



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA**

**CAMPUS DE JI-PARANÁ**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**



**ONÉAS EDUARDO DE OLIVEIRA NETO**

**QUALIDADE DA ÁGUA DE PISCICULTURA EM SISTEMA DE  
RECIRCULAÇÃO COM TRATAMENTO DE EFLUENTES POR  
BIOMÍDIAS ALTERNATIVAS E FITORREMEDIAÇÃO**

Ji-Paraná

2022

**ONÉAS EDUARDO DE OLIVEIRA NETO**

**QUALIDADE DA ÁGUA DE PISCICULTURA EM SISTEMA DE  
RECIRCULAÇÃO COM TRATAMENTO DE EFLUENTES POR  
BIOMÍDIAS ALTERNATIVAS E FITORREMEDIAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Dr. Alberto Dresch Webler

Coorientadora: Me. Nicolý Dal Santo Svierzoski

Ji-Paraná

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Fundação Universidade Federal de Rondônia  
Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

---

O48q Oliveira Neto, Onéas Eduardo de.

Qualidade da água de piscicultura em sistema de recirculação com tratamento de efluentes por biomédias alternativas e fitorremediação / Onéas Eduardo de Oliveira Neto. -- Ji-Paraná, RO, 2022.

73 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Alberto Dresch Webler

Coorientador(a): Prof.<sup>a</sup> Ma. Nicolý Dal Santo Svierzoski.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.Segurança alimentar . 2.Tecnologias sociais. 3.Wetlands. 4.Aquicultura . I. Webler, Alberto Dresch. II. Título.

CDU 628.161.1



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA AMBIENTAL - JI-PARANÁ

## ONÉAS EDUARDO DE OLIVEIRA NETO

Monografia de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Rondônia como parte dos pré-requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária. Aprovada no dia 23 de Março de 2022, pela Banca Examinadora constituída pelos Docentes:

Prof. Dr. Alberto Dresch Webler

Fundação Universidade Federal de Rondônia

Prof. Me. Ricardo Henrique Bastos de Souza

Fundação Universidade Federal de Rondônia

Prof.<sup>a</sup> Dra. Fernanda Bay Hurtado

Fundação Universidade Federal de Rondônia

Porto Velho, 23 de Março de 2022



Documento assinado eletronicamente por **ALBERTO DRESCH WEBLER, Docente**, em 04/04/2022, às 15:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **FERNANDA BAY HURTADO, Docente**, em 04/04/2022, às 15:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **RICARDO HENRIQUE BASTOS DE SOUZA, Docente**, em 04/04/2022, às 21:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.unir.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.unir.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0926118** e o código CRC **8ADB322B**.

**Dedico este trabalho à minha família e aos queridos amigos que foram presentes e de suma importância na minha formação.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me cercar de pessoas tão especiais e permitir que fossem luz no meu caminho, por proporcionar tantas mudanças em minha vida e por sua proteção que me permitiu trilhar este caminho até aqui.

Agradeço a Deus pelos aprendizados que tive com minha avó Maria da Conceição de Oliveira, pois foram seus ensinamentos que me despertaram as curiosidades e o amor pela natureza, isto me fez seguir o caminho que venho trilhando. Desejo que Deus a tenha ao seu lado e que esteja orgulhosa do seu neto, serei eternamente grato por todo amor e cuidado.

Agradeço de todo meu coração à minha amiga e minha mãe, Adilça Dias, que nunca mediu esforços para me ver bem, esta mulher guerreira e trabalhadora que enche meu coração de orgulho e me incentiva a ser um homem melhor a cada dia, agradeço por todo apoio na minha formação como pessoa e profissional.

Ao meu pai Heliomar Eduardo Teixeira e aos meus irmãos que são tão amáveis e doces, compreensivos, sempre me apoiando em meus projetos, e por isto, são parte do meu porto seguro.

Aos meus professores, que foram meus exemplos de dedicação e conduta profissional e, que em cada troca, me mostravam o valor da ética e respeito. Aos professores Beatriz Machado Gomes, Ana Denardin da Rosa, Robson Alves de Oliveira, Elisabete Lourdes do Nascimento e José Roberto Ribeiro, que serei sempre grato pelos aprendizados e por tanta dedicação ao trabalho, isto fez com que cada aula fosse um mundo de descobertas. À Nara Luíza Reis de Andrade e Rodrigo Martins Moreira por aguçarem minha curiosidade em projetos e por suas colaborações quanto às publicações.

À professora Renata Gonçalves Aguiar, pelos ensinamentos e por ter sido tão gentil me incentivando a dedicar-me, em um dos momentos mais difíceis da vida acadêmica.

À professora Margarita María Dueñas Orozco que ensinou mais do que as matérias curriculares, me ensinou valores e me deu exemplos de empatia e cidadania. Foi fundamental na minha formação por nos ensinar a preparar peças técnicas que são uma grande demanda do mercado; possui uma dinâmica tão inclusiva que pude realmente aprender a planejar, projetar, aplicar e gerenciar.

Agradeço a Deus por permitir conviver com amigos que me fizeram acreditar no meu potencial e superar os tantos obstáculos que tive nesta jornada. Ao amigo Guilherme Marinho de Oliveira que sempre me incentivou a estudar e esteve presente em boa parte da minha formação acadêmica, pude aprender sobre seriedade, paciência, perseverança, simplicidade e

respeito. Ao amigo Carlos Rayan e sua família que sempre me acolheram como seus, e foi uma família a mais que Deus me presenteou para aprender os reais valores da vida.

A Ellis Caroline de Carvalho Arenhart, que sempre me tratou com carinho e respeito, que esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis da minha vida, me ajudando superar as adversidades, me ajudando crescer como ser humano, me incentivando a ser uma pessoa melhor e me dando forças na minha formação acadêmica e pessoal. Foi uma pessoa fundamental, pois, contribuiu de forma positiva em minha mudança de vida, me reaproximando de Deus, me ajudando a ver que eu sempre vou ser maior do que os obstáculos e que tudo nesta vida é passageiro, sempre serei grato pelo que aprendi sobre superação e amor próprio.

A Ellen Arenhart que sempre me teve como um irmão e este carinho e respeito fizeram a diferença no meu crescimento, me deu um grande exemplo de superação e reconstrução intelectual, cada conversa e cada conselho foram primordiais para me centrar, dedicar e focar nas responsabilidades.

Ao amigo Rafael Gonçalves de Araújo Neto que é muito especial, pela amizade recíproca oferecida e por ser pessoa de luz que contribuiu na minha vida acadêmica e pessoal, por me proporcionar um ambiente para estudar e aplicar técnicas de produção de alimentos e que me serviu de refúgio neste período tão difícil de pandemia, sou grato por estar presente na minha vida mesmo que a distância.

Eri Igor, amigo agrônomo em formação, que sempre foi prestativo, aconselhou e tirou dúvidas que ajudaram na minha formação, sempre acompanhando os resultados dos meus experimentos com animosidade.

Aos colegas da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, por auxiliar no importante processo que foi o estágio supervisionado.

Sou imensamente grato Professor Dr. Alberto Dresch Webler que considero um professor completo, por sua carga de conhecimento demonstrada em muitas áreas, pela sua paciência e disponibilidade, pela forma animada, prática e direta de ensinar mesmo os assuntos mais complexos; agradeço imensamente por ser meu orientador, amigo, parceiro de laboratório e por contribuir tanto na minha vida acadêmica e pessoal.

À Nicolý Dal Santo Svierzoski por aceitar ser minha coorientadora, por sua paciência ao me auxiliar na melhoria da minha escrita e por compartilhar seus conhecimentos nas contribuições nas pesquisas realizadas, sua orientação foi fundamental ao desenvolvimento do TCC.

Aos colegas de laboratório, Adão Oliveira, Hildevan Teixeira e Graciele Monteiro que foram fundamentais ao desenvolvimento do projeto.

À UNIR – Fundação Universidade Federal de Rondônia e ao Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária pelas contribuições na minha formação acadêmica.

À Nayara Albrigo, Nelma Tavares, Lindolaine Souza, Karoline Peixoto, Daniele Silva, Euripedes Junior, Dara Oliveira, Caroline Horrana, José Lucas, Caio Serafin e Wellington Kruger. Sinto um carinho e uma gratidão enorme por estes colegas de classe, que mesmo sem saber, me incentivaram a ser um aluno mais dedicado, pelo simples fato de serem estudiosos e esforçados, colegas que sempre me respeitaram e tive neles um exemplos de vida acadêmica, foram muito importantes em minha formação, pois aguçavam em mim uma vontade de me dedicar tanto quanto e isto mudou minhas perspectivas quanto ao meu futuro.

Se pude chegar até aqui, foi por despertarem o melhor de mim, me fazendo acreditar no meu potencial e buscar cada vez mais conhecimento, e serei sempre grato a Deus por isto!



## RESUMO

A demanda mundial por alimentos tem levado o homem a explorar o meio com desarmonia, pois os impactos das atividades produtivas podem degradar o ambiente de cultivo e causar desequilíbrio ambiental, com maior agravo a depender da escala produtiva. Rondônia tem se destacado na produção de pescado devido a abundância dos recursos hídricos, esta atividade tem se desenvolvido principalmente em escala familiar, e o rápido crescimento do estado neste cenário produtivo pode causar pressão nos corpos hídricos. Uma forma de produção intensiva capaz de minimizar os impactos da piscicultura é o sistema de recirculação de água (RAS), que demanda um sistema de tratamento eficiente. Esta técnica pode ser desenvolvida em escala industrial e familiar, sendo que a redução de custos no desenvolvimento deste sistema, assim como uma metodologia de fácil replicação, pode torná-lo uma tecnologia social para gerar segurança alimentar. O dimensionamento do sistema de tratamento pode contemplar materiais reutilizáveis, por exemplo, utilizando tambores como reatores do tipo *Moving Bed Biofilm Reactors* (MBBR) preenchidos com biomédias alternativas e há a possibilidade de se produzir vegetais em leitos cultivados, o que permitiria uma maior produção de alimentos em um sistema cíclico que não demanda grandes áreas. Objetivou-se analisar a qualidade da água de uma piscicultura em sistema de recirculação utilizando materiais alternativos no sistema de tratamento de efluentes e fitorremediação em *wetlands*. Os objetivos específicos foram verificar a aplicabilidade do sistema de tratamento alternativo, acompanhar o desenvolvimento dos peixes e aferir a produtividade média de biomassa seca no processo de fitorremediação. A verificação da aplicabilidade do sistema alternativo de tratamento se deu através da averiguação da qualidade da água, que ocorreu por meio de análises laboratoriais dos parâmetros físico-químicos: nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e temperatura. O desenvolvimento do sistema foi investigado de forma por meio das biometrias e da produtividade média da biomassa seca que foi realizada no leito de cultivo de macrófita. As médias dos parâmetros físico-químicos se mantiveram dentro das faixas desejadas para a piscicultura, evidenciando a boa qualidade da água e a boa aplicabilidade do sistema de tratamento alternativo proposto. A média para o pH foi de 7,03, a temperatura média foi de 28,87 °C e o oxigênio dissolvido apresentou uma média de 6,5 mg/L. O conduíte apresentou biofilme aderido, o que indicou a atuação dos microrganismos nitrificantes no reator. A fitorremediação por meio das macrófitas e das hortelãs se mostraram eficientes na manutenção da qualidade da água, porém a macrófita apresentou maior tolerância e desenvolvimento, enquanto a hortelã apresentou danos aparentes nas folhas e raízes. A macrófita utilizada foi a *Salvinia minima*, que apresentou uma produtividade média de 4,134 g/dia de biomassa seca. Os tambaquis se desenvolveram bem até a terceira fase da engorda, mas foi observada a estagnação do crescimento nesta fase em tanque de 0,5 m<sup>3</sup>. É importante que sejam desenvolvidos mais estudos sobre a temática, para a obtenção de informações que subsidiem o fortalecimento dos potenciais desta tecnologia social, sendo elas ferramentas produtivas, que oferecem garantia de segurança alimentar.

**Palavras-chave:** Segurança alimentar, Tecnologias sociais, Wetlands, Aquicultura.

## ABSTRACT

The world demand for food has led man to explore the environment with disharmony, as the impacts of productive activities can degrade the cultivation environment and cause environmental imbalance, with greater aggravation depending on the production scale. Rondônia has stood out in the production of fish due to the abundance of water resources, this activity has been developed mainly on a family scale, and the rapid growth of the state in this productive scenario can cause pressure on water bodies. A form of intensive production capable of minimizing the impacts of fish farming is the water recirculation system (RAS), which requires an efficient treatment system. This technique can be developed on an industrial and family scale, and the cost reduction in the development of this system, as well as an easily replicable methodology, can make it a social technology to generate food security. The dimensioning of the treatment system can include reusable materials, for example, using drums as Moving Bed Biofilm Reactors (MBBR) filled with alternative biomedias and there is the possibility of producing vegetables in cultivated beds, which would allow a greater production of food in a cyclical system that does not demand large areas. The objective was to analyze the water quality of a fish farm in a recirculation system using alternative materials in the effluent treatment system and phytoremediation in wetlands. The specific objectives were to verify the applicability of the alternative treatment system, monitor the development of fish and measure the average productivity of dry biomass in the phytoremediation process. The verification of the applicability of the alternative treatment system was carried out through the investigation of the water quality, which took place through laboratory analyzes of the physical-chemical parameters: nitrite, nitrate, ammoniacal nitrogen, dissolved oxygen, pH, electrical conductivity and temperature. The development of the system was investigated through the biometrics and the average productivity of the dry biomass that was carried out in the macrophyte cultivation bed. The averages of the physical-chemical parameters remained within the desired ranges for fish farming, evidencing the good quality of the water and the good applicability of the proposed alternative treatment system. The average for the pH was 7.03, the average temperature was 28.87 °C and the dissolved oxygen presented an average of 6.5 mg/L. The conduit showed adhered biofilm, which indicated the action of nitrifying microorganisms in the reactor. Phytoremediation through macrophytes and mints proved to be efficient in maintaining water quality, but the macrophyte showed greater tolerance and development, while mint showed apparent damage to leaves and roots. The macrophyte used was *Salvinia minima*, which presented an average productivity of 4.134 g/day of dry biomass. Tambaquis developed well until the third fattening stage, but growth stagnation was observed at this stage in a 0.5 m<sup>3</sup> tank. It is important that more studies are carried out on the subject, in order to obtain information that subsidizes the strengthening of the potential of this social technology, as they are productive tools that offer food security guarantees.

