

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

DISSERTAÇÃO

IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM PURIFICADOR
BIOLÓGICO DE ÁGUA COM ALGAS (PBA) MODELO, NO LAGO
AÇU, UFRRJ

JOYCE DE MEYRELLES BORGES

2024



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM PURIFICADOR
BIOLÓGICO DE ÁGUA COM ALGAS (PBA) MODELO, NO LAGO
AÇU, UFRRJ**

JOYCE DE MEYRELLES BORGES

Sob orientação do Professor Doutor
Leandro Martins Fontoura
e coorientação do Professor Doutor
Antônio Carlos Abboud

Dissertação submetida como requisito
parcial para obtenção do título de
**Mestre em práticas em
desenvolvimento sustentável**, no
Programa de Pós-Graduação em Práticas
em Desenvolvimento Sustentável.

Seropédica - RJ
Maio de 2024

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

d732i de Meyrelles Borges, Joyce, 1997-
IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM PURIFICADOR
BIOLÓGICO DE ÁGUA COM ALGAS (PBA) MODELO, NO LAGO AÇU,
UFRRJ. / Joyce de Meyrelles Borges. - Paracambi, 2024.
59 f.: il.

Orientador: Leandro Martins Fontoura .
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
PRÁTICAS EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2024.

1. O presente trabalho teve como objetivo
implementar um sistema modelo baseado na técnica ATS,
o Purificador Biológico de Água com Algas (PBA), na
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ),
para assim determinar o melhor fluxo e movimento de
água para o crescimento da biomassa de microalgas,
identificando e quantificando a biomassa e a água
provida.. I. Martins Fontoura , Leandro , 1980-,
orient. II Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

JOYCE DE MEYRELLES BORGES

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável da UFRRJ.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/05/2024.

(Assinado digitalmente em 12/12/2024 15:15)

DeptAdT/IM (12.28.01.00.00.82)

Matrícula: ###390#6

Leandro Martins Fontoura. Prof. Dr. – UFRRJ
(Orientador)

(Assinado digitalmente em 12/12/2024 15:19)

Passaporte: ###4549#0

Peter Ian May. Prof. Dr. - ENST/UM
(Membro Externo)

(Assinado digitalmente em 12/12/2024 15:19)

PPGEAAMB (12.28.01.00.00.00.40)

Matrícula: ###331#3

Henrique Vieira de Mendonça. Prof. Dr. - UFRRJ
(Membro Interno)

ATA Nº 6135/2024 - DeptAdT/IM (12.28.01.00.00.82)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/documentos/> informando seu número: **6135**, ano: **2024**, tipo: **ATA**, data de emissão: **12/12/2024** e o código de verificação: **3485442921**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, devo agradecer a Deus sem o qual não conseguiria chegar onde cheguei. Foi Ele que guiou meus passos, me deu sabedoria para lidar com momentos difíceis, saúde e coragem para enfrentar os dias.

Aos meus pais João Carlos Borges e Elissandra Lopes de Meyrelles Borges, por terem acreditado em mim e apoiado os meus sonhos. A minha irmã, Bruna de Meyrelles Borges, obrigada me incentivar e ajudar sempre que preciso, por ser minha melhor amiga. Muito obrigada pelo amor e carinho que sempre depositaram em mim, amo vocês mais do que posso escrever.

A todas as minhas amigas de vida acadêmica tão corrida quanto a minha, que mesmo de longe me apoiaram e incentivaram. Vocês merecem tudo que estão alcançando e muito mais. Agradeço a toda a minha família e amigos que oraram por mim e torceram para o meu melhor. Aos professores dessa universidade que sempre entenderam nossas dificuldades e apoiaram nossas ideias.

Aos Dr. Everaldo Zonta, Dr. Henrique Vieira de Mendonça, Dr. Alexandre Monteiro e Dra. Shana de Mattos por terem cedido os seus laboratórios, recursos e tempo para o projeto, se não fossem essas parcerias esse trabalho nunca teria sido concluído, obrigada pela confiança e dedicação. A todos os alunos, em especial William, Carol, Daniel, Jacob e Mônica, que ajudaram na construção, manutenção e análises deste trabalho, obrigada, vocês foram primordiais. Ao professor Dr. Peter Ian May, obrigada pela colaboração e partilha de conhecimento e por nos incentivar na construção e execução do nosso ATS.

Ao meu orientador Dr. Leandro Martins Fontoura, obrigada por me apresentar ao ATS, por toda compreensão e paciência e por me incentivar na trajetória que levou a este trabalho. Ao meu coorientador Dr. Antônio Carlos Abboud, obrigada por compartilhar seus conhecimentos e compreensão. Obrigada pela dedicação e confiança que depositaram em mim, sem vocês esse trabalho não seria finalizado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior - Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

*“Uma geração vai, e outra geração vem; mas a terra para
sempre permanece.”*

(Eclesiastes 1:4)

*“O futuro é território inexplorado, mas é no futuro que nós
(jovens), mais do que quaisquer outros, vamos passar nosso
tempo”*

(Kim Namjoon. ONU, 2018)

RESUMO

BORGES, Joyce de Meyrelles. **Implementação e Avaliação de um Purificador Biológico De Água Com Algas (PBA) Modelo, No Lago Açú, UFRRJ**. 2024. 61p Dissertação (Mestrado em práticas em desenvolvimento sustentável,). Instituto de Floresta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

Nas últimas décadas o debate sobre a qualidade e disponibilidade de água vem sendo discutido ao redor de todo o globo. A eutrofização de corpos hídricos é um dos problemas de maior importância na atualidade, tornando uma necessidade o desenvolvimento de estratégias que reduzam o carregamento de nutrientes na água. O Algal Turf Scrubber (ATS), mostra uma possibilidade inovadora de utilizar o metabolismo natural de algas na manutenção e recuperação de corpos hídricos. Os estudos feitos com o ATS demonstram sua eficácia e potencial para purificação de água e o desenvolvimento de muitas outras atividades, incluindo a produção de biocombustível, fertilizantes, entre outras. O presente trabalho teve como objetivo implementar um sistema modelo baseado na técnica ATS, o Purificador Biológico de Água com Algas (PBA), na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), para assim determinar o melhor fluxo e movimento de água para o crescimento da biomassa de microalgas, identificando e quantificando a biomassa e a água provida. Este trabalho também conta com a parceria entre a UFRRJ e a Universidade de Maryland através do professor doutor Peter May, unindo ainda o Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável (PPGPDS) e laboratórios da UFRRJ por meio do intercâmbio científico e tecnológico para a recuperação de corpos hídricos degradados. O PBA foi construído com vias de fluxo inclinado (1% de inclinação) com dimensões de 1 m de largura por 5m de extensão. Uma das rampas continha um sifão tipo Bell, que acumulava água e a despejava sobre a rampa criando um pulso de água necessário para estimular e aumentar o crescimento de algas anexas no caminho de fluxo; na segunda rampa, o fluxo testado foi o contínuo, para verificar a diferença de produção de biomassa entre os dois tipos fluxos. Sendo a vazão de aproximadamente 250 – 300ml/s. Os dados de produção de biomassa nas rampas foi, no pior momento, de 3,59g/ m²/dia na primeira semana da rampa de fluxo de ondas e a maior produção foi de 262,14g/m²/dia na terceira semana da rampa de fluxo contínuo, demonstrando uma capacidade grande de produção de biomassa. A rampa que possuía o fluxo contínuo de água obteve maior produção de biomassa que a de fluxo em ondas. O resultado dos nutrientes encontrados na biomassa foram uma média de 19,95% de Carbono, 20,11% de Nitrogênio na biomassa colhida nas três semanas do experimento. O sistema teve um índice de remoção médio de Carbono igual a 5,59 g/m²/dia, Nitrogênio 5,82 g/m²/dia. A identificação biológica da biomassa foi encontrada cianobactérias e algas verdes, sendo as espécies de cianobactérias: *Asterocapsa submersa*, *Dolichospermum spiroides*, *Aphanocapsa annulata*, *Romeria victoriae*, *Komvophoron schmidlei*, *Merismopedia punctata* e a *Oscillatoria perornata*. Das algas verdes foram as *Monactinus simplex*, *Desmodesmus maximus*, *Desmodesmus granulatus* e a *Coelastrum indicum*. A remoção de nutrientes observada sugere um potencial para o uso do PBA como um meio eficaz de tratamento de águas eutrofizadas, enquanto produz biomassa com potencial para a produção de biofertilizantes. Logo este estudo foi capaz de fornecer informações para futuras experiências de otimização de uso do PBA. O sistema continuará disponível para outras pesquisas com a biomassa de algas e qualidade da água após a finalização deste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: algal turf scrubber, eutrofização, ecotecnologia.

ABSTRACT

BORGES, Joyce de Meyrelles. **Implementation and Evaluation of a Biological Water Purifier with Algae (PBA) Model, in Lake Açú, UFRRJ.** 2024. 61p Dissertation (Master's degree in practices in sustainable development,). Forest Institute, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.

In recent decades, global discussions on water quality and availability have intensified, highlighting the critical issue of eutrophication in water bodies. Addressing this requires strategies to reduce nutrient loading. The Algal Turf Scrubber (ATS) presents an innovative solution by utilizing algae metabolism for water maintenance and recovery. Studies on ATS demonstrate its efficacy in water purification and its potential for producing biofuel, fertilizers, and other applications. This study aimed to implement a model system based on the ATS technique, known as the Biological Water Purifier with Algae (PBA in Portuguese), to optimize algal biomass growth and nutrient removal. The present work aimed to implement a model system based on the ATS technique, the Biological Water Purifier with Algae (PBA), at the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ), to determine the best flow and movement of water for the growth of microalgae biomass, identifying and quantifying the biomass and water from it. This research was a collaborative effort between UFRRJ and the University of Maryland, involving the Postgraduate Program in Practices in Sustainable Development (PPGPDS) and UFRRJ laboratories. The PBA ramps were inclined at a 1% slope, each measuring 1 meter in width and 5 meters in length. One ramp utilized a Bell-type siphon to create intermittent water pulses, while the other had a continuous flow, with a flow rate of approximately 250-300ml/s. Biomass production varied, with a minimum of 3.59 g/m²/day during the first week on the pulsed flow ramp, and a maximum of 262.14 g/m²/day in the third week on the continuous flow ramp. The continuous flow ramp yielded higher biomass production compared to the pulsed flow ramp. The harvested biomass contained an average of 19.95% carbon and 20.11% nitrogen, with removal rates of 5.59 g/m²/day for carbon and 5.82 g/m²/day for nitrogen. Biological analysis of the biomass identified cyanobacteria species such as *Asterocapsa submersa*, *Dolichospermum spiroides*, *Aphanocapsa annulata*, *Romeria victoriae*, *Komvophoron schmidlei*, *Merismopedia punctata*, and *Oscillatoria perornata*, along with green algae species *Monactinus simplex*, *Desmodesmus maximus*, *Desmodesmus granulatus*, and *Coelastrum indicum*. The nutrient removal rates suggest that the PBA system is effective for treating eutrophic waters and producing biomass suitable for biofertilizer production. This study provides valuable data for future research to optimize PBA use. The system remains available for ongoing studies on algae biomass and water quality improvement.

KEYWORDS: algal turf scrubber, eutrophication, ecotechnology

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Sistema ATS em funcionamento, sendo A e B localizados na baía de Chesapeake e C a vista aérea do purificador ATS da unidade S-154 usada para limpar a água da chuva de um canal ao norte do lago Okeechobee na Flórida.	15
FIGURA 2: Lago Açu eutrofizado	21
FIGURA 3: Lago Açu com vegetação densa	22
FIGURA 4: Fotos comparando o lago e a ilha da capivara em 2007 e em 2024.	22
FIGURA 5: Visão sistemática do tapete de algas produzido pelo sistema ATS.	24
FIGURA 6: Localização da área utilizada. O espaço delimitado é onde se encontra o PBA.	31
FIGURA 7: Localização das coletas de água para análise da presença de coliformes.	32
FIGURA 8: Projeto 3D das rampas do Purificador Biológico de Água com Algas.	33
FIGURA 9: Fotos A e B mostram a construção das rampas e foto C as rampas finalizadas.	36
FIGURA 10: Bocais de calhas no final das rampas.	37
FIGURA 11: Ilustração do funcionamento de um sifão Bell. Onde pelos Cortes em V a água entra no sistema e em Sifão a água é expelida pela pressão causada no sistema.	37
FIGURA 12: Fotos da construção e instalação do sifão Bell, onde A e B mostram a construção do sifão, C a estrutura de suporte da rampa e D o sifão instalado na rampa 1.	38
FIGURA 13: Rampas 1 e 2 no sétimo dia de funcionamento do sistema.	41

FIGURA 14: Processos de pesagem de massa úmida em A, rampa 1, em B e C rampa 2. Em D tem-se o processo de maceração da massa seca, E pesagem da massa seca rampa 1 e F rampa 2 40

FIGURA 15: Processo final de separação da água da biomassa de algas. 44

FIGURA 16: Microalgas e cianobactérias encontradas na biomassa. Sendo cianobactérias A: *Asterocapsa submersa*, B: *Dolichospermum spiroides*, C: *Aphanocapsa annulata*, F: *Romeria victoriae*, H: *Komvophoron schmidlei* e K: *Coelastrum indicum*. Algas verdes: D: *Monactinus simplex*, E: *Desmodesmus maximus*, G: *Desmodesmus granulatus*, I: *Merismopedia punctata*, e J: *Oscillatoria perornata* 46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Rendimentos, proteína bruta e composição elementar da biomassa de algas secas em comparação a silagem de milho e outras algas bentônicas.	28
TABELA 2: Valores em grama por metro quadrado da biomassa úmida e seca coletada das rampas	40
TABELA 3: Dados de desvio padrão e variância das massas úmidas e secas das rampas.	40
TABELA 4: Resultados das análises de carbono, nitrogênio, relação carbono-nitrogênio e fósforo, presentes na biomassa de algas no decorrer das semanas.	42
TABELA 5: Resultados das análises de fósforo, nitrogênio, oxigênio dissolvido e pH da água retirada das rampas 1 e 2.	43
TABELA 6: Lista de valores dos materiais utilizados na construção do PBA, com duas rampas de 1 metro de largura e 5 metros de comprimento.	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 A relação entre o PBA e o Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável.	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Central	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3 MARCO TEÓRICO	19
3.1 Eutrofização	19
3.1.1 Lago Açú	21
3.2 Ecotecnologia	23
3.3 Algal Turf Scrubber – ATS	23
3.3.1 História e Construção do ATS	23
3.3.2 Trabalhos e descobertas do potencial do ATS	26
4 MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 Localidade	31
4.2 Análise da água do Lago	31
4.3 Purificador Biológico de Água com Algas	32
4.4 Fluxos de Água	33
4.5 Remoção de nutrientes	34
4.6 Análise da água da biomassa – <i>Green Water</i>	34
4.7 Identificação dos organismos da biomassa	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Água do lago	34
5.2 Implantação do PBA	35
5.3 Fluxos de Água	39
5.4 Remoção de nutrientes	41
5.5 Análise da água da biomassa – <i>Green Water</i>	43
5.6 Identificação dos organismos da biomassa	44
5.7 Custo benefício	47

6 CONCLUSÃO	50
7 REFERÊNCIAS	53
ANEXOS	57
A - Materiais utilizados na construção das rampas e seus valores	57
B - Análise geral da água do lago	59

1 INTRODUÇÃO

No século XXI, tem-se debatido a crise da água, agravada pelas consequências das mudanças climáticas, que afeta a todo o planeta nos últimos anos. Segundo Rogers et al. (2006), essa crise é uma questão de gerenciamento do recurso. No entanto, para outros autores, ela é resultado de problemas ambientais agravados por questões econômicas e sociais (Gleick, 2000). As causas principais para a crise da água são: a intensa urbanização, o aumento da demanda pela água, o aumento da descarga de recursos hídricos contaminados, a infraestrutura pobre e em estado crítico, as mudanças globais que causam problemas de estresse e escassez e a falta de articulação e ações governamentais entre os recursos hídricos e sustentabilidade ambiental (Tundisi et al. 2008).

Esses problemas acarretam o aumento e exacerbação das fontes de contaminação, a alteração dos mananciais com a diminuição da disponibilidade, aumento da vulnerabilidade da população humana em razão de contaminação e a dificuldade de acesso à água potável e tratada. Esse conjunto de problemas interfere na saúde humana e pública, deteriorando a qualidade de vida e do desenvolvimento econômico e social. A posição central dos recursos hídricos quanto à geração de energia, produção de alimentos, sustentabilidade da biodiversidade e a mudanças globais. (Tundisi et al. 2008).

Há então, efeitos diretos da população humana sobre ecossistemas aquáticos, valendo a pena salientar que os mais preocupantes são aqueles que causam a eutrofização e a poluição dos sistemas ecológicos de água doce.

Focando na eutrofização, temos que ela pode ocorrer naturalmente ou ser induzida e agravada pela ação antrópica, ela ocorre devido ao aporte de nutrientes, principalmente fósforo em corpos de água (Sperling, 1996; Rocha, et al. 2009). Esse acontecimento acarreta no crescimento excessivo de plantas aquáticas, sejam planctônicas ou aderidas ao substrato, causando, um desequilíbrio do ecossistema aquático local e degradação da qualidade da água.

Devido a eutrofização, muitos corpos d'água estão perdendo sua capacidade de abastecimento de populações e de outros usos, como recreação e para finalidades turísticas. Por isso, vêm sendo intensificada a busca por informações sobre esse fenômeno. Ações antrópicas e pesquisas para atividades de monitoramento, prevenção e melhoria da qualidade da água estão sendo desenvolvidas, demonstrando a gravidade do problema e a necessidade de resolução do mesmo (Martini, et al. 2019). Há vários meios para controlar a eutrofização, desde os físico-químicos até os métodos em que se modificam, ou manipulam, as populações biológicas e microbiológicas (Mcqueen, Story, 1986; Hrbáček et al. 1961). Sistemas de engenharia ecológica, utilizando de ecossistemas com capacidade de remoção de nutrientes, vêm sendo desenvolvidos e apresentando bons resultados de redução do fósforo e de nitrogênio em corpos de água doce e salgada. Entre esses sistemas, tem-se o Algal Turf Scrubber (ATS) (Figura 1).

