



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**  
**DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO**  
**AMBIENTE**

**POTIRA MANAUARA SOUZA MELO**

**AVALIAÇÃO DO CULTIVO DE MICROALGAS EM EFLUENTES DOMÉSTICOS**  
**TRATADOS NA ETE- JARACATI, SÃO LUÍS-MA: ISOLAMENTO,**  
**FICORREMEDIAÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA.**

**São Luís - MA**

**2022**

**POTIRA MANAUARA SOUZA MELO**

**AVALIAÇÃO DO CULTIVO DE MICROALGAS EM EFLUENTES DOMÉSTICOS  
TRATADOS NA ETE- JARACATI, SÃO LUÍS-MA: ISOLAMENTO,  
FICORREMEDIAÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

**Orientador(a):** Prof.(a) Dr.(a) Samara Aranha Eschrique.

**Coorientador(a):** Prof.(a) Dr.(a) Yllana Ferreira Marinho.

São Luís - MA

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Souza Melo, Potira Manauara.

AVALIAÇÃO DO CULTIVO DE MICROALGAS EM EFLUENTES  
DOMÉSTICOS TRATADOS NA ETE- JARACATI, SÃO LUÍS-MA:  
ISOLAMENTO, FICORREMEDIAÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA /  
Potira Manauara Souza Melo. - 2022.

74 f.

Coorientador(a): Yllana Ferreira Marinho.

Orientador(a): Samara Aranha Eschrique.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em  
Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do  
Maranhão, São Luís, Maranhão, 2022.

1. Águas residuais. 2. Bioproduto. 3. Eutrofização.  
4. Sustentabilidade. I. Aranha Eschrique, Samara. II.  
Ferreira Marinho, Yllana. III. Título.

**POTIRA MANAUARA SOUZA MELO**

**AVALIAÇÃO DO CULTIVO DE MICROALGAS EM EFLUENTES DOMÉSTICOS  
TRATADOS NA ETE- JARACATI, SÃO LUÍS-MA: ISOLAMENTO,  
FICORREMEDIAÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em 28 de outubro de 2022.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof.(a) Dr.(a) Samara Aranha Eschrique

**Departamento de Oceanografia e Limnologia/UFMA  
ORIENTADOR**

Prof.(a) Dr. (a) Katiene Regia Silva Sousa

**Departamento de Oceanografia e Limnologia/UFMA  
MEMBRO INTERNO**

Prof.(a) Dr.(a) Maria Raimunda Chagas da Silva

**Instituição CEUMA de Ensino/CEUMA  
MEMBRO EXTERNO**

*Aos meus pais, “José (in memoriam) e Marly”,  
que sempre foram meus maiores exemplos de amor,  
dedicação e resiliência. Saibam que sou extremamente  
grata por ter tido o privilégio de ser a filha de vocês.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por nunca me abandonar nos momentos difíceis dessa caminhada, e principalmente, por ter protegido a mim e aos meus durante a pandemia, permitindo que eu chegasse ao final desse trabalho com saúde.

A minha família, Marly, Guacira, Elder, Kauã e Fernanda, por todo apoio, amor e compreensão que me ajudaram a chegar até aqui, especialmente a minha mãe, que não mediu esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos e que nunca me deixou desistir.

Ao meu namorado, amigo e parceiro, Hugo, que foi meu braço esquerdo e direito nessa jornada, agradeço por ser tão incrível e não desistir de mim durante as crises de ansiedade e depressão, por acreditar nos meus sonhos, e por ter me dado todo suporte necessário para o meu bem-estar físico e emocional durante a execução desse trabalho.

A minha orientadora e “mãe científica”, Profa. Dr.<sup>a</sup> Samara Eschrique, pela orientação, compreensão, conselhos e puxões de orelha, que contribuíram significativamente para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

A minha coorientadora, Profa. Dr.<sup>a</sup> Yllana Ferreira Marinho, por topar fazer parte dessa caminhada, por todo conhecimento compartilhado, e por toda ajuda, dedicação e empenho nesse projeto.

A Profa. Dr.<sup>a</sup> Maria Raimunda Chagas, pela confiança e grande parceria que permitiu o desenvolvimento desta pesquisa.

A Suzy, técnica de laboratório do Departamento de Oceanografia e Limnologia, que foi fundamental para o desenvolvimento deste estudo. Sou extremamente grata pelo seu apoio acadêmico, ensinamentos, conselhos, além da amizade que construímos nesses anos.