**key words:** Food security, Social technologies, Wetlands, Aquaculture.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Entrada de nutrientes, dinâmica microbiana e a remoção de nutrientes.....	29
<b>Figura 2</b> – Mapa de localização do município de Ji-Paraná/RO.....	31
<b>Figura 3</b> - Desenho esquemático do sistema experimental proposto.....	33
<b>Figura 4</b> - Tanques de criação dos peixes.....	34
<b>Figura 5</b> - Overflow para sucção de dejetos sob pressão atmosférica.....	35
<b>Figura 6</b> - Registros para limpeza (TPA) e manutenção.....	36
<b>Figura 7</b> - Detalhes interiores do decantador (S3) .....	37
<b>Figura 8</b> - Conduítes usados como biomídias alternativas.....	38
<b>Figura 9</b> - Biomídia comercial e alternativa.....	39
<b>Figura 10</b> - Estrutura para instalação dos leitos de cultivo.....	40
<b>Figura 11</b> - Detalhes da montagem do leito de hortelã (S5) .....	41
<b>Figura 12</b> - Poros no interior da argila expandida utilizada no preenchimento do S5.....	41
<b>Figura 13</b> – Leito de cultivo de macrófitas (S6).....	42
<b>Figura 14</b> - Material utilizado para realização da biometria.....	44
<b>Figura 15</b> - Alevino de <i>Colossoma macropomum</i> .....	45
<b>Figura 16</b> - Oscilação nos valores de pH.....	49
<b>Figura 17</b> - Valores encontrados para condutividade elétrica.....	49
<b>Figura 18</b> - Valores de temperatura. ....	50
<b>Figura 19</b> - Dinâmica do nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato.....	50
<b>Figura 20</b> – Porcentagem das formas nitrogenadas (Figura 20 a) e o comportamento do pH e nitrato (Figura 22 b) .....	52
<b>Figura 21</b> - Colonização dos leitos de cultivo.....	53
<b>Figura 22</b> - Crescimento vigoroso da hortelã e macrófita.....	54
<b>Figura 23</b> - Leito de cultivo de <i>Salvinia minima</i> .....	55
<b>Figura 24</b> - Danos observados nas estruturas da hortelã.....	56
<b>Figura 25</b> - Recuperação da hortelã.....	57
<b>Figura 26</b> - Peso seco para aferição da produção de biomassa.....	58
<b>Figura 27</b> - Desenvolvimento do biofilme.....	62
<b>Figura 28</b> - Tambaqui na fase de engorda.....	63
<b>Figura 29</b> - Biometria da caixa 1.....	65
<b>Figura 30</b> - Biometria da caixa 2.....	65

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Parâmetros, métodos, unidades e referências utilizadas.....	32
<b>Tabela 2</b> - Materiais utilizados e seu preço de acordo com a tabela SINAPI 2021.....	46
<b>Tabela 3</b> - Teste de normalidade de Shapiro-Wilk. ....	47
<b>Tabela 4</b> - Estatística descritiva para dados paramétricos. ....	47
<b>Tabela 5</b> - Produção de biomassa de <i>Salvinia minima</i> . ....	59
<b>Tabela 6</b> - Valores ou faixas ideais dos parâmetros de qualidade da água para piscicultura.....	60
<b>Tabela 7</b> - Análise de correlação de Spearman para os parâmetros da qualidade da água de piscicultura em sistema de recirculação.....	61
<b>Tabela 8</b> - Resultados da biometria. ....	64

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Tratamento e destinação de efluentes de piscicultura.....	25
<b>Quadro 2</b> - Vantagens e desvantagens da aquaponia. ....	28
<b>Quadro 3</b> - Reação de oxidação da amônia. ....	30

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>1. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1. SEGURANÇA ALIMENTAR .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2. AQUICULTURA .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.1. Piscicultura.....</b>	<b>20</b>
<b>1.2.2. Aquaponia e Sistema de Recirculação de Água (RAS) .....</b>	<b>22</b>
<b>1.3. QUALIDADE DA ÁGUA .....</b>	<b>24</b>
<b>1.3.1. Eutrofização .....</b>	<b>25</b>
<b>1.3.2. Nitrogênio amoniacal, Nitrito e Nitrato.....</b>	<b>26</b>
<b>1.3.3. Fitorremediação.....</b>	<b>27</b>
<b>1.3.4. Leitões de Cultivo .....</b>	<b>30</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
<b>2.1. CONFECÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2. SISTEMA DE TRATAMENTO ALTERNATIVO .....</b>	<b>38</b>
<b>2.3. PRODUÇÃO DE BIOMASSA .....</b>	<b>43</b>
<b>2.4. BIOMETRIA.....</b>	<b>43</b>
<b>2.4.1. Manejo dos peixes.....</b>	<b>44</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1. TESTE DE NORMALIDADE.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2. ESTATÍSTICA DESCRITIVA .....</b>	<b>47</b>
<b>3.3. DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS E REMOÇÃO DE NUTRIENTES.....</b>	<b>53</b>
<b>3.4. FAIXAS DOS PARAMETROS PARA CULTIVO DO TAMBAQUI PARA     COMPARAÇÃO COM A LITERATURA .....</b>	<b>59</b>

<b>3.5. CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS.....</b>	<b>61</b>
<b>3.6. DESENVOLVIMENTO DAS BACTÉRIAS E DOS PEIXES .....</b>	<b>62</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERENCIAL .....</b>	<b>69</b>

## INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial por alimentos de origem animal associada a uma produção de baixo nível tecnológico, que explora o recurso natural, negligenciando a capacidade de assimilação e regeneração do meio, tem causado degradação ambiental, com maior agravo a depender da escala de cultivo. A produção de pescado é uma atividade que está em ascensão no País e vem sendo amplamente praticada no estado de Rondônia tanto para subsistência quanto para gerar renda. O estado de Rondônia (Brasil) tem se destacado na piscicultura, sendo o maior produtor de espécies nativas do país (PEIXE BR, 2022).

A produção intensiva de pescado gera mais efluentes e quando seu lançamento ocorre de forma inadequada em corpos hídricos, pode acarretar em danos ao meio e comprometer a dinâmica natural do ecossistema, pois na composição do efluente gerado pela piscicultura estão presentes concentrações de nutrientes como o nitrogênio e o fósforo, e por volta de apenas 25% da alta carga de nutrientes inseridos, na piscicultura intensiva são convertidos em biomassa, o restante se torna parte do efluente (MOURA et al., 2013). Tais compostos podem acarretar no processo de eutrofização do corpo hídrico, prejudicando o desenvolvimento dos organismos aquáticos (ESTEVEZ, 1998).

Uma forma de evitar esse fenômeno é o direcionamento do efluente para o devido tratamento, o que ainda tornaria viável o retorno da água para o tanque de cultivo de peixes (sistema de recirculação de água). A qualidade da água é seguramente um dos mais importantes fatores do ambiente de cultivo de peixes e que pode ser manejado para reduzir o estresse em sistemas intensivos (BRUNE; TOMASSO, 1991). Em um ambiente fechado há uma maior necessidade de um tratamento eficiente a fim de recircular uma água de qualidade.

Os reatores de leito móvel com biofilme MBBR são comumente usados no tratamento de efluentes, utilizando-se de materiais de suporte microbiano, que podem ser de vários tipos e de eficiência variada. Porém, muitas vezes, a aplicação da biomídia comercial é dificultada devido ao seu valor comercial e por não se tratar de material de fácil acesso em comércios locais, no entanto é possível reduzir custos utilizando materiais alternativos em substituição das biomídias comerciais e ainda assim obter eficiência no tratamento. De acordo com Belloni (2011) e Almeida et al. (2016), o emprego de material alternativo como suporte para o biofilme no reator pode ser viável por apresentar baixo custo para implantação e pode apresentar bom resultado no tratamento do efluente, salientando ainda a importância da observação da dinâmica de oxigênio no reator, pois permitirá o desenvolvimento de microrganismos heterotróficos e nitrificantes que diminuem a concentração de amônia do meio. Estes métodos de tratamento de



efluente de baixo custo e fácil operação colaboram com o crescimento e fortalecimento da piscicultura (MOURA et al., 2013). Investigar o uso de técnicas produtivas de custo reduzido é uma estratégia para fortalecimento de tecnologias sociais que permitam uma maior acessibilidade a produção de alimentos, principalmente em escala familiar, gerando assim, segurança alimentar.

Outra forma de tratamento de efluente com custos reduzidos são os sistemas alagados construídos, que possuem a capacidade de tratar o efluente por fitorremediação. Paoli (2010) ressalta a importância das *wetlands* em sistemas de tratamento por serem estruturas de tratamento de baixo custo, fácil manutenção e operação. *Wetlands* se baseiam nos fenômenos que ocorrem em áreas alagadas naturais e possui destaque no tratamento de efluentes (a vegetação remove os poluentes do líquido) devido ao seu mecanismo de baixo custo que favorece as zonas de raízes e podem viabilizar tratamentos diversos de acordo com cada realidade (ANDRADE, 2012). Com a possibilidade de utilizá-las em sistemas fechados e de optar por uma cultura vegetal, há a oportunidade do cultivo de alimentos de origem animal e vegetal em uma menor área de produção. Silva et al. (2015), constataram a viabilidade de um sistema que integrou produção vegetal e de pescado, sendo possível observar que os dejetos dos peixes nutriram as plantas, que por sua vez reduziram os níveis de amônia e melhoraram a qualidade da água. Canastra (2010) ressalta que a escolha da cultura vegetal a ser cultivada precisa considerar diversos fatores, já que é possível desenvolver muitas espécies, inclusive árvores.

Ao processo de remoção de nutrientes através das plantas (o que ocorre nas *wetlands*) dá-se o nome de fitorremediação, sendo que após esse processo a água pode ficar viável para recircular pelo sistema. A fitorremediação através do leito cultivado pode ser considerada como um sistema de polimento, pois, há uma transformação bioquímica do efluente e uma posterior remoção dos mesmos, tal processo se mostra eficiente para retenção e remoção de fósforo e nitrogênio (CAMPOS; FILHO, 2019).

Diante do exposto, o presente estudo visou analisar a qualidade da água de uma piscicultura em sistema de recirculação com tratamento de efluentes por meio de biomédias alternativas e fitorremediação. Os objetivos específicos foram verificar a aplicabilidade do sistema de tratamento, investigar o desenvolvimento dos peixes por meio de biometrias e a produtividade média de biomassa seca no leito cultivado.

## **1. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1.1. SEGURANÇA ALIMENTAR**

No ano de 2020 a fome aumentou em termos proporcionais e absolutos, sendo maior que o crescimento populacional, e 30 % da população mundial não se alimentou adequadamente no decorrer do ano (FAO, 2020). A crescente demanda por alimentos tem levado o homem a buscar novas técnicas produtivas que colaborem com a segurança alimentar. De acordo com Sidonio et al. (2012), alimentar a população mundial tem sido um desafio do setor agropecuário, pois a mesma tem demandado mais proteína animal.

Em síntese, Nunes (2019) relata que apesar da necessidade das atividades humanas produtivas utilizarem os recursos naturais, o atual modelo econômico exploratório tem interagido com o meio de forma desarmônica, causando a degradação ambiental e alterando o equilíbrio dinâmico do ambiente a nível global. Estas alterações ecossistêmicas levam ao colapso diversos sistemas produtivos devido às severas condições climáticas impostas pelo desequilíbrio destas dinâmicas. O autor evidencia ainda a necessidade de aderir a uma produção sustentável e desenvolver pesquisas que gerem soluções alternativas que permitam produzir com menor uso dos recursos.

São muitas as atividades produtivas que podem ser utilizadas como tecnologias sociais, dentre elas temos a aquicultura, que em condições ideais, permite uma alta produção de proteína e de vegetais em alguns casos. De acordo com Barreto e Piazzalunga (2012), tecnologias sociais são os produtos, métodos e técnicas desenvolvidas com o intuito de solucionar tecnologicamente os problemas relacionados com a vulnerabilidade social e econômica, são soluções passíveis de replicação e podem ser desenvolvidas comunitariamente visando efetivas transformações sociais.

A aquicultura é uma atividade que pode ser desenvolvida de forma sustentável para produção de alimentos, possui grande contribuição na geração de renda colaborando com a redução da pobreza e fome, além de contribuir com a segurança alimentar (SIQUEIRA, 2018). É uma importante fonte de renda e subsistência, e tem sido a alternativa mais viável para atender a demanda mundial (CNA, 2018).

A piscicultura é uma atividade aquícola que tem grande contribuição com a geração de emprego e renda no país, o que tem tomado espaço na produção mundial. Esta atividade pode ajudar a suprir a demanda por proteína e fortalecer a soberania alimentar. Para Sidonio et al. (2012), o crescimento da demanda por proteína no Brasil, se deu por fatores como a densidade

demográfica e aumentos no poder aquisitivo da população. Ribeiro et al. (2016) relatam que em todo o país, a piscicultura familiar de subsistência é praticada em regime extensivo, de baixo custo de implantação e manutenção, geralmente implementada em sistemas naturais. Diante destes fatores, nota-se que é possível ocupar mais espaço na produção mundial.

O aumento da taxa média anual de consumo global de alimentos foi de 3,1% entre os anos de 1961 com 9,0 kg per capita a 2017 com 24,4 kg per capita (FAO, 2020). Devido ao aumento da demanda por alimentos e ao modelo capitalista vigente, a produção de alimentos segue em crescimento no estado de Rondônia, que possui boas condições climáticas e uma grande quantidade de bacias hidrográficas, o que têm contribuído com o crescimento e desenvolvimento da piscicultura. A EMATER/RO (Entidade Autárquica de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Rondônia) faz referência que a piscicultura teve início no estado na década de 1980 com a inserção do tambaqui, apresentando um crescimento vertiginoso em um curto espaço de tempo, o que gerou um impacto direto no aumento de áreas degradadas.

Em síntese, Lima et al. (2019) relatam que a piscicultura é a atividade zootecnista que mais tem se destacado na região amazônica, sendo a atividade que mais cresceu nos últimos anos e que a espécie mais utilizada para a engorda é a *Colossoma Macropomum*, conhecida popularmente como tambaqui. Dentre as espécies nativas produzidas em cativeiro no país, o fato do tambaqui ser a espécie mais cultivada é devido ao bom padrão zootécnico de crescimento (MORAIS; O'SULLIVAN, 2017).

Diante da crescente demanda pelo pescado e dos impactos inerentes à produção tradicional (exigem grandes áreas para produção e os efluentes, ricos em nutrientes, impactam negativamente o meio), a aquicultura surge como uma forma de produção pela qual é possível obter maior produção de alimentos em menores áreas e com impactos negativos reduzidos. Ainda como forma de melhoria ao sistema, a recirculação de água permite que os nutrientes provenientes dos dejetos dos organismos aquáticos e os restos de ração sejam utilizados pelas plantas, que por sua vez crescem e melhoram a qualidade da água. Dessa forma os organismos acabam se beneficiando mutuamente (HUNDLAY; NAVARRO, 2013).

Apesar da disponibilidade hídrica de Rondônia, que é um estado que compõe a Amazônia legal, a regulamentação e o controle dos órgãos ambientais são de suma importância para que as atividades econômicas sejam desenvolvidas diminuindo as externalidades negativas da produção. De acordo com a Política Estadual de Recursos Hídricos de Rondônia, as atividades antrópicas voltadas ao desenvolvimento econômico são responsáveis pelos principais impactos sobre os recursos hídricos (PERH-RO, 2019). Sendo assim, a utilização de

tecnologias de baixo custo, que apresentem eficiência e sejam facilmente replicáveis, pode contribuir com uma produção de baixo impacto negativo.

## 1.2. AQUICULTURA

A aquicultura é uma atividade que utiliza os recursos hídricos de forma planejada e controlada para produzir organismos aquáticos (SCHULTER; VIEIRA FILHO, 2017). No ano de 2017, o consumo dos pescados representou 17% da ingestão das proteínas de origem animal e 7 % de toda proteína consumida globalmente. No ano de 2018, a produção global de pescado chegou a cerca de 179 milhões de toneladas, das quais, 82 milhões de toneladas foram produzidas na aquicultura, sendo assim responsável por aproximadamente 40 % da produção global (FAO, 2020).

A produção de alimentos está em ascensão no Brasil, com crescimento de empreendimentos no setor aquícola, porém, a alta demanda por alimentos exige uma maior escala, com isto há uma preocupação com o uso sustentável do recurso e seus impactos sociais. Em suma, Siqueira (2018) diz que a aquicultura é uma forma de produção com bases sustentáveis que visa cultivo de espécies aquáticas em ambientes controlados ou semi-controlados, sua expansão se deu pelo surgimento de novas técnicas com custos acessíveis e com ganhos de produtividade e qualidade.