Figura 1: Sistema ATS em funcionamento, sendo A e B localizados na baía de Chesapeake e C a vista aérea do purificador ATS da unidade S-154 usada para limpar a água da chuva de um canal ao norte do lago Okeechobee na Flórida.



Fonte: Peter May (2023)

O ATS é um sistema desenvolvido baseando-se em comunidades naturais de algas que crescem nos recifes de corais. As algas localizadas em recifes de coral têm uma das mais altas produtividades da biosfera e isso se deve a grande quantidade de energia que convergem nesse sistema alga-coral, como as altas temperaturas, alta incidência de luz solar e o incremento do movimento das ondas. O ATS então, simula as condições de crista dos recifes com ondas de água bombeadas que fluem através de algas anexadas em rampas, com uma leve inclinação para manter um fluxo de água. As algas atuam na purificação de água, através da fotossíntese, retirando nitrogênio (N) e fósforo (P) e liberando oxigênio, através dos seus processos metabólicos naturais. As algas, que são cultivadas nas rampas e se desenvolvem de forma natural, são de tempos em tempos coletadas para que a cultura permaneça nova e altamente ativa, fazendo com que o potencial do ATS permaneça com o melhor desempenho. “Devido ao seu design modular e flexível, o ATS pode ser instalado em vários ambientes rurais para utilizar águas residuais ou água poluída de rios, lagos e costas para vários benefícios” (Adey, et al. 2011, p. 440. Tradução nossa). Além da redução da poluição da água, através da remoção de nutrientes, as algas aderidas e coletadas das rampas, tem grande potencial para tornarem-se complementação alimentar para animais e fertilizante. (Wilkie, Mulbry, 2002. Mulbry, et al. 2008) e ainda há estudos onde são utilizadas para a produção de biocombustível. (Witarsa, et al. 2020).

Observando o sistema ATS e seu grande potencial, esta pesquisa propõe uma versão que corresponde à realidade brasileira, o Purificador Biológico de Água com Algas (PBA). Onde será possível testar os resultados de um sistema baseado no ATS, porém adaptado à condição climática e econômica brasileira. Lembrado que as temperaturas no Brasil são

consideravelmente mais altas que as dos Estados Unidos, país originário da tecnologia ATS e o estado do Rio de Janeiro é um dos estados mais quentes do país.

Pensando também na sustentabilidade do sistema, os materiais utilizados serão de baixo custo e de fácil acesso a população brasileira, já pensando na possibilidade de a população local utilizar do sistema em suas propriedades e na redução de custos na compra de material caso municípios ou o próprio Estado decidam aderir ao sistema PBA para a manutenção e/ou reestruturação de corpos d'água. Outra questão sustentável que esse projeto pode abranger é a utilização de energia limpa para seu funcionamento. Uma vez que ele deve ficar exposto a luminosidade solar, placas solares para geração de energia são uma alternativa sustentável para a geração de energia.

1.1 A relação entre o PBA e o Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável.

No segundo semestre de 2019, no Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável (PPGPDS) foi elaborado um estudo base para implementação do projeto de purificação do Lago Açu, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) em parceria com a Universidade de Maryland UMD, no decorrer da disciplina de Práticas em Desenvolvimento Sustentável. O objetivo do estudo foi preparar uma base para a implementação do PBA e o mapeamento institucional para a identificação de potenciais parceiros. Foi avaliado que a UFRRJ possui muitas possíveis parcerias entre elas estão os parceiros institucionais como a coordenadoria de Relações Internacionais e Interinstitucionais (CORIN), o Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT), a Pró-Reitoria de Extensão (PROEXT) e a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG). Também foi estudada a possibilidade de parceria com os institutos da universidade estando entre eles os institutos de Agronomia (IA), o de Ciências Biológicas e da Saúde (ICBS), de Ciências Exatas (ICE), o de Florestas (IF), de Tecnologia (IT). Foi analisado, as possíveis parcerias externas à universidade tendo entre eles o PESAGRO-Rio, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro que viabiliza soluções tecnológicas e subsidia políticas públicas para o desenvolvimento rural do estado do Rio de Janeiro, em benefício da sociedade. Além da possível parceria com a prefeitura de Niterói para a renaturalização da Bacia do Rio Jacaré; a Embrapa e suas diversas linhas de pesquisa e a Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) com os programas de saneamento, entre vários outros parceiros externos que poderiam aderir ao projeto.

Ainda explorando o PBA e suas possibilidades dentro do desenvolvimento sustentável temos a sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Um dos subprodutos que pode ser produzido pelo sistema, são os biofertilizantes contribuindo para o objetivo 2, Fome Zero e Agricultura Sustentável. Além disso o PBA pode ajudar na manutenção e recuperação de corpos d'água afetados pelos altos índices de N e P dispensados pela agricultura intensiva, contribuindo também com o objetivo 3, Saúde e Bem-Estar e 6, Água Potável e Saneamento. O PBA também tem sido visado para a produção de energia, produzindo biogás, sendo possível realizar o objetivo 7, Energia Limpa e Acessível. Quando implementado em cidades, tendo o apoio da população e comunidades locais, ele pode alcançar o objetivo 11, Cidades e Comunidades Sustentáveis. Os objetivos 13, 14 que abordam a ação contra a mudança climática e vida na água, respectivamente, são alcançados pois, não é novidade no meio científico a alta capacidade das algas em absorver dióxido de carbono da atmosfera liberando oxigênio, contribuindo para a manutenção do sistema climático global.

Trabalhar em um projeto que utiliza desse metabolismo natural das algas para a purificação da água de rios, lagos, mar, entre outros corpos d'água, e ainda possui a capacidade de produção de coprodutos, é uma forma inteligente de contribuir com esses objetivos.

Além disso, este projeto conta com a parceria da Universidade de Maryland (UMD), através do Centro de Ecotecnologia de Algas e outros laboratórios e professores da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), contribuindo para que o ODS 17, Parcerias e Meios para a Implementação, também seja alcançado com este projeto.

Foi, então, observado a grande importância que o PBA teria para os departamentos da universidade e dos parceiros, tanto para desenvolvimento local de uma nova tecnologia ambiental, como para a melhoria da qualidade da água e produção de biomassa nos locais investigados nas pesquisas. Sendo assim, com o objetivo de fortalecer a parceria com entre a UMD e a UFRRJ e estabelecer um sistema multidisciplinar e institucional, surgiu em ambas as partes, o desejo de iniciar esse projeto na UFRRJ, intensificando o intercâmbio de conhecimento e experiências entre as universidades, criando também a possibilidade de novas parcerias. A instalação e estudo do funcionamento de um sistema PBA, no Lago Açú na UFRRJ pode colaborar com dados iniciais do potencial de biorremediação, na redução da poluição aquática, removendo nutrientes como N e P, e gerar coprodutos, sendo visado inicialmente, observar o potencial para a produção de biofertilizantes de liberação lenta, produzido através da biomassa das algas e da água retirada dela. Ademais, os dados coletados poderão contribuir em futuros estudos na área de sustentabilidade, produção de energia, produção de ração animal e ecotecnologias.

Esse projeto tem uma veia multidisciplinar altamente importante para sua execução, conseguindo reunir diversas áreas de pesquisa com diferentes objetivos. Neste trabalho contamos com a participação de laboratórios de vários institutos da universidade, como o laboratório de processamento de madeira do Instituto de Floresta, que contribui na escolha da madeira correta para o sistema, além de poderem testar futuramente outros tipos de madeira e entender sua duração em ambientes naturais. O laboratório de estudo da relação solo planta (LSP) do Instituto de Agronomia, também teve interesse em estudar as possibilidades de utilização da biomassa e água produzida como biofertilizantes. A parceria com o laboratório de bacteriologia (LaBac) do Instituto de Veterinária, foi uma das mais surpreendentes e ajudou a determinar a localização do PBA dentro da universidade. Ela foi estabelecida, pois o estado biológico e químico do Lago Açú é um interesse comum de estudo. Houve ainda participação do laboratório de bioenergia e tecnologias ambientais do Instituto de Tecnologia, quanto a identificação das espécies de microalgas.

Observando somente o nosso projeto podemos perceber o grande movimento em conjunto que esse sistema gerou e pode gerar dentro da universidade, abrindo outros ramos de pesquisa dentro dos laboratórios. Gerando, dessa forma, oportunidades para os diversos laboratórios, docentes e estudantes universitários, poderão exercer a ciência de uma forma ampliada, adquirindo muito além do conhecimento científico, pois também obterão vivência no meio científico que se encontram.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Avaliar o funcionamento de um modelo piloto de Purificador Biológico de Água com Algas - PBA no Lago Açu, na UFRRJ.

2.2 Objetivo Específico

- Implantar um modelo funcional para remoção biológica de nutrientes baseado em sistemas do tipo Algal Turf Scrubbers (ATS);
- Analisar a qualidade da água do lago Açu;
- Avaliar e calibrar o desempenho de duas estruturas de PBA, com ondas e com sistema de fluxo contínuo no lago Açu da UFRRJ;
- Quantificar a biomassa e o teor de macronutrientes das algas coletadas nos dois modelos do PBA;
- Analisar a água resultante da biomassa de algas;
- Identificar os organismos presentes na biomassa produzida pelo PBA.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Eutrofização

A eutrofização pode ser considerada um processo natural. Quando ocorre dessa forma, ela é um resultado do acúmulo de nutrientes trazidos pelas chuvas e águas superficiais que erodem a superfície do solo. Causa dessa forma, o acúmulo de nutrientes minerais, sendo P e N os principais, aliado ao acúmulo de matéria orgânica trazida pelos cursos de água e o desenvolvimento exacerbado de fitoplânctons, observa-se o aparecimento frequente de *blooms* de algas (Rocha, et al. 2009; Wetzel, 1993).

Assim, os corpos de água são considerados eutrofizados ou em processo de eutrofização, quando o número de plantas aquáticas, sejam planctônicas (movem-se livremente pela água) ou aderidas (fixas, enraizadas), crescem excessivamente e causam interferências no corpo d'água (Sperling, 1996). A ação humana, no entanto, pode causar e agravar esse processo.

O índice de estado trófico (IET) tem por finalidade estabelecer os diferentes graus de trofia do corpo de água que está sendo analisado. Ou seja, ele avalia a qualidade da água em relação ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas. Os resultados do índice são calculados a partir dos valores de fósforo e devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo (Lamparelli, 2004).

Os níveis tróficos são divididos em seis, sendo eles: Ultraoligotrófico, que possui IET igual a 47 e são corpos de água de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água. Oligotrófico, possui IET entre 47 e 52, possuem baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes, têm concentrações muito baixas de fósforo total, geralmente abaixo de 10 µg/L. Essa baixa concentração de fósforo limita o crescimento das plantas aquáticas e das algas. Mesotrófico, IET entre 52 e 59, possuem produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos., possuem concentrações moderadas de fósforo total, geralmente variando entre 10 µg/L e 30 µg/L. Essa faixa de concentração pode suportar uma produtividade biológica moderada. (Cetesb, 2007; Esteves, 1988.)

Eutrófico, IET entre 59 e 63, tem alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos, têm concentrações mais elevadas de fósforo total, frequentemente acima de 30 µg/L. Supereutrófico, IET entre 63 e 67, alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos. Hipereutrófico, IET acima de 67, são corpos de água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas. As concentrações de fósforo total podem ser muito altas, geralmente acima de 100 µg/L (Cetesb, 2007).

Um lago que está próximo a matas e florestas naturalmente apresenta níveis mais baixos de produtividade, ou seja, pouca atividade biossintética. As matas ciliares têm papel fundamental de barreira física entre o ambiente terrestre e o aquático, funcionando como um

filtro da água de escoamento das adjacências, onde ficam retidos sedimentos, produtos tóxicos e nutrientes eutrofizantes (Rocha, et al. 2009).

Com o desmatamento dessas áreas, a matéria orgânica alcança o lago através dos cursos d'água e o acúmulo de nutrientes ocorre a partir da sedimentação e decomposição dessa matéria. Isso aumenta o número da população de plantas aquáticas, o que pode acarretar na eutrofização do lago (Sperling, 1996).

Na agricultura e na pecuária, o primeiro impacto é novamente causado pelo desmatamento que deixa o solo desnudo, ficando exposto à lixiviação, que carrega matéria orgânica de vegetais e microfauna e se for mais profunda pode promover uma lavagem de nutrientes nas camadas subsequentes, por exemplo, pode acarretar um acúmulo de N e P no corpo d'água (Rocha, et al. 2009).

Isso causa a redução da infiltração de água no solo, por falta da cobertura vegetal e então o excesso de nutrientes, vindos da fertilização, escoam para o lago. Algumas das soluções urgentes nessa área são: a avaliação da água virtual (utilizada na agricultura), o desenvolvimento de tecnologias para eliminar desperdícios e melhorar o desempenho na irrigação e introduzir o reúso de água (Tundisi, 2008).

Uma significativa ocupação humana também pode acarretar em uma série de consequências e, aqui, a degradação é bem mais rápida.

“A urbanização reduz também a capacidade de infiltração das águas no terreno. As partículas de solo tendem, em consequência, a seguir pelos fundos de vale, até atingir o lago ou represa. Aí, tendem a sedimentar, devido às baixíssimas velocidades de escoamento horizontal.” (Rocha, et al. P. 64, 2009)

Há também um maior aporte de nutrientes que são levados pela drenagem urbana. Os esgotos também são responsáveis por uma contaminação rápida, pois levam altas concentrações de N e P e outros nutrientes (Sperling, 1996). A contaminação também pode levar a proliferação de coliformes totais e termotolerantes como *Escherichia coli*. Essas bactérias normalmente são encontradas no trato intestinal, mas algumas cepas podem causar infecção no trato urinário, digestivo e outras partes do corpo (Bush, 2022).

Esse processo acelerado pode causar liberação de gases com odor e possivelmente tóxicos, concentração elevada de matéria orgânica que é tratada com cloro e assim podem produzir substâncias carcinogênicas e as cianobactérias, que em excesso, liberam altas concentrações de toxinas (Veiga, 2011; Martini, 2018).

A eutrofização é apontada como um dos exemplos mais claros da influência do homem na biosfera (Silva, 2018). Os problemas causados por ela são diversos e podem ser estéticos com a diminuição do uso da água para recreação, pois há o crescimento excessivo da vegetação, o aumento no número de insetos e eventuais mal odores, além da alta mortalidade de peixes.

Outro efeito negativo é a condição anaeróbica do fundo, com a elevação da concentração de bactérias heterotróficas, há um consumo exacerbado de oxigênio dissolvido na água. Assim, as bactérias anaeróbicas presentes no fundo do corpo d'água, se multiplicam e a partir do metabolismo anaeróbio delas, compostos e elementos no estado redutor aumentam, causando problemas no abastecimento de água, por causa do ferro e do manganês na forma solúvel, a concentração de fosfato solúvel aumenta sendo fonte para as algas que crescerão ainda mais e o gás sulfídrico que causa toxicidade e mal odor. A grande quantidade desses compostos nessas condições pode levar à mortalidade dos peixes (Sperling, 1996).

Além desses fatores, há ainda, cianobactérias que liberam cianotoxinas. Quanto maior o grau de trofia do corpo d'água, maior serão os custos de tratamento da água, seja para consumo ou recreação, pois há necessidade da remoção das algas, da cor, do sabor, odor e o gasto com os produtos químicos.

3.1.1 Lago Açu

O Lago Açu, também conhecido como lago do IA, é um lago artificial construído na década de 1970, sendo alimentado, na época, pelas águas do rio Guandu e tendo aproximadamente 8 hectares, sendo um dos principais pontos de recreação e paisagem estética da UFRRJ. Com o passar dos anos e com o alto custo de manutenção do lago, o sistema de bombeamento das águas foi sendo deteriorado.

O lago passou a receber água de um pequeno riacho que atravessa o campus e a urbanização da região fez com que o esgoto não tratado fosse despejado no riacho, desencadeando o processo de eutrofização do lago.

Com o acúmulo de nutrientes, a eutrofização do lago teve seu ápice na década de 1980 (Lopes, 2007; Araújo, 2007). Registros do lago no auge da eutrofização mostram a proliferação de gigogas, que são macrófitas de água doce ou salobra. Elas proliferam nas águas poluídas por esgotos domésticos, e esse era o caso do lago. As figuras 2 e 3 foram retiradas de um registro em vídeo institucional da UFRRJ onde, apesar da qualidade de imagem não ser boa, é possível ver o lago eutrofizado.

Figura 2: Lago Açu eutrofizado.



Fonte: UFRRJ, 2006

Figura 3: Lago Açú com vegetação densa.



Fonte: UFRRJ, 2006

Muitas tentativas de recuperação do lago foram feitas, até que em 2007 o lago foi revitalizado e a rede de esgoto foi desviada. A partir daí foram implementados projetos de pesca e a comunidade acadêmica e da região de Seropédica foram beneficiadas (Araújo, 2007).

Atualmente o lago já não possui as atividades de pesca recreativa e conta com a presença de grande quantidade de capivaras, uma possível descarga de efluentes líquidos e a alta probabilidade de o lago estar assoreado, o que contribui para um novo processo de eutrofização.

Por essas razões o lago Açú foi escolhido para a implementação do PBA. A figura 4, mostra a diferença entre o lago da época em que foi reestabelecido e o atual, com a visão da ilha da capivara.

Figura 4: Fotos comparando o lago e a ilha da capivara em 2007 e em 2024.



Fonte: UFRRJ, 2007. Autora, 2024

Podemos observar que a ilha da Capivara sofreu uma mudança grandiosa. Hoje ela é uma área com densa vegetação. Outro ponto a ser comentado é o nome da ilha ter sido dado em homenagem as muitas capivaras que fizeram da ilha e do lago seu habitat. A água do lago não aparenta diferença nas fotos, porém é possível ver presencialmente um tom forte de verde em alguns pontos específicos dele, nos dias atuais.

