



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
TECNOLÓGICA
INSTITUTO DE FORMAÇÃO INTERDISCIPLINAR E INTERCULTURAL - IFII
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOCIEDADE, AMBIENTE E
QUALIDADE DE VIDA**

NATANA COSTA FARIAS

**TRATAMENTO DE MANIPUEIRA VISANDO A MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS
NO AMBIENTE CONCOMITANTE AO CULTIVO DE MICROALGAS PARA
OBTENÇÃO DE BIOENERGIA**

SANTARÉM - PARÁ

2024

NATANA COSTA FARIAS

**TRATAMENTO DE MANIPUEIRA VISANDO A MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS
NO AMBIENTE CONCOMITANTE AO CULTIVO DE MICROALGAS PARA
OBTENÇÃO DE BIOENERGIA**

Dissertação defendida ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida da Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus de Santarém, para a obtenção do título de mestre.

Orientador: Professor Dr. Israel Nunes Henrique.

SANTARÉM – PARÁ

2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

F224 Farias, Natana Costa
Tratamento de manípueira visando a minimização de impactos no ambiente concomitante ao cultivo de microalgas para obtenção de bioenergia./ Natana Costa Farias. – Santarém, 2024.
48 p. : il.
Inclui bibliografias.

Orientador: Israel Nunes Henrique.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, Instituto de Formação Interdisciplinar e Intercultural, Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida.

1. Tratamento Biológico. 2. Sustentabilidade. 3. Pós-tratamento de efluentes. 4. Agro-indústria. 5. Biomassa. I. Henrique, Israel Nunes, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 628.168

Bibliotecária - Documentalista: Cátia Alvarez – CRB/2 843

NATANA COSTA FARIAS


**TRATAMENTO DE MANIPUEIRA VISANDO A MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS
NO AMBIENTE CONCOMITANTE AO CULTIVO DE MICROALGAS PARA
OBTENÇÃO DE BIOENERGIA**

Dissertação defendida ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida da Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus de Santarém, para a obtenção do título de mestre.


Orientador: Professor Dr. Israel Nunes Henrique.

Conceito: APROVADA


Data: 13/05/2024

Documento assinado digitalmente
 **ISRAEL NUNES HENRIQUE**
Data: 13/05/2024 16:08:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Israel Nunes Henrique - Orientador
Universidade Federal de Campina Grande

Documento assinado digitalmente
 **MAXWELL BARBOSA DE SANTANA**
Data: 16/05/2024 16:05:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Maxwell Barbosa de Santana
Universidade Federal do Oeste do Pará

Documento assinado digitalmente
 **DAYANE DE ANDRADE LIMA**
Data: 14/05/2024 11:19:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr^a. Dayane de Andrade Lima
IFCE – Instituto Federal do Ceará

Documento assinado digitalmente
 **MICHELE LAURENTINO DE OLIVEIRA**
Data: 14/05/2024 11:47:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Michele Laurentino de Oliveira
Universidade Federal do Oeste do Pará

À Natana do futuro, que não esqueça do esforço pessoal e profissional aqui dedicados...

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela alegria nos céus ao deixar 99 ovelhas para encontrar e guiar novamente 1.

Ao meu orientador Prof. Dr. Israel Nunes Henrique que sempre fez o melhor diante dessa pesquisa, pela confiança e orientação.

Aos meus pais, Cleonis e Roseana, que me incentivam a buscar o que me faz feliz.

Aos demais familiares e amigos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho, especialmente, minha amiga Beatriz Guimarães que mesmo diante das dificuldades sempre me deu palavras de força e apoio.

A Universidade Federal do Oeste do Pará (Ufopa) e ao Programa de Pós-graduação em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida pela oportunidade de desenvolver essa pesquisa de formação Interdisciplinar.

À toda equipe no LabTAR pelo apoio nas análises e experimentos.

A diretora do CORI (Campi da Ufopa em Oriximiná) professora Dra. Davia Talgatti junto à sua orientanda e hoje mestra Janaína Tavares por me receberem tão bem para as análises de identificação das microalgas.

À professora Dayane de Andrade por seu incentivo e luz desde a graduação.

Nessa reta final, à minha grande/pequena família, onde meu primeiro filho virá ao mundo.

*“Não permita que o seu temperamento
oriente seu julgamento.”*

_V. Targaryen

RESUMO

Nas últimas décadas diversos estudos científicos se voltaram para a produção de microalgas e seu potencial, tanto de tratamento de efluentes como produção de energia. O interesse no cultivo massivo de microalgas influenciou diretamente na otimização de fotobiorreatores tratando águas residuárias ricas em nutrientes, além de geração de subprodutos. Os efluentes industriais advêm do intenso uso de água nas indústrias, dentre os setores que mais produzem águas residuárias está o setor agroindustrial de amido. No Pará destaca-se as casas de farinha onde os derivados da mandioca gerados são para abastecer os setores industriais de: alimentos, remédios, mineração, cosméticos, bebidas alcoólicas, e outros. O efluente que advém desse setor chama-se manipueira. Com intuito de reduzir os impactos ambientais causados pelo efluente industrial de casas de farinhas (manipueira) e analisar a viabilidade de gerar subprodutos da biomassa microalgal, o objetivo do presente estudo visou promover a biorremediação dessas águas residuárias industriais otimizando o fotobiorreator chamado Reator de Microalgas Imobilizadas (RMI) para obter melhor produtividade na formação de biomassa algal e efluentes tratados. O RMI operou em escala laboratorial com tempo de detenção hidráulica otimizado, analisando seu desempenho quanto aos parâmetros físico-químicos de entrada e saída do sistema concomitante ao cultivo de microalgas para verificar seu potencial na produção de biomassa. O RMI operou com volume útil de 1200mL e como de energia para a atividade fotossintética foram utilizadas duas lâmpadas de LEDs por período de 24h para manter o processo fotossintético do reator ativo, e, foram utilizadas duas bombas dosadoras para controle de vazão e recirculação do sistema, respectivamente. Quanto aos resultados físico-químicos no efluente final, estes alcançaram mais de 90% de nitrogênio (NH_4^+) e fósforo (PO_4^{3-}) e Material orgânico (na forma de DQO). Neste sentido, também foi possível obter gradativa quantidade de biomassa algal e identificar os gêneros das microalgas através de microscopia óptica e uso de chaves taxonômicas, um dado muito relevante para qualidade e produção de bioenergia.

Palavras-chave: Tratamento Biológico. Sustentabilidade. Pós-tratamento de efluentes. Agroindústria. Biomassa.

ABSTRACT

In recent decades, several scientific studies have focused on the production of microalgae and their potential, both for effluent treatment and energy production. The interest in the massive cultivation of microalgae directly influenced the optimization of photobioreactors treating wastewater rich in nutrients, in addition to the generation of byproducts. Industrial effluents come from the intense use of water in industries, among the sectors that produce the most wastewater is the agro-industrial starch sector. In Pará, the flour mills stand out where the cassava derivatives generated are to supply the industrial sectors of: food, medicine, mining, cosmetics, alcoholic beverages, and others. The effluent that comes from this sector is called manipueira. In order to reduce the environmental impacts caused by industrial effluent from flour mills (cassava) and analyze the feasibility of generating byproducts from microalgal biomass, the objective of this study aimed to promote the bioremediation of these industrial wastewaters by optimizing the photobioreactor called Immobilized Microalgae Reactor (RMI) to obtain better productivity in the formation of algal biomass and treated effluents. The RMI operated on a laboratory scale with optimized hydraulic detention time, analyzing its performance regarding the physical-chemical parameters of the system's input and output concomitant with the cultivation of microalgae to verify its potential in biomass production. The RMI operated with a useful volume of 1200mL and as energy for photosynthetic activity, two LED lamps were used for a period of 24 hours to keep the reactor's photosynthetic process active, and two dosing pumps were used to control the flow and recirculation of the system, respectively. As for the physical-chemical results in the final effluent, they reached more than 90% of nitrogen (NH_4^+) and phosphorus (PO_4^{3-}) and organic material (in the form of COD). In this sense, it was also possible to obtain a gradual quantity of algal biomass and identify the genera of microalgae through optical microscopy and the use of taxonomic keys, a very relevant data for the quality and production of bioenergy.

Keywords: Biological Treatment. Sustainability. Effluent post-treatment. Agroindustry. Biomass.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma de processamento do tucupi e da fécula a 45% de umidade, no município de Santa Izabel do Pará.....	17
Figura 2 – Cadeia agroindustrial da mandioca	18
Quadro 1 - Impactos gerados pela manipueira no ambiente.....	19
Figura 3 – Morfologia de <i>Scenedesmus</i> sp. em microscópio a 20 μ m.....	22
Figura 4 – Processo de biorrefinaria de microalgas.....	23
Figura 5 – Rota do sistema geral.....	25
Figura 6 – Esquema do sistema.....	26
Quadro 2 - Dimensões e operações do RAI.....	26
Figura 7 - (A) Meio suporte de poliuretano cortado nas medidas; (B) Meio suporte inserido dentro do vidro do RAI.....	27
Quadro 3 - Resultados da Clorofila a do RMI.....	32
Figura 8 – Imagens de microscópio Axio A1 Zeiss de microalgas identificadas como membros de <i>Clorella</i> . As cepas foram coletadas de reator de tratamento localizado no Laboratório de Tratamento Águas Residuárias em Santarém – PA.....	32
Gráfico 1 – Eficiência de remoção de Fósforo Total no RMI.....	33
Gráfico 2 – Eficiência de remoção de Nitrogênio amoniacal.....	34
Gráfico 3 – Remoção de DQO.....	35
Figura 9 - Variação de pH no reator UASB e no RMI.....	36
Figura 10 - Eficiência de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio.....	37
Figura 11 – (A) Microalgas secas; (B) Raspagem da massa seca.....	38
Figura 12 – Amostras de microalgas pesadas em triplicada.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Métodos e parâmetros realizados.....	28
Tabela 2 - Dados de caracterização do efluente do UASB	30
Tabela 3 - Eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO
AGV	ÁCIDOS GRAXOS VOLÁTEIS
AT	ALCALINIDADE TOTAL
DBO	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO
DQO	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO
ETE	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO
LabTAR	LABORATÓRIO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS
LED	DIODO DE EMISSÃO DE LUZ
NH ₄ ⁺	ÍON DE AMÔNIO (NITROGÊNIO AMONÍACAL)
NT	NITROGÊNIO TOTAL
O ₂	MOLÉCULA DE OXIGÊNIO
pH	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO
PO ₄ ³⁻	ÍON DE FOSFATO (ORTOFOSFATO)
P _{org}	FÓSFORO ORGÂNICO
P _{inorg}	FÓSFORO INORGÂNICO
PT	FÓSFORO TOTAL
RMI	REATOR DE MICROALGAS IMOBILIZADAS
SF	SÓLIDOS FIXOS
ST	SÓLIDOS TOTAIS
SV	SÓLIDOS VÓLATEIS
SSF	SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS
SST	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS
SSV	SÓLIDOS SUSPENSOS VÓLATEIS
TDH	TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA
UASB	REATOR DE FLUXO ASCENDENTE E MANTA DE LODO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Geral.....	14
1.1.2	Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Contaminação de ecossistemas por águas residuárias	15
2.2	A agroindústria da mandioca	16
2.3	Manipueira - efluente	18
2.4	O Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo	20
2.5	Uso de microalgas no tratamento da manipueira	22
2.5.1	Os gêneros <i>clorella</i> sp. e <i>scenedesmus</i> sp.	22
2.6	Sustentabilidade no processo de biorrefinaria das microalgas	23
2.7	Parâmetros de controle de qualidade das águas	24
3	METODOLOGIA	25
3.1	Lócus experimental	25
3.2	Condução experimental	25
3.3	Sistema experimental e suas unidades	26
3.4	Imobilização das microalgas	28
3.5	Parâmetros avaliados	29
3.6	Identificação das microalgas	30
3.7	Biomassa Algal	30
3.8	Análises estatísticas	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1	Desempenho do sistema	31
4.2	Quantificação de biomassa microalgal do RMI	32
4.2.1	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	33
4.2.2	Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	34
4.2.3	A remoção de ortofosfato e nitrogênio amoniacal.....	36
4.3	Identificação das microalgas Imobilizadas	37
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de idealização de tecnologias ambientais que reduzam impactos é cada vez mais crescente. Existem sistemas de tratamento de águas residuárias que estão consolidadas, contando com adaptações ao longo dos anos, como é o caso dos sistemas de tratamento anaeróbios, no Brasil se destaca o uso dos Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB), onde se aplica após ele um tratamento mais refinado afim de remover substancias residuais advindas do efluente anaeróbio. Aliada à necessidade de aproveitar recursos, outras tecnologias estão sendo aprimoradas concomitante ao tratamento de águas.