A aquicultura sustentável visa produzir organismos aquáticos de forma duradoura e harmônica, se utilizando racionalmente de recursos humanos, manufaturados e naturais, evitando externalidades do projeto e gerando lucro, menor impacto e ganhos sociais (VALENTI, 2002). A pesca por captura está limitada por fatores como o período de reprodução dos peixes, quantidade de pescado por metro quadrado que prejudica a logística e diante de tais desafios, a aquicultura tem se tornado uma alternativa para suprir a demanda (SIDONIO et al., 2012).

O momento de ascensão da aquicultura traz consigo uma problemática inerente a um inadequado aproveitamento dos recursos e a extrapolação da capacidade de suporte do ambiente de criação, sendo possível, em alguns casos, gerar passivos ambientais e impedir a produção, deixando assim de aproveitar as potencialidades do crescimento do setor. Em síntese, Matos et al. (2016) afirmam que a produção máxima permissível de pescado não pode ultrapassar a capacidade de absorção do ambiente, isto ocorre quando há um aumento do fluxo de partículas e dos nutrientes que estão dissolvidos na água, estes são provenientes da dieta e metabolismos dos peixes e são os principais responsáveis pelos impactos relacionados a aquicultura, pois o

incremento excessivo de fósforo e nitrogênio causam eutrofização e pode inviabilizar a criação ou empreendimento.

A ampla distribuição geográfica pluviométrica no país, faz com que haja uma maior necessidade de se diminuir os gastos com água em uma produção. O clima de alguns estados com secas prolongadas pode inviabilizar os empreendimentos por perdas na produtividade e qualidade (PEIXE BR, 2019). Em ambientes com menor disponibilidade de chuvas, a economia do recurso hídrico assim como sua gestão se torna um fator limitante para a aquicultura, diante disso, estados como a Bahia e Ceará apostam em tecnologias de produção que minimizem o consumo de água e permitam uma alta produção, como em sistemas fechados (PEIXE BR, 2018).

A escassez hídrica, a alta demanda pelo pescado e os crescentes impactos relacionados a aquicultura tem fomentado toda uma cadeia produtiva no país, com surgimento de técnicas produtivas como o sistema de recirculação de água (RAS) e novos produtos direcionados ao setor (rações, vacinas, medicamentos), buscando a otimização dos recursos e por estes e outros fatores, a aquicultura está em um momento de forte crescimento (KUBITZA, 2015).

Dos sistemas produtivos contemplados na aquicultura, destaca-se a recirculação de água, que é ideal para geração de renda em pequenas e médias propriedades, sendo considerado um sistema fechado e intensivo com controle de fatores atinente a produção e baixa renovação da água, estas técnicas de produção em cativeiro colaboram com a diminuição da pesca por captura, porém esta técnica demanda uma boa qualidade de água em recirculação (MELLO et al., 2017). O maior controle da qualidade da água na criação de peixes se traduz em ganho de produtividade e uma melhor qualidade (SIQUEIRA, 2018)

A piscicultura está inserida na aquicultura e pode ser desenvolvida em sistema de recirculação com possibilidade de se regular a estocagem, entrada e saída do recurso hídrico, alimentação, e quando aplicada em sistemas intensivos, é caracterizado pelo alto consumo de ração, demandando controle total dos parâmetros (SENAI, 2013).

### **1.2.1. Piscicultura**

Para Sidonio et al. (2012), a piscicultura é o ramo mais importante da aquicultura, seu crescimento, devido à demanda mundial de pescado torna o Brasil um importante produtor diante da disponibilidade hídrica e a imensa costa, sendo possível gerar renda inclusive com o

beneficiamento completo das carcaças na geração de farinhas e óleos, dependendo da viabilidade, que tem relação direta com a escala de produção.

A piscicultura passa por um momento de avanços e consolidação no Brasil, entre 2014 e 2018 apresentou crescimento de 80,1%, com 455 mil novos empreendimentos aquícolas, seu grande potencial é devido ao clima favorável, disponibilidade de água, dimensão territorial e o empreendedorismo dos produtores (PEIXE BR, 2019). Já no ano de 2019, a piscicultura teve um crescimento de 4,9%, atingindo uma produção de 790.000 t (PEIXE BR, 2020). O potencial impacto ambiental oferecido pela atividade ressalta a importância do uso racional do recurso hídrico (SENAI, 2013).

O aumento da produção de peixes nativos como o tambaqui que é a espécie mais produzida no país, tem sido impulsionado pelo aumento da competitividade econômica e pelos avanços nas contribuições das pesquisas desenvolvidas, estas pesquisas geram melhorias nas infraestruturas, bons projetos com estratégias construídas e as boas condições de cultivo tendem a impulsionar a produção (PEIXE BR, 2018).

O tambaqui (*Colossoma Macropomum*) é a espécie nativa mais produzida no Brasil, Rondônia tem se evidenciado, em 2018 foi o estado que mais produziu espécies nativas, 72.800 t (PEIXE BR, 2019). Em 2019, a produção de peixes nativos alcançou 68.800 t, apesar deste decréscimo, Rondônia continua sendo o estado que mais produz peixes nativos, o recuo na produção fez o setor nacional reorganizar a cadeia produtiva e investir em: licenciamento ambiental, logística, infraestrutura e controle sanitário (PEIXE BR, 2020). O controle sanitário e as boas práticas de manejo são ferramentas para se manter a boa qualidade da água e consequentemente da produção.

É possível obter uma maior produção de pescado nos sistemas de cultivo em cativeiro em relação à pesca por captura. Em 2017, ano de expressiva produção, não apenas o peixe nativo se destacou, o Estado de Rondônia produziu 77.000 t de peixes nativos, representando 11,13% do volume total, sendo o segundo estado com a maior produção, e neste mesmo ano a produção de tilápia aumentou 51,7% no país e sua exportação ultrapassou 1,3 bilhões de reais (PEIXE BR, 2018).

De acordo com o Art. 9º da Lei nº 3.437 de 09 de setembro de 2014, a produção da tilápia que é um peixe exótico alóctone no estado de Rondônia é de total responsabilidade do proprietário ou aquicultor e para tal, é necessário um gasto com uma contenção química, física ou biológica que só pode ser feita em viveiros escavados ou em sistemas que impeçam a passagem para corpos hídricos, em qualquer fase da vida (RONDÔNIA, 2014). Diante do

exposto, nota-se a possibilidade de cultivar estas espécies em sistemas fechados e intensivos como no sistema de recirculação.

### **1.2.2. Aquaponia e Sistema de Recirculação de Água (RAS)**

De acordo com Hundley e Navarro (2013), a aquaponia é uma atividade sustentável que integra aquicultura e hidroponia com recirculação de água e nutrientes, teve seu início em escala familiar sendo difundida em todo o mundo, esta técnica produtiva permite produzir animais e vegetais de forma mútua. Porém para adoção desta técnica, se faz necessário observar as condições mínimas para desenvolvimento das plantas e dos peixes. A aquaponia é uma atividade em que ocorre uma simbiose entre os peixes e as plantas, e precisa ser desenvolvida de forma colaborativa e integrada (SÁTIRO et al., 2018). O sistema de recirculação para cultivo de peixe é uma técnica em que a produção e o ambiente necessitam de um rigoroso controle da qualidade da água (PEIXE BR, 2019).

A aquaponia é um sistema em que há uma recirculação de água, mas vale evidenciar a diferença básica. Para Vasconcelos (2018), a diferença fundamental entre o sistema de recirculação de água e a aquaponia é a parcela vegetal inserida, pois em ambos a entrada de nutrientes ocorre através da alimentação por meio da ração, porém no RAS podem ser utilizadas outras formas de tratamento de efluente para remoção dos nutrientes (ozonização, luz U.V., filtros mecânicos, reatores, etc.), enquanto a aquaponia se utiliza da recirculação destes nutrientes até a retirada dos mesmos que ocorrem por meio da nutrição das plantas. Por se observar que os dejetos dos peixes podem nutrir as plantas, que por sua vez podem melhorar a qualidade da água dos peixes, tem-se a possibilidade de se optar por técnicas como a aquaponia que permitirá produzir vegetais e tratando os efluentes pelo princípio de fitorremediação.

A aquaponia visa aumentar a produção de proteína e vegetais com economia de recurso hídrico, em um ambiente controlado com maior biossegurança, podendo ser desenvolvida com sistemas de baixo custo, sendo uma importante tecnologia produtiva para aplicação em áreas urbanas ou rurais como: sistema de subsistência, para fins domésticos, educacionais e comerciais (VASCONCELOS, 2018).

Em resumo, Cerqueira (2021), diz que a aquaponia é uma técnica altamente produtiva e sustentável, o seu sucesso depende da qualidade da água e manutenção dos parâmetros físicos e químicos que favorecem tanto o crescimento das plantas quanto o desenvolvimento dos microrganismos nitrificantes e dos peixes, relata ainda que a disponibilidade de nutrientes às plantas e aos microrganismos além do bem estar dos peixes está diretamente relacionada aos

parâmetros como o pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido amônia e equilíbrio nutricional da água. Em sintonia, Carneiro et al. (2015) também destacam a importância da qualidade da água, do controle destes parâmetros, além do controle das dinâmicas que favoreçam a estabilidade destes, pois os mesmos podem garantir o bom desenvolvimento dos 3 componentes da aquaponia que são os peixes, as plantas e os microrganismos.

Mesmo em pequenas áreas, é possível construir um sistema sem grandes investimentos e ter produção de proteína animal e de vegetais, isto pode trazer benefícios sociais positivos por gerar segurança alimentar. O dimensionamento de um sistema aquapônico pode contemplar materiais de baixo custo e disponíveis, sendo possível reutilizar materiais em sua estruturação, com possibilidade de aplicações em áreas reduzidas, sendo ideal para escala doméstica (NUNES, 2019). Este sistema, pode, portanto, ser utilizado em áreas reduzidas e pode-se reduzir os custos de produção do sistema através da reutilização de componentes hidráulicos e de materiais diversos, desde que não seja prejudicada a dinâmica e desenvolvimento das partes que compõem o sistema.

Uma vez exposto que o sistema aquapônico contempla uma harmonia entre 3 partes do sistema (plantas, microrganismos e peixes), nota-se a necessidade de adequar a qualidade da água de forma que os parâmetros permitam o desenvolvimento ótimo dos organismos envolvidos no processo. Para manter a boa qualidade da água na criação intensiva de peixe, é necessário oferecer alimentos de qualidade e na quantidade adequada, observar parâmetros e manter uma boa hidrodinâmica (PEREIRA; MERCANTE, 2005). Os nutrientes inseridos, a hidrodinâmica e a oxigenação serão utilizados por todos os organismos do sistema cíclico, como existem faixas ideais dos parâmetros para beneficiar cada uma das 3 partes, é possível operar o sistema em uma faixa satisfatória.

Na Aquaponia, o incremento de nutrientes está relacionado com a quantidade e a composição da ração inserida, uma parte é utilizada pelo metabolismo para crescimento dos peixes e parte será excretada, desta forma, quanto maior a assimilação pelos peixes, menor será o incremento no meio. Os nutrientes dissolvidos podem favorecer o desenvolvimento de organismos de interesse para a aquicultura ou causar desequilíbrios, a depender do grau de trofia. Para Bueno (2011), a minimização de impactos relaciona as boas práticas de manejo e a quantidade e qualidade das rações ofertadas, pois nutrientes como o cálcio facilita a metabolização do fósforo, sendo assim, a quantidade excretada e dissolvida pode variar com a taxa de absorção do metabolismo de cada espécie e ainda com a quantidade de cálcio.



Em suma, Hundley e Navarro (2013) dizem que a aquaponia permite produzir 1 kg de pescado para cada 7 kg de vegetais cultivados, sendo necessária a inserção de 60 a 100 gramas de ração diária para cada metro de canteiro, sendo primordial o monitoramento de parâmetros como o pH que influencia na absorção do ferro e no processo de mineralização da amônia, além de suplementar o sistema com os nutrientes que comumente apresentam baixas concentrações ou mesmo um déficit nos sistemas aquapônicos.

### **1.3. QUALIDADE DA ÁGUA**

As atividades humanas têm causado degradação dos ambientes aquáticos, provocando hipernutrição, causando mudanças na qualidade da água e mortandade de peixes (CETESB, 2013). O controle dos nutrientes inseridos e dos parâmetros físicos e químicos são essenciais para se manter a boa qualidade da água. Biossegurança é a atenção empregada pelo manejador e cada colaborador envolvido, às práticas empregadas para evitar doenças, sendo o controle sanitário fundamental (CNA, 2018). A quantidade e a qualidade do efluente possui uma energia que pode gerar uma entropia e um desarranjo do ecossistema que tenderá um novo estado de equilíbrio dinâmico, isto trará conseqüentes alterações nos parâmetros físicos e químicos. A energia externa é inserida no sistema na forma de nutrientes principalmente o nitrogênio e o fósforo (RAUH, 2018).

A piscicultura é uma atividade que se utiliza dos recursos hídricos de forma intensiva, sendo considerada potencialmente poluidora, portanto, é necessário utilizar métodos de tratamentos que garantam a boa qualidade do efluente final e à sustentabilidade (RAUH, 2018). Alguns dos parâmetros recomendados para aferição na piscicultura são: oxigênio dissolvido, pH, temperatura, condutividade elétrica, alcalinidade, transparência e amônia (MARTINS, 2005).

Para garantir a boa qualidade da água em um ambiente cíclico, é imprescindível um efetivo tratamento de efluentes, com demanda de tratamentos mais eficientes, dependendo da escala produtiva. O efluente da piscicultura intensiva gera alta carga orgânica, alta DBO, baixos níveis de oxigênio dissolvido, alta carga de compostos nitrogenados e fosfatados, com potencial risco de causar eutrofização devido à alta taxa de geração de resíduos em relação a área produtiva (SENAI, 2013). A fitorremediação é uma possibilidade de tratamento deste efluente e pode apresentar um baixo custo. O Quadro 1, explicita os tratamentos utilizados nos sistemas intensivos.

**Quadro 1** - Tratamento e destinação de efluentes de piscicultura.

Tratamento	Lagoas aeradas de decantação Canteiros de macrófitas Lagoas de evapotranspiração Decantadores e filtragem mecânica
Destinação	Irrigação de canteiros agrícolas Recirculação

**Fonte:** Adptado de SENAI (2013).

Quanto mais ração for inserida no sistema, maior será a concentração de matéria orgânica e a excreção da amônia (MARTINS, 2005). A floração de cianobactérias, devido a eutrofização, pode causar a produção de cianotoxina, que são toxinas muito potentes com alcaloides, que podem ser neurotóxicos, dermatotóxicos e hepatotóxicos (CETESB, 2013). A presença de nutrientes pode ser benéfica para que haja a ação de microrganismos de interesse, porém a escala de criação pode provocar uma sobrecarga de nutrientes e o surgimento de outros organismos que podem não ser benéficos ao sistema.

### 1.3.1. Eutrofização

As atividades humanas tem causado um fenômeno conhecido como “*bloom*”, que é a floração de fitoplânctons e cianobactérias devido ao enriquecimento artificial dos ambientes aquáticos (CETESB, 2013). O ambiente quando eutrofizado, tem seu estado de equilíbrio alterado e a tendência é de uma reorganização em um novo equilíbrio dinâmico, as mudanças nos parâmetros físicos e químicos podem causar mortandade dos organismos cultivados e consequentemente inviabilizar o empreendimento. De acordo com Matos et al. (2016), a eutrofização prejudica os múltiplos usos da água, alteram as condições do meio, gerando: anoxia, proliferação de algas, acúmulo de toxinas, aumento na concentração de matéria orgânica, diminuição da biodiversidade.