3.2 Ecotecnologia

Observando as estruturas utilitaristas da nossa sociedade e a noção da vulnerabilidade que nossos sistemas naturais se encontram, se tem uma urgência em reformular o comportamento humano para um futuro sustentável. No contexto global, tem-se a Agenda 2030, criada pela Organização das Nações Unidas (ONU), observando quatro principais dimensões: social, ambiental, econômica e institucional. Ela enumera 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que devem ser alcançados, incluindo ações nas áreas de segurança alimentar, saúde, educação, igualdade de gênero, redução das desigualdades, erradicação da pobreza, para assim construir uma realidade sustentável.

Pensando dessa forma, a sustentabilidade apresenta-se como um caminho para a transformação do pensamento humano, a partir de novos conceitos e olhares, propondo um equilíbrio entre a economia, o social, o ambiental e a cultura de uma dada realidade. Surge então o desafio de repensar a humanidade e sua interação com o mundo físico, assim como os seus processos e resultados, utilizando um novo olhar sobre o conceito de eficiência (Araújo, Tassigny)

A Ecotecnologia tem como base a junção da ecologia com engenharia e estuda métodos, técnicas e dispositivos de baixo custo e com nenhum ou baixo dano ecológico. Consiste, assim, na articulação entre os níveis ecológicos, culturais e tecnológicos de um dado contexto ambiental.

“A efetivação de um modelo de desenvolvimento ecotecnológico, bem como de uma racionalidade ambiental que o fundamente, deve fazer parte de um projeto histórico mais amplo, conduzido pela sociedade civil, através da conscientização, reivindicação e atuação dos movimentos sociais, sejam de caráter ambiental, étnico, cultural, “consumerista” ou simplesmente cívico” (Alves, et al. p.12-13).

Sendo assim, para ser uma ecotecnologia, é necessário a integração entre as diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável. Estudos referentes às novas ecotecnologias de remediação podem oferecer novas opções para controle da interferência humana no meio e da prevenção de desastres e podem ser empregados para interligar diversas áreas de pesquisa. (Giannetti, et al. 2003)

3.3 Algal Turf Scrubber - ATS

3.3. 1 História e construção do ATS

O sistema ATS teve início com a observação das algas presentes em recifes de corais que mantinham os níveis de nutrientes baixos no local. O nome dado a essas algas que ficam na interface água-substrato é perifíton. Ele é composto por uma comunidade complexa de: microrganismos (bactérias, fungos, algas e pequenos animais), detritos inorgânicos e orgânicos. As algas que compõem o perifíton são denominadas de algas perifíticas.

A comunidade dessas algas juntamente as epífitas são reconhecidas como produtores primários, pela sua relação com o fluxo de energia e sistemas com baixo teor de nutrientes. Há muitos estudos que discutem a relação dessa comunidade, um deles é de 1955, escrito por Howard T. Odum, em Silver River, na Flórida, Estados Unidos da América (EUA) que estudou a interação da *Vallisneria* sp., uma planta vascular submersa e o papel das epífitas que se desenvolvem sobre ela ajudando na estabilização, distribuição do fluxo de energia e material dentro do sistema de água doce em que elas se encontravam.

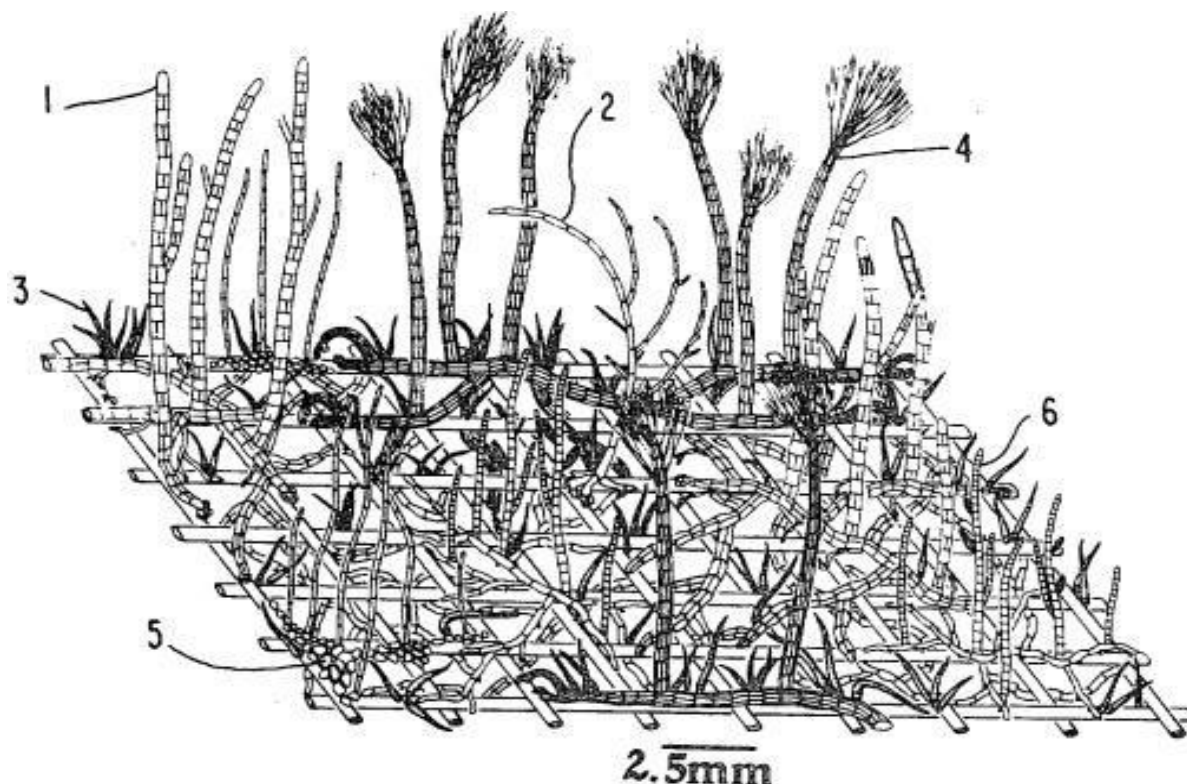
Em recifes de corais marinhos, essas comunidades de algas recebem intensa ação de ondas, fortes correntes e luz do sol abundante, fazendo com que a fotossíntese e a produção primária ocorram em grande velocidade, gerando uma grande quantidade de material vegetal. A maior parte da produção primária desses recifes de águas rasas é realizada por um grupo de

algas pequeno e aparentemente insignificante, conhecido como *algal turf* (Tapete de algas). Essa massa de algas tem a vantagem de ser majoritariamente fotossintética, pois a estrutura das algas é composta normalmente por filamentos não diferenciados em formas ou funções especializadas, tendo assim a função fotossintética em todo o seu corpo. (Adey, 1989. Adey, Loveland, 2007)

“Muitas algas são oportunistas, porém conhecidas por uma capacidade extraordinária de alcançar produtividade massiva e de curto prazo quando nutrientes suficientes estão disponíveis. As soluções de algas para a eutrofização são muito promissoras em termos de eficiência necessária e altamente aprimorada da ecotecnologia reciclável” (Adey, p. 30, 1993. Tradução nossa).

Observando o papel das algas na manutenção de níveis baixos de nutrientes em recifes de corais e a capacidade desses organismos em sustentar os níveis relativamente altos de produtividade sob condições oligotróficas, “Sua taxa real de produção é de 5-20 g de peso seco por m²/dia, uma taxa várias vezes maior que a da maioria das plantas terrestres, incluindo culturas agrícolas cuidadosamente cuidadas e fertilizadas” (Adey, Loveland, p. 159, 2007. Tradução nossa). Walter H. Adey juntamente com McLean Va, desenvolveram o ATS, obtendo a sua patente em 1982. O ATS é um sistema de cultivo de comunidade de algas bentônicas ou anexadas, conforme ilustrado na figura 5, que podem ser usadas para a melhoria da qualidade da água, remoção de nutrientes e/ou contaminantes de estuários, águas marinhas ou doces. Neste último caso, ele pode ser chamado de depurador de perifíton. Além de ser um método de produção de uma biomassa de alga. Algas autóctones e o seu metabolismo natural capturam substâncias como N e P da água e dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera, liberando oxigênio (O₂).

Figura 5: Visão sistemática do tapete de algas produzido pelo sistema ATS.



Fonte: Adey (1982)

Em ambiente tropical, as algas encontradas podem ser resumidas a estes principais subgrupos: algas verdes, marrons, vermelhas, verde azuladas e diatomáceas, sendo a primeira colonização feita por diatomáceas.

Após o período de colonização das diatomáceas, há colonização pelas cianobactérias, em ambientes com muita luz e pelas algas vermelhas em ambientes sombreados. As algas verdes e marrons estão presentes em menor quantidade (Adey, Loveland, 2007). A colheita das microalgas deve ser realizada antes que as macroalgas colonizem e cubram as microalgas e/ou antes da turfa se desfazer. Isso mantém a produção em níveis altos e evita a predação da turfa por anfípodes (Ordem do subfilo Crustacea) ou insetos quironomídeos (Família de mosquitos, Ordem Diptera).

Para que haja o crescimento das algas e fixação dos filamentos basais das algas, é necessário que a base onde as algas crescerão seja grosseiro a ponto das algas filamentosas se fixarem e permanecerem até a colheita, podendo ser uma tela de plástico ou outro material em grade com dimensões, preferencialmente, entre 0,5 a 5mm, assim após a raspagem os filamentos rapidamente se regeneram substituindo o material retirado.

Não tendo um tipo específico de algas, os principais grupos são as de algas bentônicas, o que exige um cuidado com o movimento das ondas, para que elas não sejam varridas do local e quando expostas a alta velocidade de fluxo da água elas podem atingir taxas de absorção mais altas, mesmo que não haja um aumento na concentração de nutrientes e dos níveis de luz. Quando não há movimento de onda, os estudos realizados em áreas temperadas mostram uma queda radical na eficiência dos mecanismos fotossintéticos das algas.

Percebeu-se que o movimento também ajuda a misturar os metabólicos, facilitando a troca dos nutrientes necessários e eliminando aqueles dispensados pelas algas. (Adey, Loveland, 2007)

“A energia da velocidade da corrente impulsiona o metabolismo biológico e as reações químicas, enquanto o fluxo de água facilita a absorção de nutrientes, trazendo metabólicos para os locais de reação e levando embora os resíduos” (Craggs, et al., p. 151, 1996. Tradução nossa).

A invenção de Walter H. Adey e McLean, V. A. teve como um dos objetivos a substituição de filtros bacterianos de aquário. Esses filtros consomem oxigênio, produzem CO₂ e reduzem o pH, também aumentam os níveis de nutrientes reativos e todos esses efeitos são considerados contraproducentes para a eficiência do aquário. Já o ATS, com a incidência de luz, libera O₂, consome CO₂ e aumenta o pH, além de remover nutrientes reativos.

Outro objetivo foi a remoção de nutrientes e contaminantes de águas poluídas. Os esgotos municipais e industriais, normalmente, não conseguem reduzir os nutrientes existentes nessas águas residuais e também pode conter uma grande variedade de poluentes, como metais pesados. Nos testes iniciais feitos na invenção os resultados para a remoção de nutrientes foram mistos, mas conseguiu-se a remoção de N e P da água poluída.

Com base nesses resultados promissores foi registrada uma patente aberta da invenção do ATS e percebeu-se que “este sistema pode ser usado para evitar a eutrofização pelo consumo de nutrientes através da formação de biofilme perifítico como tecnologia preventiva com alta produtividade de biomassa” (Martini, et al., p. 1, 2019. Tradução nossa).

A remoção de P pelo ATS foi estudado em um artigo de 1993, por Walter Adey, et al., e realizado na Flórida, EUA, os pesquisadores esperavam que as algas, presentes em um sistema controlado, removessem o P com mais eficiência, do que na forma de vida natural delas. O estudo foi feito em um escoamento agrícola em uma área agrícola de Everglades. A produtividade do ATS demonstra um excesso de 15g de peso seco/m²/dia na água do mar com concentrações de menos de 0,5 µMP/PO₄ = (1.5ppb). Com concentrações de P de 0,012-0,148 ppm, os níveis médios de produção da biomassa seca de macro recuperação foram de 15-27

g/m² por dia. O teor médio de P na biomassa colhida foi de 0,34% a 0,43%. Em uma pista de 15,2 metros, independente da concentração, a remoção foi de 16,3% do fósforo total na faixa de 0,025-0,125mg/l. Houve uma redução alta e significativa de todas as espécies de P como por exemplo, os ortofosfatos. Essa redução está intimamente ligada com a remoção da biomassa (Adey, 1993).

Na Holanda, Joshua e Marc (2015) utilizaram o ATS para a remoção de nitrogênio em aquicultura intensiva. O sistema foi submetido a altas cargas de nutrientes de um efluente de criação de bagres africanos. A água do efluente primeiro era desviada para um tanque coletor, onde era homogeneizada e depois passava pelo ATS. No primeiro dia da terceira semana com o biofilme ainda jovem, o valor de remoção foi 1,58 mg/L de nitrogênio amoniacal e no dia sete da quarta semana com o biofilme maduro foi de 1,68 mg/L. A taxa média de acúmulo e remoção de nitrogênio amoniacal total no biofilme mais jovem foi de 0,656 a 0,088 e 0,0020 a 0,00141 g/m²/dia, respectivamente. A remoção de nitrogênio amoniacal diminui conforme há aumento do acúmulo de matéria seca na biomassa. “As taxas máximas de absorção de TAN observadas (0,302 a 0,098-0,656 a 0,088 g/m²/dia TAN) foram superiores aos relatados na literatura” (Valeta, Verdegem, p. 949, 2015. Tradução nossa).

Isso pode ter ocorrido devido a altas cargas de TAN e de carregamento da biomassa, além da colheita parcial que revigorou o reator e desenvolveu um contínuo biofilme jovem. O nitrogênio foi assimilado no perifíton ou volatilizado, e o restante acumulou na biomassa do ATS. Em resumo, a taxa de N removido não foi afetada pelas concentrações totais de sólidos suspensos de até 0,04 e 0,08 g/L, biofilme jovem e maduro, respectivamente.

A carga máxima total de TAN registrada foi de 3,76 e 3,81 g/m²/dia. “A alta taxa de remoção de TAN foi atribuída ao alto carregamento e colheita parcial do perifíton, que restaurou a nitrificação e o potencial de absorção das bactérias e algas no biofilme jovem” (Valeta; Verdegem, p. 950, 2015. Tradução nossa).

Em 2007, no livro *Dynamic Aquaria* de Adey e Loveland, os autores relatam que pesquisas com o ATS tem sido executadas pelos autores do livro, pelo Laboratório de Sistemas Marinhos do Smithsonian e seus colaboradores para controle de qualidade de água em mais de 25 microcosmos e mesocosmo de costões rochosos de recifes de corais, riachos, estuários e lagos, tendo sistemas em funcionamento a mais de 10 anos e um deles se aproximando dos 30 anos (Adey, Loveland, 2007). “As unidades ATS funcionam para controlar nutrientes, níveis de oxigênio, sistemas de carbonato, incluindo calcificação (através do controle de CO₂) e para minimizar compostos tóxicos do ambiente local criado pelo homem” (Adey, et al., p. 489, 2013. Tradução nossa). Seu uso foi ampliado pela HydroMentia, Inc. para a remoção de nutrientes em águas abertas durante a década de 1990 e início do século XXI.

3.3.2 Trabalhos e descobertas do potencial do ATS

Diversos estudos já comprovaram a eficiência do ATS na remoção de nutrientes de águas residuais. Rupert J. Craggs et al. (1996) utilizou o sistema ATS junto a uma tecnologia ultravioleta (UV) de desinfecção, em um mesocosmo de córrego na Califórnia, EUA. Neste trabalho considera-se microcosmo como tendo dimensões de bancada de laboratório e mesocosmo tendo dimensões do tamanho de uma sala ou maiores.

Este sistema foi usado em níveis de esgoto secundário. O canal para a colonização das algas era inclinado e com 152 metros de comprimento e 6,37 de largura, sobre o qual fluía a água residual em uma série de ondas. Quando o sistema ATS/UV estava completo e funcionando, o mesocosmo reduzia as concentrações de todos os nutrientes no efluente.

A alcalinidade, condutividade e dureza da água residual também tiveram reduções e a temperatura, a concentração de O₂ dissolvido e o pH aumentaram. A concentração de oxigênio dissolvido no efluente foi de 100-300% de saturação, essa alta concentração pode ter

contribuído para a quebra de compostos orgânicos complexos e redução da demanda química de oxigênio. Houve uma redução do teor de N total de 3,3% durante o trimestre de outono e a concentração calculada de nitrogênio dos sólidos voláteis foi de 7,3%. A maior redução de P pelo ATS foi de até 80%, na taxa de carga hidráulica mais baixa (436 m³/dia) durante o trimestre do outono.

“Os resultados apresentados neste artigo indicam o potencial de um mesocosmo de fluxo controlado para a remoção de nutrientes de águas residuais tratadas secundárias. A simplicidade do ATS e a facilidade com que a configuração e os parâmetros operacionais, como carga hidráulica, comprimento do fluxo e período de colheita, podem ser alterados devem permitir o controle do processo e a otimização do sistema de tratamento de efluentes com proporções de contaminantes altamente diferentes” (Craggs, et al., p. 167, 1996. Tradução nossa).

Walter Mulbry e Ann Wilkie (2002) enxergam no ATS uma potencial solução para cumprir com as rigorosas leis ambientais nos EUA. Eles tinham como objetivos avaliar as taxas de absorção de nutrientes e a produção de proteína bruta em comparação a um sistema de cultivo convencional. Cultivando biomassa, através da energia solar, concentrando nela nutrientes das águas residuais de fazendas leiteiras. A coleta das amostras de estrume foi feita de três lugares diferentes, dois deles da mesma localidade, Dairy Reaserch Unit (DRU), em Beltsville (USDA), sendo um esterco bruto sem tratamento removido de forma mecânica e outro digerido anaerobicamente e a terceira amostra vinda da Universidade da Flórida (UF), foi coletada do efluente de quatro digestores. Os dois lugares diferem, pois, o sistema da USDA DRU é uma raspagem mecânica do esterco, enquanto o da UF DRU usa um sistema de descarga hidráulica.