Atualmente as microalgas se tornaram um recurso para diferentes indústrias, como a farmacêutica, em energias renováveis (biocombustíveis), cosméticos, produtos alimentícios e pós-tratamento de águas residuárias (ALCANTARA *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2019; GAO *et al.*, 2021; HUO *et al.*, 2020; KUMAR *et al.*, 2020; SOLMAZ *et al.*, 2020; SWARNA & PATIL, 2019).

Ao aprimorar os sistemas de cultivo de microalgas afim de obter quantitativo maior estão sendo otimizados sistemas de pós-tratamento de águas, como os fotobiorreatores de controle fechado, com a implantação vertical dos biorreatores ocorre a redução do espaço ocupado, conseqüentemente, diminui a competição com áreas plantáveis, também proporcionam a biofixação de CO₂, Jesus *et al.* (2021) afirma “o biossequestro de carbono ganhou espaço, seu objetivo é utilizar organismos vivos para aprisionar o carbono atmosférico” mitigando os impactos do aumento da temperatura do planeta, conforme as metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

Nota-se, o crescente desequilíbrio atmosférico devido aumento das emissões de gases do efeito estufa, conjuntamente, a alteração da qualidade de ecossistemas aquáticos pela produção de águas residuárias domésticas e industriais lançadas em corpos hídricos, essas problemáticas são exponenciais conforme o crescimento populacional sob o planeta (NICOLAU *et al.* 2020).

Num contexto sustentável, elaborar tecnologias que reduzam esses desequilíbrios ambientais proporciona desenvolvimento, e é possível atender as demandas econômicas e sociais ao propiciar a geração de subprodutos rentáveis. O uso de águas residuárias e efluentes industriais nesses processos são atrativos por conta da alta produção desse tipo de resíduo líquido, e por serem enriquecidos de nutrientes (necessários para o cultivo das microalgas).

Os efluentes industriais advêm do intenso uso de água potável nas indústrias, dentre os setores que mais produzem está o setor de amido na agroindústria, no Pará destaca-se as casas de farinha onde os derivados da mandioca gerados são para abastecer os setores industriais de: alimentos, remédios, mineração, cosméticos, bebidas alcoólicas, e outros (LIMA *et al.* 2022).

Nessas casas de farinhas se produz o efluente característico chamado de manipueira, que majoritariamente é despejado no ambiente sem qualquer tratamento, apenas uma pequena parte é fervida e mercantilizada como Tucupi que é usual nas comidas típicas paraenses. A manipueira contém alta carga orgânica, além da presença do cianeto, sendo um efluente tóxico para o ecossistema do solo e das águas.

A agricultura amazônica se estabelece para manter segurança alimentar, para implementar novas cadeias de valores é importante desenvolver o sistema econômico através da implementação da sustentabilidade local, Lima *et al.* (2022) mostra que a implementação de tecnologias nesse setor agroindustrial ainda rústico é necessária vívida interação entre os elementos das camadas sociais, que são: governo, instituições privadas e universidades.

Afim de reduzir os impactos ambientais causados pelo efluente industrial de casas de farinhas (a manipueira), o objetivo do presente trabalho é promover o tratamento da manipueira otimizando um sistema conjunto de um UASB e um tipo de fotobiorreator chamado Reator de Microalgas Imobilizadas (RMI), desenvolvendo tecnologia ambiental com recuperação de recursos e mitigação de impactos ambientais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

- ◆ Realizar o tratamento de manipueira, desenvolvendo tecnologia ambiental visando a recuperação de recursos energéticos e produção de efluentes que minimizem a carga poluidora ambiental.

1.1.2 Específicos

- ◆ Desenvolver e operar um Reator UASB e um Reator de Microalgas Imobilizadas (RMI), avaliando seu desempenho quanto a produção de microalgas e efluente tratado;

- ◆ Quantificar a produção e identificação das principais microalgas obtidas com a tecnologia de RMI;
- ◆ Analisar a qualidade do efluente final produzido e relacionar com a minimização dos impactos poluidores ambientais;
- ◆ Verificar a viabilidade da biomassa de microalgas geradas como bioenergia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contaminação de ecossistemas por águas residuárias

As águas residuárias são geradas pela crescente demanda por água, são caracterizadas por conter restos da composição daquilo onde ela foi usada, para a Cetesb (2023) as águas residuárias são responsáveis por transportar uma quantidade vultosa de compostos poluentes que podem causar sérios danos aos ecossistemas, comprometendo também, todas as utilizações humanas que são dadas às águas, como a balneabilidade, a navegação, a pesca e a geração de energias.

Os ecossistemas são afetados direta e indiretamente pelo despejo de águas residuárias sem tratamento ao ambiente, destaca-se os ecossistemas aquáticos como os principais afetados, visto sua complexidade. A carência de esgotamento sanitário em considerável parte do território brasileiro destaca-se como fonte poluidora de corpos hídricos (TAVARES *et al.*, 2019; MESQUITA *et al.*, 2021)

As águas residuárias são ricas em nutrientes como nitrogênio e fósforo, além de cargas orgânicas que quando lançadas em sistemas aquáticos necessitam de uma demanda bioquímica de oxigênio, ocorrendo o desenvolvimento excessivo de alguns microrganismos, provocando desequilíbrio do ecossistema aquático. Anjinho *et al.* (2020) em estudo do índice de estado trófico de cursos d'água relata baixas concentrações de oxigênio na presença elevada de fósforo total, assim como em trechos com maiores níveis de nitrogênio total, acarretado pelo lançamento de efluentes de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) nas proximidades.

No Pará, Andrade *et al.* (2022) retratam diversos impactos ambientais e à saúde causados por águas residuárias em ruas, quintais e na zona urbana de Santarém (PA) devido reduzido acesso ao saneamento básico, ressalta-se que a maioria dos municípios brasileiros não possuem Estações de Tratamento de Esgoto e nem a separação unitária desses efluentes, ou seja, as vias possuem um único caminho para as águas de chuvas e de esgoto percorrerem até

os mananciais, e quantidade considerável da população ainda usa da água como um recurso inesgotável.

Dentre os processos que ocasionam a depleção de oxigênio dissolvido na água, enfatiza-se a transformação de poluentes orgânicos a compostos mais simples. A oxidação do amônio a nitrito e nitrato ocorre, potencialmente, com o despejo excessivo de nitrogênio amoniacal em corpos receptores, com a diminuição do oxigênio dissolvido necessário para manutenção do ecossistema aquático a diversidade de vidas neles decaem excessivamente, sendo um impacto ambiental negativo, e a amônia possui alta toxicidade para consumo humano (WIEGAND *et al.*, 2020).

2.2 A agroindústria da mandioca

A produção de farinha no Pará possui destaque na área agroindustrial, pois caracteriza-se por garantir a segurança alimentar de muitas famílias, segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) mais 700 milhões de pessoas no mundo têm a mandioca (*manihot esculenta*) como principal fonte de alimento, e no beneficiamento dela para produção se gera para cada quilograma da raiz em torno de 6-7L de água residuária (EMBRAPA 2018).

Com intuito de agregar valor à manipueira (água residuária desse setor), ela pode passar por processos para transformação em Tucupi e fécula, reduzindo a quantidade de manipueira crua descartada no ambiente a tornando rentável aos produtores, esse processo é comumente realizado no estado do Pará por conta da cultura de consumir esses produtos na alimentação, como “o tacacá, o pato no tucupi e outros pratos ao molho do tucupi, com destaque para peru, frango, suíno, peixes, camarão, caranguejo, arroz paraense e molho de pimenta-de-cheiro” (EMBRAPA, 2019).

Como demonstra a figura 1, após a decantação que é um processo de tratamento físico primário, a manipueira pode ser transformada em Tucupi ou fécula, no processo do Tucupi ocorre a fermentação (12h) e o cozimento da manipueira por 40min, assim os compostos cianogênicos são volatilizados, para que o produto final seja engarrafado e vendido. Esse processo quantifica que, para cada 100Kg de raiz de mandioca processada é possível gerar 70L de Tucupi e 25Kg de fécula úmida.

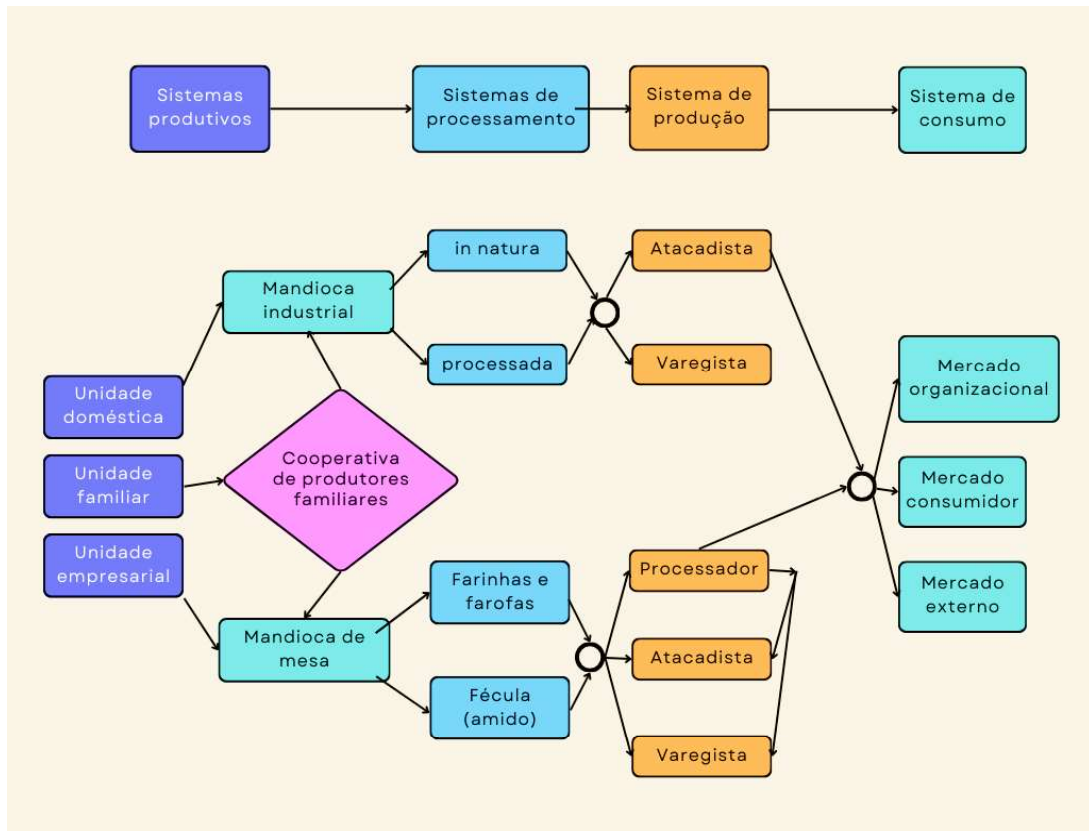
Figura 1: Fluxograma de processamento do tucupi e da fécula a 45% de umidade no Pará.



Fonte: Mandioca: agregação de valor e rentabilidade (EMBRAPA, 2019).

A cadeia produtiva da mandioca possui valor econômico e cultural, com projeção em cenário mundial, onde o Brasil ocupa o 4º lugar em produtividade e a região Norte se destaca em primeiro no país. No entanto, ainda é um setor de produção familiar, atuando com uma estrutura pouco fortalecida, ao tratar o desenvolvimento sustentável como prioridade Melo *et al.* (2022) elaboraram a proposição de estratégias para esse setor conforme figura 2, após análise documental em matriz SWOT, sugeriu-se esse fomento a agricultura familiar por meio do cooperativismo, reduzindo as vulnerabilidades existentes nessa agroindústria.

Figura 2 – Cadeia agroindustrial da mandioca.