Aos coordenadores do Laboratório de Biogeoquímica dos Constituintes Químicos da Água (LABCICLOS/UFMA), Laboratório de Biotecnologia de Microalgas Nativas da Amazônia Maranhense (LABIOMA/UFMA) e ao Laboratório de Ciências do Ambiente (LACAM/CEUMA), pela concessão do espaço físico e estrutura disponibilizada para a realização deste trabalho. Agradeço também aos professores, Cícero Brito, Talita Espósito, Walter Muedas e Leonardo Lima pela disponibilização e manutenção de equipamentos que utilizei durante a realização deste trabalho.

A minha segunda família, Joelma (sogra), Raimundo Nonato (sogro) e Gustavo (brother), que são meu porto seguro em São Luís. Agradeço por todo carinho, preocupação e incentivo durante o mestrado.

Aos meus vizinhos e parceiros de natação, Darah e Átila, pela amizade e por todos os

momentos felizes que compartilhamos no condomínio 38.

A minha família de Pinheiro, em especial a Dona Eliana, seu Raimundo, Célia, Rayane, Monalisa e Sarah, por terem me acolhido durante a realização dos experimentos deste trabalho. Agradeço também por todas as risadas, conversas e momentos de descontração, que tornaram a minha estadia em Pinheiro muito mais divertida.

Aos meus amigos do LABCICLOS, em especial a Kássia, Ana Laura, Júlia, e nossa mascote Cecília, pela amizade, ajuda com as análises e risadas no laboratório, sem vocês eu não teria conseguido.

A Thalia e ao Igor do LABIOMA, pelo auxílio durante a montagem e execução dos experimentos, principalmente a Thalia, que é uma grande amiga e foi uma ótima parceira de laboratório.

Aos amigos e colegas de turma do PRODEMA, em especial a Erika e Jéssyca pela amizade, troca de experiências e conhecimentos compartilhados.

Aos professores do PRODEMA, que sempre estiveram dispostos em auxiliar os alunos no desenvolvimento de seus trabalhos, principalmente durante a pandemia, momento no qual nos encontrávamos em uma situação atípica e em que todos estávamos nos adaptando. Agradeço imensamente por terem sido tão sensíveis com os alunos.

Agradeço a todos os funcionários da UFMA (campus Pinheiro e São Luís) que me ajudaram durante este trabalho, em especial aos motoristas e aos guardas de ambos os campi, ao Seu Júnior, a Dani e as tias e tios da limpeza, que foram minha companhia durante a pandemia.

A Universidade Federal do Maranhão pela disponibilidade de espaço físico, e auxílio financeiro, que permitiram a realização dessa pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por conceder a bolsa de estudos que me permitiu desenvolver esse trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, agradeço.

## RESUMO

A frequente degradação dos cursos hídricos pelo lançamento de efluentes vem aumentando a busca por tecnologias eficientes e econômicas para o tratamento terciário dessas águas residuais. Nesse sentido, a aplicação de microalgas para o tratamento de efluentes tem se destacado, devido a capacidade desses organismos em remover nutrientes dissolvidos (N e P) e metabolizar compostos de alto valor agregado. Dessa forma, objetivo deste trabalho foi avaliar o cultivo de microalgas isoladas em efluentes domésticos, previamente tratados na Estação de Tratamento de Esgoto Jaracati (ETE-Jaracati), localizada na ilha do Maranhão, visando o tratamento terciário de efluentes e a produção de biomassa algal. O presente estudo realizou o isolamento de duas espécies de microalgas, que foram identificadas como *Asterococcus sp.* e *Tetraselmis sp.* Para cada espécie isolada do efluente, foram desenvolvidos experimentos em escala laboratorial, em batelada, através de um delineamento inteiramente casualizado, tendo seis tratamentos (TRC, T1, T2, T3, T4 e T5) e três repetições, perfazendo 18 unidades experimentais. Para a avaliação da eficiência das microalgas na remoção dos nutrientes dissolvido, amostras das culturas foram submetidas à procedimentos analíticos para a determinação da concentração de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) e N-amoniaco ( $\text{N-NH}_4^+$ ). Neste presente estudo, ambas as espécies de microalgas isoladas foram capazes de crescer no efluente da ETE-Jaracati, sendo que a espécie *Asterococcus sp.* atingiu as maiores taxas de crescimento algal, maior velocidade de crescimento e menor tempo de duplicação em relação à *Tetraselmis sp.* Para a remediação dos nutrientes, as duas espécies foram eficientes na remoção dos nutrientes analisados, sendo que a espécie *Tetraselmis sp.* obteve eficiência máxima de remediação de 75,3% ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) e 99,5% ( $\text{N-NH}_4^+$ ), enquanto *Asterococcus sp.* removeu do efluente 70,7% ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) e 99,6% ( $\text{N-NH}_4^+$ ). Esses resultados evidenciaram as duas espécies de microalgas, isoladas do efluente da ETE- Jaracati, foram eficientes no tratamento terciário para remoção de nutrientes, ao mesmo tempo em que conseguiram se adaptar e crescer nas águas residuais, apresentando potencial para produção de biomassa.