As proporções de NT:PT (Nitrogênio Total: Fósforo Total), de ambos os estrumes digeridos é semelhante e o esterco não digerido da USDA tem níveis 4 vezes menor em comparação com o digerido da mesma localidade. Além disso, os níveis de nitrogênio de amônia encontrados no esterco digerido da USDA são 5 vezes maiores que o não digerido da mesma localidade.

As taxas diárias de produção de algas foram as mesmas para todas as amostras de esterco. O esterco digerido UF tinha um teor de NT 4110mg/kg, o esterco diluído tinha NT 89 mg/L, sugerindo uma concentração de N 46 vezes maior que o digerido. As algas reteram em média 5,8% do total de sólidos (TS) quando raspadas da tela. Se houver a desidratação das algas para 40% TS, o produto resultaria em um fertilizante de teor NT 2,8%.

Os custos para a secagem da biomassa são altos, porém se ligados a um sistema de digestão anaeróbica onde a energia é recuperada, o custo pode ser mínimo. A concentração proteica da biomassa foi avaliada. Segundo Hindak e Pribil, 1968, a estrutura lamelar das paredes celulares das algas bentônicas, podem aumentar a entrada de enzimas pépticas e isso pode ser a razão pela maior disponibilidade de proteínas. A digestibilidade proteica das algas in vitro, sem pré-tratamento, da *Ulothrix* e *Stigeoclonium* foi 91% e 90%, respectivamente, e a *Scenedesmus* 71%.

Sabendo disso, os autores trazem uma tabela onde se encontra os valores de rendimento, proteína bruta e composição elementar de algas secas em comparação à silagem de milho (ingrediente usado tipicamente como ração para animais de grande porte). (Tabela 1). “A biomassa de algas colhida é uma fonte de proteína de alto grau, que pode ser usada para substituir uma parte do conteúdo de proteína da ração animal importada em uma fazenda” (Wilkie, Mulbry, p. 81, 2002. Tradução nossa). Comparando os valores pode se observar que o nível de proteína, das algas bentônicas da biomassa, é superior ao da silagem de milho, ainda que não sejam as algas cultivadas com estrume, assim como níveis de N e P.

Tabela 1: Rendimento, proteína bruta e composição elementar da biomassa de algas secas em comparação com silagem de milho e outras algas bentônicas.

Table 3

Yield, crude protein, and elemental composition of dried algal biomass compared to corn silage and other benthic algae

	Manure source			Corn silage ^a	Other benthic algae ^b
	USDA undigested	USDA digested	UF digested		
DM yield (kg ha ⁻¹ yr ⁻¹)	19500	19500	20200	15700	72000
Crude protein (% of DM) ^c	31	31	44	7	19
N (mg kg ⁻¹)	49900 (±6340) ^d	49200 (±8680)	70900 (±4400)	11000 nd ^e	30900 nd
P (mg kg ⁻¹)	20600 (±5030)	15400 (±1710)	14700 (±2240)	2500 nd	20720 nd
K (mg kg ⁻¹)	16300 (±3120)	11300 (±1350)	17200 (±1580)	10900 nd	7230 nd
Ca (mg kg ⁻¹)	10900 (±2130)	8040 (±1720)	18400 (±3760)	3600 nd	33700 nd
Mg (mg kg ⁻¹)	5340 (±1290)	4520 (±532)	4170 (±448)	1800 nd	29500 nd
B (mg kg ⁻¹)	20.3 (±4.6)	21.0 (±5.8)	26.0 (±2.0)	nd	nd
Cu (mg kg ⁻¹)	84.1 (±17.6)	55.9 (±24.0)	106.0 (±13.3)	5.0 nd	30 nd
Fe (mg kg ⁻¹)	1790 (±454)	1060 (±262)	754 (±230)	nd	14800 nd
Mn (mg kg ⁻¹)	310 (±72)	241 (±38)	304 (±42)	70 nd	320 nd
Mo (mg kg ⁻¹)	2.74 (±0.88)	2.28 (±0.22)	1.38 (±0.20)	nd	nd
Si (mg kg ⁻¹)	158 (±54.9)	100 (±18.8)	1640 (±370)	nd	nd
Zn (mg kg ⁻¹)	396 (±72.0)	223 (±70.0)	419 (±81.0)	33 nd	170 nd
Al (mg kg ⁻¹)	802 (±184)	583 (±93.3)	2170 (±612)	nd	17060 nd
Ba (mg kg ⁻¹)	29.8 (±11.20)	24.6 (±8.99)	11.1 (±7.89)	nd	nd
Cd (mg kg ⁻¹)	0.41 (±0.08)	0.41 (±0.13)	0.18 (±0.10)	nd	nd
Ni (mg kg ⁻¹)	3.8 (±0.78)	2.0 (±0.65)	2.2 (±0.86)	nd	nd
Pb (mg kg ⁻¹)	5.9 (±1.4)	7.7 (±2.4)	4.5 (±1.3)	nd	nd

^a Corn silage data from NRCS (1999).

^b Other benthic algae data from Craggs et al. (1996a,b).

^c Crude protein calculated as 6.25 times TKN content on dry matter (DM) basis.

^d Values in parentheses are standard deviations ($n = 9$).

^e nd – no data given.

Fonte: Mulbry, Wilkie. (2002)

Há um potencial de utilizar a biomassa algal como biofertilizante, já que as algas bentônicas possuem níveis altos de nutrientes essenciais às plantas, e para a correção do solo, seja para a produção agrícola ou exportação de nutrientes, por meio da venda da biomassa das algas. Tem sido avaliada melhorias na estabilidade do solo com a aplicação das algas, elas podem minimizar a erosão, a aeração do solo, a filtragem de água, o desenvolvimento das raízes, o uso de fertilizantes e a aumentar a capacidade de retenção de água. Fazendas de laticínios com terra de cultivo arenosa podem se beneficiar da aplicação da biomassa de algas bentônicas, podendo diminuir a demanda de irrigação, melhoria da retenção dos nutrientes e reduzir o potencial de contaminação das águas subterrâneas. Combinar o sistema de cultivo com a produção de biomassa de algas pode facilitar a produção agrícola, tornando-a mais eficiente e facilitando o manejo de nutrientes agrícolas, tornando as operações mais sustentáveis. (Wilkie, Mulbry, 2002) Por isso, esse sistema tem ganhado a atenção de estudiosos com a intenção de utilizá-lo com propósitos diversos, aproveitando todas as possibilidades da biomassa de alga produzida por ele.

“O uso combinado de ATS para recuperar nutrientes de águas eutróficas e produzir coprodutos de biomassa de algas, como biocombustíveis, correções de solo ou extratos de alto valor, reduz os custos de ambos os processos” (Adey, et al., p. 490, 2013. Tradução nossa).

O trabalho de Mulbry, et al., em 2010, teve como foco avaliar a remoção de nutrientes nos estuários de Chesapeake, situados no nordeste dos EUA. O sistema ATS sendo construído em escala agrícola e podendo ser alocados em terras de baixo custo, oferece um meio sustentável e verificável de remoção de nutrientes, além da biomassa colhida que pode ser utilizada como fertilizante orgânico de liberação lenta e matéria prima de biocombustível extraível ou fermentável.

A biomassa era coletada de 6-8 dias, peneirada por uma rede de nylon de 2mm até ter aproximadamente 10% dos sólidos e seca ao ar a 25°C. Os sólidos colhidos eram moídos (moinho Wiley), passavam por uma peneira de 3mm e selados a 20-25°C. Depois eram analisados a umidade, cinzas, nitrogênio Kjeldahl total (TKN) e fósforo total (TP). Foram colhidas amostras da água do rio também, acidificadas para pH 3-5, com a adição de ácido sulfúrico 6N e armazenadas a 4°C antes da análise de TKN e TP. “Os valores de recuperação calculados mostram que as algas lavadas constituíam 40-50% da massa seca total colhida, 65% do N total e 45-55% do P total” (Mulbry, et al., p. 539, 2010. Tradução nossa).

Mostrando que um sistema ATS, em pequena escala, “no melhor caso (local do rio Patuxent de maio a outubro de 2007), taxas diárias de remoção de 250 mg N e 45 mg P m⁻² são equivalentes a taxas de remoção de 375 kg N e 68 kg P ha⁻¹ durante um período de 150 dias” (Mulbry, et al. 2010, p. 540. Tradução nossa). “A redução da poluição da água associada ao baixo custo da tecnologia ATS e dos coprodutos que ela gera pode representar um grande ganho ambiental” (Martini, et al., p.1, 2019. Tradução nossa).

O potencial para a produção de biocombustível utilizando algas tem sido cada vez mais explorado. As microalgas são uma fonte renovável de biodiesel que tem capacidade para atender à demanda global. Para que o biocombustível seja o mais correto possível, deve-se pensar em matérias primas com baixa emissão de gases do efeito estufa e que não competem com a produção de alimento. Sendo assim, as algas têm vantagem em ambas as características, pois não necessitam de solo, podendo ser cultivadas em água eutrofizada que é imprópria para consumo e para agricultura (Yusuf, 2007; Yusuf, 2008; Canuel, et al. 2009).

Um ATS pode produzir uma ordem de 18 toneladas métricas de peso seco de biomassa de algas por ha/ano. A biomassa é, normalmente, rica em diatomáceas e as células de algas possuem fosfolipídios na membrana e as diatomáceas armazenam alimento em óleos, tendo assim uma quantidade de óleo que pode ser convertida em biodiesel. Além disso, é possível produzir biocombustíveis através da fermentação, em vez de extrair o óleo. “As algas ATS fornecem um potencial muito maior para o fornecimento de bioenergia do que o milho e a soja devido a sua alta produtividade” (Adey, et al., p. 440, 2011. Tradução nossa).

Walter Adey et al., em 2013, ao analisar a produtividade, estrutura da comunidade de algas, substrato e química de um ATS na baía de Chesapeake, EUA, relatam que a biomassa de algas colhida no Great Wicomico, tem aproximadamente 24% de teor medido de carboidrato, tendo, presumivelmente, o mesmo rendimento do etanol da fermentação de milho.

Assim, é possível prever que um ATS com tela 3D poderia produzir cerca de 2.24 L/m²/ano de Etanol, 5,6 vezes mais que a matéria prima de milho. Além disso, mesmo que a turfa de algas contenha níveis lipídicos relativamente baixos (aproximadamente 4%) ela poderia produzir 0.65 L/m²/ano de biodiesel.

A produção que o ATS alcança com a tela 3D, na produção de biocombustíveis, é extremamente importante para a sua escolha, uma vez que em grandes bacias hidrográficas há vastas áreas de soja e milho sendo cultivadas para biocombustível. “Os tapetes de algas são, portanto, superiores às culturas terrestres atuais como matéria-prima para a produção de biocombustíveis” (Adey, et al. 2013, p. 499. Tradução nossa). Além disso, esse estudo demonstra que as telas 3D fornecem uma biomassa de algas mais rica em nutrientes e com

maior teor orgânico. Essa tela otimizou os parâmetros que limitam a fotossíntese e a produção da biomassa.

“Os resultados desse estudo mostram que o fornecimento de estrutura de substrato 3D, estendendo-se acima da tela 2D plana tradicional, aumentou significativamente a retenção de diatomáceas em sistemas ATS e, portanto, a produtividade de biomassa” (Adey, et al., p. 496, 2013. Tradução nossa).

Aliado ao pensamento de produção de biocombustíveis utilizando o sistema ATS, Freddy Witarsa, et al. (2020) vincula, a purificação da água, redução de CO₂ atmosférico e a produção de energia renovável, utilizando a digestão anaeróbia da biomassa de algas, produzida nas rampas do sistema ATS. O sistema tinha 61m de extensão por 2m de largura, com 1% de inclinação. A água era bombeada da baía de Chesapeake, EUA. Utilizando tela de malha 3D, no período de agosto a novembro, a biomassa coletada semanalmente, teve a taxa de produção de 38,8 g_{dw}/m²/dia. Ela era coletada a vácuo e bombeada diretamente para o tanque decantação antes da adição ao sistema AD (Digestor Anaeróbio). O sistema em escala piloto continha 3 digestores flexíveis, em série, cada um revestido por lona plástica transparente. O resultado total de volume líquido dos digestores era de 3,9m³, com volume de armazenamento de biogás total, de 3,1m³ no *headscape* dos digestores e um armazenamento extra de 6m³ em três sacos separados. O sistema ATS-AD foi eficaz na captura de nutrientes da água eutrofizada e CO₂ atmosférico, enquanto a energia em forma de biogás enriquecido com metano (CH₄), era produzida.

“Os resultados desse estudo podem ser usados para determinar como as práticas de gestão de águas pluviais e ribeirinhas eutróficas podem ser ligadas à produção de energia e fornece um sistema circular que limpa a água enquanto reduz CO₂ atmosférico e produz energia renovável” (Witarsa, et al., p. 2, 2020. Tradução nossa).

Diana Reinecke, et al (2023), realizou um estudo de caso sobre a eficiência dos biofilmes de alga do sistema ATS, na recuperação de nutrientes de águas residuais municipais e agrícolas na Alemanha. Foram construídos quatro sistemas em escala piloto sendo para águas residuais municipais, de suínos, bovino ou efluente de biogás. Os dados obtidos foram utilizados para avaliar a viabilidade técnico-econômica da produção de fertilizantes a base de algas produzidas pelo sistema.

Foram recuperados 30 ± 9% de fósforo total (0,97 ± 0,58 mg/L) e 11 ± 3% de nitrogênio amoniacal total (0,37 ± 0,0 mg/L). Na 34ª semana (a mais representativa) o biofilme rendeu 237,8 g de biomassa seca, com 43% de conteúdo inorgânico (cinzas). Avaliação econômica para produção de fertilizantes indicou custos competitivos de 2,22 € kg⁻¹ em um ATS otimizado de 1760 m². Como cerca de um terço (28% DW) do biofilme consistindo em carbono, um ATS otimizado também poderia recuperar 14,6 kg de carbono por semana, correspondendo a um sumidouro de carbono de aproximadamente 83 kg/ha.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localidade

A localização do PBA foi estipulada de acordo com as condições da água do lago (os testes realizados para obtenção da condição do lago estão descritos no item 4.2), condições de insolação e da disponibilidade dos recursos técnicos necessários para a instalação.

Após diversas análises considerando as variáveis de maior importância para o projeto: insolação, espaço para instalação do PBA, disponibilidade de energia e análise da água, decidiu-se que o melhor local para instalação seria na área de entorno do Instituto de Agronomia (IA), utilizando uma área gramada, próxima ao lago, conforme mostrado na figura 6.

Figura 6: Localização da área utilizada. O espaço delimitado é onde se encontra o PBA.



Fonte: EARTH (2023) 22°45'36"S 43°41'43"W

4.2 Análise da água do lago

Foi planejada a análise de água do lago no início do projeto para que fosse estabelecida a sua condição e se obtenha os dados iniciais para comparação futura e monitoramento das mudanças. Esses testes também ajudaram a definir a melhor região para a instalação do PBA. Por isso, foram realizados testes de elementos patogênicos e físico-químicos no lago.

A água do lago Açu, foi analisada para detectar a presença de microrganismos patogênicos e coliformes totais, que podem estar presentes na água. Para isso, foi coletada amostra em um ponto próximo ao laboratório de ecologia de peixes (LEP) e outra próxima ao Instituto de Agronomia (IA). Com isso foi possível determinar a qualidade da água do lago. (Figura 7).

Seguindo o Manual Prático de Análise de Água do Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), foi coletada amostra em frasco de vidro transparente, com capacidade para 125 ml, esterilizado. Para detectar a presença de coliformes totais, termotolerantes como *Escherichia coli.*, a amostra foi diluída utilizando o método NMP (Número Mais Provável), sendo feita a diluição em água peptonada e depois o teste presuntivo Lauril.

Em seguida foram realizados os testes Verde Brilhante e detecção de *Escherichia coli*. Além disso, as análises físico químicas foram realizadas nas normas aprovadas pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), através do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WPCF, última edição, para obtenção de dados como pH, alcalinidade total, carbonatos e bicarbonatos, cloretos, condutividade elétrica, dureza total, temperatura, oxigênio dissolvido, nitrogênio, fósforo e outros elementos.

Figura 7: Localização das coletas de água para análise da presença de coliformes, sendo elas delimitadas em amarelo.