Fonte: A cadeia produtiva familiar da mandioca em Rondônia: contextualização, desafios e perspectivas com a adoção do cooperativismo (Adaptado de melo *et al.* 2022).

Ao estabelecer fortalecimento do setor, a estrutura organizacional incentiva a instituição de cooperativas, pois proporcionam a ampliação do espaço produtivo, barganha em preços melhores dos produtos, substitui o individualismo por uma produção participativa, além do fortalecimento em novos mercados (DE MELO *et al.* 2022). Nota-se também a importância em investir em inovação e infraestruturas no processamento dos produtos, aumentando a produção, a qualidade, e a renda familiar (EMBRAPA, 2019).

Nesse setor são gerados efluentes industriais, que devido a desvalorização dessa agroindústria ainda são despejados sem nenhum tratamento ao meio ambiente, também a produção de fécula e tucupi são reduzidas, pois muitas vezes são comercializados sem rotulagem ou embalagem adequada para produtos alimentícios.

2.3 Manipueira - efluente

A depender do processo de produção a manipueira apresenta diferentes concentrações de carga orgânica, Neves (2019) caracteriza a manipueira com pH entre 3,63 e 4,08 um teor ácido encontrado na maioria das produções.

Diversos parâmetros a colocam no *roll* de efluente industrial, sendo potencialmente causadora de impactos no solo, ar e águas. O quadro 1 apresenta alguns dos impactos mais recorrentes que advém da manipueira.

Quadro 1: Impactos gerados pela manipueira no ambiente.

Artigo	Autor	Dano identificado
Efeito do extrato aquoso da manipueira na cultura de milho (<i>Zea mays</i>).	CORRÊA <i>et al.</i> (2022)	<i>in natura</i> provoca desequilíbrio dos nutrientes do solo, elevação da salinidade e redução do pH do solo.
Caracterização e potencial de degradabilidade natural da manipueira	AMORIM <i>et al.</i> (2021)	Contaminação de recursos hídricos com excesso de micronutrientes.
Uso da manipueira na produção sustentável de tomateiros	ELIAS <i>et al.</i> (2021)	Redução da Capacidade de troca catiônica (CTC), diminuição dos teores de Cálcio no solo, aumento de teores de alumínio e pH reduzido em solos fertirrigados com manipueira.
Fungos de solo impactado por resíduo de mandioca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) em Santarém, Pará, Brasil	MORAIS <i>et al.</i> (2022)	Maior diversidade fúngica foi encontrada no solo com manipueira, demonstrando desequilíbrio microbiológico do solo.
Análise da Composição Química e Metodologia de Obtenção do Melaço da Manipueira	CAVALCANTI <i>et al.</i> (2020)	Altas concentrações de enxofre no melaço obtido de manipueira, conferem toxicidade ao meio, sendo 10 vezes mais tóxicas que o CN ⁻

Para efeito comparativo, Corrêa *et al.* (2022) analisaram a manipueira diluída e bruta (*in natura*) no solo, afim de usá-la na cultura de milho, e encontrou efeitos nocivos aos nutrientes do solo, especialmente a salinização e acidez desse. Também, Elias *et al.* (2021) ao utilizar a manipueira em fertirrigações apresentou a redução da CTC do solo, além de diminuição de Cálcio e pH, e aumento de alumínio. Amorim *et al.* (2021) demonstraram como a manipueira pode contaminar os recursos hídricos devido sua característica agroindustrial.

A maior diversidade fúngica foi encontrada no solo com manipueira *in natura*, esse resíduo mostrou-se como um possível substrato para determinados fungos que conseguem continuar a viver apesar da alta carga de matéria orgânica e carbonácea no meio (Morais *et al.*, 2022), no entanto, esse excesso de espécies saprófagas no solo provoca desequilíbrio ecológico, onde a alteração ocorre microbiologicamente.

No processamento da manipueira ela perde os cianetos livres, ademais, Cavalcanti *et al.* (2020) obteve resultados altos de enxofre na produção de melaço de manipueira, o que lhe confere um grau de toxicidade considerável para uso em qualquer meio, inclusive alimentação animal, pois na forma de Sulfeto de Hidrogênio (H_2S), tal substância pode ser até 10 vezes mais tóxica que os íons CN^- .

2.4 O Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo

As tecnologias de digestão anaeróbias possuem consolidação, pois em países de clima tropical e subtropical representam uma solução confiável e econômica para o tratamento de águas residuárias domésticas e sanitárias. A tecnologia UASB (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo) possui aplicação no Brasil desde 1980, e hoje possui o maior parque de reatores UASB do mundo, após 40 anos de uso ele sofreu diversas adaptações tecnológicas (RIETOW *et al.* 2023).

O Reator UASB teve origem na Holanda em pesquisa de 1969 dos cientistas Young e McCarty, onde eles substituíram o meio suporte por um separador de fases (gasosa, líquida e sólida) na parte superior do reator, no decorrer de testes pilotos houve problemas associados a necessidade aquecimento do esgoto, e para o desenvolvimento de escalas reais buscou-se parcerias com países de clima tropical para implantação dos reatores, por isso sua consolidação em países com esse clima. No Brasil o uso de UASB deu-se na década de 1980 com o professor Gatzke Lettinga e a Sanepar (Companhia de Saneamento no Paraná), com factível uso de UASB

em Estações de tratamento de Esgoto reduz-se os custos de 20 a 50% na operação (CHERNICHARO *et al.*, 2018a).

Apesar das vantagens dos reatores UASB Sousa, Van Haandel & Constantino (2000) afirmam que:

“...o processo anaeróbio fornece efluente com constituintes residuais, como gases dissolvidos, matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes (fósforo e nitrogênio) e organismos patogênicos. Desta forma, efluentes advindos de reator anaeróbio de manta de lodo (reator UASB) necessitam de um pós-tratamento.”

Assim faz-se necessário um pós-tratamento para obter um tratado com menor carga poluidora. Chernicharo *et al.* (2018) retratam que a tecnologia tipo UASB são escolhidas em 40% das ETEs (Estações de Tratamento de Esgotos) nos municípios com mais de 100.000 habitantes no Brasil, e para manter sua operacionalização conforme a legislação vigente essas ETEs possuem um pós-tratamento. Chernicharo *et al.* (2018b) retratam que para manter a simplicidade operacional os entes federativos brasileiros que utilizam de reatores tipo UASB comumente possuem um pós-tratamento que mantenha essas características de manutenção e atenda as normas de lançamento vigentes. Portanto, 64% das ETEs estudadas por Chernicharo *et al.* (2018b) optam por pós-tratamento de Filtro biológico percolador (FBP), Filtros anaeróbios (FA) ou Lagoas de polimento.

Há disseminação do uso da tecnologia de UASB no Brasil, Borges e Santos (2017) retratam o destaque da PROSAB (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico) no incentivo a projetos de desenvolvimento tecnológico dos reatores UASB para tratamento de esgoto sanitário no país, a evolução e aceitação dessa tecnologia é significativa a partir de então, sendo fundamentais até para atualização da NBR 12.209 em 2011. Ressalta-se as diversas companhias de saneamento que aplicam os reatores UASB no Brasil: COPASA (Minas Gerais); SANEPAR (PR); SANESUL (Mato Grosso do Sul); SANASA (Campina-SP); EMBASA (Bahia); CAESB (DF); CESAN (ES). (BORGES & SANTOS, 2017).

O processo de partida de um sistema UASB é a parte mais dificultosa, Moreira *et al.* (2020) relatam que a inoculação de biomassa não adaptada com o reator vazio é mais eficiente para evitar perdas. A eficiência ainda é limitada, indica-se que a remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) seja na faixa de 40 a 75%, e de DBO entre 45% e 85%, e essa variação se deve principalmente pela variação do tempo de detenção hidráulica.

2.5 Uso de microalgas no tratamento da manipueira

O uso de microalgas no tratamento de águas residuárias domésticas e industriais vem sendo aprimorado. Essa abordagem iniciou devido a abordagem de aplicação de pós-tratamento aos efluentes em tratamento, pois é necessária redução de cor e turbidez dos efluentes para que a luz atravesse o líquido e proporcione a fotossíntese realizada pelas microalgas. Desse modo, os fotobiorreatores de controle fechado são os mais usuais, para que se tenha controle total.

Portanto, ao aplicar o uso das microalgas no tratamento de manipueira há adaptações, é necessário pré-tratamento dessa água residuária, Kummer *et al.* (2011) fizeram uso da manipueira como forma de adicionar carbono ao tratamento de efluente industrial, otimizando reator. O gênero de microalgas que é encontrado com prevalência dos sistemas de tratamento é *clorella* sp. A depender das condições de cultura podem surgir outros gêneros, em comparativo têm-se *scenedesmus* sp.

2.5.1 Os gêneros *clorella* sp. e *scenedesmus* sp.

São os gêneros mais usuais no tratamento de águas residuárias, ambos gêneros são algas verdes, comumente são isoladas e cultivadas individualmente, também o cultivo pode ser diverso quando há presença de diferentes espécies algais. Dentre as espécies mais representativas destaca-se a *Clorella Vulgaris*, presente em diferentes tipos de reatores inclusive em fotobiorreator de membrana microalgal-bacteriana (ZHANG *et al.* 2021), visto que essa associa-se facilmente a bactérias e cianobactérias.

As microalgas do gênero *Scenedesmus* são clorofiladas e se agrupam em colônias de propagação, essas colônias costumam conter 2,4,8 ou até 16 células, como mostra a figura 3 abaixo:

Figura 3 – Morfologia de *Scenedesmus* sp. em microscópio a 20 μ m.



Fonte – PHAM & BUI (2020).

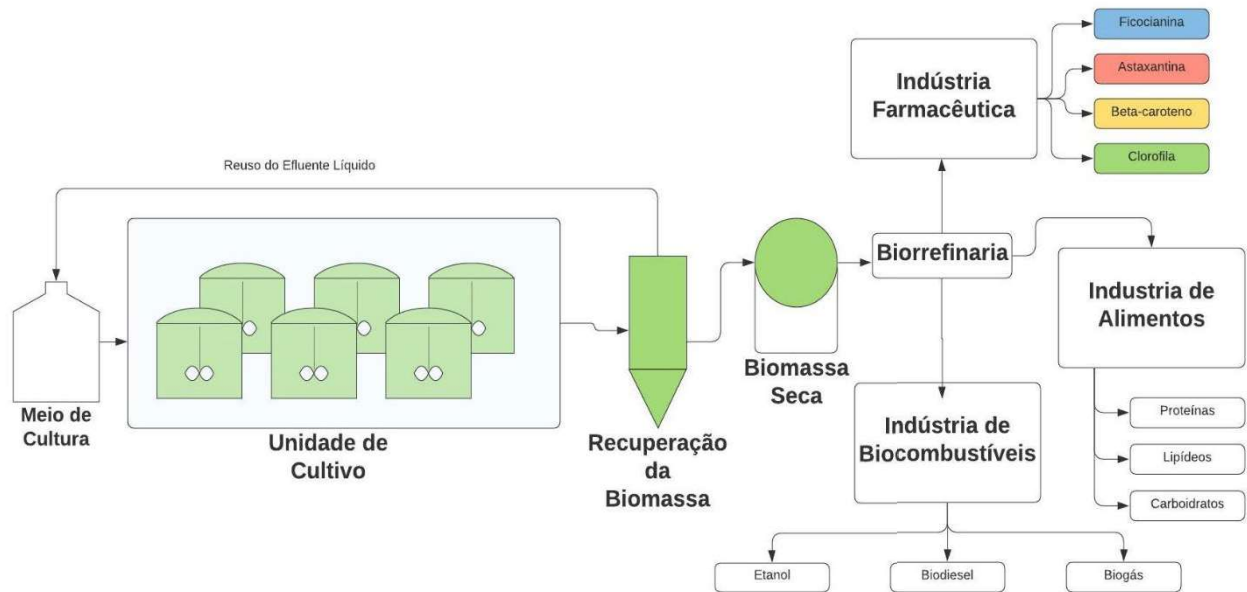
Esses gêneros são cultivados em tratamento de águas residuárias por sua grande capacidade de remoção de nutrientes como Carbono, Nitrogênio e Fósforo podendo alcançar índices de remoção de até 100% (ANSARI *et al.*, 2019). Esses organismos realizam tanto o metabolismo heterotrófico como autotrófico, e mixotrófico ao realizar ambos graças ao processo fotossintético.