**Palavras-chaves:** águas residuais, eutrofização, bioprodutos, sustentabilidade.

## ABSTRACT

The frequent degradation of water by the release of effluents has increased the search for efficient and effective solutions for the treatment of wastewater. In this sense, the application of microalgae for the treatment of effluents has been highlighted, due to these organisms in nutrient removers and ability to metabolize compounds with high added value. Thus, the objective of this work was to evaluate the cultivation of microalgae isolated in domestic effluents, previously treated at the Jaracati Sewage Treatment Station (ETE-Jaracati), located on the island of Maranhão, aiming at the tertiary treatment of effluents and the algal biomass production. The present study carried out the isolation of two species of microalgae, which were identified as *Asterococcus sp.* and *Tetraselmis sp.* For each species isolated from the effluent, experiments were conducted on a laboratory scale, in batch, through a completely randomized design, with six treatments (CRT, T1, T2, T3, T4 and T5) and three replications, totaling 18 experimental units. To evaluate the efficiency of microalgae in removing dissolved nutrients, samples of cultures were submitted to analytical procedures to determine the concentration of phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) and N-ammoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ). In the present study, both microalgae species isolated were able to grow in the ETE-Jaracati effluent, and the species *Asterococcus sp.* reached the highest algal growth rates, highest growth velocity and lowest doubling time in relation to *Tetraselmis sp.* For the remediation of nutrients, the two species were efficient in removing the analyzed nutrients, the species *Tetraselmis sp.* obtained maximum remediation efficiency of 75.3% ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) and 99.5% ( $\text{N-NH}_4^+$ ), while *Asterococcus sp.* removed 70.7% ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) and 99.6% ( $\text{N-NH}_4^+$ ) from the effluent. These results showed that both microalgae species, isolated from the ETE-Jaracati effluent, were efficient in the tertiary treatment for nutrient removal, at the same time they were able to adapt and grow in wastewater, showing potential for biomass production.

Keyword: wastewater, eutrophication, bioproducts, sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura II.1.** Percentual dos principais tipos de tratamentos terciários empregados no Brasil. **19**
- Figura II.2.** Benefícios da associação do cultivo de microalgas com o tratamento de efluentes. **27**
- Figura II.3.** Área de estudo: Estação de Tratamento de Esgoto Jaracati (ETE - Jaracati), em São Luís - MA. **30**
- Figura III.1.** Presença de material flutuante no efluente que sai da ETE- Jaracati. **46**
- Figura III.2.** Espécies isoladas do efluente doméstico da ETE-Jaracati. **a** e **b** correspondem às células de *Tetraselmis* sp., e **c** e **d** às células de *Asterococcus* sp. As imagens foram obtidas em microscópio óptico com aumento de 100 a 400x, sendo as barras nas imagens de 10µm. **48**
- Figura III.3.** Curvas de crescimento da microalga *Asterococcus* sp. nos diferentes tratamentos, com seus respectivos coeficientes de correlação (r) e seus erros padrão (SE). As curvas foram realizadas com a média de três repetições (experimento em triplicata). **51**
- Figura III.4.** Curvas de crescimento da microalga *Tetraselmis* sp. nos diferentes tratamentos, com seus respectivos coeficientes de correlação (r) e seus erros padrão (SE). As curvas foram realizadas com a média de três repetições (experimento em triplicata). **52**
- Figura III.5.** Parâmetros físicos e químicos obtidos durante os cultivos das microalgas *Asterococcus* sp. e *Tetraselmis* sp. em efluente proveniente de Reator Anaeróbico da ETE-Jaracati. As figuras (a), (b) e (c) correspondem aos parâmetros do cultivo de *Asterococcus* sp., enquanto as figuras (d), (e) e (f) são correspondentes ao cultivo de *Tetraselmis* sp. **57**
- Figura III.6.** Concentrações iniciais e finais dos nutrientes dissolvidos nos meios empregados para o cultivo de *Asterococcus* sp., sendo: **(a)** ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrito; **(b)** ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrato; **(c)** ( $\text{N-NH}_4^+$ ), N-amoniacal; **(d)** ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), fosfato. **58**
- Figura III.7.** Concentrações iniciais e finais dos nutrientes dissolvidos nos meios empregados para o cultivo de *Tetraselmis* sp., sendo: **(a)** ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrito; **(b)** ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), fosfato; **(c)** ( $\text{N-NH}_4^+$ ), N-amoniacal; **(d)** ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrato. **58**