Fonte: EARTH (2023)

4.3 Purificador biológico de água com algas

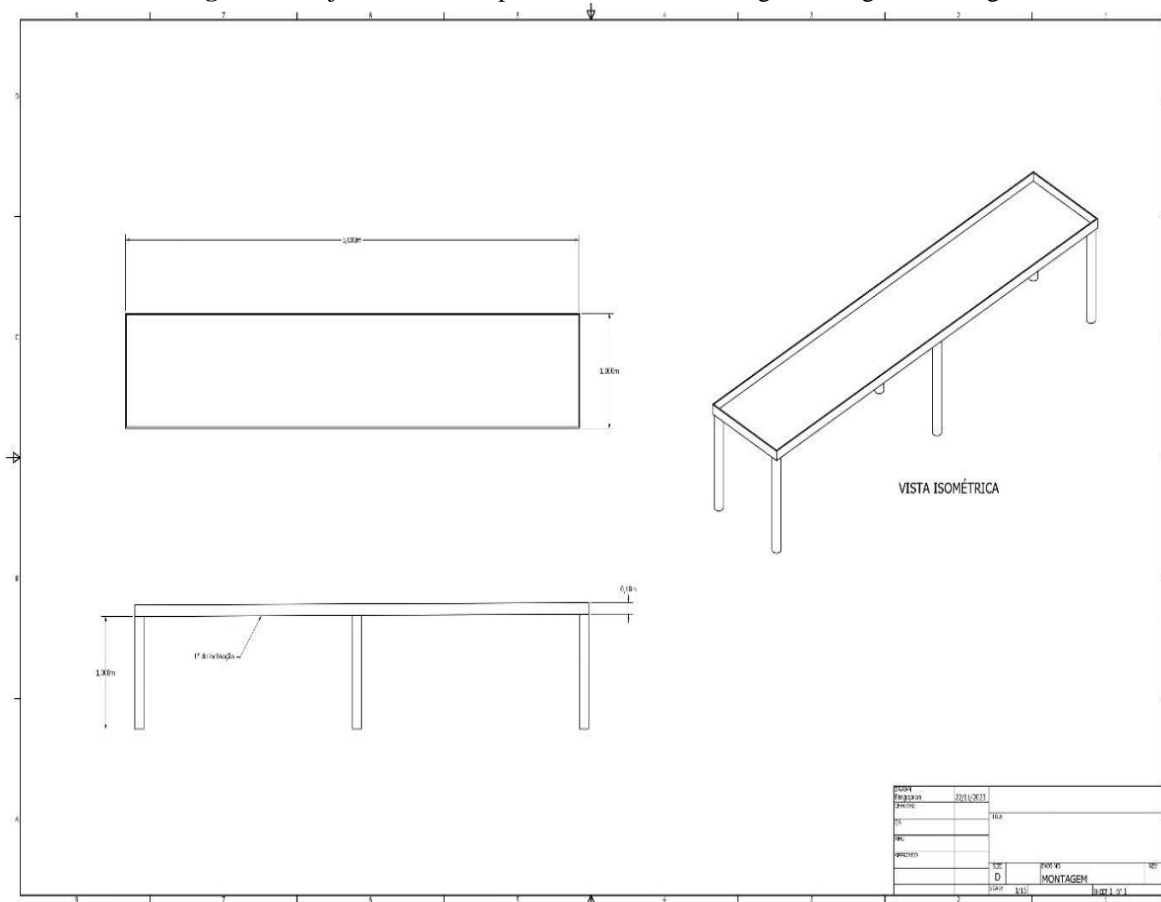
Desde o início do projeto planejou-se construir o PBA de maneira que ele fosse sustentável e acessível em todos os aspectos. Então, para a construção da estrutura do PBA foi realizada uma reunião com o professor doutor Alexandre Monteiro, responsável pelo laboratório de processamento de madeira do Instituto de Floresta, onde foi definido que a melhor madeira para o projeto seria o madeirite plastificado para as rampas.

As rampas foram construídas com dimensões de 1m de largura por 5m de comprimento, tamanho mínimo para que houvesse uma produção adequada de biomassa, com a via de fluxo inclinada 1%, para manter um constante movimento de água.

O substrato estabelecido foi o Nylon (NYL), uma rede de forma quadriculada, com trama de até 2 mm, similar a uma tela de sombreamento usada na agricultura, chamada sombrite, sendo este o material comumente utilizado em sistemas tipo ATS, caso do PBA. Por ser um material poroso o sombrite é ideal para a fixação das algas e passagem da água de forma lenta, além de ser um material de baixo custo e fácil acesso.

Além disso, ficou definido a utilização de uma bomba de 1hp (um cavalo-vapor de potência) que se conecta a um tubo e a distribuição da água nas duas rampas será feita por uma mangueira, onde dois registros controlam a vazão da água. Todos os materiais utilizados na construção das rampas e seus valores se encontram no anexo A. Abaixo tem-se o projeto das rampas do sistema PBA que foi implantado (Figura 8).

Figura 8: Projeto 3D das rampas do Purificador Biológico de Água com Algas.



Fonte: Elaborado pela autora. (2023)

Uma vez que as algas anexas formaram uma camada grossa na superfície, as rampas foram drenadas e a biomassa foi colhida usando raspadores. As algas residuais ligadas na superfície serão utilizadas como inóculo para o próximo ciclo de crescimento. A interrupção do fluxo de água que ocorre durante as coletas, é calculada em aproximadamente 1 hora por coleta. Após a instalação do PBA, constituído de: rampa, bomba e substrato para fixação do biofilme, será realizada análises para o monitoramento do tempo requerido para formação da biomassa, a qualidade físico-química da água do sistema e coleta da biomassa para fins de produtividade do sistema e caracterização bioquímica.

4.4 Fluxos de água

O sistema foi abastecido através da bomba e para o controle do fluxo de água foi instalado um registro, com o intuito de estabelecer o melhor fluxo para o desenvolvimento da biomassa. Para esse trabalho foram utilizados dois tipos de fluxo. Uma das rampas terá um sifão do tipo Bell, utilizado em atividades de aquaponia. Esse sistema forma um efeito parecido com ondas, liberando a água a cada um minuto e meio.

Esse fluxo é o comumente utilizado nesse sistema já que o início da criação do ATS se deu em ambiente marítimo, porém nosso sistema será implantado em um lago de água doce que não possui fluxo de água forte nem ondas propriamente ditas, sendo um sistema de lântico. Por isso, o outro fluxo que será testado é o fluxo contínuo, onde não há um sifão, a água corre continuamente enquanto a bomba estiver ligada. Isto será feito no intuito de entender a real necessidade do efeito de onda em um sistema tipo ATS em um lago de água doce, nas condições estabelecidas neste estudo.

Inicialmente o sistema foi abastecido com a vazão máxima da bomba sendo regulada unicamente pelos registros, porém foi necessário adicionar uma saída extra de água para ajudar na perda de carga, e chegou-se a uma vazão máxima variável de aproximadamente 300 – 250ml/s.

A biomassa foi recolhida depois de 7 dias de funcionamento regular do sistema. Utilizando de um rodo para a raspagem e baldes para a coleta do material produzido nas rampas, separadamente. Após a coleta, o material é levado ao laboratório onde se realiza a separação entre a biomassa de microalgas e a *green water*, a água da filtração, feita em papel filtro, da biomassa de algas. Haverá, então, a pesagem da massa úmida (WW) e massa seca (DW), feita através de uma balança de precisão. Para a pesagem da massa seca as amostras serão levadas a estufa a 60°C. Com os pesos de WW e DW foram feitas análises estatísticas de Média e Desvio Padrão (DP).

4.5 Remoção de nutrientes

Foram feitos testes, com a biomassa colhida seca, em estufa, a 60°C e triturada utilizando um moinho de bola, para a determinação da presença e quantificação de macronutrientes, sendo eles nitrogênio, fósforo e carbono. Utilizando o método Dumas e USEPA 3050 para determinar os valores.

4.6 Análise da água da biomassa – *Green Water*

A água foi coletada da biomassa das rampas nos dias de raspagem das algas. Essa água é comumente chamada *green water* por conter microalgas menores não filtradas e partes de algas maiores maceradas, além de altos níveis de macronutrientes, sendo eles nutrientes essenciais aos organismos para manutenção de seu metabolismo. Foi estabelecida essa análise, pois essa água também pode possuir potencial como um tipo de biofertilizante líquido, uma vez que esses macronutrientes são encontrados em grande quantidade em sua composição. Isso também foi estabelecido devido à dimensão do lago e não haveria possibilidade de identificar essas mudanças na água diretamente retirada do dele, já que o tempo e tamanho desse experimento modelo não seria suficiente para causar uma mudança detectável na água do lago.

Para a obtenção da *Green Water* foi filtrada a biomassa de algas, inicialmente com uma peneira e após com papel filtro. Foram feitas análises físico-químicas, nas normas aprovadas pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), através do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*-APHA-AWWA-WPCF, última edição, para obtenção de dados como pH, oxigênio dissolvido, nitrogênio e fósforo.

4.7 Identificação dos organismos da biomassa

O processamento para análise da comunidade existente na biomassa se consistiu em colocar as amostras em frascos limpos de 50ml e mantê-las em ambiente protegido da luz e com temperatura controlada. Em parceria com o laboratório de bioenergia e tecnologias ambientais, foram feitas as identificações da biomassa produzida nas rampas, utilizando um microscópio óptico, literatura disponível e o Atlas de cianobactérias e microalgas de águas continentais brasileiras (SANT'ANNA., et al. 2012.)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Água do lago

A amostra de água do lago coletada próxima ao LEP, foi analisada pelo teste NMP, segundo o Manual Prático de Análise de Água do Ministério da Saúde da FUNASA. Ela apresentou como resultado a não presença de coliformes totais. Isso provavelmente se deve a

um derramamento regular de água tratada que ocorre em tanques próximos a essa região do lago, onde há alguns anos eram feitas pesquisas do laboratório. Nos dias atuais esses tanques estão sem utilização, porém o abastecimento de água continua a ser fornecido.

Já as amostras recolhidas próximas ao IA obtiveram resultado positivo para todos os testes propostos. Tendo como resultado quantitativo os valores de 920.000 NMP/100ml Coliforme Total e 240.000 NMP/100ml Termotolerante. Esses valores extremamente altos se utilizarmos a resolução nº 274 de 2020 do CONAMA que considera imprópria águas doces, destinadas a recreação, com valor obtido na amostragem sendo superior a 2500 para coliformes fecais (termotolerantes). Após esses primeiros testes e descobrimento do abastecimento de água potável perto do LEP, foi decidido a instalação do PBA na região próxima ao IA, onde os resultados foram positivos e também é nessa localidade que o antigo derramamento de esgoto desaguava além de ser próximo à Ilha da Capivara, onde esses animais se localizam e eles podem estar contribuindo para os resultados positivos dos testes.

As análises físico-químicas realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WPCF, obtiveram resultados de pH 7,68 o que está dentro do parâmetro estabelecido pelo CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000, no artigo 2º, parágrafo 4ª alínea “e” que estabelece valores ser entre 6,0 e 9,0 para águas recreativas. Na análise foi verificado concentração de Nitrogênio em 10,40 mg/L, o parâmetro estabelecido pelo CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, no artigo 10º, parágrafo 3º é não ultrapassar o valor de 1,27mg/L em ambientes lênticos. Logo a concentração de nitrogênio no lago está acima do recomendado para o valor de nitrogênio limitante quanto a eutrofização. O valor da concentração de Fósforo foi de 0,98 mg/L também está cima do estabelecido, pelo CONAMA nº 357 o valor deveria ser até 0,020 mg/L, em ambiente lêntico. De acordo com Von Sperling, 1994, valores para a concentração de Fósforo acima de 100 mg/m³, no caso o lago Açú apresentou resultado de 980 mg/m³, indica a hipereutrofização do corpo de água. Dessa forma, tem-se evidências da evolução da eutrofização que pode estar ocorrendo no lago.

O valor da concentração de oxigênio dissolvido está em 8,72 mg/L. Além dessas checagens outras foram feitas afim de se ter dados gerais a respeito do lago para futuros trabalhos. A listagem dos resultados gerais se encontra no anexo B deste trabalho.

5.2 Implantação do PBA

Uma das partes mais críticas do trabalho foi a construção do sistema PBA. A definição do local foi estabelecida baseada nos dados anteriormente obtidos da água do lago e sua proximidade com o laboratório de estudo da relação solo planta (LSP) do Instituto de Agronomia. Logo após a decisão do local de instalação foi estudada a melhor maneira para instalação de luz no local, uma vez que o entorno do lago não possuía nenhuma fonte de energia. Foi então disponibilizado, um ponto de energia advindo do prédio de Parques e Jardins, sendo necessário a instalação de cabos de energia que levassem corrente elétrica até um disjuntor de segurança instalado próximo às rampas, garantindo o desligamento da bomba e corte de corrente em caso de qualquer vandalismo, servindo também de proteção para a bomba, caso ocorresse a perda de fluxo.

Após superados esses obstáculos foi iniciada a construção do PBA em julho de 2023, seguindo três pontos principais: o movimento da água, a tela a ser utilizada e a incidência solar. As algas bentônicas são encontradas em ambientes com alta correnteza e quando expostas a alta velocidade de fluxo da água podem atingir taxas de absorção mais altas. A tela utilizada é de extrema importância para a fixação dos segmentos basais das algas e crescimento delas sobre a tela, além de ser importante na manutenção da umidade na rampa e a incidência de luz é um

dos fatores limitantes para a realização da fotossíntese, metabolismo responsável pelas trocas de nutrientes que se pretende alcançar.

Sendo assim, as duas rampas manufaturadas em madeira foram instaladas no local anteriormente mencionado (VI.1 Localidade) (Figura 9). Vale ressaltar que foram construídas quatro rampas, mas para este trabalho, apenas duas das rampas foram utilizadas devido a problemas encontrados na estrutura do solo abaixo de duas das rampas confeccionadas, o que acarretou na impossibilidade de utilização delas. As rampas foram construídas em madeirite plastificado e fixadas ao solo com o apoio de mourões de eucalipto. Já fixadas ao solo, foi então, utilizada uma bússola digital para verificar a orientação das rampas, estando a orientação voltada para o norte geográfico, a face norte é a que possui maior incidência solar durante todo o ano. Com a chegada das estações primavera e verão no país, época em que o PBA foi implantado e utilizado neste trabalho, a incidência solar é, de forma geral, mais alta e o local das duas rampas não possui nenhum sombreamento, o que garante a alta incidência solar sobre o experimento durante o decorrer das pesquisas.

Além disso, foi colocado um revestimento de plástico impermeável sobre as rampas para evitar o contato direto da madeira com a água, uma vez que a água passará pelas rampas constantemente, enquanto o sistema estiver em funcionamento. Sobre o plástico, foi adicionado o sombrite, substrato em grade de Nylon escolhido.

Figura 9: Fotos A e B mostram a construção das rampas e foto C as rampas finalizadas.



Fonte: Elaborado pela autora. (2023)

A tubulação PVC de entrada de água do PBA retifica para apenas uma bomba periférica de 1 hp (ICS-100AB Eletroplas®). A entrada de água na bomba vem de um tubo de 2 polegadas com uma válvula de pé com crivo rosqueável de uma polegada e meia, no fim do tubo, dentro do lago. Essa água é distribuída para as rampas através de uma mangueira com registros acoplados que controlam o fluxo de água. No fim das rampas, a água é coletada com o auxílio

de bocais de calhas e direcionada para um mesmo tubo, que devolve a água diretamente ao lago. Esse modelo de PBA utiliza de um sistema aberto, onde a água do lago passa pelas rampas e é devolvida diretamente ao lago. (Figura 10)

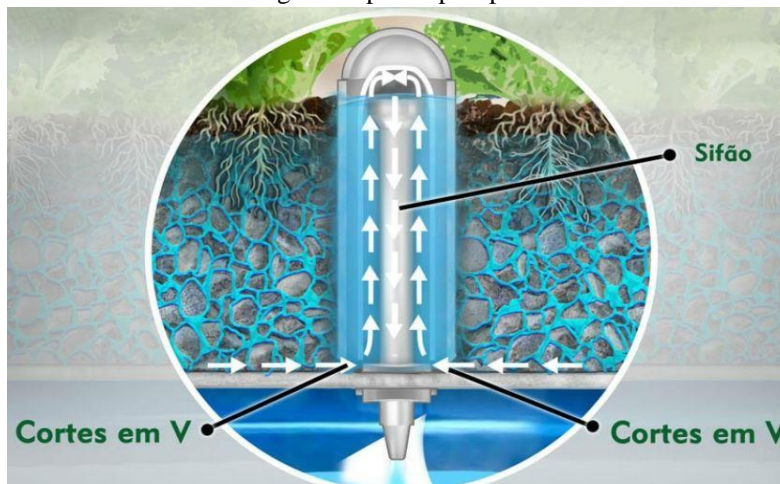
Figura 10: Bocais de calhas no final das rampas.



Fonte: Elaborado pela autora. (2024)

Para criar um fluxo de ondas para as rampas, foi utilizado um sistema baseado em um sifão Bell (Figura 11). Esse sifão é um sistema de aquaponia e tem a capacidade de liberar água de tempos em tempos, criando assim uma onda. Ele se utiliza da pressão criada dentro do tubo para liberação da água quando ela atinge o nível estabelecido. Em nosso sistema foi utilizado uma bacia de capacidade máxima de 20 litros e tubos PVC 25mm. Dessa forma, há liberação de 19 litros de água em 2 minutos. Para posicionar o sifão sobre as rampas foi feito um apoio em madeirite (Figura 12).

Figura 11: Ilustração do funcionamento de um sifão Bell. Onde pelos Cortes em V a água entra no sistema e em Sifão a água é expelida pela pressão causada no sistema.



Fonte: Teixeira, Silvana (2024)

Figura 12: Fotos da construção e instalação do sifão Bell, onde A mostra a construção do sifão, B o teste inicial, C a estrutura de suporte da rampa e D o sifão instalado na rampa 1.



Fonte: Elaborado pela autora. (2024)

A operação do sistema se deu através da realização de coletas de biomassa, sendo realizadas a cada 7 dias. Esse prazo para coleta foi estabelecido pois é o tempo padrão de coletas nos trabalhos utilizados como referência para este trabalho, como é o caso do artigo de Mulbry, Kangas e Kondrad, 2010 que coletaram a biomassa em 6-8 dias. A cada coleta realizada também era efetuado o monitoramento do sistema, como por exemplo: o conserto de vazamentos, verificação da vazão e pareamento, dentre outros. Durante o período entre as coletas, o monitoramento era realizado pelo laboratório LSP e pelos estudantes envolvidos na pesquisa.

O sistema começou a operar no dia 20 de fevereiro de 2024, durante e logo após o período de inicialização, os aspectos físicos e mecânicos da instalação exigiram ajustes. No decorrer do tempo, o correto funcionamento do sistema foi defrontado com muitos problemas operacionais, que influenciaram na efetividade do sistema, sendo observado vazamentos excessivos, nas emendas do madeirite.

Na maioria dos casos, houve uma necessidade de colocar um apoio extra onde ocorreram os vazamentos. No quinto dia de funcionamento do sistema houve um problema com a bomba que parou de funcionar. Imediatamente foi tentado a solução, porém só obtivemos sucesso dois dias após o ocorrido o que acarretou na perda de biomassa, por isso o sistema foi lavado e reiniciado.