A eutrofização antrópica ou artificial pode ser causada pela criação de organismos aquáticos, através do aumento da biomassa e lançamento de efluentes que alteram a estrutura da dinâmica ecológica no ambiente com o aumento da produtividade primária, sendo que a quantidade de efluentes está diretamente ligada ao grau de trofia e a qualidade da água depende também da água de origem, das boas práticas de manejo, dos alimentos inseridos e da

capacidade do meio assimilar os resíduos (MACEDO; SIPAÚBA-TAVARES, 2010). O aumento de fitoplânctons causados por este processo pode provocar um acúmulo de matéria orgânica e com a sua decomposição realizada pelas bactérias, os níveis de oxigênio dissolvido tendem a diminuir (ESTEVES, 1998). As florações mais comuns são provocadas pelas cianobactérias que são organismos que toleram condições climáticas e ambientais extremas, sendo que algumas espécies possuem uma capacidade de fixar nitrogênio e, portanto, apresentam uma maior vantagem competitiva (CETESB, 2013).

### **1.3.2. Nitrogênio amoniacal, Nitrito e Nitrato**

De acordo com Pereira e Mercante (2005), o nitrogênio amoniacal é resultante do catabolismo dos peixes, sua concentração é diretamente proporcional à biomassa do sistema e possui forte influência do pH, quando em ambiente ácido, maior a porcentagem de se encontrar o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e quanto mais básico o meio, maior a probabilidade de se encontrar a amônia ( $\text{NH}_3$ ) que é sua forma mais tóxica, sua soma é intitulada amônia total.

A transformação da amônia em subprodutos menos tóxicos e assimiláveis pelas plantas ocorre por meio de microrganismos e representa uma importante etapa da aquaponia. Esta redução é consequência do processo de tratamento de efluentes, que em sistemas intensivos pode ser desenvolvido de formas alternativas desde que se forneça as condições necessárias para o desenvolvimento das bactérias fundamentais ao sistema, porém as técnicas e métodos têm sido aprimorados e isto traz consigo a possibilidade de aumentar a eficiência do processo produtivo, visto que a amônia é tóxica aos peixes e a nutrição das plantas demanda maior disponibilidade dos nutrientes (VASCONCELOS, 2018).

O nitrogênio pode estar presente no ambiente aquático na forma de amônia, amônio, nitrito, nitrato, amoníaco e óxido nitroso e apesar das formas nitrogenadas serem um fator limitante à produção primária, a concentração elevada é tóxica aos organismos aquáticos e podem alterar a dinâmica local pela floração de algas (PEREIRA; MERCANTE, 2005).

A amônia é uma molécula que se deriva da catalisação de aminoácidos e digestão das proteínas, este dejetado em meio aquoso normalmente se apresenta equilibrado na forma ionizada e não-ionizada. De acordo com Ismiño-Orbe et al. (2003), a forma mais tóxica da amônia aos peixes é a não-ionizada ( $\text{NH}_3$ ), as altas concentrações podem causar lesões na pele, brânquias e prejudicar o crescimento dos indivíduos, a taxa de excreção diária indica picos de excreção, sendo aproximadamente depois de 4 horas da ingestão da ração, e foi constatado que esta taxa de excreção é diretamente proporcional à densidade e inversamente proporcional à temperatura.

### 1.3.3. Fitorremediação

De acordo com Bortolotto e Guarim Neto (2005), algumas espécies de macrófitas têm sido amplamente estudadas para fins como: alimentação animal, biofertilizantes, geração de energia e tratamento de efluentes (BORTOLOTTTO; GUARIM NETO, 2005). Elas possuem tolerância a ambientes eutróficos ou poluídos podendo se comportar como um filtro mecânico, se mostrando, assim, eficientes no processo de fitorremediação (SOUZA; SANTOS; KEPPELER, 2020). Também possuem a capacidade de remoção de nutrientes como o fósforo (SILVA et al., 2015) e de organismos patogênicos potencialmente nocivos aos peixes como a *Escherichia coli* (ASSUNÇÃO et al., 2017).

Quando usadas no processo de fitorremediação, em alguns casos, remove a turbidez e permite a entrada de energia para os processos fotoquímicos (RABELO; SALVI, 2018). A remoção de turbidez pode ocorrer devido a retenção de partículas em seu sistema radicular que funciona como um filtro mecânico. É importante ressaltar que o impacto positivo ou negativo da sua utilização depende do tamanho populacional, visto que se reproduzem em escala progressiva. Seu crescimento acelerado pode modificar a temperatura e a concentração de oxigênio dissolvido (MARTINS; PITELLI, 2005).

A fitorremediação no sistema através do leito cultivado pode ser considerado como um sistema de polimento pois há uma transformação bioquímica do efluente e uma posterior remoção dos mesmos, tal processo se mostra eficiente para retenção e remoção da concentração de fósforo e nitrogênio (CAMPOS; FILHO, 2019). Após a biossíntese bacteriana, os nutrientes assimiláveis serão disponibilizados para o desenvolvimento das plantas que serão cultivadas nos leitos, sendo possível ainda, escolher uma espécie de interesse para compor o sistema de tratamento de efluentes.

A piscicultura por si só já é um ramo da aquicultura que demanda cuidados específicos. Ao se optar pela fitorremediação por macrófitas, as características do efluente dos peixes não representam um risco ao desenvolvimento da cultura, devido a sua rusticidade, porém a aquaponia demandará uma atenção às carências ou especificidades de cada espécie, sejam elas nutricionais ou ainda compatibilizando os parâmetros em faixas ideais para cultivo. O Quadro 2 destaca as vantagens e desvantagens de se optar pela aquaponia. Vale destacar que o gasto com energia elétrica também ocorre no sistema de recirculação, independente da opção de sistema de tratamento de efluente.

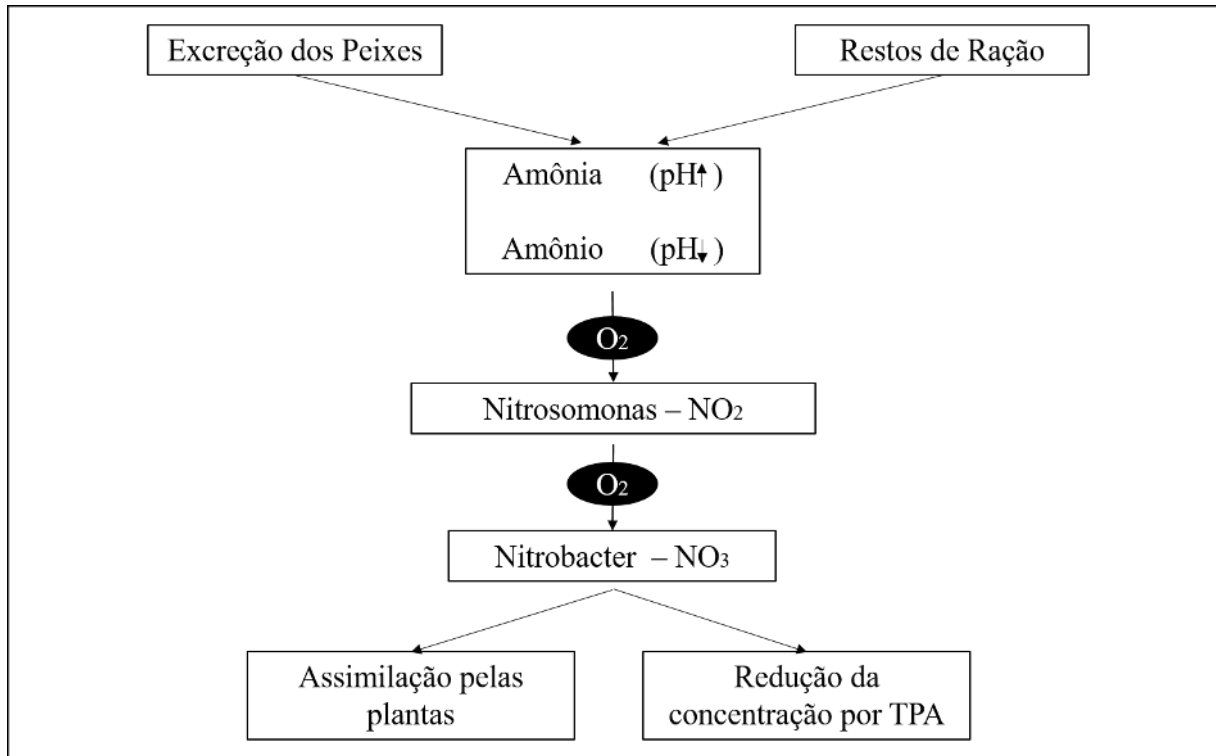
**Quadro 2** - Vantagens e desvantagens da aquaponia.

Vantagens	<p>Maior produção (manejo intensivo)</p> <p>Não demanda grandes áreas</p> <p>Alimentos de origem animal e vegetal</p> <p>Economia de água</p> <p>Fácil manutenção</p> <p>Produção independente da época do ano</p> <p>Produção sustentável</p>
Desvantagens	<p>Energia elétrica</p> <p>Limitação ao uso de defensivos e antibióticos</p> <p>Demanda conhecimento de áreas variadas</p> <p>Controle da qualidade da água</p> <p>Adição de nutrientes</p>

**Fonte:** Adaptado de Sátiro et al. (2018); Hundley e Navarro (2013); Canastra (2017).

O excesso de nutriente no sistema compromete a qualidade da água, diminui a resistência dos peixes e favorece o surgimento de doenças (MARTINS, 2005). O nitrogênio é um nutriente importante para o desenvolvimento das plantas, contudo, a forma assimilável pela planta é o nitrato, que é subproduto da transformação da amônia. Os organismos aeróbios nitrificantes (nitrosomonas e nitrobacter), possuem uma faixa ótima de pH que varia entre 6,0 e 7,0, sendo a nitrificação um ciclo de vital importância para a aquaponia (SÁTIRO et al., 2018).

O fluxograma exposto na figura 1 retrata a dinâmica do nitrogênio até a sua assimilação pelas plantas. Como as sobras de ração e o excremento dos peixes são potenciais modificadores dos parâmetros, destaca-se a importância das boas práticas de manejo na manutenção da qualidade da água.



**Figura 1** - Entrada de nutrientes, dinâmica microbiana e a remoção de nutrientes.  
**Fonte:** Adaptado de Sátiro et al. (2018).

Através da ação das bactérias nitrificantes, os dejetos da piscicultura são transformados, derivando na formação de nitrato para ser absorvido pelas plantas (SÁTIRIO et al., 2018). Se os valores de nitrato se mantiverem durante semanas seguidas, é necessário reduzir seus níveis por meio de uma troca parcial da água (TPA) (QUEIROZ et al., 2017). As duas formas de redução indicadas na figura 1 podem ser utilizadas, porém a eficiência fitorremediação pode evitar o desperdício com as trocas parciais de água.

A observação e intervenção periódica para manutenção e controle dos parâmetros pode contribuir para o bem-estar dos peixes e desenvolvimento das plantas que demandam maior atenção. Sendo observado que o pH por volta de 7,0 beneficia tanto as plantas quanto os peixes, valores acima de 7,0 diminuem drasticamente a disponibilidade de nutrientes como o ferro, manganês, zinco e cobre e pH abaixo de 6,0 diminuem a solubilidade de cálcio, magnésio e molibdênio (SÁTIRIO et al., 2018; HUNDLEY; NAVARRO, 2013). Quando é observado um valor fora da faixa ótima de operação são adicionados compostos para a correção do pH, o que leva a adição de nutrientes de interesse para as plantas. Quando o valor de pH está abaixo do recomendado é adicionado hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) ou hidróxido de potássio (KOH), os quais fornecem cálcio e potássio às plantas. Em contrapartida, para diminuir os valores de pH é utilizado ácido fosfórico, pelo qual é fornecido fósforo ao meio (QUEIROZ et al., 2017).

O cálcio (macronutriente) é importante para o desenvolvimento da planta e pode ser oferecido durante as correções do pH, o quelato de ferro pode ser inserido para oferecer ferro (micronutriente) e não apresenta riscos aos peixes, vale ressaltar que dentre as deficiências observadas na aquaponia, a falta de ferro é a mais comum (CANASTRA, 2017).

A utilização do efluente de piscicultura para irrigação pode ser um problema se o manejo do tanque for inadequado e favorecer a formação de cianobactérias, devido ao risco de haver uma contaminação do alimento com toxinas (LACHI; SIPAÚBA-TAVARES, 2008). Os cuidados pertinentes para evitar a formação de cianobactérias como garantir um tratamento de efluentes eficiente, também são válidos para a criação de peixes e hortaliças, diante dos fenômenos conhecidos como bioacumulação e biomagnificação. Já existem estudos sendo desenvolvidos sobre a biomagnificação da cianotoxina (CETESB, 2013).

#### 1.3.4. Leitos de Cultivo

A fitorremediação pode ocorrer no sistema através do leito cultivado (CAMPOS; FILHO, 2019). Quando o leito é preenchido com argila expandida, forma um biofiltro e é utilizado na aquaponia por oferecer um ambiente favorável ao desenvolvimento dos microrganismos mineralizadores e ao desenvolvimento radicular. Pois a sifonagem permite uma oscilação no nível da água e conseqüente contato da sua zona inferior com o ar atmosférico para favorecer a redução da amônia e respiração das raízes (NUNES, 2019). A sifonagem é uma técnica que permite a drenagem do leito de cultivo e um posterior enchimento do mesmo, com a drenagem há uma entrada de oxigênio nas partes inferiores do leito, permitindo a ação dos microrganismos aeróbios aderidos na argila expandida e que são responsáveis pela nitrificação e nitratação. É possível observar no Quadro 3, que a conversão de amônia para nitrito e posteriormente a nitrato, demanda a presença de oxigênio na reação e o mesmo é oferecido por meio da sifonagem.