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela II-1.</b> Condições de Lançamento de efluentes domésticos lançados em corpos hídricos, após a passagem por tratamento.	<b>17</b>
<b>Tabela II-2.</b> Composição bioquímica dos principais gêneros de microalgas aplicados na indústria alimentícia.	<b>22</b>
<b>Tabela II-3.</b> Comparação entre microalgas e vegetais superiores como matéria-prima para produção de biodiesel.	<b>23</b>
<b>Tabela II-4.</b> Características gerais encontradas em efluentes brutos e após sua passagem pelo tratamento em Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente (RAFA).	<b>31</b>
<b>Tabela III-1</b> Especificações dos métodos analíticos utilizados nas análises de nutrientes dissolvidos.	<b>38</b>
<b>Tabela III-2..</b> Composição do Meio Provasoli utilizado para isolar e acondicionar as microalgas isoladas do efluente.	<b>40</b>
<b>Tabela III-3.</b> Descrição da composição de cada tratamento.	<b>41</b>
<b>Tabela III-4.</b> Parâmetros físicos e químicos do efluente tratado na ETE-Jaracati.	<b>44</b>
<b>Tabela III-5.</b> Parâmetros de crescimento das microalgas cultivadas em efluentes domésticos previamente tratados em reator anaeróbico de fluxo ascendente (RAFA) da ETE-Jaracati. Os valores correspondem a média de três repetições $\pm$ Desvio Padrão. Os sobrescritos diferentes em uma mesma coluna representam diferenças significativas encontradas entre os grupos após a aplicação da ANOVA e teste de Tukey.	<b>53</b>
<b>Tabela III-6.</b> Eficiência da microalga <i>Asterococcus</i> sp. na remoção de Fosfato e N-amoniaco do efluente da ETE-Jaracati.	<b>58</b>
<b>Tabela III-7.</b> Eficiência da microalga <i>Tetraselmis</i> sp. na remoção de Fosfato e N-amoniaco do efluente da ETE-Jaracati.	<b>58</b>

## SUMÁRIO

<b>I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....</b>	<b>13</b>
<b>II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. O SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL E A EUTROFIZAÇÃO DE ZONAS URBANAS COSTEIRAS .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1. Métodos convencionais para a remoção de nutrientes (N e P).....</b>	<b>17</b>
<b>2.2. MICROALGAS E SUAS APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1. Produção de microalgas .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3. CULTIVO DE MICROALGAS EM EFLUENTES E TRATAMENTO TERCIÁRIO DE ÁGUAS RESIDUAIS. ....</b>	<b>26</b>
<b>2.4. ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.1 Estação de tratamento Jaracati (ETE- Jaracati) .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.2. Corpos hídricos receptores dos efluentes da ETE-Jaracati .....</b>	<b>31</b>
<b>III. CAPÍTULO 1.....</b>	<b>33</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
<b>2.1. COLETA E PRÉ-TRATAMENTO DAS AMOSTRAS DO EFLUENTE.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO EFLUENTE.....</b>	<b>37</b>
<b>2.3. ENRIQUECIMENTO DAS AMOSTRAS, IDENTIFICAÇÃO, ISOLAMENTO E PURIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES DE MICROALGAS.....</b>	<b>39</b>
<b>2.4. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>40</b>
<b>2.5. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO MICROALGAL.....</b>	<b>41</b>
<b>2.6. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS MICROALGAS NO TRATAMENTO TERCIÁRIO DOS EFLUENTES.....</b>	<b>42</b>
<b>2.7. ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>43</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE TRATADO POR REATOR RAFA DA ETE-JARACATI.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2. IDENTIFICAÇÃO E ISOLAMENTO DAS MICROALGAS.....</b>	<b>47</b>

<b>3.3. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS MICROALGAS NO EFLUENTE DA ETE – JARACATI.....</b>	<b>49</b>
<b>3.4. EFICIÊNCIA DAS MICROALGAS NA REMEDIAÇÃO DO EFLUENTE.....</b>	<b>58</b>
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>60</b>
<b>IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>61</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>71</b>