2.6 Sustentabilidade no processo de biorrefinaria das microalgas

O uso de microalgas no tratamento de águas residuárias envolve a biorremediação dessas, pois reduz compostos que seriam impactantes ao ambiente natural, e proporciona uso sustentável de áreas para sua implantação quando são cultivadas verticalmente, proporcionando menor uso de áreas que seriam agricultáveis (EMBRAPA, 2019).

No entanto, a depender do efluente a ser tratado e se sua composição tiver alguns patógenos, esses podem ficar presentes na estrutura celular das microalgas. Há muitas microalgas promissoras que são produzidas em biorreatores, onde elas promovem o tratamento de águas residuárias (que contém nutrientes) e posteriormente, podem ser submetidas a processos de transformação, aproveitando a composição da biomassa microalgal (ANSIGALO, 2021). Abaixo, na figura 4, mostra-se o processo de biorrefinaria aplicado às microalgas, pois elas possuem potencial para transformação em biocombustível como o biodiesel, etanol e biogás, é necessário apenas que essas microalgas sejam ricas em lipídios (YE *et al.* 2020).

Figura 4 – Processo de biorrefinaria de microalgas.



Fonte – Guimarães (2020)

Para obtenção das microalgas é necessário um meio de cultura similar ao meio onde elas habitam, mantendo constante as condições ideais de crescimento, a colheita é viável após 7-15 dias. Então é preciso filtrar as microalgas do meio de cultura, separando-as do líquido, esse material é chamado de biomassa, essa biomassa é rica em lipídeos, antioxidantes e carboidratos, que no processo de biorrefinaria são aplicadas formas de extração sequencial afim de aproveitar todo o potencial da biomassa adquirida, sendo possível obter compostos para a indústria farmacêutica, indústria de alimentos e para a indústria de biocombustíveis (GUIMARÃES, 2020).

2.7 Parâmetros de controle de qualidade das águas

Para monitorar a qualidade de remediação das águas residuárias existem parâmetros essenciais, como Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Suspensos Totais (SST), Nitrogênio Total (N) e Amoniacal (NH₃), Fósforo Total (P) e ortofosfato.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) por meio das Resoluções 357/2005 e 430/2011 estabelece os padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores, onde estabelece os valores das concentrações de parâmetros orgânicos e inorgânicos, Moraes e Santos (2019) enfatizam que os padrões de lançamento são ferramentas que resguardam a qualidade dos mananciais brasileiros, sendo instrumento de fiscalização das fontes poluidoras.

Devido a necessidade de monitorar e controlar a qualidade dos corpos hídricos no Brasil a ANA (Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico) adotou o Índice de Estado Trófico (IET) para avaliar a trofia de corpos d'água quanto ao enriquecimento de nutrientes. A eutrofização ocorre com mais frequência em ambientes aquáticos lênticos, e dentre os efeitos está a mortandade de peixes, contaminação de água de abastecimento público, inavegabilidade, etc. Os valores de fósforo é que determinam o grau de trofia, o IET considera um rio eutrófico quando o fósforo total está entre $59 < \text{IET} = 63 \mu\text{g/L}$. A partir do índice de estado trófico, a biomassa algal com crescimento ideal pode ter suas composições atômicas parcialmente conhecidas, com a equação:



Onde, a relação NT/PT quando inferior a 16:1 o nitrogênio total (NT) é o fator limitante do crescimento algal, e quando a relação NT/PT for igual ou maior que 16:1 o fósforo total (PT) será o nutriente limitante desse crescimento (Redfield, 1958 *apud* Wiegand *et al.*, 2020).

3 METODOLOGIA

3.1 Lócus experimental

Essa pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Tratamento de Águas Residuárias (LabTAR) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), localizado no campus Tapajós, Bairro Salé na Rua Santana s/n, no município de Santarém – Pará.

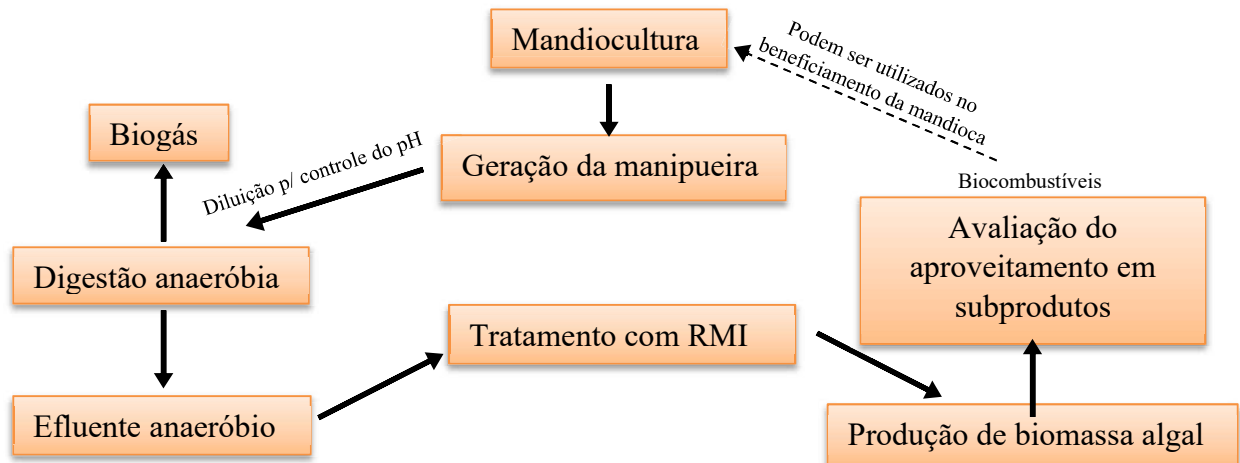
3.2 Condução experimental

O sistema foi instalado e conduzido no LabTAR/UFOPA, em condição controlada de escala laboratorial, é um sistema conjugado com dois reatores que possuem diferentes funções que são aproveitadas complementarmente com intuito de alcançar a remoção de nitrogênio amoniacal e fósforo das águas residuárias.

Para iniciar o funcionamento com mais agilidade foi inoculado o lodo biológico de reator UASB (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo) e o efluente produzido neste reator alimenta o Reator de Microalgas Imobilizadas (RMI) propiciando o crescimento de biomassa algal através da recirculação do efluente ao longo da coluna de tratamento com ambiente munido de luz artificial (simulando a radiação), necessário para desenvolver o processo de fotossíntese.

Considerando a rota de pesquisa geral, a rota do sistema se deu conforme esquema descrito na figura 5:

Figura 5 – Rota do sistema geral.



Fonte – Elaborado pela autora (2024)

Devido a composição físico-química da manipueira usada nessa pesquisa, foi necessária diluição da mesma, afim de manter o ciclo sustentável do sistema, a manipueira foi diluída em águas residuárias domésticas, resíduo líquido comum em todos os setores urbanos. Essa diluição proporcionou um aumento do pH, deixando-o menos ácido, e reduziu parcialmente a turbidez desse efluente, assim esse efluente foi digerido anaerobiamente por um reator tipo UASB (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente) convencional.

Desse modo, com o efluente digerido anaerobiamente foi possível introduzir o tratamento com reator de microalgas imobilizadas para produzir biomassa algal, e a partir dessa matéria-prima (a biomassa) realizar a análise de viabilidade para a produção de subprodutos, especialmente, biocombustíveis.

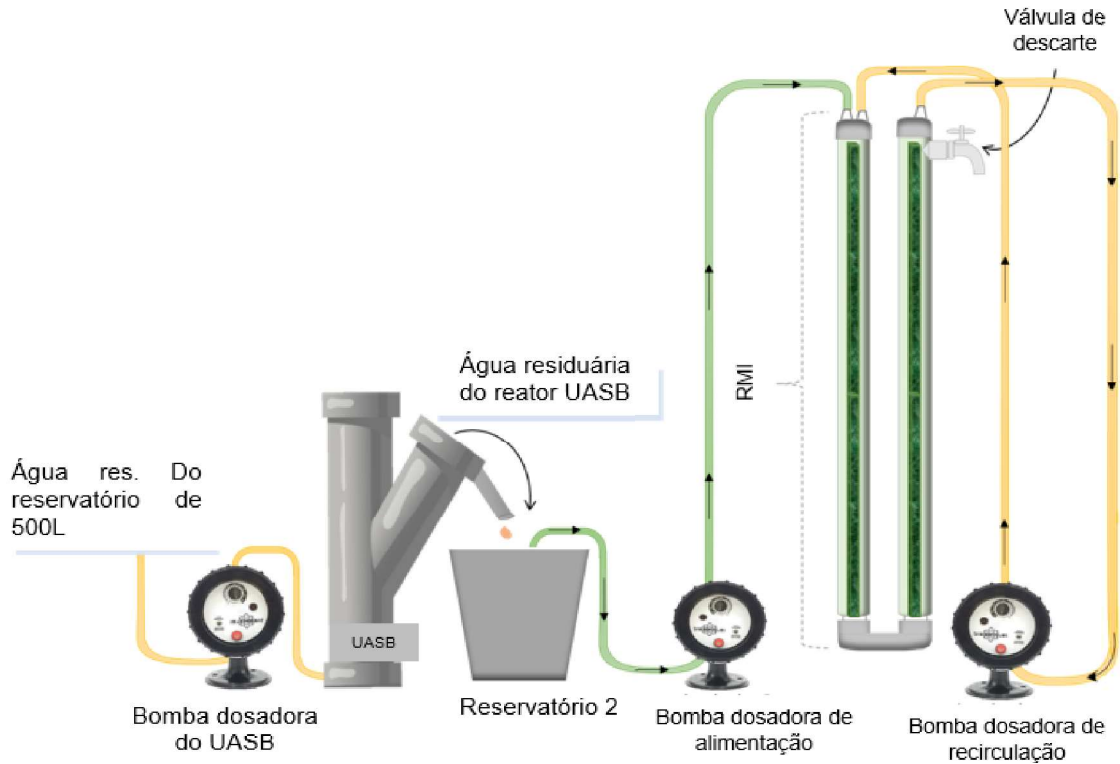
3.3 Sistema experimental e suas unidades

O reator UASB é de material PVC em escala de bancada, de modelo convencional, o RMI é um reator de pós-tratamento que receberá o efluente do UASB com intuito deste estar com a carga orgânica reduzida visto que esse pré-tratamento é necessário para diminuição de turbidez com propósito de facilitar que a radiação atinja toda coluna do Reator de Algas Imobilizadas.

O sistema experimental é constituído por um reservatório de 500L que armazena a manipueira diluída em águas residuárias domésticas brutas, do qual uma bomba dosadora

recalca as águas para o reator UASB, este tem vazão contínua de 13ml/min, e seu efluente digerido é despejado em um segundo reservatório, do qual outra bomba dosadora alimenta o reator de microalgas imobilizadas (RMI), o esquema é descrito na figura 5:

Figura 5 – Esquema do sistema



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

O RMI tem um suporte com altura de 1,40m em PVC de 200mm no qual ele fica dentro, sendo este dois tubos de quartzo com altura de 1,20m (no esquema está representado apenas estes tubos internos) com diâmetro de 3cm para que o fluxo luminoso de 2 lâmpadas LED perpassem totalmente a coluna de água garantindo o processo fotossintético, dentro desses tubos foram inseridas tiras de poliuretano (material inerte) com 98% de vazios sendo esse o meio suporte de imobilização da biomassa algal, no Quadro 2 vê-se o detalhamento:

Quadro 2 - Dimensões e operações do RMI

RMI	
Volume útil	1200ml
Diâmetro	30mm (cada tubo)
Altura total	1,40m
Altura útil	1,20m
Tempo de detenção hidráulica	12h

Vazão de alimentação	36ml/min
Vazão de recirculação	6ml/min
Luminosidade	1350 lúmens - 24h (2 lâmpadas com capacidade de 75lm/W, e potência de 18W)

Fonte: elaborado pela autora (2024)

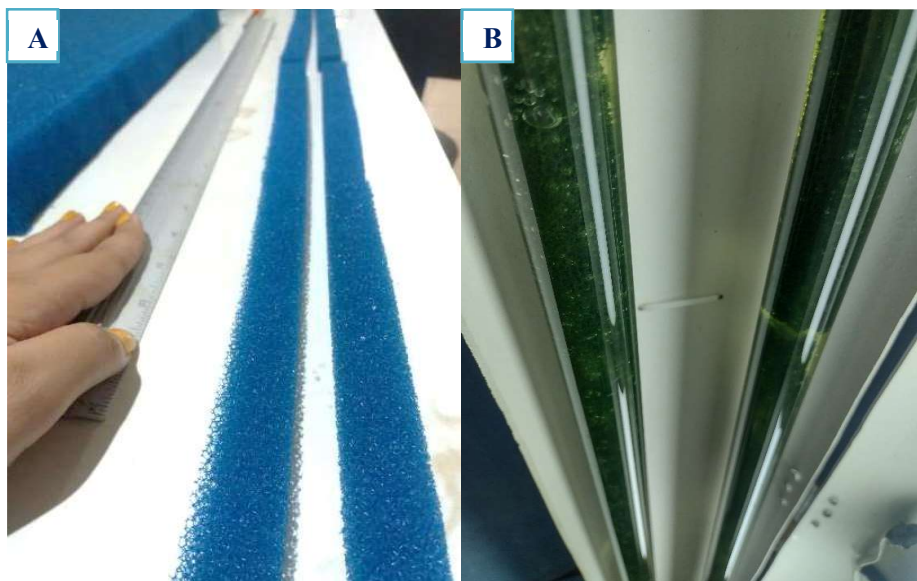
Vale ressaltar que o reator possui o suporte em PVC com sistema abre e fecha, onde de um lado ficam os tubos de quartzo do reator e na frente deles na altura total foram colocadas 2 lâmpadas LEDs ligadas 24h, com fluxo luminoso total de 1350 lúmens.