Após essas intercorrências, não foram observados problemas que poderiam impedir o funcionamento do sistema. Ocorreram dificuldades no desenvolvimento da biomassa devido a interrupções do fluxo de água que entupia seguidamente pelo excesso de material particulado, casualmente por pequenos galhos e raízes de plantas ou pela entrada de ar na bomba, isso ocorreu principalmente pelo fato do lago estar assoreado, o que facilitava a entrada de material e ar.

Quando o problema foi notado foram instaladas pequenas boias na ponta do tubo coletor da água, isso resolveu o problema de entrada de partículas. Relativo as interrupções no fornecimento de água, estas se caracterizam como um elemento crítico da operação do sistema

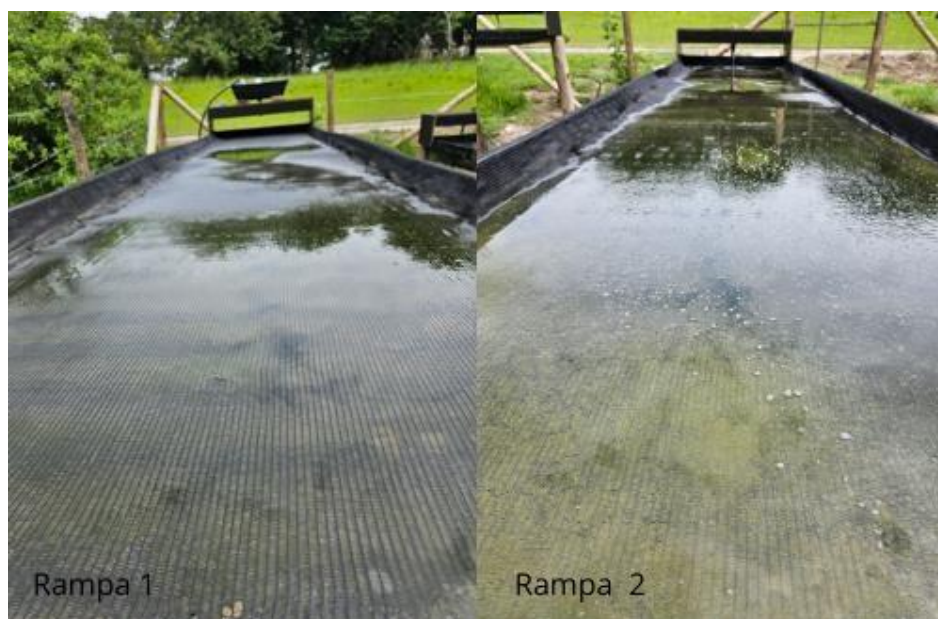
PBA, uma vez que são geralmente necessárias de 4 a 6 semanas para construir uma comunidade de algas madura e totalmente produtiva (Adey et al., 2013). Porém, como iremos demonstrar neste trabalho, mesmo com as interrupções e problemas no sistema, houve êxito na produção de biomassa em grande quantidade.

5.3 Fluxos de água

Após os ajustes necessários para instalação do PBA, o sifão Bell foi instalado na rampa 1 e o fluxo de água entre as rampas foi pareado. No sifão a água era liberada a cada 2 minutos. No dia seguinte, aproximadamente 24hrs após o reinício do sistema, foi possível observar as microalgas nas rampas. Após 7 dias de funcionamento foi feita a coleta da biomassa, já sendo possível observar a olho nu a diferença entre a rampa 1, que possuiu o sifão e a rampa 2 de fluxo contínuo, sendo observado na segunda rampa uma maior presença de microalgas (Figura 13). Mais duas coletas foram realizadas após a primeira, sendo feitas a cada 7 dias, os valores encontrados de biomassa úmida nas duas rampas comprovaram a produção em maior escala da rampa 2, fluxo contínuo, na tabela 2 podemos observar a diferença da produção de biomassa. Vale ressaltar que o sistema foi naturalmente colonizado, sem a adição ou semeadura de cepas específicas, tendo o desenvolvimento de espécies in situ do Lago do IA.

A pesagem da massa úmida (WW) e massa seca (DW) (Figura 14) foi realizada em uma balança de precisão, a coleta da biomassa que permaneceu em fluxo contínuo (rampa 2) obteve um número maior do que a coleta da rampa 1 com o fluxo em ondas, sifão Bell, em todas as semanas estudadas, conforme demonstrado na tabela 2. Estes dados são referências para as avaliações do crescimento de biomassa nos diferentes fluxos deste experimento.

Figura 13: Rampas 1 e 2 no sétimo dia de funcionamento do sistema.



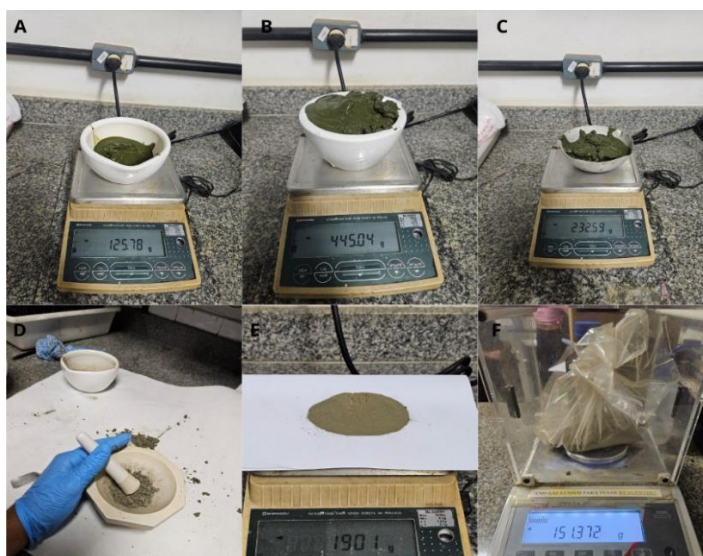
Fonte: Elaborado pela autora. (2024)

Tabela 2: Valores em grama por metro quadrado da biomassa úmida e seca coletada das rampas.

	Rampa 1		Rampa 2	
	Biomassa Úmida (g/m ²)	Biomassa Seca (g/m ²)	Biomassa Úmida (g/m ²)	Biomassa Seca (g/m ²)
Primeira Coleta (7 dias do início do experimento)	25,16	3,8	132,53	30,27
Segunda Coleta (14 dias do início do experimento)	424,47	60,54	1052,62	191,38
Terceira Coleta (21 dias do início do experimento)	724	95,78	1835	217,39

Fonte: Elaborada pela autora. (2024)

Figura 14: Processos de pesagem de massa úmida em A, rampa 1, em B e C rampa 2. Em D tem-se o processo de maceração da massa seca, E pesagem da massa seca rampa 1 e F rampa 2



Fonte: Elaborada pela autora (2024)

Tendo Média de WW na rampa 1 de 391,21 e na rampa 2, 1.006,71 e Média de DW na rampa 1 de 53,37 e na rampa 2, 146,35 obteve-se os desvios padrão, que estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Dados de desvio padrão e variância das massas úmidas e secas das rampas.

	Desvio Padrão WW	Desvio Padrão DW	Erro Padrão WW (g/m ²)	Erro Padrão DW (g/m ²)	Variância WW	Variância DW
Rampa 1	287,27	37,89	165,85	21,87	81.949,34	1.435,73
Rampa 2	695,77	82,76	402,86	47,78	484.102,06	6.849,65

Fonte: Elaborada pela autora (2024)

Os resultados foram gerados a partir das três semanas de coletas e pesagens das biomassas produzidas, isso torna o desvio padrão extremamente alto, pois quanto mais próximo

de zero mais uniforme são os dados. O menor desvio padrão foi da rampa 1, em ambos os casos, WW e DW, o que indica sua maior uniformidade. Apesar da pequena amostragem de resultados podemos inferir também que, a variância da rampa 1 foram menores que a da rampa 2 na produção de biomassa úmida, demonstrando uma produção mais regular que a rampa 2, porém em menor quantidade. O erro padrão foi menor na rampa 1, biomassa seca, sendo $21,87 \text{ g/m}^2$, sendo assim, indicando que essa amostragem está mais próxima de detectar o verdadeiro valor da média da população.

Com esses resultados podemos dizer que a taxa de fluxo ou a velocidade da água provou ser um fator crítico na produção de biomassa, demonstrando uma maior eficiência no escoamento de água. Cabe ressaltar que o PBA era abastecido por águas com concentração de nutrientes elevada. O fluxo em ondas, como o estabelecido neste projeto, não foi bem-sucedido já que sua produção de biomassa foi muito inferior se comparada ao fluxo contínuo. Porém, há uma necessidade de testar outras vazões, para o desenvolvimento da biomassa através do fluxo turbulento, pois o fluxo de ondas evita o acúmulo de partículas sobre o substrato, bem como aumenta a remoção eficiente de nutrientes (Adey, Loveland, 2007, Craggs, 1996).

Vale ressaltar ainda, que o sistema foi estabelecido em um lago, ambiente lântico, que possui uma baixa movimentação da água e talvez seja por essa razão que as microalgas fixadas no sistema tenham se desenvolvido de forma mais abundante no fluxo contínuo, pois este se assemelhou ao seu ambiente natural.

Observando os dados de produção de biomassa nas rampas o menor resultado foi de $3,59 \text{ g/m}^2/\text{dia}$ na primeira semana da rampa 1 e a maior produção foi de $262,14 \text{ g/m}^2/\text{dia}$ na terceira semana da rampa 2. Quando comparada há outro único estudo em água doce, que se tem conhecimento, sobre o sistema ATS realizado no Brasil, no Lago Dourado em um reservatório de abastecimento de água de Santa Cruz do Sul, que no seu melhor momento obteve $7,6 \text{ g/m}^2/\text{dia}$ (Martini, 2018) temos que a produção de biomassa do PBA foi mais que satisfatória, uma vez que seu menor resultado foi apenas 33,8% menor que a máxima obtida no estudo do Lago Dourado e a maior produção do PBA foi 97,93% maior do que a registrada no estudo.

As condições de temperatura, fotoperíodo e quantidade de chuvas que cada sistema é exposto, interferem diretamente no ambiente favorável ao crescimento da biomassa. Quando comparamos os resultados do Brasil isto deve ser considerado com muita cautela, uma vez que os estudos foram realizados em regiões completamente diferentes do país, sendo uma realizada no Sul onde as temperaturas tendem a se manterem mais baixas e o PBA foi implementado no Sudeste uma das regiões mais quentes do país. A comparação entre efetividades de unidades baseadas no sistema ATS diferentes é uma análise complexa, uma vez que a formação da biomassa está diretamente relacionada a fatores como: as características e composição do substrato, fluxo de água, luminosidade e as características físicas e químicas da água, como a concentração de compostos químicos (D'aiuto et al., 2015).

5.4 Remoção de nutrientes

A avaliação da remoção de Carbono, Nitrogênio e Fósforo foram feitas a partir da biomassa colhida seca, sendo o valor total das coletas 2996.842 gramas. Através da análise pode-se notar uma média de 21,76% de Carbono, 2,06% de Nitrogênio e 0,02% de Fósforo na biomassa colhida nas três semanas do experimento (Tabela 4). O sistema teve um índice de remoção médio de Carbono igual a $5,95 \text{ g/m}^2/\text{dia}$, Nitrogênio $0,59 \text{ g/m}^2/\text{dia}$ e Fósforo $0,006 \text{ g/m}^2/\text{dia}$. A relação carbono-nitrogênio (C/N) também foi observada uma vez que são os nutrientes mais importantes para a atividade microbiana. Esse valor é importante para entender principalmente o estado de decomposição e a estabilidade da matéria orgânica nos solos

analisados. Quanto maior for a proporção C/N, maior será a estabilidade da matéria orgânica e, consequentemente, menor o risco de degradação do solo.

Tabela 4: Resultados das análises de carbono, nitrogênio, relação carbono-nitrogênio e fósforo, presentes na biomassa de algas no decorrer das semanas.

Parâmetro	Primeira Colheita	Segunda Colheita	Terceira Colheita	Total das Colheitas
C (g/kg)	210,21	183,01	205,26	217,63
N (g/kg)	19,15	21,70	19,50	20,61
C/N	0,1	0,1	0,1	0,1
P (g/Kg)	0,21	0,17	0,19	0,20

Fonte: Elaborada pela autora (2024).

O dióxido de carbono (CO₂) é um dos principais gases responsáveis pelo Efeito Estufa, este que tem sofrido graves alterações nos últimos anos devido a ação humana, causando as mudanças climáticas e o aquecimento global. Para tentar diminuir os impactos causados pelo aquecimento global tem-se criado novas tecnologias capazes de capturar CO₂ da atmosfera. As microalgas têm a capacidade de realizar essa captura através de seu metabolismo, por isso verificamos também a presença de carbono no sistema. Essa redução de CO₂ pode ser uma ferramenta no combate ao efeito estufa.

Observando os resultados encontrados no trabalho, já referido, realizado no Lago Dourado (Martini, 2018), é possível perceber uma remoção maior de nitrogênio pelo PBA. No trabalho, Martini afirma ter tido uma remoção média de nitrogênio igual a 0,16 g/m²/dia, o resultado do PBA é aproximadamente 72% maior.

Mulbry, *et al* (2010) obtiveram, utilizando pequenas unidades de ATS de 1m² ao longo de três rios na baía de Chesapeake, taxas de remoção de nutrientes, no melhor dos casos (rio Patuxent de maio a outubro de 2007), foi de aproximadamente 0,25 g N e 0,0045 g P m², equivalentes a taxas de remoção de 380 kg N e 70 kg P ha¹ em uma temporada de 150 dias.

Para o presente estudo, utilizando-se o rendimento médio da biomassa (99,85 g/m²/d¹, baseado nos valores obtidos de biomassa úmida produzidas pelas rampas nas três semanas de estudo) com um índice médio de 2,06% de nitrogênio, chegamos a uma remoção aproximada de 20,57 kg N/ há¹/d¹, um valor bem menor do que o encontrado no trabalho de Mulbry, porém em outros dois estudos feitos por ele, a remoção de nutrientes do PBA foi superior, apresentamos esses resultados a seguir.

Dados reportados para um ATS em pequena escala (Wilkie, Mulbry 2002; Pizarro, Mulbry 2004) chegam a 1,4 g.m⁻².dia⁻¹ para Fósforo e a 0,75 g.m⁻².dia⁻¹ para Nitrogênio, enquanto que para ATS de maior escala reduzem a 0,7 e 1,1 g.m⁻².dia⁻¹ para Fósforo e Nitrogênio, respectivamente (Adey, Kangas e Mulbry 2011). Os valores do PBA são próximos a esses a diferença dos valores provavelmente se deve à composição diferente dos ATS ou também ao fato das diferenças na composição da água. Alguns estudos mostram que até certo ponto, quanto maior a concentração de nutrientes, maior é a remoção por algas (Yeoman et al. 1988, Posadas et al. 2013). Além disso, como citado anteriormente, as condições climáticas afetam o sistema e sua operação, mudando as taxas de remoção de acordo com vários fatores como a incidência solar e a pluviosidade da região. Kangas e Mulbry (2014), afirmam que a taxa de remoção de nitrogênio declina quando a taxa de fluxo da água é menor que 125 L.min⁻¹. A taxa de fluxo do nosso sistema foi de aproximadamente 18 L.min⁻¹ o que provavelmente não foi o ideal para a absorção de nitrogênio, pois com o fluxo maior a taxa de remoção de

nitrogênio seria maior. O aperfeiçoamento do fluxo e da turbulência eleva o aumento do crescimento e à absorção de nutrientes em um sistema ATS.

Sabe-se que o perifíton (comunidade de microrganismos de vida séssil que se aderem a diferentes substratos submersos, como é o caso da biomassa produzida nos sistemas baseados no ATS) se caracteriza como uma comunidade bentônica incluindo bactérias, fungos, algas, detritos entre outros, e essa questão é importante quando relacionada a melhoria da qualidade da água no que tange a captura de nutrientes, especificamente o nitrogênio (D’aiuto et al., 2015). A adaptabilidade das cianobactérias ao ambiente faz com que elas possam predominar mesmo em ambientes pobres em nutrientes, pela capacidade de algumas espécies de fixação de nitrogênio do ar atmosférico na forma metabolizável de amônio (NH₄⁺) (Libânio, 2016). Dessa forma, para próximas pesquisas é importante analisar se o percentual de nitrogênio contido no perifíton possa ser decorrente das cianobactérias.

5.5 Análise da água da biomassa – Green Water

As análises físico químicas obtiveram dados de pH, oxigênio dissolvido, nitrogênio, fósforo, os resultados desses testes se encontram na tabela 5, onde é possível comparar os resultados em ambas as rampas. Após estudar os resultados das análises, obteve-se que houve presença de nitrogênio e fósforo na água; o nível de oxigênio dissolvido foi menor do que o valor encontrado na água do lago de 8,72 mg/L; e o pH apesar de ácido no início do experimento, alcançou a alcalinidade na terceira coleta, sendo observado a tendência de aumento do pH no decorrer das semanas. Na figura 15 tem-se como a *Green Water* foi obtida.

Tabela 5: Resultados das análises de fósforo, nitrogênio, oxigênio dissolvido e pH da água retirada das rampas 1 e 2.

	Rampa 1 Fluxo de onda				Rampa 2 Fluxo Contínuo			
	Fósforo mg/L/dia	Nitrogênio mg/L/dia	Oxigênio dissolvido mg/L	pH	Fósforo mg/L/dia	Nitrogênio mg/L/dia	Oxigênio dissolvido mg/L	pH
Primeira coleta	0,5469	Abaixo do limite de leitura (0,1)	7,56	6,82	0,7303	Abaixo do limite de leitura (0,1)	7,2	6,69
Segunda coleta	0,2004	23,8143	5,8	6,86	0,4599	1,38	6,07	6,99
Terceira coleta	0,5687	10,4286	5,92	7,48	1,0317	3,1428	6,42	7,84

Fonte: Elaborada pela autora (2024).

Figura 15: Processo final de separação da água da biomassa de algas.



Fonte: Elaborada pela autora (2024).