**Quadro 3** - Reação de oxidação da amônia.

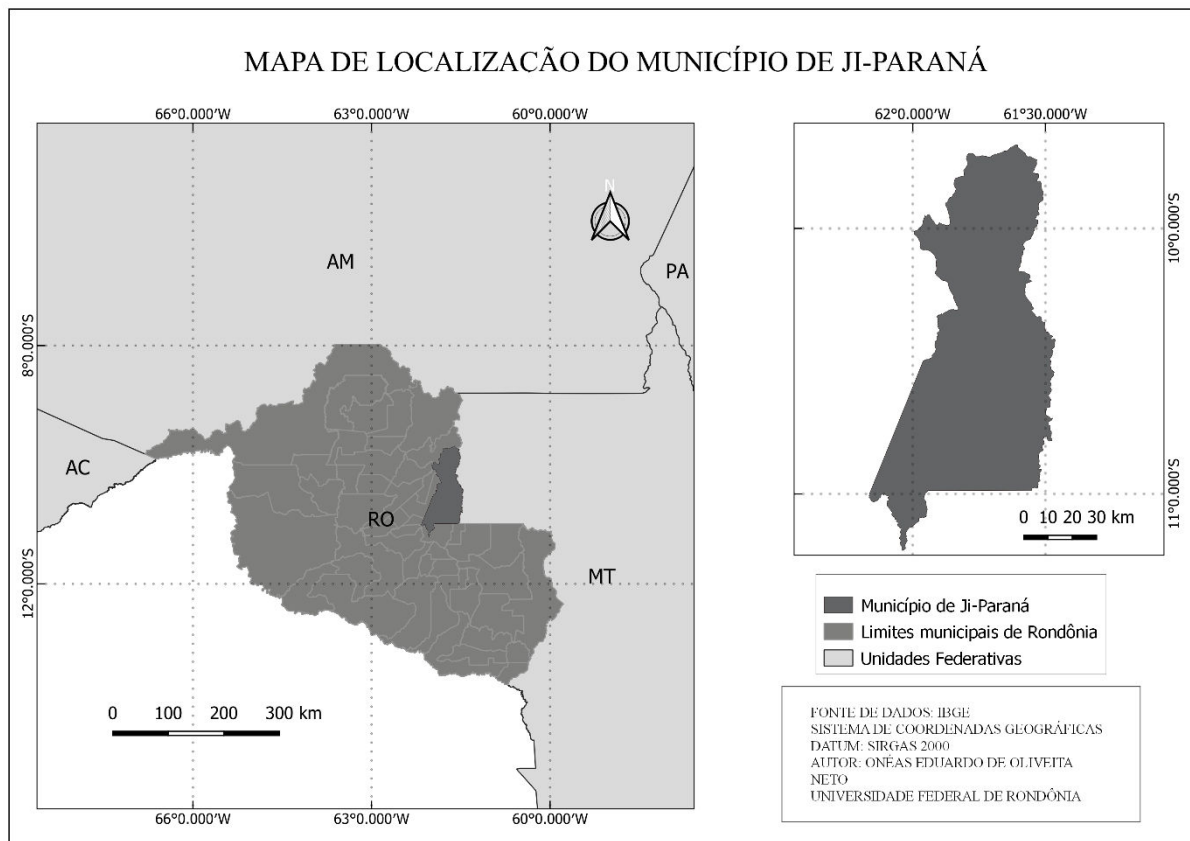
Nitrificação	$2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2^- + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{H}^+$
Nitratação	$2 \text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^-$

**Fonte:** Adaptado de Andrade et al. (2010).

O leito de cultivo não se trata apenas de um ambiente para fitorremediação, fornece ainda um ambiente favorável a formação dos organismos nitrificantes, além de funcionar um filtro mecânico por reter material particulado do efluente.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, *Campus* de Ji-paraná. O sistema experimental foi confeccionado e operado no Laboratório de Saneamento (SANEAM). O projeto foi aprovado pelo comitê de ética no uso de animais (CEUA), protocolo de número 002/2021. A figura 2 mostra o mapa de localização do município onde foi desenvolvido o presente estudo.



**Figura 2** – Mapa de localização do município de Ji-Paraná/RO.

A análise da qualidade da água ocorreu por meio de análises físico-químicas apresentadas na tabela 1.



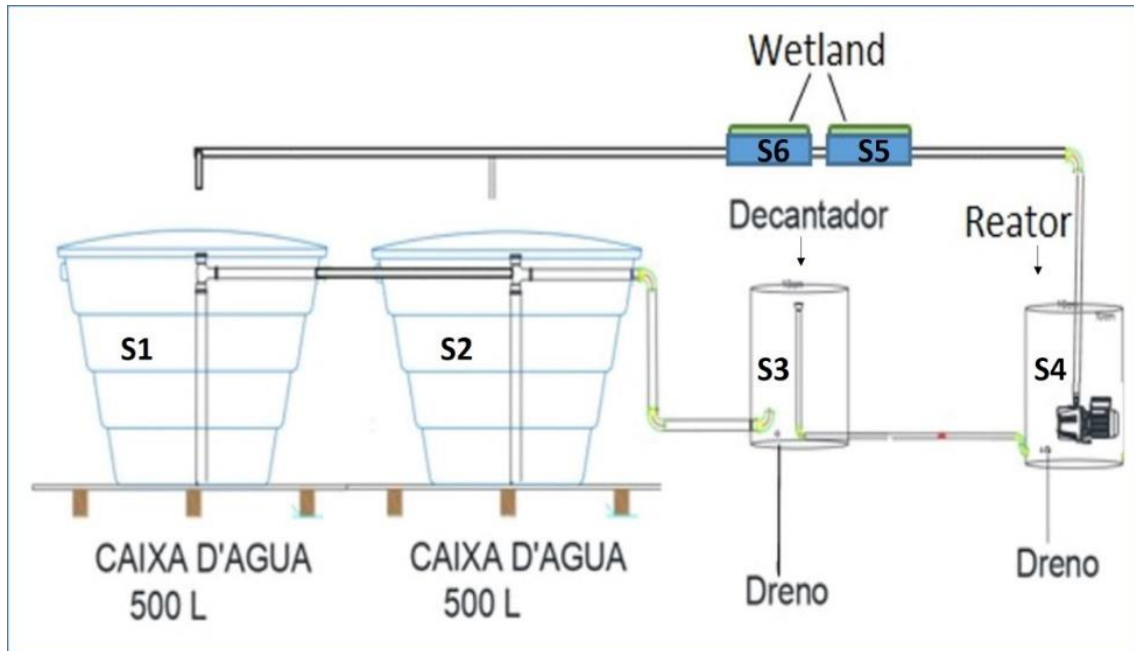
**Tabela 1** - Parâmetros, métodos, unidades e referências utilizadas.

Parâmetros	Método	Unidade	Referências
Temperatura	Sonda LUKA-210p	°C	-
Condutividade Elétrica	Sonda Water Quality Meter AKSI AK88	µS/cm	-
pH	Sonda LUKA-210p	Escala	-
Oxigênio Dissolvido	Sonda Water Quality Meter AKSI AK88	mg/L	-
Nitrogênio Amôniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Nesslerização	mg/L	APHA, 2005
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	Sufanilamida e N-naftil	mg/L	APHA, 2005
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Brucina	mg/L	WIRKNER, 1979

Outro dado analisado foi o nitrogênio inorgânico total, sendo o somatório do nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato. Os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, temperatura e condutividade elétrica foram os que apresentaram maior número amostral devido a facilidade de se obter o dado por meio de aparelhos eletrônicos de bancada e por isto estes dados foram obtidos do início ao fim do experimento (10/03/2021 a 29/08/2021). As formas nitrogenadas foram medidas com menos frequência (17/03/2021 a 15/05/2021). As biometrias e a aferição da biomassa seca não foram o foco principal do estudo, porém estes dados podem subsidiar informações sobre o desenvolvimento do sistema aquícola; as biometrias ocorreram entre 15/10/2021 e 03/12/2021 e a aferição da biomassa seca de macrófita ocorreu entre 23/09/2021 e 29/11/2021. Diante disto não seria possível correlacionar as concentrações das formas nitrogenadas e os valores da biometria e biomassa seca.

## 2.1. CONFECÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL

A figura 3 mostra o desenho esquemático do sistema que foi dividido em 6 módulos para melhor compreensão: Tanque de Peixe 1 (S1), Tanque de Peixe 2 (S2), Decantador (S3), Reator Aerado (S4), Leito de Cultivo de Hortelã (S5) e Leito de Cultivo de Macrófitas (S6).



**Figura 3** - Desenho esquemático do sistema experimental proposto.

**Fonte:** Autor em parceria com os alunos do projeto de pesquisa de tratamento de efluentes.

A montagem do sistema não utilizou cola, isto permite desmontar e mudar o sistema de lugar, fazer modificações e facilita as manutenções, sua concepção foi uma adaptação dos modelos propostos por Canastra (2017) e Carneiro et al. (2015).

O reservatório utilizado para cada tanque de peixe (S1 e S2), que está exposto na figura 4, foi confeccionado utilizando caixas de água de 500 litros.



**Figura 4** - Tanques de criação dos peixes.

Fonte: Autor.

O fluxo de entrada permite que a massa de água seja movimentada circularmente, o que facilita a decantação dos dejetos no centro da caixa, onde será succionado pelo *overflow*. Este dispositivo estava posicionado no centro da caixa e a sucção ocorre a todo instante na parte inferior da caixa, conforme a hidrodinâmica direcionava os dejetos para o local onde se encontra a entrada do *overflow*, o mesmo vai puxando a água juntamente com os dejetos.

Os furos na tampa da caixa d'água, que podem ser observados na Figura 4, visam oferecer um ambiente mais reservado para evitar estresses nos peixes com mudanças repentinas na iluminação do laboratório e com possíveis movimentações no entorno da caixa durante os manejos e coletas. A água para preenchimento do sistema, assim como para as trocas parciais, necessita estar livre de cloro, pois o mesmo oferece risco aos microrganismos benéficos e aos peixes. Para tal, a água foi armazenada em um reservatório por 48 horas a fim de que o cloro residual fosse volatilizado.

O *overflow*, mostrado na figura 5, permite que os dejetos decantados sejam sugados, devido à dinâmica hidráulica, mas sob pressão atmosférica, evitando assim, possíveis sifonagens e diminuição do nível da água no reservatório. Em cada tanque foi utilizado um

tubo de PVC de 8 mm com um difusor para manter o oxigênio dissolvido em concentrações desejáveis no tanque dos peixes, de acordo com Carneiro et al. (2015) o valor de oxigênio precisa ser maior ou igual a 3.0. O fluxo hidráulico do S1 a S4 se deu por gravidade.



**Figura 5** - Overflow para sucção de dejetos sob pressão atmosférica.  
**Fonte:** Autor.

O dispositivo mostrado na figura 5 se trata de dois tubos e um Tê de 50mm, o tubo superior foi cortado de forma que o dispositivo ficasse no centro da caixa e o tubo inferior foi cortado numa altura que se optou por fixar o nível máximo da água. O recorte na caixa foi feito com o auxílio de uma furadeira e serra copo de 50mm.

Entre o tanque de criação e o sistema de tratamento foram adicionados registros, conforme pode ser verificado na Figura 6, esses registros servem para cortar o fluxo e quando necessário realizar manutenções.



**Figura 6** - Registros para limpeza (TPA) e manutenção.  
**Fonte:** Autor.

Como pode ser visto na figura 6, o S3 e S4 foram construídos com tambores de polietileno reutilizados, de formato circular, com capacidade de 80 litros e possuem um registro de 25 mm em sua parte inferior. O decantador (S3) possui um Joelho de 50 mm na entrada, oferecendo um ângulo de 45° que serve para direcionar o efluente para a parede, forçando uma circulação e a formação de um vórtice que facilita a decantação dos dejetos sem revolvimento da massa decantada. Sua organização estrutural pode ser observada na figura 7. A massa decantada era retirada através do registro de limpeza, porém para otimizar esse processo de retirada da massa decantada durante a TPA (troca parcial de água), esse registro precisou estar posicionado na parte inferior da câmara. As trocas parciais de água foram realizadas quinzenalmente e quando necessário, é importante diminuir este tempo para uma semana, visando diminuir as concentrações dos nutrientes no sistema além da limpeza do decantador.



**Figura 7** - Detalhes interiores do decantador (S3).

**Fonte:** Autor.

No decantador, a água já livre dos sólidos suspensos, flui pela parte superior e pode então seguir para o reator aerado (S4). Para evitar que o material flotado no decantador seja direcionado para o reator, optou-se pela utilização de uma capa protetora no tubo de extravazão, que foi elaborada com um tubo de PVC de 100 mm com aproximadamente 20 cm. As eventuais correções de pH foram realizadas por meio de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ), sendo adicionado em torno de 15,87 mg/L já diluídos no decantador, esta dosagem variou entre 10 mg/L e 20 mg/L, com a intenção de minimizar flutuações de pH.

O sistema de tratamento foi construído visando a redução de custos e facilidade de replicação, para colaborar com a literatura que trata sobre tecnologias sociais e segurança alimentar, como exposto por Siqueira (2018). No reator aerado optou-se por utilizar conduítes como biomídias alternativas e para remoção dos nutrientes se optou por utilizar *wetlands* (leitos de cultivo). As plantas utilizadas na investigação foram a erva aromática hortelã e a macrófita *Salvinia mínima*.

A espécie de peixe escolhida para cultivo foi o tambaqui (*Colossoma Macropomum*). Os alevinos foram disponibilizados por meio de doação Piscicultura Verde Vale, no município de Ouro Preto do Oeste, Rondônia, Brasil (Latitude: 10°46'40.30"S, longitude: 62°16'50.49"O)

As amostragens da qualidade da água foram realizadas no reservatório dos peixes (S1 e S2), entre os dias 17 de março de 2021 e 29 de agosto de 2021. As análises estatísticas foram realizadas por meio do Excel (Microsoft Office Professional Plus 2016) e do software SigmaPlot 12.0 (Systat Software Ins, San Jose, CA, USA), foram elas as medidas de tendência central e medidas de dispersão, teste de normalidade, correlação.

## 2.2. SISTEMA DE TRATAMENTO ALTERNATIVO

A primeira etapa do tratamento (nitrificação) se dá no reator aerado de leito móvel com material alternativo para suporte do biofilme (biomídia), como pode ser observado na figura 8. Para as biomídias alternativas, optou-se pela utilização de conduítes corrugados de ½ polegada, cortados com aproximadamente 1 cm de comprimento. Essa etapa do tratamento foi projetada fazendo uma adaptação do modelo produzido por Belloni (2011). De acordo com Carneiro (2015), é necessário que se tenha um tempo de aclimação de pelo menos 30 dias, sendo um período em que as bactérias nitrificantes vão surgindo no sistema de forma espontânea.



**Figura 8** - Conduítes usados como biomídias alternativas.  
**Fonte:** Autor.

Os conduítes são de fácil acesso nos mercados locais e possuem baixo custo, e podem substituir as biomídias Alfa. A figura 9 mostra um exemplo de biomídia comercial Alfa e a alternativa optada para o experimento.



**Figura 9** - Biomídia comercial e alternativa.

**Fonte:** Autor.

A biomídia tem a capacidade de oferecer uma superfície para alojamento dos microrganismos nitrificantes, apesar de saber que as biomídias comerciais apresentam uma superfície de contato maior, a mídia alfa por exemplo traz em sua especificação técnica uma área de  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , optou-se pela utilização das biomídias alternativas para investigar novas formas de tratamentos que sejam eficientes, mesmo que alternativas.

Visando oferecer o oxigênio necessário para os microrganismos e promover uma movimentação das biomídias no S4, foi utilizado um compressor, direcionando a saída de ar para a parte inferior da câmara com uma mangueira de PVC de 8 mm. Foi utilizada uma pedra porosa acoplada à essa mangueira, com o intuito de aumentar a quantidade de bolhas, assim como a diminuição do tamanho destas, e otimização da transferência de  $\text{O}_2$ . O bombeamento do efluente ocorreu no S4, através da bomba submersa da marca Sarlo Better (vazão de 2.740 L/h). A água bombeada do reator foi direcionada para o processo de fitorremediação. Após essa primeira etapa de nitrificação, o efluente foi lançado para o S5 e S6, sendo assim, o fluxo foi dividido para os dois leitos de cultivo, sendo possível então, retornar à água para S1 e S2. O S5



e S6 foram os únicos sistemas a serem desenvolvidos para funcionar do lado de fora do laboratório (Figura 10). Essa estratégia se deu pela necessidade das plantas de uma parcela diária de luz, nesse caso optou-se por construir uma estrutura de madeira para elevação dos leitos e assim a água pôde retornar aos demais sistemas dentro do laboratório por gravidade.



**Figura 10** - Estrutura para instalação dos leitos de cultivo.  
**Fonte:** Autor.

Para a confecção do S5 e S6, foi reutilizada uma bombona de 200 litros, cortada verticalmente ao meio e posicionada horizontalmente após o corte, obtendo assim, duas câmaras de formato côncavo com volume de 100 litros cada. As duas partes funcionaram como *wetlands* com o objetivo de polimento do efluente antes da recirculação e foram construídas adaptando as orientações do documento *wetlands* Brasil de Sperling e Sezerino (2018) e Moura et al. (2013). Foi inserido um registro de limpeza na parte inferior. O S5 foi preenchido com argila expandida para que essa etapa de fitorremediação contemplasse o cultivo de vegetais (Figura 11). A argila ofereceu suporte para as raízes da espécie escolhida para cultivo que foi a hortelã (*Mentha spicata*).