O volume total do reator de algas sem as esponjas de poliuretano é de 1,4L, no entanto com a ativação do sistema, subtraiu-se a ocupação das esponjas e da biomassa algal aderida nelas, tornando possível determinar que o volume útil total de aproximadamente 1,2L.

3.4 Imobilização das microalgas

A imobilização foi realizada em esponjas de poliuretano visando maior capacidade de superfície de contato entre as microalgas e o meio líquido, onde foram inseridas 12 tiras de 40cm com espessura de 0,5cm, colocadas em duplas atingindo assim a largura de 1cm e a altura útil de 1,20m do reator, como mostra a figura 6 a seguir:

Figura 6 - (A) Meio suporte de poliuretano cortado nas medidas; (B) Meio suporte com microalgas aderidas.



Fonte – Elaborado pela autora (2024)

3.5 Parâmetros avaliados

Foi avaliado o desempenho de tratamento do sistema por meio de análises dos parâmetros que influenciam nos processos de remoção de nitrogênio amoniacal, fósforo e carga orgânica, assim como as análises bases para monitoramento e operação adequada do sistema: potencial hidrogeniônico, alcalinidade, ácidos graxos, Demanda Química de Oxigênio (DQO), fósforo total, ortofosfato, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato. Para mais especificações vide tabela 1:

Tabela 1 – Métodos e parâmetros realizados

<i>Parâmetro</i>	<i>Método</i>	<i>Referência</i>
pH	Potenciométrico	4500 H.B / APHA, 2012
Alcalinidade Total	Titulação potenciométrica com ácido sulfúrico a 0,02N	KAPP (Buchauer, 1998)
Ácidos Graxos Voláteis		KAPP (Buchauer, 1998)
Clorofila α	SMWW 10200H	APHA, 2012
DQO_t e DQO_f	Titulometria de oxirredução com dicromato (Refluxão fechada)	5220 C. / APHA, 2012
Nitrogênio amoniacal	Semi-micro Kjeldhal	4500-NH3 / APHA, 2012
NTK – Nitrogênio Total de Kjeldhal	Titulométrico	APHA, 2012
Nitrito	espectrofotométrico	APHA, 2012
Nitrato	espectrofotométrico	APHA, 2012
Sólidos Totais (ST); Sólidos Suspenso (SS); Sólidos Fixos (SFT) e Sólidos Voláteis (SVT) (mg L⁻¹)	Gravimétrico	2540 D. / APHA, 2012
Fósforo total	Espectrofotométrico com ácido ascórbico e digestão em persulfato	4500-P E./ APHA, 2012
Ortofosfato solúvel	Espectrofotométrico com ácido ascórbico	4500-P E./ APHA, 2012

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

3.6 Identificação das microalgas

A identificação das microalgas foi realizada por microscopia óptica nas resoluções de 400 e 1.000 vezes em microscópio Axio A1, marca Zeiss, no Laboratório Multidisciplinar de Biologia (Campus Oriximiná da Universidade Federal do Oeste do Pará), com amostras retiradas do reator de microalgas imobilizadas após o período de aproximadamente dois meses de funcionamento. As amostras foram coletadas em frascos de tampas rosqueadas estéreis, e foram inoculadas com 1ml de Lugol forte para cada 50ml de amostra.

Após a observação por microscopia, os gêneros foram identificados por chaves de identificação de microalgas da classe Chlorophyceae (BICUDO, 2006) com base em suas características morfológicas, de acordo com os estudos e chaves taxonômicas de Bicudo & Menezes (2006); Hoshina *et al.* (2014).

3.7 Biomassa Algal

Determinação de peso seco foi realizada através do método de filtração em membrana de vidro com poro de 0,45µm, diâmetro de 47mm (APHA, 2012). As membranas foram previamente ignizadas a 550°C por 15 minutos, esfriadas em dessecador e pesadas (P0) em balança analítica. Após foram filtrados 20ml das algas (removidas totalmente do meio suporte com os 600ml do reator adicionados 400ml de água destilada para remoção total), a membrana com biomassa foi seca a 103°C por 24h, colocada em dessecador até esfriar a temperatura ambiente e novamente pesadas (P1).

O peso seco corresponde a diferença entre P1 e P0 sobre o volume amostral, conforme equação:

$$PS = \frac{P1 - P0}{V} \quad (2)$$

3.8 Análises estatísticas

Foi utilizado para realização dos cálculos o software Excel 2020, no qual também foram elaborados os gráficos pertinentes aos resultados obtidos, a análise estatística é descritiva por meio de tabelas, gráficos e medidas que sintetizem os valores obtidos, com objetivo de conhecer o comportamento do reator ao longo do tempo (aumento, estabilidade ou declínio dos valores).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Desempenho do sistema

O reator UASB foi monitorado por 10 meses, sendo os primeiros 3 meses para estabilização do sistema. Para o reator UASB foi realizada inoculação de lodo e buscou-se sua adaptação dinâmica através dos resultados constantes de eficiência através das análises físicas e químicas aplicadas, sendo o mesmo aperado durante toda a operação do RMI.

Na tabela 2 é possível analisar os resultados obtidos. Nota-se que o afluente utilizado na alimentação do RMI apresenta característica favoráveis ao desempenho de processo biológico, onde o comportamento com os valores de pH esteve pouco acima da neutralidade e valores de Alcalinidade Total e ácidos graxos voláteis favoráveis ao processo de digestão anaeróbia.

Tabela 2 – Dados de caracterização do efluente do UASB

<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>n</i>	<i>Valor mín</i>	<i>Valor máx</i>	<i>Média</i>
pH	-	60	7,75	8,8	8,0
Alcalinidade Total	mg/L ⁻¹	60	180,05	430,29	285,84
Ácidos Graxos Voláteis	mg/L ⁻¹	60	0,40	67,71	19,58
DBO₅	mg/L ⁻¹	2	-	160,84	138,32
DQO	mg/L ⁻¹	12	88	399	214
Sólidos Totais	mg/L ⁻¹	11	305	672	488
Sólidos T. Voláteis	mg/L ⁻¹	11	71	241	145
Sólidos Suspensos Totais	mg/L ⁻¹	11	5	40	16
Sólidos S. Voláteis	mg/L ⁻¹	11	5	35	15
Fósforo total	mg/L ⁻¹	11	4,03	8,09	5,45
Nitrogênio Amoniacal	mg/L ⁻¹	34	17,21	54,42	34,48
Ortofosfato	mg/L ⁻¹	14	2,11	5,19	3,94

Fonte: Elaboração da autora (2024)

O efluente do reator UASB apresentou concentrações de DQO variando de 88mg/L a 399mg/L e está associada a remoção de material carbonáceo, com valor médio de 214mg/L em DQO. Em mesmo período (12 determinações) a média de concentração de DQO no esgoto bruto foi de 763mg/L enquanto a concentração de DQO da manipueira bruta era 41553,5mg/L.

A proporção de diluição da manipeira no esgoto bruto foi de 200ml a cada 50L, o desempenho apresentado no UASB foi de 72% e está dentro dos padrões de operação, Leite *et al.* (2021) relata valores semelhantes em efluente advindo de UASB em escala real monitorado na região nordeste do Brasil.

A variação nas concentrações de DQO do efluente é compreensível, visto que o esgoto bruto utilizado é real, e este sofre distintas interferências. A concentração média de nitrogênio amoniacal e de ortofosfato são representativos para remoção com pós-tratamento, onde o PO_4^{3-} alcança picos de até 60 vezes mais do que é estabelecido pela resolução CONAMA nº430/2011 que determina para ambientes lóticos (Classe 2) o valor máximo de fósforo total de lançamento, sendo 0,1mgP/L, e para nitrogênio amoniacal de 1,0 mg N/L, para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$, vê-se que o efluente do UASB ainda contém elevada carga de NH_4^+ e PO_4^{3-} , ambos com valores acima dos padrões permitidos de lançamento em corpos receptores.

4.2 Quantificação de biomassa microalgal do RMI

A fotossíntese gerada nesse processo eleva a produção algal. Neste processo do tipo autotrófico e com fonte de luz constante (artificial) e fonte de carbono orgânico e inorgânico haverá sempre a conversão dos íons bicarbonatos (como fonte de C) com produção de biomassa e geração de O_2 e OH^- (que eleva o pH do meio).

Num balanço de massa direto, é possível relacionar a formação de algas com a quantidade de carbono e nutrientes que adentram o reator, contudo, a velocidade de crescimento depende de fatores importantes como o tipo de alga, a capacidade da mesma de se adaptar a extremas variações de temperatura e pH e mudanças bruscas de vazão afluente.

Para essa quantificação pode-se aferir através da clorofila α , o quadro 3 apresenta os resultados obtidos:

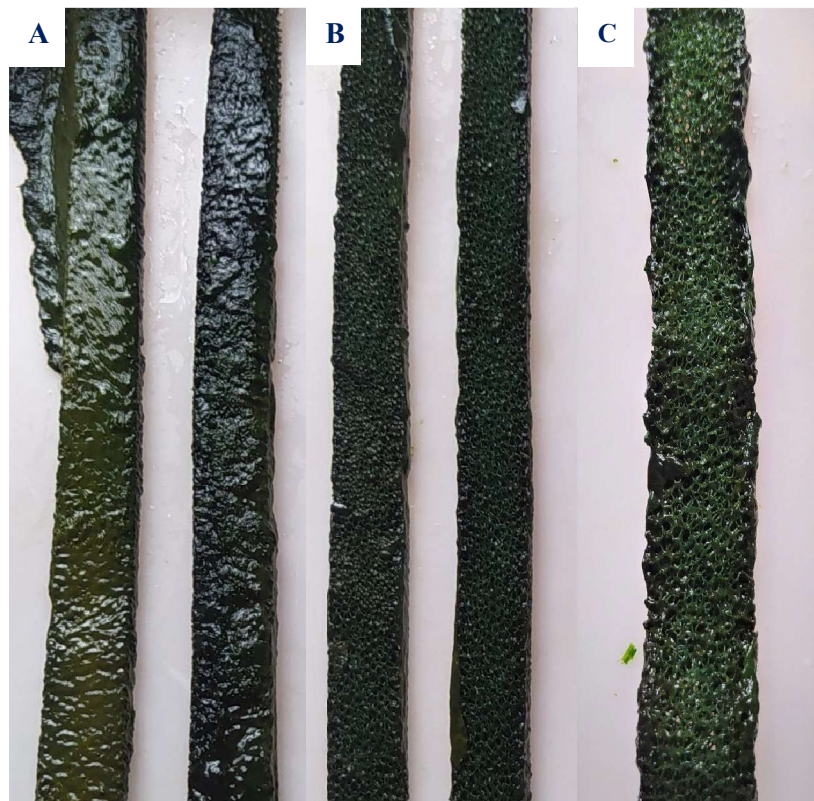
Quadro 3 – Resultados da Clorofila a do RMI

Parâmetros	Volume útil do Reator	Tempo de controle	Clorofila a
Valores	1,2 (L)	15 dias	5.146,7 $\mu\text{g/L}$
		15 dias	4.448,7 $\mu\text{g/L}$
		15 dias	4.711,6 $\mu\text{g/L}$

Fonte: elaborado pela autora (2024)

O meio suporte de imobilização foi dimensionado para que a biomassa algal aderisse o máximo possível, com as tiras do poliuretano estando com espessura de 0,5cm com a finalidade garantir maior incidência de luz e menor sombreamento. Contudo, com o crescimento das algas, era possível notar a diminuição de luz nas partes mais internas do suporte, de modo que a presença de algas no meio era mais reduzida, visto que as esponjas poliuretano também apresentavam um volume de vazios de 98%. As consequências desse sombreamento podem ser vistas na figura 7.