De acordo com um estudo da EMBRAPA (2007), o biofertilizante é um adubo produzidos de diversas maneiras e que utilizam ingredientes disponíveis na propriedade, por exemplo esterco, leite, caldo de cana, etc. e eles podem ser enriquecidos com pó de rocha, microrganismos eficazes, entre outros. Um adubo químico contém, normalmente apenas 3 nutrientes, o famoso NPK (nitrogênio, fósforo e potássio). Já o biofertilizante são encontrados pelo menos 12 nutrientes para alimentar as plantas. Pensando desta forma, conseguimos imaginar um cenário onde a água produzida pela biomassa do PBA pode compor a lista de ingredientes para criação um biofertilizante, juntamente com os outros itens necessários, pois a *Green Water*, contém níveis de NPK que podem contribuir para a composição adequada do biofertilizante.

5.6 Identificação dos organismos da biomassa

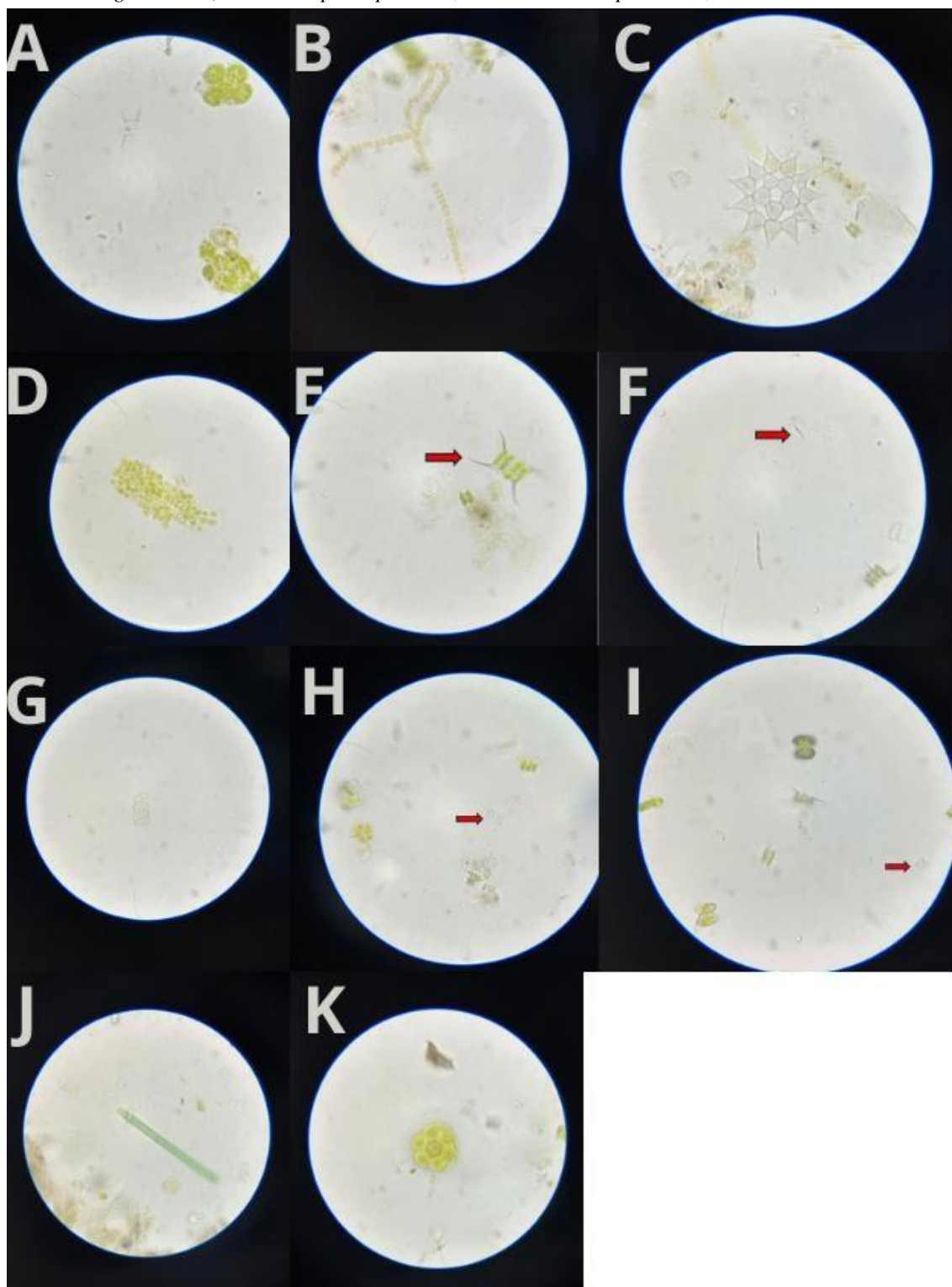
Logo nas primeiras 24 horas de funcionamento do sistema foi possível observar uma coloração amarronzada sobre o substrato de ambas as rampas, essa coloração é um indicativo da acumulação de diatomáceas planctônicas. Esperou-se a maturação do sistema e em sete dias foi feita a primeira coleta da biomassa, não foi realizado a identificação de algas nessa primeira semana. A segunda coleta foi realizada 14 dias após o início do sistema, 7 dias após a primeira coleta. Dessa vez, o material da biomassa foi levado ao laboratório de bioenergia e tecnologias ambientais para a identificação das microalgas. Foi possível identifica duas divisões: Cyanobacteria e Chlorophyceae.

As Cianobactérias são microrganismos possuem características celulares de procariontes, ausência de membrana nuclear, e sistema fotossintetizante semelhante ao das algas. Hoje as Cianobactéria são pertencentes ao reino *Monera*. Várias espécies tem a capacidade de fixar nitrogênio, em razão disso podem colonizar áreas nuas sobre rochas e solos. A formação de heterocistos (fixa o nitrogênio) em *Nostoc* e outros gêneros, é impedida na presença de amônia e nitratos. As cianobactérias podem afetar nos resultados de remoção de nitrogênio, nos próximos trabalhos é importante que sua detecção e avaliação de seu metabolismo sejam feitas, para determinar sua colaboração no sistema.

. No presente trabalho foram encontradas 3 espécies da ordem Oscillatoriales, essa ordem é conhecida por não ser fixadora de nitrogênio e por alguns de seus exemplares produzirem toxinas quando há nitrogênio em abundância (Siqueira, Filho 2005). Na figura 16 é possível visualizar as cianobactérias encontradas na biomassa, sendo elas: *Asterocapsa submersa*, *Dolichospermum spiroides*, *Aphanocapsa annulata*, *Romeria victoriae*, *Komvophoron schmidlei*, *Merismopedia punctata* e *Oscillatoria perornata*.

Chlorophyceae é uma classe de algas verdes que geralmente possuem uma coloração verde, devido a presença maioritária de pigmentos como as clorofilas a e b. Elas habitam diversos ambientes, porém sua grande maioria é de água doce (90%), formando a maior parte do plâncton de água doce. O gênero *Chlorella* é comumente utilizado como suplemento alimentar, porém não foi encontrada em nosso trabalho. Foi encontrado 3 famílias diferentes sendo elas: Hydrodictyaceae, Scenedesmaceae e Coelastraceae. Na figura 16 é possível observar as espécies encontradas em *Monactinus simplex*, *Desmodesmus maximus*, *Desmodesmus granulatus* e *Coelastrum indicum*.

Figura 16: Microalgas e cianobactérias encontradas na biomassa. Sendo cianobactérias A: *Asterocapsa submersa*, B: *Dolichospermum spiroides*, C: *Aphanocapsa annulata*, F: *Romeria victoriae*, H: *Komvophoron schmidlei* e K: *Coelastrum indicum*. Algas verdes: D: *Monactinus simplex*, E: *Desmodesmus maximus*, G: *Desmodesmus granulatus*, I: *Merismopedia punctata*, e J: *Oscillatoria perornata*,



Fonte: Elaborado pela autora. (2024)

5.7 Custo benefício

Esse projeto foi iniciado com um objetivo de criar um sistema tipo ATS que estivesse de acordo com a realidade brasileira nos materiais utilizados e fosse de baixo custo. Quanto aos materiais utilizados acreditamos que os escolhidos se encaixaram perfeitamente nos atributos sugeridos inicialmente, foram encontrados facilmente na região e foram obtidos com preços acessíveis, tabela 6.

A sustentabilidade do sistema é um dos pontos de maior importância quando se observa o custo benefício pois devemos lembrar do ganho ambiental que o PBA gera. Começando pelo fato de o sistema ter a possibilidade de fornecer um ciclo fechado de utilização, uma vez que ele retira os nutrientes do corpo de água, impedindo ou até mesmo revertendo um processo de eutrofização, produzindo biomassa que pode ser utilizada como biofertilizante, em alguns casos, como complemento alimentar animal. Não havendo, dessa forma, nenhum desperdício no sistema. Além disso, como dito anteriormente, o sistema possui um baixo custo de produção o que facilita o acesso a população que queira construir um sistema PBA em sua propriedade.

Tabela 6: Lista de valores dos materiais utilizados na construção do PBA, com duas rampas de 1 metro de largura e 5 metros de comprimento.

Quantidade	Material	Valor	Uso
6 Unidades	Mourão Eucalipto 12x14mm 3m	R\$ 672,00	Rampa
6 Unidades	Madeirite Plastificado 2,20x1,10x13mm	R\$ 882,00	Rampa
1 Kg	Prego 17x27mm	R\$ 24,90	Rampa
10 Metros	Plástico Transparente 15mm	R\$ 139,50	Substrato
10 Metros	Sombrite 50x1,5	R\$ 120,40	Substrato
1 Unidade	Caixa Grampo 106 8 CIS	R\$ 29,00	Substrato
1 Unidade	Tubo PVC 3m	R\$ 40,00	Encanamento entrada
1 Unidade	T Solda	R\$ 3,75	Encanamento entrada
1 Unidade	Luva Solda	R\$ 3,60	Encanamento entrada
2 Unidades	Joelho solda 90°	R\$ 5,60	Encanamento entrada
1 Unidade	Luva redução rosca	R\$ 3,56	Encanamento entrada
2 Unidades	Adaptador interno 3/4 (p/ mangueira)	R\$ 3,68	Encanamento entrada
2 Unidades	Registro esf. Rosca c/ união	R\$ 48,26	Encanamento entrada
1 Unidade	Tubo solda 6m 50mm	R\$ 94,63	Encanamento entrada
100 Metros	Tubo mangueira 1/2 reforçada	R\$ 88,99	Encanamento entrada
1 Unidade	Calha	R\$ 280,00	Encanamento saída
2 Unidades	Bocal calha	R\$ 205,20	Encanamento saída
4 Unidades	Cabeceiras calha	R\$ 122,20	Encanamento saída
2 Unidades	Joelho 90 transição 88x100	R\$ 111,10	Encanamento saída
1 Unidade	TE esgoto	R\$ 22,50	Encanamento saída
2 Unidades	Redução esgoto 100x75	R\$ 28,20	Encanamento saída
2 Unidades	Joelho 90 esgoto	R\$ 20,10	Encanamento saída
4 Unidades	Suporte Calha	R\$ 43,60	Encanamento saída
	Valor Total	R\$ 2.992,77	

Fonte: Elaborada pela autora. (2024)

Porém, para a implementação deste projeto houve alguns testes de materiais e mudança nas escolhas o que acarretou em mudanças durante o processo de implementação, além disso os percalços já relatados anteriormente neste trabalho, nos obrigaram a refazer os planos e comprar alguns materiais novamente e com isso o projeto ficou com um valor acima do imaginado inicialmente, vide total de gastos totais no anexo A.

Observando então, os materiais necessários para a construção de um PBA com duas rampas de 1 metro de largura e 5 metros de comprimento e pensando em uma instalação onde os erros cometidos neste projeto não ocorreram novamente, tem-se que para a construção do PBA os gastos totais estariam em torno de 3.000 reais. Tendo assim, uma boa relação custo benefício. Em termos de redução da poluição aquática associado ao baixo custo dessa tecnologia gerando coprodutos, esse sistema representa um ganho ambiental.

6 CONCLUSÃO

É possível, através dos resultados obtidos neste trabalho, afirmar que o objetivo geral proposto, avaliar a efetividade de um Purificador Biológico de Água com Algas em escala modelo com a finalidade de remoção de nutrientes do Lago Açu, na UFRRJ, foi alcançado. Demonstrando que o sistema PBA teve uma alta produção de biomassa e é capaz de remover nutrientes do lago.

As análises da água do lago Açu, demonstraram um alto valor de presença de bactérias termotolerantes e quantidades de concentração de Nitrogênio e Fósforo acima do esperado. Esses valores trouxeram uma preocupação ainda maior em relação a condição do lago, sugerindo o início de uma eutrofização. Por isso, alertamos a necessidade contínua de verificação da água e ampliar os projetos, como o deste trabalho, para que haja um controle da qualidade da água do lago e possa-se impedir ou mitigar os efeitos da eutrofização.

Ao observar os fluxos estabelecidos, fica claro que neste trabalho, nos termos utilizados, o sistema de fluxo contínuo foi melhor sucedido, em produção de biomassa. Porém, sabe-se que o sistema de ondas possui uma capacidade maior para a remoção de nutrientes, uma vez que esse sistema incentiva o metabolismo das microalgas.

Sugere-se então, que em estudos futuros, seja realizado o teste com outros tipos de vazão, uma vez que provavelmente os resultados não foram melhores pela necessidade de ajustes da vazão para cima ou para baixo.

Quanto a produção da biomassa, ela foi excelente e superou as expectativas de todo o corpo docente e discente participante deste trabalho, demonstrando a potencialidade do PBA.

A taxa de crescimento média da biomassa úmida obtida foi de $99,85 \text{ g.m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ficou acima ou semelhante a outros trabalhos encontrados na literatura, legitimando o potencial do PBA para produção de biomassa. Os níveis de nutrientes encontrados nas águas do Lago Açu mostraram-se acima do estabelecido como padrão no Brasil e foi possível chegar a um índice de remoção médio de carbono igual a $5,59 \text{ g.m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, $5,82 \text{ g.m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ para nitrogênio que equivalem a uma remoção aproximada de $2,99 \text{ kg N/ há}^1/\text{d}^1$ e $0,003 \text{ g/m}^2/\text{dia}$ de fósforo, sendo este último somente na primeira semana.

Com as composições médias de carbono (19,95%), é possível afirmar o potencial da sua utilização como uma ferramenta de crédito de carbono no sequestro de CO_2 atmosférico.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que o sistema pode ser uma forma de evitar o processo de eutrofização no Lago Açu, pelo consumo de nutrientes, sendo possível prever um sistema maior onde a remoção seria eficaz para a recuperação dos corpos de água.

Os resultados obtidos neste trabalho, devem ser usados como pontos comparativos para futuras modificações no sistema. Nos próximos trabalhos é necessário testar intervalos mais longos para a colheita, para determinar o intervalo ótimo, também deve-se testar outros fluxos de onda para se obter o ideal, que poderá aumentar a produção da biomassa e também a remoção de nutrientes.

O PBA demonstra grandes possibilidades de investigação quanto a utilização da biomassa e da água originada dela, *Green Water*, como biofertilizante e ração animal. Realizando outros testes também pode ser possível o estudo e a produção para a geração de biogás.

A multidisciplinaridade do sistema também se demonstrou um grande ganho para a universidade, permitindo o acesso a perspectivas diferentes sobre um mesmo objeto de estudo. A integração de laboratórios, alunos e professores é essencial para o desenvolvimento dos estudos do PBA, uma vez que eles envolvem desde os testes de materiais para sua confecção a análises de microrganismos presentes no sistema. Ter equipes multidisciplinares envolvidas

com o PBA facilita a troca de informação, melhora as relações entre os diferentes institutos e laboratórios, aperfeiçoa e enriquece o desempenho das atividades necessárias para o funcionamento ideal do sistema PBA.

Na aquicultura de recirculação é necessário um alto potencial de purificação e o PBA exibe grande potencial para a remoção de nitrogênio em aquicultura intensiva, com altas cargas de alimentação. O PBA se torna especial devido ao fato de combinar sedimentação da biomassa e biofiltração.

A remoção de nutrientes de lagos, rios e outros sistemas aquáticos pode ser feita através de processos físicos e químicos, mas estes possuem eficiência variável, dependendo do nutriente a ser removido. Esses tratamentos também requerem muito tempo de residência para reatores extremamente caros. Em alguns casos são necessários o uso de aditivos químicos, o que geralmente é muito caro para ser implementado. O PBA, no entanto, possui um custo inicial baixo e a sua manutenção é simples e barato, não precisando adicionar nenhum químico à água para que aja a remoção de nutrientes e recuperação da água.

A aplicação do PBA em fazendas, seja para a agricultura ou agropecuária, torna a sua produção e manutenção mais sustentável. Uma vez que a manutenção de suas fontes naturais de água será feita por um sistema que não adiciona químicos à água, além de que a produção da biomassa pode ser utilizada para a produção de biofertilizantes, não somente a biomassa em si, mas a água produzida por ela pode ser acrescentada na produção do biofertilizante natural e aplicada nas plantações. Ainda há o potencial uso da biomassa como ração animal, o que tornaria mais baixos, os custos da criação animal.

As diversas áreas científicas que o PBA abrange, tem potencial de estudo na UFRRJ e em outras instituições. Dentro da universidade, pode-se ter a parceria de institutos como: o Instituto de Floresta, podendo expandir a parceria já existente, executando pesquisas de outros materiais florestais sustentáveis para a construção do sistema. O Instituto de Zootecnia, com pesquisas no desenvolvimento da ração animal produzida pela biomassa do PBA, promovendo também pesquisas na área de nutrição animal, processamento de rações. No Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, podemos contar com pesquisas relacionadas ao desenvolvimento, reprodução e metabolismo das microalgas, qualidade da água e também estudos referentes à fauna que pode aparecer nas rampas do PBA, dentre outras pesquisas. Com o Instituto de Tecnologia, há a possibilidade de se trabalhar a produção de biogás através da biomassa colhida, utilização de placa solar como fonte de energia para o sistema, além de estudar o PBA, propriamente dito, já que ele é uma nova biotecnologia no país. O Instituto de Agronomia, pode ser um forte parceiro na pesquisa e produção de biofertilizantes, seja com a biomassa ou com a *green water*. Até mesmo pesquisas relacionadas à educação não formal podem ser feitas a partir do PBA, pois ele pode ser um aliado no ensino de matérias como o estudo de microalgas, cianobactérias e também educação ambiental e sustentabilidade. Muitos outros institutos da UFRRJ e até mesmo de outras universidades são possíveis parceiros uma vez que o PBA possui um vasto campo para pesquisa e a troca de conhecimento científico é essencial.