**Figura 11** - Detalhes da montagem do leito de hortelã (S5).  
**Fonte:** Autor.

Além desse suporte dado às raízes, a argila expandida possui poros que aumentam a sua superfície de contato, podendo assim alojar mais microrganismos, o que pode otimizar a nitrificação, estes poros são mostrados na figura 12.



**Figura 12** - Poros no interior da argila expandida utilizada no preenchimento do S5.  
**Fonte:** Autor.

O fluxo hidráulico nessa etapa foi flutuante, devido ao sifão (*bell*) que é capaz de drenar o leito de cultivo e permitir o contato da argila expandida com o ar atmosférico, viabilizando a oxigenação da zona de raízes e permitindo mais uma vez a nitrificação. Sendo assim, a nitrificação ocorre em S4 e S5 e pode ainda ocorrer nas zonas superiores da cama de macrófita S6.

O leito de cultivo de macrófitas (S6), mostrado na figura 13, possui um fluxo hidráulico estático e não possui preenchimento. Seu nível foi constante devido a uma tubulação de saída que está posicionada na parte superior e protegida com um tubo de PVC (de 100 mm e 20 cm de comprimento) para evitar a sucção de macrófitas.

A macrófita escolhida para o cultivo foi a *Salvinia minima*, que apesar do pequeno porte da espécie, possui um rápido crescimento. O tratamento do efluente para recirculação da água diminui o consumo do recurso hídrico na produção de peixes e permite que os nutrientes sejam reaproveitados pelas plantas (MOURA et al., 2013).



**Figura 13** – Leito de cultivo de macrófitas (S6).  
**Fonte:** Autor.

O fluxo de entrada no S6 pode ser controlado por meio de um registro, a entrada do tubo de extravazão condicionou que o nível da água fosse constante.

### 2.3. PRODUÇÃO DE BIOMASSA

Para a secagem das macrófitas, utilizou-se a metodologia proposta por Bezerra et al. (2007), que consiste em garantir a perda de umidade de 87% para determinação do peso seco, a técnica consiste em secagem até que se tenham plantas quebradiças. A secagem ocorreu em uma estufa de laboratório, com uma temperatura de 100° C por 24 horas.

As secagens das macrófitas podem ser feitas deixando ao sol por dois dias até que se tenham folhas quebradiças. Quando aplicado o tratamento de efluentes com macrófitas em uma escala maior, pode ser preciso que se realize a secagem e a destinação final.

As dimensões da bombona utilizada no experimento dá uma área de cultivo de 0,59 m x 0,88 m, o que equivale uma área de 0,5192 m<sup>2</sup>. A secagem da macrófita permitiu averiguar a produção de biomassa no período de estudo por meio da fórmula utilizada por Souza (2018).

$$pi = \frac{0,5192 * (di - da)}{n * 1000}$$

Para averiguar a produção de biomassa de macrófita em kg/dia (*pi*), é preciso equacionar a densidade atual em g/m<sup>2</sup> seco (*di*), densidade anterior em g/m<sup>2</sup> seco (*da*), e o número de dias entre amostragens consecutivas (*n*).

### 2.4. BIOMETRIA

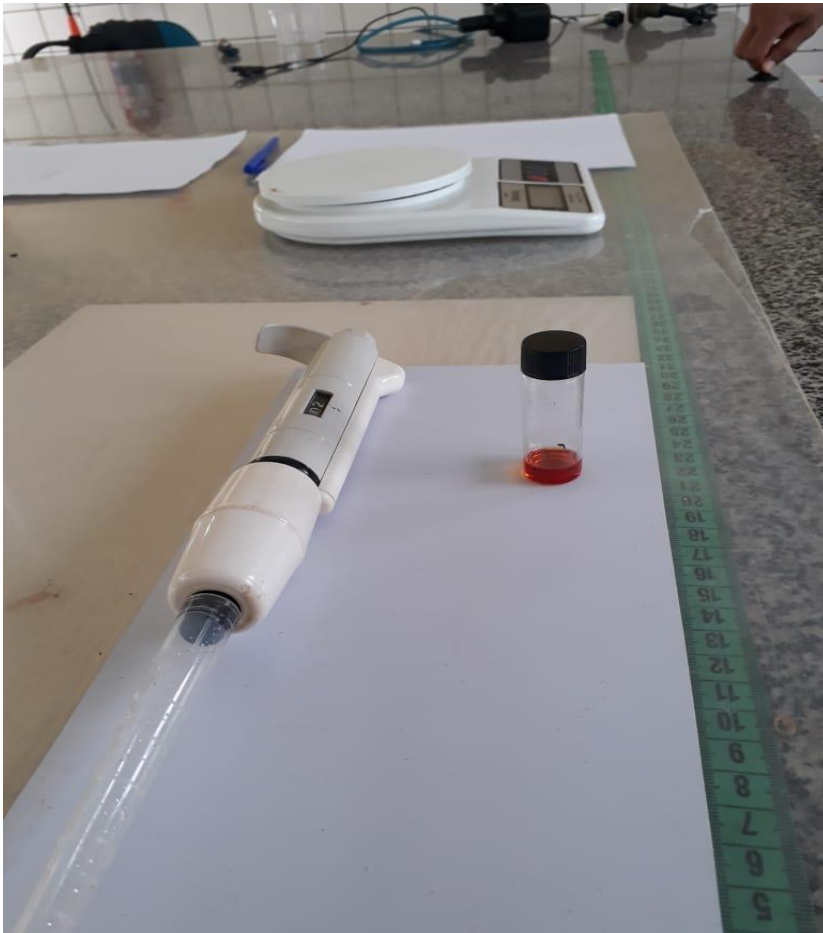
O tanque de criação foi colonizado com uma densidade de aproximadamente 100 peixes por m<sup>3</sup>, as despescas ocorreram conforme os peixes foram se desenvolvendo. Para aferir o crescimento do peixe utilizou-se uma amostragem aleatória, capturando no mínimo 10% dos indivíduos para biometria. Foram realizadas 4 biometrias, com 10 amostras cada. Foram aferidos os pesos, comprimentos e larguras, para acompanhar o crescimento dos alevinos. Por mais que os dados da biometria e da produção da biomassa não sejam o objetivo deste trabalho, tais dados podem fornecer informações que permitam melhor visualização do funcionamento do sistema e fazer inferências quanto à qualidade da água.

A biometria foi realizada segundo a metodologia proposta pelo Serviço Brasileiro de Resposta Técnica (SBRT, 2008), consistiu em retirar uma quantidade de 5% a 10% dos peixes

de cada caixa para se obter o peso unitário, comprimento e largura e com isto se ter uma média destes. Os peixes foram retirados da caixa com um auxílio de uma rede e acondicionados em um recipiente com eugenol para sedação, todo o procedimento foi realizado com rapidez e os peixes eram devolvidos às caixas após a biometria.

### 2.4.1. Manejo dos peixes

O projeto foi aprovado por uma comissão de ética e o manejo dos peixes somente ocorreu de forma rápida e precisa após a anestesia por meio de eugenol (óleo de cravo) diluído na água do próprio tanque a 2,5 mg/L. A 14 mostra o material utilizado para anestesia dos peixes antes das biometrias.



**Figura 14** - Material utilizado para realização da biometria.

**Fonte:** Autor.

Como os peixes foram manejados visando realizar o acompanhamento do crescimento, optou-se por utilizar o sal de cozinha (cloreto de sódio - NaCl) a uma proporção de 2 g/L como

preventivo para fungos. O sal foi inserido nas caixas utilizadas como tanque de criação, após os manejos para biometria e quando foi observado o surgimento de um fungo em alguns peixes.

As amostragens realizadas no tanque de criação dos peixes visaram analisar os parâmetros físicos. A espécie escolhida para o manejo foi o tambaqui (*Colossoma macropomum*), como pode ser visto na figura 15, essa escolha se deu devido sua disponibilidade no comércio local de alevinos e por ser um peixe nativo.



**Figura 15** - Alevino de *Colossoma macropomum*.  
**Fonte:** Dr. Alberto Dresch Webler.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um levantamento do custo unitário e total para a construção do aparato experimental foi realizado e pode ser visualizado na Tabela 2. Vale salientar que as caixas d'água utilizadas no experimento foram fornecidas pela UNIR, sendo o material mais caro indicado na Tabela 2, frisando ainda que quanto maior a caixa, maior custo benefício e isto implicaria ainda sobre o espaço fornecido aos peixes. O valor dos materiais não listados na SINAPI pode variar de uma região para outra, sendo assim, opcional a escolha do material que melhor se adeque as condições locais.

**Tabela 2** - Materiais utilizados e seu preço de acordo com a tabela SINAPI 2021.

Descrição	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Caixa de água	2	249,00	498,00
Tonel 200 L (bombona)	1	120,00*	120,00
Tambor 80 L	2	65,00*	130,00
Tubo PVC 50mm (barra 6m)	1	58,32	58,32
Tubo PVC 25mm (barra 6m)	1/4	74,76	18,69
Tubo PVC 20mm (barra 6m)	1/2	21,60	10,80
Flange com adaptador 50mm	5	41,40	207,00
Flange com adaptador 25mm	4	24,44	97,76
Joelho PVC 50mm	5	3,39	16,95
Tê 50mm	1	21,53	21,53
Registro 25mm	4	12,70	50,80
Registro 50mm	1	35,77	35,77
Bomba de água	1	275,00	275,00
Argila expandida	1	100,00	100,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 1.640,62</b>

\*Materiais não listados pela tabela, foram comprados em um núcleo comercial municipal.

Estes valores listados não são estáticos, podendo sofrer variações de acordo com o mercado local e disponibilidade dos materiais para montagem, diante disto, destaca-se que estes foram os materiais utilizados neste sistema experimental, mas pode ser adequada a realidade de cada local. Outro ponto a ser abordado é que estes custos aqui considerados baixos, podem ser elevados a depender da realidade de quem está inserindo, sendo, portanto, relativo. Independente disto, neste projeto foi possível reduzir custos quanto às compras das biomédias Alfa, do decantador e de um reator MBBR. A reutilização e adaptação de materiais podem diminuir custos e manter uma boa eficiência desde que utilizados corretamente respeitando a hidrodinâmica.

### 3.1. TESTE DE NORMALIDADE

Para melhor compreensão dos dados obtidos por meio dos equipamentos eletrônicos e por meio dos testes laboratoriais, aplicou-se a estatística descritiva de forma que fosse possível evidenciar o valor de tendência central e de dispersão. Para aplicar a estatística descritiva sem

gerar erros de análise, optou-se por verificar primeiramente a normalidade dos dados. O teste de normalidade de Shapiro-Wilk aplicado por meio do SigmaPlot está exposto na Tabela 3.

**Tabela 3 - Teste de normalidade de Shapiro-Wilk.**

Parâmetro	W de Kendall	P-valor	Análise
OD	0,878	< 0,001	Não Normal
T (°C)	0,856	< 0,001	Não Normal
Condutividade Elétrica (µs/cm)	0,348	< 0,001	Não Normal
pH	0,914	< 0,001	Não Normal
Nitrogênio Amoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N)	0,925	< 0,001	Não Normal
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,952	< 0,001	Não Normal
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,876	= 0,026	Não Normal
Nitrogênio Inorgânico Total	0,886	= 0,031	Não Normal

É possível notar que nenhum parâmetro apresentou distribuição normal, diante disto, optou-se pela apresentação da média, desvio padrão e os valores máximos e mínimos, para melhor expressar não apenas a média estática de cada variável, mas o comportamento dos dados em torno da medida desta tendência central e as medidas de dispersão.

### 3.2. ESTATÍSTICA DESCRITIVA

**Tabela 4 - Estatística descritiva para dados paramétricos.**

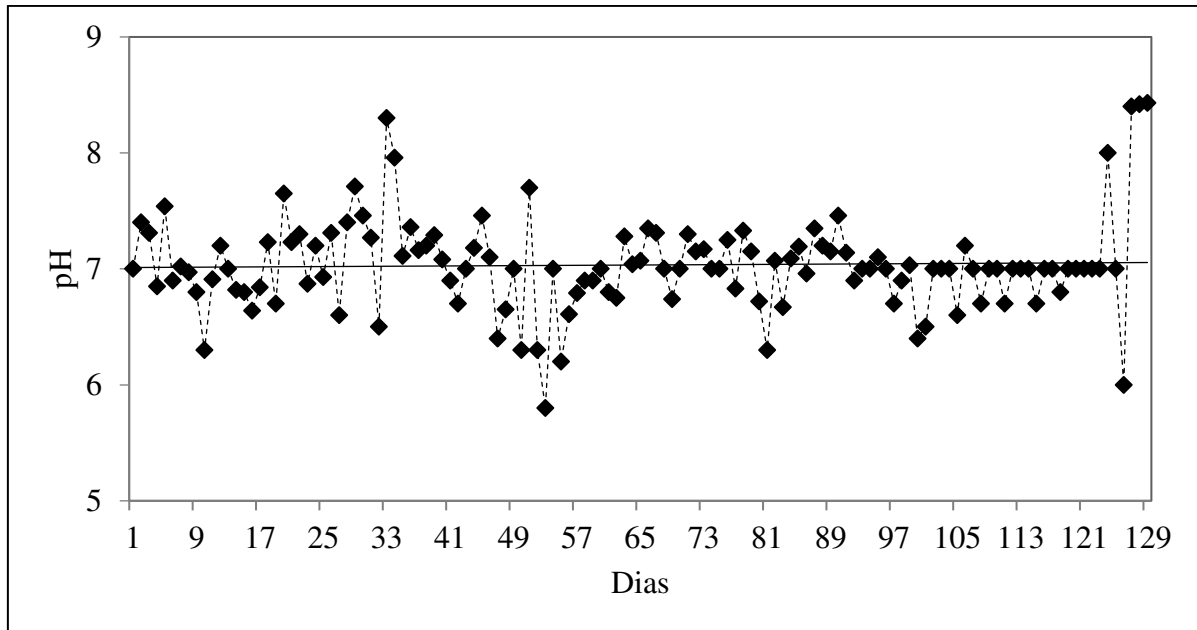
Parâmetro	Número amostral	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
pH	129	7,03	0,42	5,8	8,43
T (°C)	129	28,87	1,45	25	32,8
Condutividade Elétrica (µs/cm)	129	501,8	257,52	126	1709
OD (mg/L)	129	6,5	1,32	2,2	11
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	8	0,26	0,46	0,00	1,37
Nitrito (mg/L)	8	0,61	1,57	0,00	4,50
Nitrato (mg/L)	8	35,65	46,39	0,01	134,86
Nitrogênio Inorgânico total (mg/L)	8	36,51	47,02	0,05	135,05



Essas análises subsidiam as informações necessárias ao manejo, para manter a qualidade de água para a piscicultura. É de suma importância avaliar os parâmetros da água da criação de peixes para se delimitar estratégias que reduzam os erros no manejo (ROCHA et al., 2017). A média para os dados não paramétricos evidenciam o bom funcionamento do sistema, visto que os valores se mantiveram em faixas satisfatórias para o cultivo dos peixes e das bactérias nitrificantes do sistema de tratamento. A condutividade elétrica apresentou um alto desvio padrão e este comportamento se deu devido à inserção de cloreto de sódio para remediação de um fungo que surgiu no sistema, pois o lançamento de sal no sistema causa picos nos valores de condutividade, outro fator que influencia o comportamento deste parâmetro é a TPA, pois o recurso hídrico inserido possui valor menor de condutividade, o que tende a baixar os níveis do sistema.