Figura 7 - (A) Algas aderidas ao meio suporte na parte externa; **(B)** Parte interna das tiras de meio suporte; **(C)** Área interna do meio suporte onde fica sombreamento, a aderência de algas é menor que na foto A.



Fonte – Elaborado pela autora (2024)

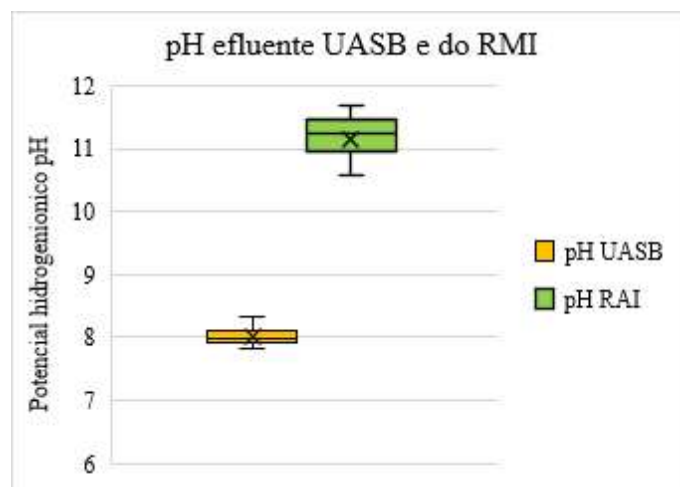
4.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

No processo de fotossíntese realizado pelas microalgas no RMI foram medidos valores de pH entre 9 e 11 unidades. Neste processo, o consumo de dióxido de carbono dissolvido eleva consideravelmente o pH. Esse fenômeno corrobora na redução e inativação de coliformes fecais no RMI. Em lagoas de estabilização que alcançaram pH acima de 9 as bactérias fecais morrem rapidamente (MARA *et al.*, 1992).

As algas não são substituídas por bactérias por consumirem CO_2 , ligeiramente, de modo que os íons bicarbonato e carbonato separam-se, então através das hidroxilas (equações 2 e 3, item 2.5) o CO_2 é fixado elevando o pH a níveis acima de 10.

O reator UASB por possuir capacidade de tamponamento, manteve valores de pH sem variações relevantes (Vide gráfico 1). O RMI demandou mais tempo para atingir níveis de pH acima de 9. Este fato representou que a maior carga de entrada de nutrientes permaneceu por menor tempo na coluna d'água do reator diminuindo o potencial fotossintético e consequentemente a quebra dos carbonatos e liberação de hidroxilas no meio líquido.

Gráfico 1 – Variação de pH no reator UASB e no RMI



Fonte – Elaborado pela autora (2024).

Ressalta-se que nessa pesquisa não houve adição de CO_2 . A temperatura média operacional estudada foi de $29,5^\circ\text{C}$, sendo considerada ótima para desenvolvimento da biomassa algal e ideal para a velocidade de reações, pois a temperatura é um parâmetro importante na cinética de moléculas e em condições ideais propicia aceleração das reações (DIAS *et al.*, 2019; PEDRUZI *et al.*, 2020).

A temperatura e o CO_2 dissolvido influenciam no pH e este, por sua vez, nas comunidades ou espécie de microalgas que atuam no reator, pois essas toleram diferentes níveis de pH. Segundo experimentos estudados por Gao *et al.* (2021), Gonçalves *et al.* (2020), Silva & Bueno (2017), os valores de pH mais comuns variam de 6 a 9.

4.2.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

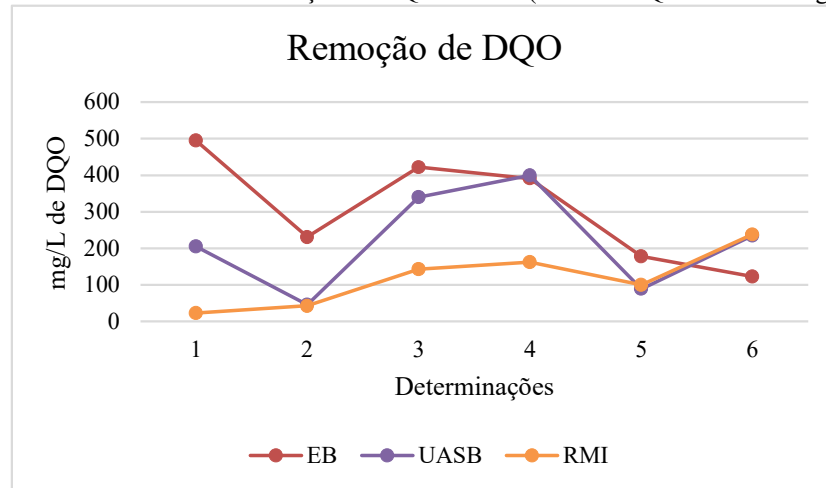
A remoção da concentração da DQO no reator UASB foi de 62%. É interessante destacar que a DQO de alimentação no RMI foi considerada baixa (em torno de 205mg/L), sendo esperado já que se trata de efluentes digeridos anaerobiamente. A utilização deste tipo de

efluente para esse pós-tratamento, caracteriza-se pela redução também de sólidos em suspensão, o que facilita na incidência de radiação necessária a realização do processo de fotossíntese.:

No reator de algas imobilizadas deve-se levar em consideração a DQO algal na determinação de DQO_t , portanto o comportamento de DQO total afluente em relação a DQO_f efluente do RMI. Essa comparação descarta desta forma a matéria orgânica provida das algas em suspensão produzidas no RAI.

A remoção média mensal de DQO no RMI foi de 52%. Para a remoção da DQO, especulou-se que, pela presença do processo fotossintético no RMI, e consequente geração de O_2 , a oxidação de matéria orgânica por microrganismos heterotróficos, também influenciou na remoção de DQO conforme gráfico 2, bem como na estruturação e nutrição das microalgas, onde também a biomassa algal realiza o processo de sorção da matéria orgânica na forma de CO_2 (JESUS *et al.* 2019).

Gráfico 2 - Eficiência de remoção de DQO mensal (Demanda Química de Oxigênio)



Fonte – Elaborado pela autora (2024).

Jesus *et al.* (2019) encontraram remoção de DQO no tratamento de efluentes secundários semelhantes aos estudados neste experimento, principalmente para o tipo de alga *Chlorella* sp. Assim como em uma revisão sobre cultivo de microalgas em águas residuária secundárias, LV (2017) relata faixas de remoção da concentração de DQO semelhantes. Vale ressaltar que em seu estudo há identificação das algas e diferenciação entre suspensas e imobilizadas, ao qual 48% de remoção da concentração de DQO foi realizada pela alga *Scenedesmus* sp. imobilizada, e outra que apresentou resultados foi a *Chlorella* sp. em suspensão, onde a remoção variou de 13% a 24%.

Os resultados apresentados nesse estudo corroboram com os supracitados, visto que as microalgas identificadas também são dos gêneros *Chlorella* sp. e *Scenedesmus* sp., ambas imobilizadas no presente estudo.

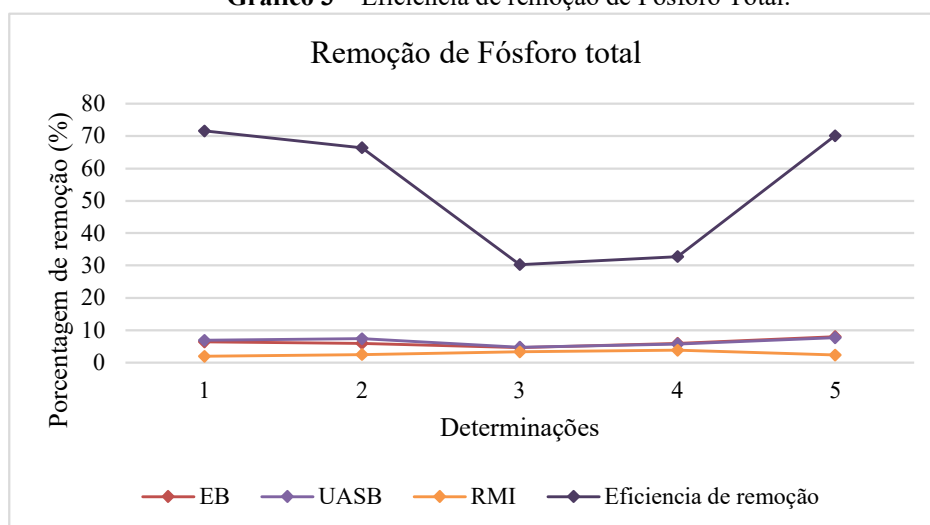
4.2.3 A remoção de ortofosfato e nitrogênio amoniacal

Em forma comparativa, em lagoas de estabilização com valores de pH elevado, o processo de remoção de fósforo se dá através da precipitação química desse nutriente, e depende o quanto decanta da coluna d'água até os sedimentos, ocorre especialmente quando o pH está acima de 9,5, onde o fósforo orgânico (P_{org}) presente na biomassa das algas precipita como fósforo inorgânico (P_{inorg}) (MARA *et al.*, 1992). No RMI nota-se considerável remoção de fósforo na forma de ortofosfato, mas deve-se levar em consideração que o reator fica na vertical com recirculação, bombeando o efluente da parte inferior para superior da coluna d'água, podendo afetar que o processo de precipitação ocorra.

Araújo *et al.* (2017) com microalgas imobilizadas em matriz de alginato de cálcio, afirmam que por conta da adversidade causada para esse processo pela recirculação do líquido, é possível que as algas estejam assimilando o fósforo. Neste estudo, os autores afirmam que as microalgas no biorreator com recirculação obtiveram decaimento maior de fósforo total e ortofosfato pois com 5h de contato atingiram pH de 9,54 diferente do biorreator sem a recirculação, o que corrobora com os resultados encontrados nestes experimentos.

A eficiência de remoção mensal do Fósforo pode ser observada no gráfico 3:

Gráfico 3 – Eficiência de remoção de Fósforo Total.



Fonte – Elaborado pela autora (2024).

A maior remoção de Fósforo Total foi de 71%, com mínima de 30%. Ocorre também a diminuição do nitrogênio amoniacal (NH_4^+). Onde se obteve na média um índice de eficiência de 89%, a tabela demonstra.

Tabela 3– Eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal do RMI.

