERACIONALIZAÇÃO DE RELATÓRIOS

1714

- 1715 a. Com base nos elaborar o relatório de aplicação.
- 1716 b. Enviar o relatório de aplicação mensalmente para o cliente.

1717

1718 **5. BIBLIOGRAFIA / DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

1719 a. NRs (2,15,18, 33 e 35) de segurança de trabalho;

1720 b. Protocolo de atividades.

1721

1722 **PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP) –**
1723 **APLICAÇÃO**

1724

1725 **1. IDENTIFICAÇÃO**

1726 **1.1. Informações Gerais do Empreendedor**

1727 **1.1.1. Razão Social:** Companhia de Desenvolvimento de Maricá S.A

1728 **1.1.2. CNPJ:**

1729 **1.1.3. Endereço:** Rua Jovino Duarte de Oliveira, 481 – Aeroporto de Maricá

1730

1731 **2. DEFINIÇÕES**

1732

1733 b. **Bioinsumo** - Biotecnologia de microorganismos, sendo que o produto é diluído e ativado
1734 na proporção (protocolo de choque ou manutenção). - Ver POP Operação;

1735 c. **Biotijolos**- blocos de argila/barro com inoculação com Bioinsumo, onde a biotecnologia é
1736 mantida em meio sólido para aplicação no meio ambiente – Ver POP Biotijolos;

1737

1738 **3. PROCEDIMENTO**

1739 **3.1. MATERIAIS, FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS**

1740

1741 **a.** 07 Tanques com agitadores, Vórtex, com 6.000 Litros;

1742 **b.** 04 motobombas, 03 elétrica e 02 combustíveis para recalque de produtos e aplicação em
1743 campo;

1744 **c.** 02 Tanques do tipo IBC de 1.000 Litros para transporte;

1745 **d.** Automóveis de apoio.

1746

1747 **3.2. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI) E EQUIPAMENTOS DE**
1748 **PROTEÇÃO COLETIVA (EPC)**

1749

1750 **b. EPIs** - botas, luvas, protetores auriculares, óculos de segurança e máscara de gases.

1751

1752 **3.3. OPERACIONALIZAÇÃO DA APLICAÇÃO**

1753

1754 a. Posicionar-se em frente a cada unidade, de frente para abertura da visita, acionar o
1755 agitador em velocidade 30 RPM.

1756 b. Abrir a tampa da visita colocar a bomba de sucção próximo a abertura do tanque de
1757 modo que a tubulação de recalque fique dentro do tanque.

1758 c. Colocar a mangueira de recalque dentro do tanque IBC em cima da Sprinter carroceria,
1759 acionar a bomba de recalque.

1760 d. Seguir para o roteiro do dia para aplicação nos pontos determinado no Protocolo.

1761 e. Esticar a mangueira de aplicação, abrir a tampa do tanque IBC e ligar a motobomba a
1762 combustível e realizar o lançamento do líquido na quantidade determinada no protocolo
1763 de aplicação para o ponto.

1764 f. Enquanto o líquido é aplicado, realizar o lançamento dos Biotijolos na quantidade
1765 determinada no protocolo de aplicação para o ponto.

1766 g. Finalizando o conteúdo do tanque IBC, desligar a motobomba e retorna para Biofábrica
1767 para o reabastecimento do tanque e continuar aplicação seguindo o roteiro do protocolo.

1768

1769

Quadro 5 – Histórico dos quantitativos aplicado no Projeto.

CORPO HÍDRICO / SEMANAS	nov/21				dez/21				jan/22				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
CANAL DA CIDADE	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000		3.000	3.000	3.000	3.000	
	82				82				82				
CANAL DO AEROPORTO	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000		3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
	80				80				80				
RIO MUMBUCA	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000		3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
	180				180				180				
CANAL BURITI	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	16				16				16				
CANAL ITAPEBA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	17				17				17				
ORLA DO MARINE	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000		3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
	120				120				120				

	TOTAL
LÍQUIDOS (L)	154.000,00
BIOBLOCOS (Kg)	1.485,00

CORPO HÍDRICO / SEMANAS	fev/22				mar/22				abr/22			
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CANAL DA CIDADE	10.000	10.000	10.000	10.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
	530		530		100		100		50		50	
CANAL DO AEROPORTO	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
	100				100				100			
RIO MUMBUCA	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
	300				300				300			
RIO LUDGERO	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	200				200				200			
CANAL BURIS	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

	50				50				50			
CANAL ITAPEBA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	100				100				100			
ORLA DO MARINE - Z5	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	200				200				200			
ORLA DO ZÉ GAROTO - Z5									2.000	2.000	2.000	2.000
									200			

	TOTAL
LÍQUIDOS (L)	204.000,00
BIOBLOCOS (Kg)	6.610,00

CORPO HÍDRICO / SEMANAS	mai/22				jun/22				jul/22			
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
CANAL DA CIDADE	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
	50		400	400	400	400	400	400	400		400	
CANAL DO AEROPORTO	3.000	3.000	3.000	3.000	Suspensão por falta de vazão.							
	100											
RIO MUMBUCA	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
	300		600	600	600	600	600	600	600			
RIO LUDGERO	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	200				0				0			
CANAL BURIS	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	50		200	200	200	200	200	200	200			
CANAL ITAPEBA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	100		200	200	200	200	200	200	200			
ORLA DO MARINE - Z5	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	300		400	400	400	400	400	400	400			
ORLA DO ZÉ GAROTO - Z5					2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
					200	200	200	200	200			