Devemos destacar, ainda, que esta pesquisa é inédita no Brasil e pouco explorado na América Latina, uma vez que somente dois outros trabalhos feitos no Brasil foram encontrados na literatura e não possuem as mesmas características que este. Sendo um deles realizado em água salgada e outro em um reservatório de água doce. Os dois foram realizados no sul do país e não possuem as mesmas condições climáticas que o estado do Rio de Janeiro, pelo contrário, o sul do Brasil tende a ter as temperaturas mais baixas, o que não condiz com a realidade de mais da metade do país.

Os resultados para o tipo de clima tropical que encontramos no Brasil, são muito satisfatórios e empolgantes, uma vez que vimos uma produção exagerada de biomassa,

provavelmente resultante do clima quente e abundante incidência solar que é observada nesse clima. Os resultados de remoção de nutrientes também foram positivos, apesar do presente trabalho ter sido somente um modelo, vimos a sua grande capacidade em remover principalmente, nitrogênio e carbono, o que demonstra o grande potencial do PBA se produzido em larga escala.

O PBA pode se tornar uma alternativa de recuperação de corpos hídricos de forma sustentável e com baixo custo de produção e manutenção em vários países em desenvolvimento de condições climáticas semelhantes às do Brasil. Na maioria desses países a contaminação dos corpos de água, consiste em uma série de variáveis. As cidades normalmente são as geradoras de fontes de contaminação, pela falta de escoamento correto de esgoto, que pode ter origem doméstica, comercial ou industrial. A zona rural também pode ser geradora de poluição, pois produtos agrícolas para controle de pragas, doenças e adubação são utilizados em excesso ou sem acompanhamento técnico, chegando aos canais de água ou contaminam as águas subterrâneas. Os tratamentos dessas águas costumam ser extremamente caros e o PBA poderia ser uma alternativa para o controle e manutenção dos nutrientes presentes na água desses países.

As informações presentes neste trabalho podem ser usadas como pontos comparativos para futuras modificações no sistema. As modificações do sistema podem incluir: um aumento nas taxas de fluxo para investigar a turbulência e a taxa de fluxo e sua eficiência na remoção de nutrientes e produção de biomassa e utilizar diferentes substratos para verificação de melhor produtividade.

7 REFERÊNCIAS

- ADEY, W. H. **Algal Turf Scrubber**. 1982. USP 4333263 AN 194726.
- ADEY, W. H. **Review-coral reefs: algal structured and mediated ecosystems in shallow, turbulent, alkaline waters**. Journal of Phycology. V. 34, n. 3, p. 393–406. 1998. doi:10.1046/j.1529-8817.1998.340393.
- ADEY, W. H., & GOERTEMILLER, T. **Coral reef algal turfs: master producers in nutrient poor seas**. Phycologia. V. 26, n. 3, p. 374–386. 1987. doi:10.2216/i0031-8884-26-3-374.1
- ADEY, W. H., KANGAS, P. C., MULBRY, W. **Algal Turf Scrubbing: Cleaning Surface Waters With Solar Energy While Producing A Biofuel**. Bioscience. V. 61, n. 6, p. 434-441. 2011.
- ADEY, W., LUCKETT, C., & JENSEN, K. **Phosphorus Removal from Natural Waters Using Controlled Algal Production**. Restoration Ecology. V.1, n. 1, p. 29–39. 1993. doi:10.1111/j.1526-100x.1993.tb00006.
- ALTMAYER, J. A., *et al.* **Avaliação Da Extração De Pigmentos Naturais Da Biomassa Remanescente De Um Sistema Algal Turf Scrubber (ATS)**. Jovens Pesquisadores. V. 10, n. 1, p. 1-13. 2020.
- ALVES, G., *et al.* **Avaliação De Formação De Biofilme Perifítico E Identificação De Microalgas Em Um Sistema Piloto Algal Turf Scrubber**. Jovens Pesquisadores. V. 10, n. 1, p. 1-12. 2020.
- ARAÚJO, G. FRANCISCO. Lago Açú: uma breve história e potencialidades. **Rural semanal: Edição especial**. Seropédica. p. 3. jun. 2007.
- BOAVIDA, M. J. L. **Problemas de qualidade da água: eutroficação e poluição**. Departamento de Zoologia e Centro de Biologia Ambiental. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 2001.
- BUSH, LARRY M. **Manual MSD**. 2022. Infecções por Escherichia coli. Disponível em: <https://www.msdmanuals.com/ptbr/casa/infec%C3%A7%C3%B5es/infec%C3%A7%C3%B5es-bacterianas-bact%C3%A9rias-gram-negativas/infec%C3%A7%C3%B5es-por-escherichia-coli>. Acesso em: 01 fev. 2024.
- CETESB (2007). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: 2006**. São Paulo: CETESB, 2007. (Série Relatórios). ESTEVES, F.A. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1988. 574p.
- CHISTI, Y. **Biodiesel from microalgae beats bioethanol**. Trends in Biotechnology. V. 26, n. 3, p. 126–131. 2008. doi:10.1016/j.tibtech.2007.12.002
- CHISTI, Y. **Biodiesel from microalgae**. Biotechnology Advances. V. 25, n. 3, p. 294–306. 2007. doi:10.1016/j.biotechadv.2007.02.001

D'AIUTO, P. et al. **Algal turf scrubbers: Periphyton production and nutrient recovery on a South Florida citrus farm.** Ecological Engineering, v. 75, p. 404-412, 2015. ISSN 0925-8574.

GLEICK, P. H. **The world's water.** 2000-2001. Report on Freshwater Resources. Island Press, p. 315. 2000.

HRBÁČEK, J., M. DVORAKOVA, V. KORINEK & L. PROCHÁZKÓVA. **Demonstration of the effect of the fish stock on the species composition of zooplankton and the intensity of metabolism of the whole plankton association.** Verh. Internat. Verein. Limnol. 14, p. 192-195. 1961. <https://doi.org/10.1080/03680770.1959.11899269>.

KANGAS, P.; MULBRY, W. **Nutrient removal from agricultural drainage water using algal turf scrubbers and solar power.** Bioresource technology, v. 152, p. 484-489, 2014. ISSN 0960-8524.

KEBEDE-WESTHEAD, E.; PIZARRO, C.; MULBRY, W. W. **Treatment of dairy manure effluent using freshwater algae: elemental composition of algal biomass at different manure loading rates.** Journal of agricultural and food chemistry, ACS Publications, v. 52, n. 24, p. 7293-7296, 2004.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** São Paulo: USP/ Departamento de Ecologia., 2004. 235 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** Átomo, 2008. ISBN 8576700832

LOPES, ALDO. Lago Açu. **Rural semanal.** Seropédica. Ano XIV, n. 18/2007, p. 3. 28 mai. 2007.

LUCKETT, C., ADEY, W. H., MORRISSEY, J., & SPOON, D. M. **Coral reef mesocosms and microcosms — successes, problems, and the future of laboratory models.** Ecological Engineering. V. 6, p. 57-72. 1996. doi:10.1016/0925-8574(95)00051-8

MARTINI, F. A. **Avaliação Da Eficiência Do Sistema Algae Turf Scrubber (ATS®) No Tratamento De Águas Eutrofizadas E Na Produção De Biomassa Perifítica.** Dissertação (Mestrado em tecnologia Ambiental) – Programa De Pós-Graduação Em Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Crus do Sul, p. 91. 2018.

MARTINI, F. A., *et al.* **Periphytic Biomass Composition And Exploitation From Algae Turf Scrubber System.** Sn Applied Sciences. V. 1, n. 7, p. 765, 2019.

MCQUEEN, D.J. & V.A. STORY. **Impact of hypolimnetic aeration on zooplankton and phytoplankton populations.** Environm. Technol. Letters 7, p. 31-44. 1986.

MULBRY, W. W.; WILKIE, A. C. **Growth of benthic freshwater algae on dairy manures.** Journal of Applied Phycology, v. 13, n. 4, p. 301-306, 2001. ISSN 0921-8971

MULBRY, W., *et al.* **Toward scrubbing the bay: Nutrient removal using small algal turf scrubbers on Chesapeake Bay tributaries.** Ecological Engineering. V. 36, p. 536-541. 2010.

MULBRY, W., *et al.* **Treatment of dairy manure effluent using freshwater algae: Algal productivity and recovery of manure nutrients using pilot-scale algal turf scrubbers.** Bioresource Technology. V. 99, p. 8137–8142. 2008.

NEIVA, M. C. B. **Cianotoxinas E Suas Implicações Na Saúde Humana.** Monografia (Especialização em Microbiologia Ambiental e Industrial) –Universidade Federal De Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 44. 2013.

ODUM, H. T. **Trophic Structure and Productivity of Silver Springs, Florida.** Ecological Monographs, 27(1), 55–112. 1957. doi:10.2307/1948571

POSADAS, E.; GARCIA-ENCINA, P.-A.; SOLTAU, A.; DOMINGUEZ, A.; DIAZ, I.; MUNOZ, R. **Carbon and nutrient removal from centrates and domestic wastewater using algal–bacterial biofilm bioreactors.** Bioresource technology, Elsevier, v. 139, p. 50–58, 2013.

REINECKE D., *et al.* **Nutrient recovery from wastewaters by algal biofilm for fertilizer production part 1: Case study on the techno-economical aspects at pilot-scale.** Separation and Purification Technology. V. 30, p. 122-471. 2023.

ROCHA, S. A., *et al.* **Influência de diferentes fontes de poluição no processo de eutrofização.** Revista Verde. V. 4, n. 4, p. 01-06. 2009.

ROGERS, P. P. *et al.* (Ed.) **Water crisis: myth or reality?** London: Fundación Marcelino Botín, Taylor & Francis, p. 331. 2006.

SANDEFUR, H. N., MATLOCK, M. D., & COSTELLO, T. A. **Seasonal productivity of a periphytic algal community for biofuel feedstock generation and nutrient treatment.** Ecological Engineering. V. 37, n. 10, p. 1476–1480. 2011. doi:10.1016/j.ecoleng.2011.04.002

Sant’Anna, C.L.; Tucci, A.; Azevedo, M.T.P.; Melcher, S.S.; Werner, V.R.; Malone, C.F.S.; Rossini, E.F.; Jacinavicius, F.R.; Hentschke, G.S.; Osti, J.A.S.; Santos, K.R.S.; Gama-Júnior, W.A.; Rosal, C. & Adame, G. 2012. **Atlas de cianobactérias e microalgas de águas continentais brasileiras.** Publicação eletrônica, Instituto de Botânica, Núcleo de Pesquisa em Ficologia.

SILVA, A. G. I. C. **Implantação e avaliação de um Algal Turf Scrubber para remoção de nutrientes.** Dissertação (Mestrado em Biotecnologia E Biociências) – Programa De Pós-Graduação Em Biotecnologia E Biociências. Universidade Federal De Santa Catarina. Florianópolis, p. 110. 2018.

SIQUEIRA, D. B.; FILHO, E. C. O. **Cianobactérias de água doce e saúde pública: uma revisão.** Universidade de ciências da saúde, v. 03, n.1, p. 109-127, 2005.

TEIXEIRA, SILVANA. **Cursos CPT.** Sistema de Aquaponia: ambiente de cultivo em substrato. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/artigos/sistema-de-aquaponia-ambiente-de-cultivo-em-substrato>. Acesso em: 14 nov. 2023.

TOMITA, C.; RESENDE, F. V.; CLEMENTE, F. M. V. T.; AMARO, G. B.; SOUZA, R. B. **Aprenda como se faz biofertilizante**. Embrapa Hortaliças. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília. p. 8, 2007.

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções**. Estudos avançados. p. 22. 2008.

VALETA, J., & VERDEGEM, M. **Removal of nitrogen by Algal Turf Scrubber Technology in recirculating aquaculture system**. Aquaculture Research, V. 46, n. 4, p. 945–951. 2015. doi:10.1111/are.12255

VON SPERLING, M. **Introdução À Qualidade Das Águas E Ao Tratamento De Esgotos**. Desa-Ufmg. 1996, 2002.

WETZEL, R.G. **Limnologia**. Fundação Calouste Gulbenkian. p. 1011. 1993

WILKIE, A. C. MULBRY, W. W. **Recovery of dairy manure nutrients by benthic freshwater algae**. Bioresource Technology. V. 84, p. 91-91. 2002.

WITARSA, F., *et al.* **Complementing Energy Production With Nutrient Management: Anaerobic Digestion System For Algal Turf Scrubber Biomass**. Bioscience. V. 143, p. 1-10. 2020.

YEOMAN, S.; STEPHENSON, T.; LESTER, J.; PERRY, R. **The removal of phosphorus during wastewater treatment: a review**. Environmental Pollution, Elsevier, v. 49, n. 3, p. 183–233, 1988.



ANEXOS

A Materiais utilizados na construção das rampas e seus valores.

Quantidade	Produto	Valor Total	Uso
12 unidades	Mourão Eucalipto 12x14mm 3m	R\$ 1.340,00	Rampa
1kg	Prego 17x27mm	R\$ 24,90	Rampa
12 unidades	Madeirite Plastificado 2,20x1,10x13mm	R\$ 1.870,00	Rampa e suporte sifão
20 metros	Plástico Transparente 15mm	R\$ 279,80	Substrato
10 metros	Sombrite 50x1,5	R\$ 120,40	Substrato
2 unidades	Caixa Grampo 106 8 CIS	R\$ 59,00	Rampa
1 unidade	Tubo solda 6m 25mm	R\$ 27,90	Sifão
1 unidade	Adaptador solda 25mm	R\$ 12,95	Sifão
2 unidades	Joelho solda 90° 25mm	R\$ 2,40	Sifão
1 unidade	Adaptador solda curto c/ bolsa 25mm	R\$ 0,95	Sifão
1 unidade	Tubo esgoto 3m 50mm	R\$ 37,95	Sifão
1 unidade	CAP Esgoto 50mm	R\$ 3,40	Sifão
1 unidade	Adesivo 17g Krona/Mundial Prime	R\$ 2,75	Sifão
9 unidades	Bucha de Metro	R\$ 162,00	Substrato
1 unidade	Tubo Solda 3m mm	R\$ 36,00	Sifão
1 unidade	T Solda	R\$ 3,75	Sifão

1 unidade	Luva Solda	R\$ 3,60	Sifão
2 unidades	Joelho solda 90° 32mm	R\$ 5,60	Sifão
1 unidade	Tubo solda 6m 50mm + frete 50	R\$ 144,63	Encanamento entrada
2 unidades	T Solda 50	R\$ 20,78	Encanamento entrada
2 unidades	Joelho esgoto 50	R\$ 8,14	Encanamento entrada
4 unidades	Luva redução rosca	R\$ 14,23	Encanamento entrada
4 unidades	Adaptador interno 3/4 (p/ mangueira)	R\$ 7,34	Encanamento entrada
4 unidades	Registro esf. Rosca c/ união pvc 1	R\$ 96,52	Encanamento entrada
1 unidade	Calha	R\$ 280,00	Encanamento saída
2 unidades	Bocal calha	R\$ 205,50	Encanamento saída
4 unidades	Cabeceiras calha	R\$ 122,20	Encanamento saída
2 unidades	Joelho 90 transição 88x100	R\$ 111,10	Encanamento saída
1 unidade	TE esgoto	R\$ 22,50	Encanamento saída
2 unidades	Redução esgoto 100x75	R\$ 28,20	Encanamento saída
2 unidades	Joelho 90 esgoto	R\$ 20,10	Encanamento saída
4 unidades	Suporte Calha	R\$ 43,60	Encanamento saída
	Valor Total	R\$ 5.118,19	

B Análise geral da água do lago

 UFRRJ UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO		Instituto de Agronomia Departamento de Solos		 LSP LABORATÓRIO DE ESTUDOS DO MEIO AMBIENTE	
Centro de Análises Agropecuárias e Ambientais (CEAgro) Laboratório de Estudos das Relações Solo Planta (LSP) Resultado de Análise de Água					
Proprietário: Joyce / Leandro Propriedade: Município/Est: e-mail:			Convênio: Data Emissão: Telefone: Valor (R\$):		
ID	Identificação da Amostra			Observação	
3439	Água do Lago Açú			Matriz: água	
---	---			---	
---	---			---	
Determinações				ID	
Parâmetro	Método	Unidade	3439	---	---
pH	APHA, 2012	---	7,03		
Condutividade elétrica	APHA, 2012	mS cm ⁻¹	0,25		
Dureza total	APHA, 2012	mg L-1 CaCO ₃	43,29		
Alcalinidade Total	APHA, 2012	mg L-1 CaCO ₃	34,30		
Cloretos	APHA, 2012	mg L-1	32,00		
Cloro livre	APHA, 2012	mg L-1	0,44		
N	APHA, 2012	mg L-1	10,40		
K	APHA, 2012	mg L-1	8,20		
Na	APHA, 2012	mg L-1	21,20		
Ca	APHA, 2012	mg L-1	13,10		
Mg	APHA, 2012	mg L-1	3,17		
Fe	APHA, 2012	mg L-1	nd		
Mn	APHA, 2012	mg L-1	0,010		
Zn	APHA, 2012	mg L-1	0,052		
Cu	APHA, 2012	mg L-1	0,018		
Cr	APHA, 2012	mg L-1	nd		
Al	APHA, 2012	mg L-1	nd		
Cd	APHA, 2012	mg L-1	nd		
Pb	APHA, 2012	mg L-1	0,020		
Ni	APHA, 2012	mg L-1	nd		
nd: Não detectado pelo método de análise					
*APHA, 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22nd edition edited by E. W. Rice, R. B. Baird, A. D. Eaton and L. S. Clesceri. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF), Washington, D.C., USA.					