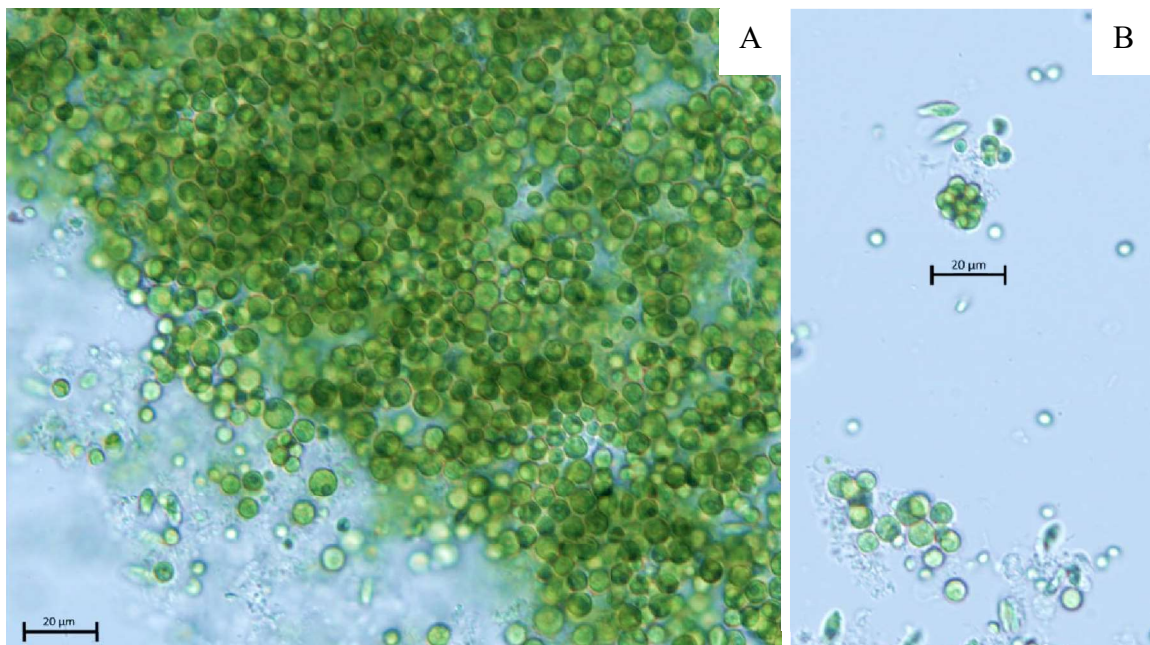
Sistema	Média (mg/L)	Eficiência de Remoção
UASB	85,72	89,3%
RMI	8,55	

Fonte – Elaborado pela autora (2024)

4.3 Identificação das microalgas Imobilizadas

As microalgas aderidas ao meio suporte apresentaram coloração verde intensa, com filamentos que movimentavam com o pulso de recirculação e alimentação realizado por bombas dosadoras. Na figura 8 foram observadas células esféricas com paredes lisas, onde A mostra células aglomeradas, e em B algumas células solitárias e aglomerados com quantitativo menor de células.

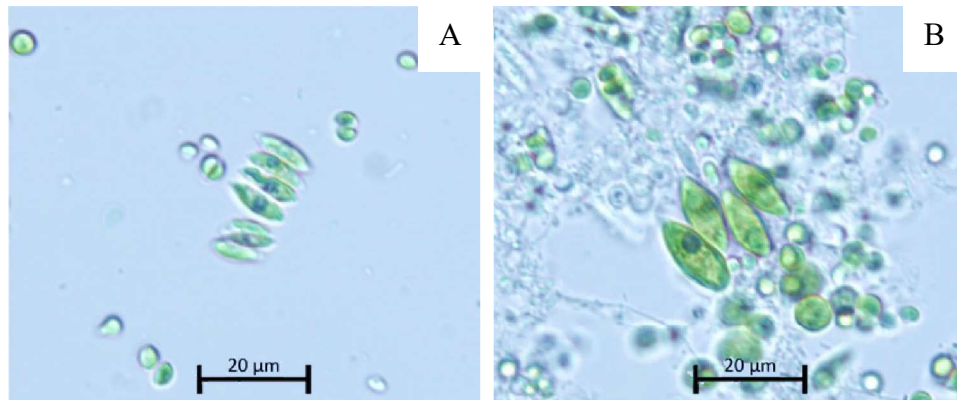
Figura 8 – Imagens de microscópio Axio A1 Zeiss de microalgas identificadas como membros de *Clorella*. As cepas foram coletadas de reator de tratamento localizado no Laboratório de Tratamento Águas Residuárias em Santarém – PA.



Fonte – Elaborado pela autora (2024)

A microalga *Chlorella* sp. pertencente a divisão Chlorophyta, classe Chlorophyceae e família Oocystaceae (BICUDO & MENEZES, 2006). Além do gênero *Chlorella*, predominou no sistema de tratamento microalgas do gênero *Scenedesmus*, conforme figura 9.

Figura 9 – Imagens de microscópio Axio A1 Zeiss de microalgas identificadas como membros de *Scenedesmus*. As cepas foram coletadas de reator de tratamento localizado no Laboratório de Tratamento Águas Residuárias em Santarém – PA.



Fonte – Elaborado pela autora (2024)

A - *Acutodesmus obliquus* – descrição conforme HOSHINA, 2014. **B** - *Pectinodesmus* sp – descrição conforme HOSHINA, 2014

4.4 A viabilidade de transformação das microalgas em biocombustível

Quando se trata da produção de combustíveis as rotas de processos são variadas, uma delas é a quantificação de lipídeos. A eficiência da extração de lipídios de microalgas modifica-se conforme a espécie e o método de extração, Lee *et al* (2010) verificaram que método mais simples e eficiente para causar a ruptura celular é através do forno de micro-ondas em todas as espécies testadas por eles, especialmente *Chlorella vulgaris* e *Scenedesmus* sp. Gêneros predominantes no sistema de tratamento do presente estudo.

Para obtenção do peso seco foi possível secar a biomassa algal em estufa de 50 – 60°C, na quantidade de 100ml por cápsula, que foram ignizadas previamente, após 24h obteve-se a massa seca conforme figura abaixo:

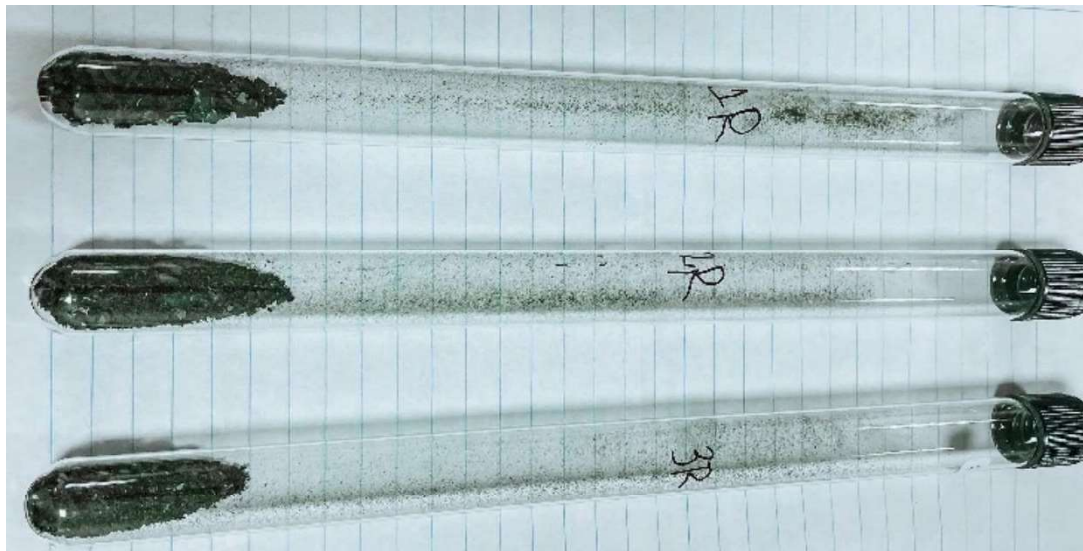
Figura 10 – (A) Microalgas secas; (B) Raspagem da massa seca.



Fonte – Elaborado pela autora (2024)

Para obtenção de maior quantitativo várias cápsulas foram raspadas e seu conteúdo posto junto na pesagem, visto serem amostras do mesmo sistema em um mesmo mês, assim foram colocadas em beckers para realização de ruptura das células das microalgas. Após esse processo realizou-se a pesagem e transferência da massa para tubos com tampa, em triplicatas de 1g cada. A figura 11 abaixo mostra-as:

Figura 11 – Amostras de microalgas pesadas em triplicada



Fonte – Elaborado pela autora (2024).

A quantidade matéria seca obtida, mostra potencial de aproveitamento dessa como matéria prima para outros subprodutos. A média de mg/L obtida de microalgas no sistema foi de 1709mg/L, em uma escala de cultivo de 15 dias, o que significa que para cada 1L de efluente que percorreu o RMI foram geradas em média 17,09 gramas de microalgas, totalizando 393,07g

a cada 1,2 litros tratados no sistema em 12h de detenção hidráulica, em 24h obtém-se 782,14g em 2,4 litros de efluente tratado no RMI.

Em um sistema de escala real que estivesse tratando 100mil litros desse mesmo efluente, significaria obter em média 32.589,17Kg de microalgas a cada 100mil litros tratados. As microalgas promissoras podem ser produzidas em biorreatores, onde elas promovem o tratamento de águas residuárias (que contém nutrientes) e posteriormente, podem ser submetidas a processos de transformação, aproveitando a composição da biomassa microalgal (HUO, 2020).

O processo de biorrefinaria aplicado aos gêneros de microalgas aqui descritos é promissor, pois elas possuem potencial para transformação em biocombustível como o biodiesel, é necessário apenas que essas microalgas sejam ricas em lipídios, onde solventes separam gordura de açúcares e assim é possível extrair lipídeos que podem então ser transformados em biodiesel, etanol ou outros (YE *et al.* 2020; CAVALCANTI *et al.* 2020).

5 CONCLUSÃO

É notável a eficiência de tratamento da manipueira, podendo unir ao tratamento de águas residuárias domésticas para estabilização do sistema, assim como foi possível cultivar biomassa microalgal em quantidade relevante dentro do Reator de Microalgas Imobilizadas, quando considerado em contexto de escala real seria possível a produção de subprodutos, tornando o sistema sustentável.

As análises físico-químicas realizadas nos sistemas de tratamento anaeróbio (UASB) e do fotobiorreator (RMI), demonstraram eficiência relevante no tratamento das águas residuárias advindas do setor agroindustrial do amido como a manipueira, e devido sua diluição em águas residuárias domésticas aumentou a eficiência no processo, beneficiando a remoção de resíduos desses dois tipos de águas.

A identificação das microalgas foi essencial para determinar os gêneros mais usuais na biorrefinaria, sendo os gêneros: *clorella* sp. e *scenedesmus* sp. ricas em propriedades lipídicas, carboidratos e proteínas, que são as consideradas para obtenção de subprodutos, proporcionando discussão sobre a viabilidade de uso da biomassa microalgal como matéria

prima de biocombustíveis, pois essa viabilidade pode tornar o processo produtivo da agroindústria de amido mais sustentável.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, M. C. C., SOBRINHO, M. A. M., SILVA, A. F., BARBOSA, P., & De Souza, P. T. (2021). Caracterização e potencial de degradabilidade natural da manipueira. **Revista Geama**, 7(2), 4-12. Disponível em: <https://journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/3368/482484276>. Acesso em: 23 fev. 2023.
- ANDRADE, E. C. L. et al. O despejo inadequado das águas residuárias no bairro Alvorada e o reflexo na saúde. ISBN 978-65-5360-141-3 - **Editora Científica Digital** - www.editoracientifica.org - Vol. 4 - Ano 2022. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220408633.pdf>. Acesso em 23 fev. 2023.
- ANJINHO, P. *et al.* Análise da qualidade das águas e do estado trófico de cursos hídricos afluentes ao reservatório do Lobo, Itirapina, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 364-376, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/242256>. Acesso em: 06 jan. 2022.
- ALCÁNTARA, C.; *et al.* Evaluation of wastewater treatment in a novel anoxic–aerobic algal–bacterial photobioreactor with biomass recycling through carbon and nitrogen mass balances. **Bioresource Technology**, vol. 191, p. 173-186, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25989093/>. Acesso em: 30 dez. 2022.
- APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC. 22th ed. 2012.
- ARAÚJO, N. C. *et al.* Potencial de remoção de fósforo em biorreator operado com células de *Chlorella* sp immobilizadas em matriz de alginato de cálcio. **Ciência & Engenharia**, v. 26, n. 2, p. 59 – 65, 2017. Disponível em: encurtador.com.br/xQVX8. Acesso em: 20 dez. 2022.
- ANSARI, Faiz Ahmad et al. Estimativa tecnoeconômica da fitorremediação de efluentes e benefícios ambientais usando a microalga *Scenedesmus obliquus*. **Jornal de gestão ambiental**, v. 240, p. 293-302, 2019.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 357, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências de 17 de março de 2005. Brasília, 2005. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 01 out. 2022.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho CONAMA. Brasília, 2011. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/>. Acesso em: 01 out. 2022.