TOTAL

LÍQUIDOS (L)	160.000,00
BIOBLOCOS (Kg)	15.100,00

CORPO HÍDRICO / SEMANAS	ago/22				set/22				out/22			
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
CANAL DA CIDADE	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
							60	60	60	60	60	60
RIO MUMBUCA	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
							60	60	60	60	60	60
RIO LUDGERO	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
							5	5	5	5	5	5
CANAL BURIS	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
							10	10	10	10	10	10
CANAL ITAPEBA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
							5	5	5	5	5	5
ORLA DO MARINE - Z5	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
							10	10	10	10	10	10
ORLA DO ZÉ GAROTO - Z5	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
							60	60	60	60	60	60
CANAL DA COSTA - Z5 - ITAIPUAÇU					6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
							180	180	180	180	180	180

	TOTAL
LÍQUIDOS (L)	216.000,00
BIOBLOCOS (Kg)	2.340,00

CORPO HÍDRICO / SEMANAS	nov/22				dez/22				jan/23			
	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
CANAL DA CIDADE	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000		3.000	3.000	3.000	3.000
	60	60	60	60	60	60	60					
RIO MUMBUCA	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000		3.000	3.000	3.000	3.000
	60	60	60	60	60	60	60					

RIO LUDGERO	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	5	5	5	5	5	5					
CANAL BURIS	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	80	80	80	80	80	80					
CANAL ITAPEBA	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	20	20	20	20	20	20					
ORLA DO MARINE - Z5	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	20	20	20	20	20	20					
ORLA DO ZÉ GAROTO - Z5	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	60	60	60	60	60	60					
CANAL DA COSTA - Z5 - ITAIPUAÇU	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
	180	180	180	180	180	180					

TOTAL	
LÍQUIDOS (L)	220.000,00
BIOBLOCOS (Kg)	2.910,00

CORPO HÍDRICO / SEMANAS	fev/23			mar/23			abr/23			
	61	62	63	64	65	66	68	69	70	71
CANAL DA CIDADE	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
RIO MUMBUCA	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
RIO LUDGERO	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CANAL BURIS	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
CANAL ITAPEBA	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
ORLA DO MARINE - Z5	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
ORLA DO ZÉ GAROTO - Z5	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000

	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
CANAL DA COSTA - Z5 - ITAIPUAÇU	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180

	TOTAL
LÍQUIDOS (L)	200.000,00
BIOBLOCOS (Kg)	4.850,00

CORPO HÍDRICO / SEMANAS	mai/23				jun/23				jul/23			
	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
CANAL DA CIDADE	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
RIO MUMBUCA	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
RIO LUDGERO	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CANAL BURIS	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
CANAL ITAPEBA	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ORLA DO MARINE - Z5	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
ORLA DO ZÉ GAROTO - Z5	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
CANAL DA COSTA - Z5 - ITAIPUAÇU	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180

	TOTAL
LÍQUIDOS (L)	240.000,00
BIOBLOCOS (Kg)	4.860,00

CORPO HÍDRICO / SEMANAS	ago/23	set/23	out/23
-------------------------	--------	--------	--------

	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
CANAL DA CIDADE	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000					3.000	3.000	
	60	60	60	60	60					60	60	
RIO MUMBUCA	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000					3.000	3.000	
	60	60	60	60	60					60	60	
RIO LUDGERO	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000					1.000	1.000	
	5	5	5	5	5					5	5	
CANAL BURIS	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000					1.000	1.000	
	10	10	10	10	10					10	10	
CANAL ITAPEBA	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000					2.000	2.000	
	10	10	10	10	10					10	10	
ORLA DO MARINE - Z5	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000					2.000	2.000	
	20	20	20	20	20					20	20	
ORLA DO ZÉ GAROTO - Z5	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000					2.000	2.000	
	60	60	60	60	60					60	60	
CANAL DA COSTA - Z5 - ITAIPUAÇU	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000					6.000	6.000	
	180	180	180	180	180					180	180	

	TOTAL
LÍQUIDOS (L)	140.000,00
BIOBLOCOS (Kg)	2.835,00

Quantitativo ativado	
Novembro 21 até março 22 (receita EM 5% melaço 5%)	294.000
Março 22 até agosto. 22 (receita EM 3% H2%)	1.644.000
Agosto 22 até outubro 22 (receita E2,5%H2%)	236.000,00
Novembro.22 até abril 23(receita E10%H4%)	480.000,00
Abril 23 até agosto 23 (receita E2,5%H2%)	2.469.000,00
da 2a. Semana de Set 23 até 1a. Semana de Out 23	não houve aplicação
Out 23 até momento (receita E 5% M 10%)	40.000,00
Total em Litros ativado	4.447.000,00