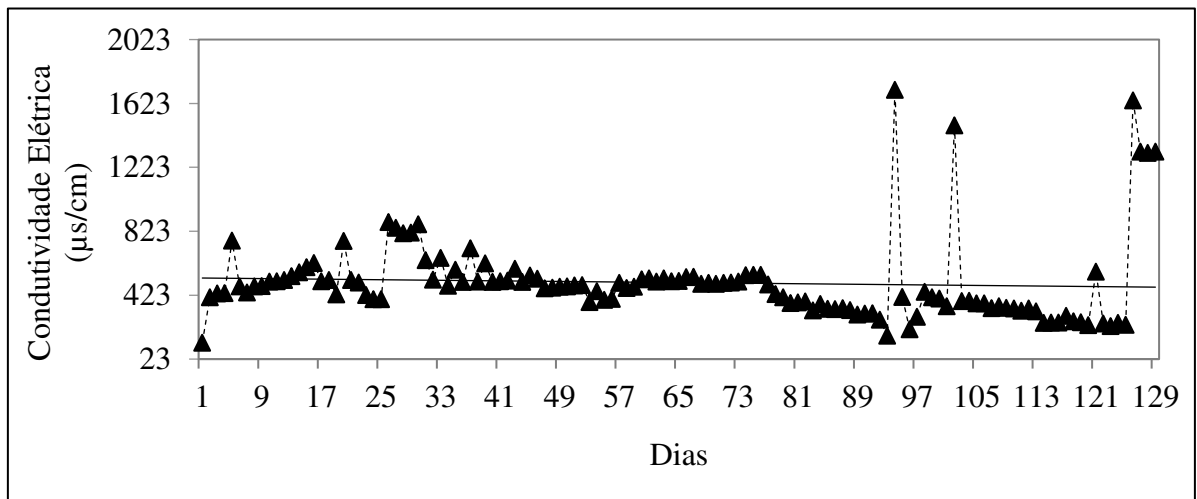
A condutividade, tem uma relação com o manejo, visto que além dos fatores supracitados, o lançamento excessivo de ração pode acumular dejetos e aumentar a condutividade elétrica, além disto, o surgimento de fungos pode estar relacionado ao manejo dos peixes. Vale ressaltar que os peixes foram manejados neste experimento a fim de delinear seu crescimento, mesmo com os cuidados devidos, com eugenol para que o peixe não se debata, o manusear dos peixes pode ter sido um fator que favoreceu o surgimento do fungo. Em condições residenciais, o operador do sistema não necessitará manusear os peixes para pesar e medir com a frequência que teve neste experimento, diante disto, a probabilidade de surgir este organismo patogênico é menor.

O pH médio encontrado foi de 7,03 sendo um valor que permite o bom desenvolvimento dos peixes, de acordo com Carneiro et al. (2015) a faixa ideal varia de 7,0 a 9,0, porém se o cultivo de vegetais for uma opção, vale salientar que acima da neutralidade, o ferro vai se tornando indisponível, como observado por Satiro et al. (2018). O pH variando com valores menores que 6 e maiores que 8 (FIGURA 16), apesar da estreita faixa, há a possibilidade de se prejudicar um dos três sistemas que compõem a aquaponia. Como foco do estudo foi o cultivo dos peixes, foi possível verificar na tabela 6 que todos os valores médios dos dados não paramétricos se encontraram dentro da faixa ótima de cultivo exceto pela condutividade elétrica que apresentou uma média 5 vezes maior que a esperada, tal comportamento é justificado pela inserção de sal (figura 17).



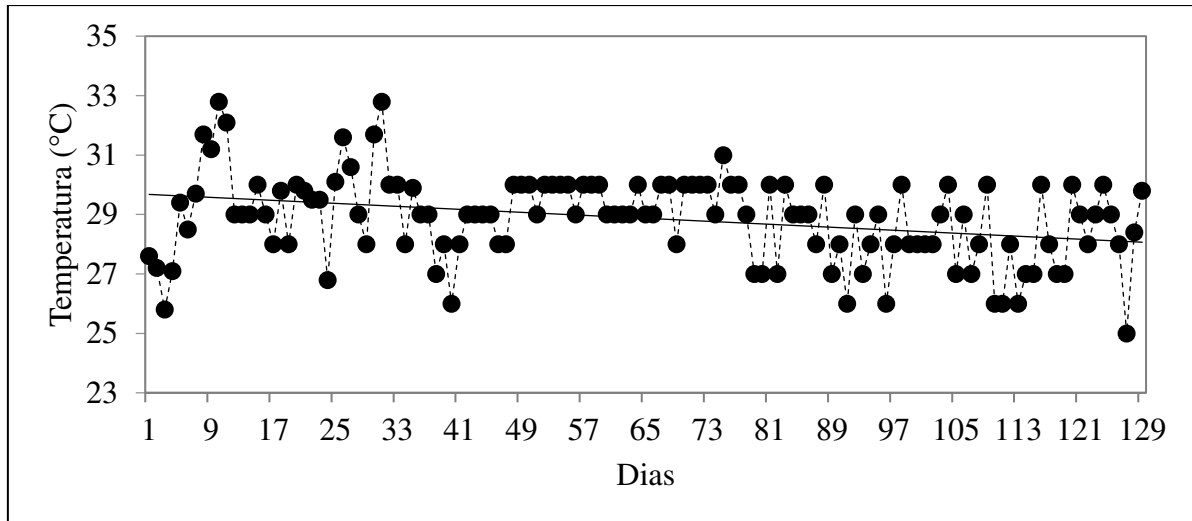
**Figura 16** - Oscilação nos valores de pH.

Caso se opte pelo cultivo de hortaliças, é interessante se corrigir o pH através da inserção compostos que possuem em sua formulação algum elemento que funcione como nutriente que favorecem o desenvolvimento, dentre eles temos o KOH que corrige o pH e fornece o potássio e a  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  que fornece o cálcio (CARNEIRO et al., 2015).



**Figura 17** - Valores encontrados para condutividade elétrica.

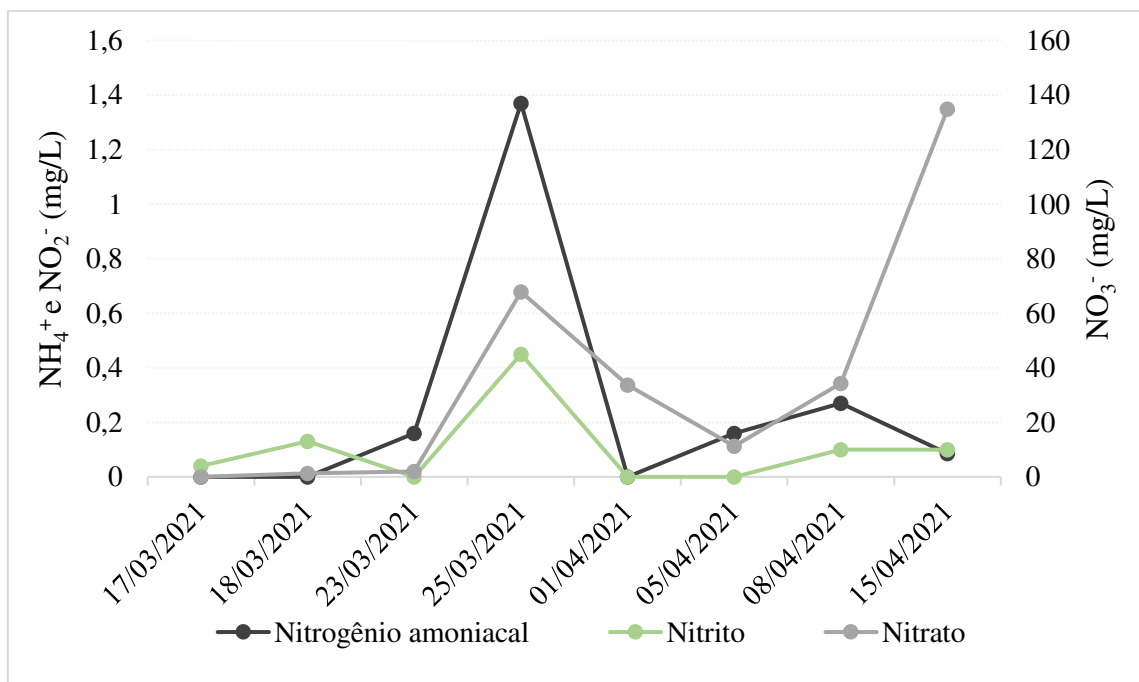
O valor médio encontrado para a temperatura, está dentro dos parâmetros ideais para piscicultura (figura 18), de acordo com Gonçalves et al. (2018) a faixa ideal vai de  $25^{\circ}\text{C}$  a  $30^{\circ}\text{C}$ . Os valores de OD se mantiveram maior igual a 4 como proposto por Cerqueira (2021), devido à inserção de ar pelo compressor.



**Figura 18** - Valores de temperatura.

A temperatura ideal para criar tabaqui se encontra entre 28°C e 30°C, sendo que a temperatura inferior a 18°C pode causar mortes (CORRÊA, 2018).

O comportamento médio das formas nitrogenadas ficou mais bem representado para os dados que possuíram maior número amostral, como é verificável na tabela 4, quanto menor o número amostral, maior a variância e o intervalo de confiança e para esses dados apresentarem maior representatividade nas demais análises, é importante aumentar as amostras. A figura 19 mostra o comportamento do nitrogênio amoniacal ao longo do tempo de estudo.

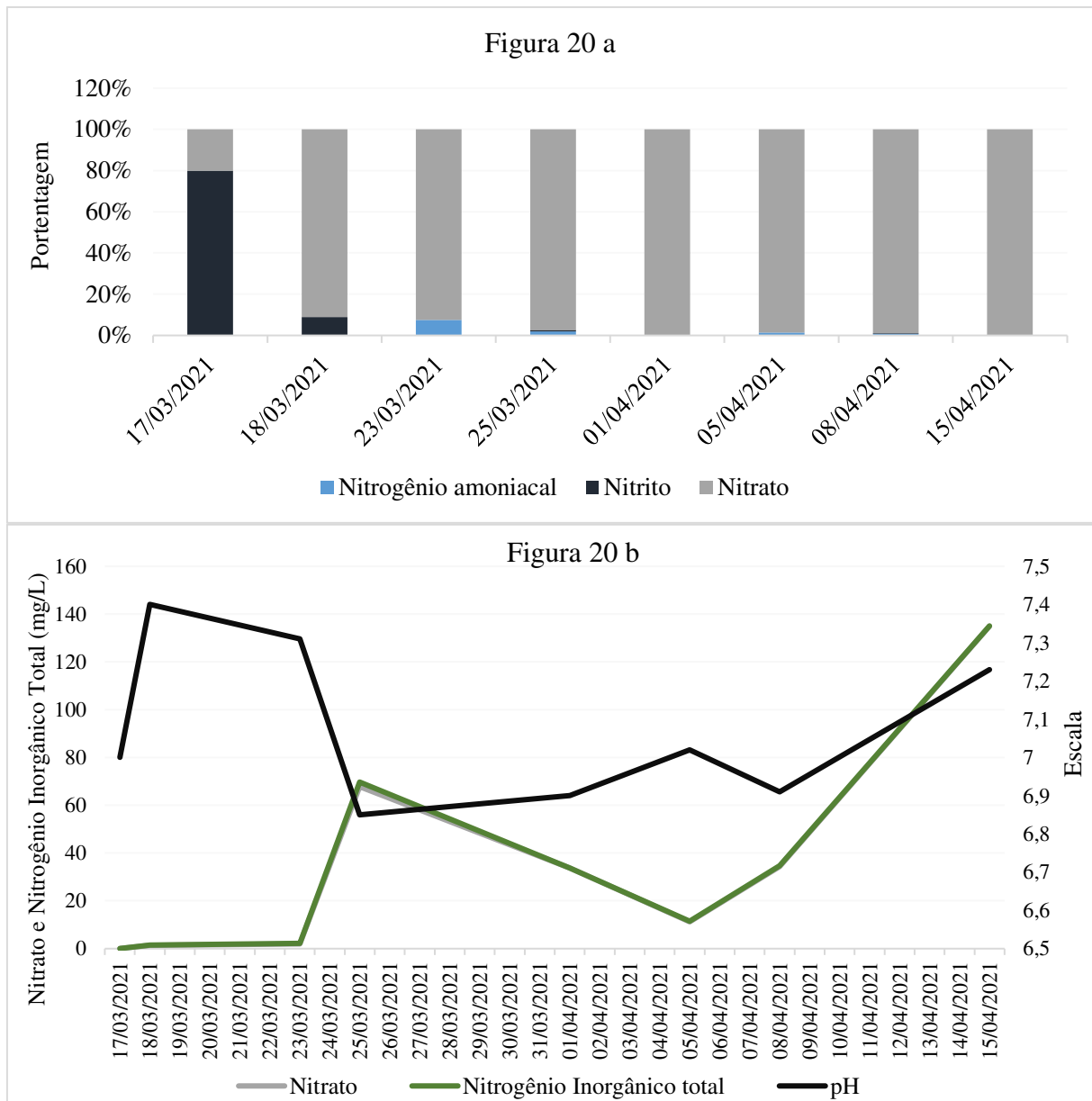


**Figura 19** - Dinâmica do nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato.

De acordo com Corrêa (2018), a concentração de nitrogênio amoniacal abaixo de 0,45 mg/L não apresenta risco aos peixes. Os valores de nitrito variaram dentro dos parâmetros para a piscicultura, porém, houve um pico na concentração, chegando a 0,45 mg/L no dia 25/03/2021. Neste mesmo dia foi observado o pico nos valores de nitrogênio amoniacal e nitrato.

Vale ressaltar que o nitrogênio amoniacal provém da excreta dos peixes, o nitrito ocorre devido à nitritação e o nitrato só estará presente no meio se os microrganismos transformarem o nitrito em nitrato. As duas primeiras formas nitrogenadas citadas apresentam um nível de toxicidade às plantas, porém as macrófitas se mostraram resistentes aos níveis obtidos no estudo. A forma assimilável pelas plantas para remoção do sistema é o nitrato que teve seu pico no dia 15/04/2021.

A figura 20 mostra um gráfico correlacionando o pH com o nitrato e nitrogênio inorgânico total, além de mostrar a porcentagem das formas nitrogenadas no mesmo período de análise.



**Figura 20** – Porcentagem das formas nitrogenadas (Figura 20 a) e o comportamento do pH e nitrato (Figura 22 b).

É possível observar através da figura 20 b que inicialmente os valores de nitrato eram baixos enquanto os níveis de amônia observados na figura 20 a, estão altos. É possível observar através da figura 20, que a queda no pH ocorreu enquanto o nitrato apresentou uma alta nos valores (dia 25/03/2021), a relação inversamente proporcional foi observada nos dias subsequentes.

Como os leitos de cultivo foram adicionados ao sistema sendo necessário ser posicionados do laboratório (FIGURA 21) com a intenção de favorecer a fotossíntese, estes leitos ficaram então, expostos ao sol e chuva. As chuvas mais intensas fizeram com que a água

captada nos leitos circulasse no sistema, e a inserção de água no sistema se reflete em uma diluição e pode causar diminuição nas concentrações das formas nitrogenadas.