BRENNAN, L.; OWENDE, P. Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 557–577, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032109002408>. Acesso em: 20 dez. 2022.

Cavalcanti, J. C. de M., Silva, J. C. de S., Lopes, E. A. P., & Lopes, G. J. (2020). Análise da Composição Química e Metodologia de Obtenção do Melaço da Manipueira. **Diversitas Journal**, 5(3), 1601–1628. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v5i3-1165>. Acesso em: 10 abri. 2024

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2ª ed. Rev. – Campinas, SP: Editora Unicamp, 2003.

CETESB. **Tipos de águas**. Companhia do Estado de São Paulo, 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/#:~:text=Dentro%20das%20%C3%A1guas%20doces%2C%20as,da%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20para%20diversos%20processos>. Acesso em: 01 mar. 2023.

CORREA, Jenniffer Maria Rodrigues et al. EFEITO DO EXTRATO AQUOSO DA MANIPUEIRA NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays*). **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 14, n. 2, 2022. Disponível em: <http://revista.sear.com.br/rei/article/view/252/263>. Acesso em: 21 fev. 2023.

CHEN, G.; ZHAO, L.; QI, Y. Enhancing the productivity of microalgae cultivated in wastewater toward biofuel production: A critical review. **Applied Energy**, v. 137, p. 282–291, 2015. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v137y2015icp282-291.html>. Acesso em: 20 dez. 2022.

CHERNICHARO, C. A. *et al.* Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas. **Revista DAE**. n° 213. Vol 66. 2018a. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_213_n_1748.pdf. Acesso em: 04 jan. 2023.

CRUZ, R. P.; SANTIAGO, B. L. S.; PEREIRA, E. L. Microalgas como matéria-prima na produção de biodiesel: uma revisão. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, Viçosa/MG, BR, v. 5, n. 3, p. 0244–0256, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/8013>. Acesso em: 30 dez. 2022.

DE MELO, Carla Janaína Mendonça *et al.* A CADEIA PRODUTIVA FAMILIAR DA MANDIOCA EM RONDÔNIA: CONTEXTUALIZAÇÃO, DESAFIOS E PERSPECTIVAS COM A ADOÇÃO DO COOPERATIVISMO. **Humanidades & Inovação**, v. 9, n. 13, p. 313–328, 2022. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/2968>. Acesso em: 2 mar. 2023.

ELIAS, Nathércia Castro et al. Uso da manipuladora na produção sustentável de tomateiros Use of the handler in the sustainable production of tomatoes. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 7, p. 75657-75676, 2021. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/ttzs2dfrtjantoinoycxbzcxba/access/wayback/https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/download/33705/pdf>. Acesso em: 23 fev. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Congresso de Mandioca 2018. Mandioca em números. Disponível em: <https://www.embrapa.br/congresso-de-mandioca-2018/mandioca-emnumeros>. Acesso em: 28 fev. 2023.

FAO-OECD/Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015), OECD-FAO Agricultural Outlook 2015, OECD Publishing, Paris. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2015_agr_outlook-2015-en. Acesso em: 22 fev. 2023.

FERREIRA, A. *et al.* (2019). *Scenedesmus obliquus* microalga based biorefinery – from brewery effluent to bioactive compounds, biofuels and biofertilizers – aiming at a circular bioeconomy. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bbb.2032>. Acesso em 20 dez. 2022.

GAO, Y.; GUO, *et al.* Mariculture wastewater treatment with Bacterial-Algal Coupling System (BACS): Effect of light intensity on microalgal biomass production and nutrient removal. **Environmental Research**, Volume 201, 2021, ISSN 0013-9351. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935121008720?via%3Dihub>. Acesso em: 10 dez. 2022.

GONÇALVES, R. F. *et al.* Co-digestion of municipal wastewater and microalgae biomass in an upflow anaerobic sludge blanket reactor. **Algal Research**. Volume 52, 2020, 102117, ISSN 2211-9264. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926420309851>. Acesso em: 10 nov. 2021.

GUIMARAES, R. G. Refinaria de microalgas. **Industrial Biotechnology**. Disponível em: <https://www.brasbiotec.com/post/refinaria-de-microalgas#:~:text=A%20Biorrefinaria%20da%20biomassa%20de,simples%20com%20C3%A9rcio%20da%20mat%20C3%A9ria%20Dprima>. Acesso em: 10 mar. 2024.

HUO, S.; J. L. *et al.* Post treatment of swine anaerobic effluent by weak electric field following intermittent vacuum assisted adjustment of N:P ratio for oil-rich filamentous microalgae production. **Bioresource Technology**, Volume 314, 2020, 123718, ISSN 0960-8524, Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852420309901?via%3Dihub>. Acesso em: 10 nov. 2022.

JESUS, H. S. *et al.* Autochthonous microalgae cultivation with anaerobic effluent: isolation of strains, survivorship, and characterization of the produced biomass. **Rev. Ambiente & Água**, vol. 14, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/rHqWVJ3wqKQ5sfKLbJXHLZs/abstract/?lang=en>. Acesso em: 06 jan. 2022.

JESUS, G. A. C., ROCHA, M. F., CHIBITE, E. E. A., MOTOYAMA, M. H., & CONTE, H. (2021). A biotecnologia como instrumento de sequestro de carbono: bactérias, microalgas e árvores geneticamente modificadas. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 12(11), 246-255. Disponível em: <http://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/6834>. Acesso em: 20 fev. 2023.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Ed. 6. Rio de Janeiro, 2011. 1050 p.

KUMAR, A. K.; S. S. *et al.* Techno-economic analysis of microalgae production with simultaneous dairy effluent treatment using a pilot-scale High Volume V-shape pond system. **Renewable Energy**, Volume 145, 2020, Pages 1620-1632, ISSN 0960-1481, Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119311073>. Acesso em: 10 nov. 2022.

LEE, J.-Y.; YOO, C.; JUN, So-Y.; AHN, C.-Y.; OH, H-M. Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae. **Rev. Bioresource Technology** 101, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852409003149>. Acesso em: 16 jan. 2023.

LEITE, V. D. *et al.* Tratamento de águas residuárias em lagoas de estabilização para aplicação na fertirrigação. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 71-75, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/CMJzft9ngDb4CYt3QhJJDyS/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 04 jan. 2022.

LV, J.; FENG, J.; LIU, Q.; XIE, S. Microalgal cultivation in secondary effluent: recent developments and future work. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, n. 1, p. 1-18, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/18/1/79>. Acesso em: 24 dez. 2022.

LIMA, RG de.; SILVA, RB da.; LIMA, HR da S. de .; HANADA, RE.; AZEVEDO, JL de . Cianeto de mandioca: viabilidade econômica do uso da manipueira para erradicar o mercúrio na mineração e proposta de Bioeconomia Circular na Amazônia, Brasil. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, [S.l.], v. 11, n. 7, pág. e43211729981, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i7.29981. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/29981>. Acesso em: 10 fev. 2023.

MARA, D. D.; ALABASTER, G. P.; PEARSON, H. W.; MILLS, S. W. (1992). **Waste stabilisation ponds. A design manual for Eastern Africa. Lagoon Technology Internacional**. Leeds. 121 p.

METCALFY & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**, 5th Edition. ISBN 0073401188 / 9780073401188, tradução: Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. - 5. ed. - Porto Alegre, 2016.

MESQUITA, Tayane Cristiele Rodrigues et al. Gestão descentralizada de soluções de esgotamento sanitário no Brasil: Aspectos conceituais, normativos e alternativas tecnológicas. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 56, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/72908>. Acesso em: 21 fev. 2023.

MORAIS, Naassom Wagner Sales; SANTOS, André Bezerra dos. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reuso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/43168/1/2019_art_absantos.pdf. Acesso em: 10 jan. 2023.

MORAIS, A. C. R.; FERNANDES, R. R. S.; MARTINS, F. A. K.; CANTO, E. S. M.; BRAGA, T. M. P.; FERNANDES, G. S. T.. Fungos de solo impactado por resíduo de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em Santarém, Pará, Brasil. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.10, p.258-271, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.010.0020>. Acesso em: 12 mar. 2024.

NEVES, C. da S.; SOUZA, F. P. de. Caracterização da Água Residual do Processamento da Mandioca (*Manihot Esculenta*) Visando a Produção de Biogás. Orientador: Marcelo Costa Santos. 2019. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Capanema, 2019.

NICOLAU, O. N. B.; CHAVES, G. L. D.; ZANCHETTA, I. T. Avaliação do consumo energético e emissões de dióxido de carbono do transporte rodoviário do Brasil (2016-2026). **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 54, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/62606/41751>. Acesso em: 02 mar. 2023.

PEDRUZI, G. OL. *et al.* Biomass accumulation-influencing factors in microalgae farms. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** 24 (2), 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/f3gfkjwdvwPRpY7rjTPGSfM/?lang=en>. Acesso em: 23 dez. 2022.

PHAN, T. L.; BUI, M. H. Remoção de nutrientes de águas residuais de usinas de fertilizantes usando *Scenedesmus* sp.: formação de biofloculação e aumento da eficiência de remoção. **Rev. Journal of Chemistry**, Volume 2020, Article ID 8094272, Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2020/8094272>. Acesso em: 1 de mar. 2023.

RIETOW, Julio Cezar et al. Consolidação da tecnologia de reatores UASB no estado do Paraná para o tratamento de esgotos sanitários. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 28, p. e20220298, 2023. Acesso em: 26 abri. 2024.

SILVA, L. M. L. *et al.* Tratamento de efluentes em fotobiorreatores iluminados por diodos emissores de luz (leds) de baixa intensidade luminosa. **Revista AIDIS**. Vol. 10, nº 1, 87 – 103. 2017. Disponível em: <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/54836>. Acesso em: 01 jan. 2022.

SILVA, L. M. L. *et al.* II-569-LEDS PARA OTIMIZAÇÃO DO CRESCIMENTO DE MICROALGAS VISANDO A REMOÇÃO DE NITROGÊNIO DE EFLUENTES. ABES – CBESA. 2015. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP EasyArtigos/Site/Uploads/Evento29/TrabalhosCompletoPDF/II-569.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2022.

SOLMAZ, A.; ISIK, M. Optimization of membrane photobioreactor; the effect of hydraulic retention time on biomass production and nutrient removal by mixed microalgae culture. **Biomass and Bioenergy**, Volume 142, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953420303445?via%3Dihub>. Acesso em: 01 jan. 2022.

SOUSA, J. T. D., VAN HAANDEL, A. C., COSENTINO, P. R. D. S., & GUIMARÃES, A. V. A. (2000). Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas "wetlands" construídos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 4, 87-91. Acesso em: 26 abri. 2024.

SWARNA S. & PATIL, Y. Wastewater Treatment using Nanotechnology. **Journal of Nanotechnology and Nano-engineering**, 5(3), 28–32. 2019. Disponível em: <https://zenodo.org/record/3573712#.YfxoOOrMKyI>. Acesso em: 30 dez. 2022.

TAVARES, P. A.; DOS SANTOS GONÇALVES, Paulo Vitor; NEVES, Fernanda. Corpos Hídricos nas Cidades Amazônicas: Estudo sobre a Provisão de Serviços Ecosistêmicos em Áreas Urbanas Sessão Temática: Biodiversidade, serviços ecosistêmicos e valoração. **XIII Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, p. 11, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Vitor-Dutra-2/publication/336311558_Corpos_Hidricos_nas_Cidades_Amazonicas_Estudo_sobre_a_Provisao_de_Servicos_Ecosistemicos_em_Areas_Urbanas/links/5d9bc387299bf1c363ff052d/Corpos-Hidricos-nas-Cidades-Amazonicas-Estudo-sobre-a-Provisao-de-Servicos-Ecosistemicos-em-Areas-Urbanas.pdf. Acesso em: 21 fev. 2023.

WIEGAND, M. *et al.* Avaliação de nutriente limitante da produção algal em reservatórios do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, v. 55, n. 4, p. 456 - 478, 2020. Disponível em: http://www.rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/681. Acesso em: 2 jan. 2022.

YE, Sisi et al. Tratamento simultâneo de efluentes e produção de lipídeos por *Scenedesmus* sp. HXY2. **Tecnologia de biorecursos**, v. 302, p. 122903, 2020. Acesso em: 5 de mar. 2023.