O tanque é um ecossistema de complexas interações biológicas, sendo assim, o manejo é o maior influenciador da qualidade da água (QUEIROZ et al., 2017). O manejo tem, portanto, relação direta com as faixas dos parâmetros em que se opera, sendo a troca parcial de água um dos fatores capazes de diminuir os níveis de amônia por exemplo, ou ainda podem causar as quedas bruscas como as observadas na figura mostrada anteriormente. Não houve aferição da biomassa neste período em que foram obtidos os valores de nitrato, com isto não se pode afirmar como as plantas responderam neste período de 17/03/2021 a 15/05/2021.

O tempo de aclimatação de 30 dias é importante para que se tenham as concentrações de nitrato para desenvolvimento das plantas (CARNEIRO et al., 2015), diante disso se percebeu uma dificuldade de multiplicação das macrófitas e desenvolvimento a hortelã que precisou ser replantada (Figura 21).



**Figura 21** - Colonização dos leitos de cultivo.  
**Fonte:** Autor.

### 3.3. DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS E REMOÇÃO DE NUTRIENTES

O resultado da eficiência do sistema alternativo de tratamento aliado as *wetlands* se traduz ao observar o vigor das plantas e seu desenvolvimento (Figura 22 e Figura 3), visto que as macrófitas demandaram uma remoção de 30% do volume por duas vezes na semana e a cada manejo se observou a potencialidade de multiplicação e assimilação dos nutrientes.



**Figura 22** - Crescimento vigoroso da hortelã e macrófitas.

**Fonte:** Autor.

Foi observado um acúmulo de materiais particulados no tanque de criação e no decantador, mesmo com o leito de cultivo de hortelã funcionando como um filtro mecânico, visto que foi preenchido com argila expandida, porém, nem todo fluxo de água foi enviado para a cama de cultivo, pois deliberou-se que seria mais interessante dividir o fluxo. O acúmulo de materiais particulados sedimentados e flotados no decantador, pôde ser reduzido nas TPA, porém observou-se a necessidade de manter um filtro mecânico antes do bombeamento. O acúmulo destes materiais no sistema fez com que a dinâmica de manejo fosse alterada diante

do entupimento do crivo da bomba e prejuízos ao funcionamento do sifão *bell*, visto que as TPA somente ocorreriam quinzenalmente, porém foi necessária uma intervenção semanal.

O crescimento acelerado das macrófitas pode ser observado como uma garantia de retirada de nutrientes, visto que eram retirados para secagem e pesagem em laboratório. O acúmulo de material lodoso na tubulação de entrada das *wetlands* observado na figura 23, reforça a necessidade de uma filtragem mecânica antes do bombeamento.



**Figura 23** - Leito de cultivo de *Salvinia minima*.

**Fonte:** Autor.

A análise de *Escherichia coli* realizada no dia 27/10/2021, evidenciou sua total remoção do sistema, porém, como só foi uma amostra, não houve evidências estatísticas para afirmar sua real capacidade de remover *Escherichia coli*. As hortelãs apresentaram um crescimento vigoroso após a aclimação do sistema, porém devido a faixa de pH que se optou por trabalhar no manejo a absorção de ferro é prejudicada, e como não foram suplementados os nutrientes exigidos para o cultivo desta espécie, isso pode ter gerado uma menor produção. Todavia a argila expandida apresenta, basicamente, os elementos químicos silício, alumínio e ferro, em sua composição química (MORAVIA et al., 2006). A figura 24 mostra os danos observados na hortelã.



A redução da absorção de ferro devido a faixa de pH, assim como a necessidade de suplementação são discutidos por Hundley e Navarro (2013). Já a macrófita apresentou um crescimento esplêndido. A última amostra de nitrato coletada, observou-se a baixa concentração e nesta data as hortelãs e as macrófitas estavam apresentando um bom crescimento.



**Figura 24** - Danos observados nas estruturas da hortelã.

**Fonte:** Autor.

Ao passo que as metódicas técnicas de manejo foram sendo aperfeiçoadas por meio da pesquisa e as revisões bibliográficas, foram sendo observadas que para o cultivo do tabaqui, operou-se o sistema dentro de faixas ideais, porém o projeto de pesquisa não suplementou o potássio (K) e o ferro (Fe) nas correções de pH como proposto por Carneiro et al. (2015), visto que as correções ocorriam por meio de bicarbonato de sódio.

Vale ressaltar que o bicarbonato, assim como o uso de sal para prevenção de fungos, tende a elevar os níveis de condutividade elétrica e isto pode prejudicar o desenvolvimento radicular. Não foi possível observar uma reação imediata da planta após a inserção de sal, as observações dos danos causados foram feitas após notar que as hortelãs perderam seu vigor anteriormente observado, diante disto, retirou-se uma amostra da planta para maiores observações.

As mudanças ocorridas no manejo foram: adicionar o sal apenas quando necessário e não realizar correções no pH para deixá-lo acima de 7. Deliberou-se que as mudanças de manejo ocorridas beneficiaram o leito de cultivo de hortelã (figura 25). Estas mudanças de manejo apenas ocorreram ao fim do experimento, após extensas observações nas mudanças que

ocorriam na planta, e a melhoria das estruturas da hortelã foram observadas tanto em suas folhas como em suas raízes, como podemos verificar comparando as figuras 24 e 25.



**Figura 25** - Recuperação da hortelã.

**Fonte:** Graciele Monteiro.

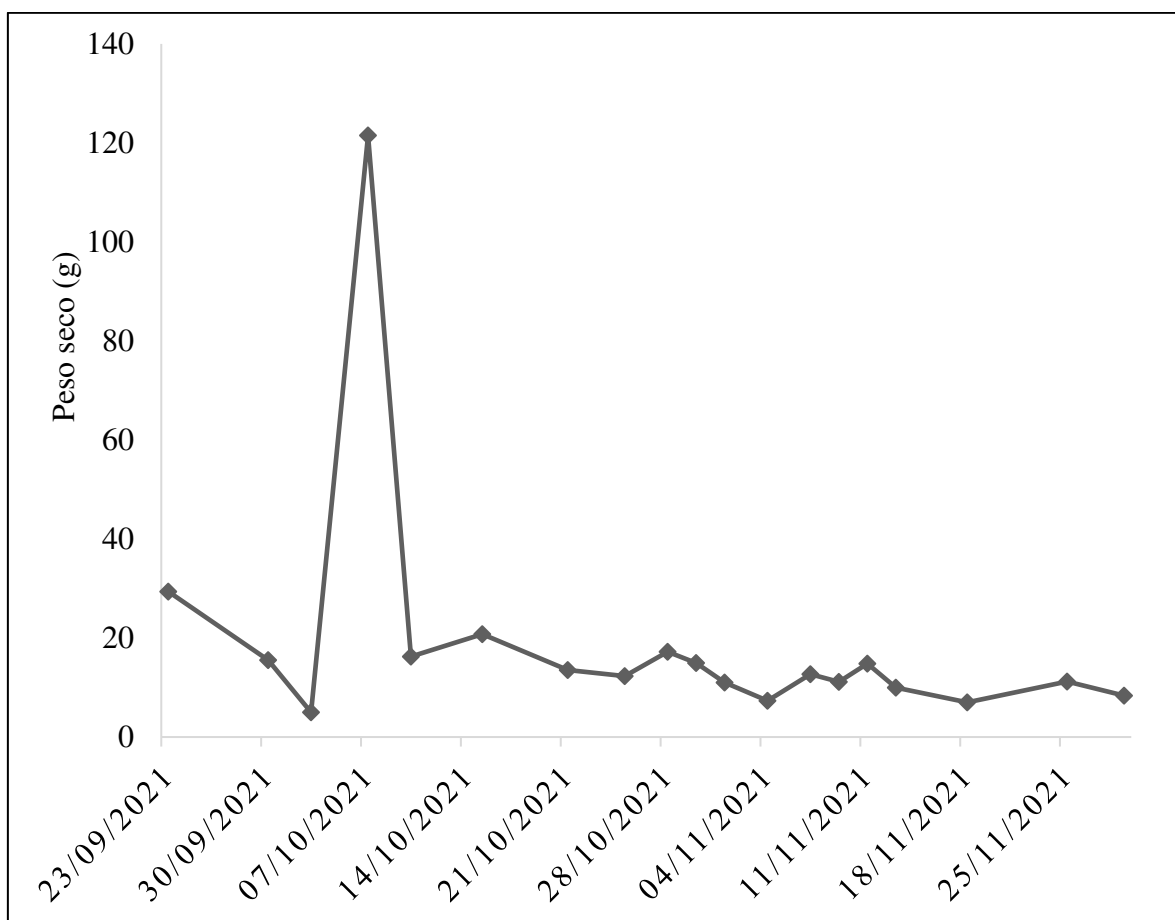
Como os nutrientes inseridos no sistema são alóctones, é importante saber a composição da ração para se ter um parâmetro de quantidade a ser ofertada aos peixes e a quantidade de plantas que se pode levar. Nutrientes como o fósforo e o nitrogênio são importantes para a formação das proteínas dos peixes, são esses os principais fatores limitantes da produção primária, sendo assim, é importante acompanhar suas dinâmicas.

É importante se estudar mais a dinâmica do fósforo no sistema além de realizar análises de DBO. A diminuição dos níveis de nitrogênio ocorreu por meio da fitorremediação e por meio das TPA que ocorreram quinzenalmente ou com 7 dias, quando era possível observar o acúmulo de sedimentos. As trocas parciais de água tendem a baixar os valores das formas nitrogenadas

e da condutividade elétrica. Baixos níveis de nutrientes podem ser um fator limitante na produção dos vegetais.

Observou-se que a hortelã produziu uma quantidade que satisfaz o uso de um domicílio, mas demanda maior produção para se gerar renda, a utilização de dois leitos com hortelã já oferecia um excedente maior para comercialização.

A coleta, secagem e pesagem das salvinias se deram em um período de 67 dias, sendo um total de 10 coletas. A secagem ocorreu em estufa a 100°C por 24 horas para obter o peso seco (figura 26).



**Figura 26** - Peso seco para aferição da produção de biomassa.

Com os dados obtidos, foi possível observar que em um período de 67 dias (23/09/2021 a 29/11/2021), o leito de macrófita produziu uma média de 0,004134 kg/dia. A Tabela 5 mostra a data das coletas e os valores encontrados. Vale evidenciar que a densidade relacionou o peso seco pela área de cultivo.

**Tabela 5** - Produção de biomassa de *Salvinia minima*.

<b>Data</b>	<b>Dia</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Densidade (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Somatório (g/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Produção de Biomassa (kg)</b>
23/09/2021	1	29,35	56,53	56,53	0,0294
30/09/2021	7	15,57	29,99	86,52	0,0022
03/10/2021	10	5,00	9,61	96,13	0,0034
07/10/2021	13	121,50	234,01	330,14	0,0093
10/10/2021	16	16,00	31,26	361,40	0,0041
15/10/2021	21	20,81	40,08	401,48	0,0010
21/10/2021	27	13,55	26,10	427,58	0,0075
25/10/2021	31	12,28	23,66	451,24	0,0004
28/10/2021	34	17,24	33,20	484,44	0,0070
30/10/2021	36	14,96	28,81	513,26	0,0004
01/11/2021	38	11,00	21,19	534,44	0,0069
04/11/2021	41	7,30	14,06	548,50	0,0002
07/11/2021	44	12,70	24,46	572,96	0,0066
09/11/2021	46	11,12	21,42	594,38	0,0002
11/11/2021	48	14,86	28,62	623,00	0,0065
13/11/2021	50	10,00	19,26	642,26	0,0002
18/11/2021	55	7,00	13,48	655,74	0,0060
25/11/2021	62	11,20	21,57	677,32	0,0002
29/11/2021	66	8,36	16,10	693,42	0,0053
<b>TOTAL</b>	<b>66</b>	<b>359,8</b>	<b>693,42</b>	<b>693,42</b>	<b>0,0969</b>

Ao analisar a tabela 5 podemos verificar que durante o período de coleta, o leito de cultivo de macrófitas produziu um total de 359,8 g (peso seco), e uma densidade média de 693,42 g/m<sup>2</sup> e a produção de biomassa foi de 0,0969 kg/dia.

#### **3.4. FAIXAS DOS PARAMETROS PARA CULTIVO DO TAMBAQUI PARA COMPARAÇÃO COM A LITERATURA**

A Tabela traz valores ou faixas de valores dos parâmetros que foram medidos no presente estudo.

**Tabela 6** - Valores ou faixas ideais dos parâmetros de qualidade da água para piscicultura.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor/faixa ideal</b>	<b>Referência</b>
<b>pH</b>	$7,0 \geq \text{pH} \leq 9,0$	(CARNEIRO et al., 2015)
	$6,0 \geq \text{pH} \leq 9,0$	(GONÇALVES et al., 2018)
	$\text{pH} = 7,0$	(CERQUEIRA, 2021)
<b>T (°C)</b>	$25 \geq T \leq 32$	(GONÇALVES et al., 2018)
	$T = 26$	(CERQUEIRA, 2021)
	$28 \geq T \leq 32$	(KUBITZA, 1999)
<b>Condutividade Elétrica</b> ( $\mu\text{s/cm}$ )	$20 \geq \text{CE} \leq 100$	(CERQUEIRA, 2021)
<b>OD (mg/L)</b>	$\text{OD} \geq 3$	(CARNEIRO et al., 2015)
	$\text{OD} > 5$	(GONÇALVES et al., 2018)
	$\text{OD} \geq 4$	(CERQUEIRA, 2021)
<b>Amônia (NH<sub>3</sub>)</b>	$\text{NH}_3 < 0,7$	(CERQUEIRA, 2021)
	$0,5 \geq \text{NH}_3 \leq 3,7$	(GONÇALVES et al., 2018)

Considerando que o sistema possui um volume total de 1360 litros, que a bomba possui uma capacidade de 2740 litros por hora, mesmo com a inevitável perda de carga devido aos componentes hidráulicos, podemos inferir que houve uma efetiva recirculação da água e nutrientes, e uma consequente homogeneidade. O bombeamento lançava a água para as camas de cultivo que ficava em um nível mais alto para favorecer o retorno da água por gravidade.

É importante ocorrer arraste e remoção dos dejetos para a etapa de tratamento, visto que apenas 23 a 54 % do nitrogênio, carbono e fósforo são absorvidos pelos peixes, o restante tende a se acumular no tanque (RAUH, 2018). Este acúmulo pode alterar valores de condutividade elétrica além de ser consumido o oxigênio dissolvido devido a atividade microbiana.

Os valores médios encontrados para a temperatura foram satisfatórios de acordo com a tabela 4. De acordo com Almeida (2020), a temperatura superior a 20°C favorece o metabolismo dos peixes.

O controle dos parâmetros supracitados é de suma importância, mas, demanda adotar métodos e técnicas para aplicações periódicas, visto que estas intervenções podem colaborar para diminuir o estresse e melhorar a produção, vale ressaltar que a sanidade animal colabora com ganhos produtivos. As medidas sanitárias visam diminuir riscos com patógenos, evitar externalidades e zelar pela sanidade animal, para que haja medidas sanitárias eficazes na

piscicultura, são importantes: o manejo do proprietário, orientação de um profissional habilitado e fiscalização pelos órgãos competentes (MARTINS, 2005).

No sistema com recirculação de água, é importante que haja um tratamento eficiente, pois, o incremento de nutrientes ao sistema aquapônico causa transformações nos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Como um parâmetro pode influenciar em outro, é importante se trabalhar com o sistema funcionando dentro de uma faixa que favoreça o desenvolvimento das partes do sistema.

### 3.5. CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS

A tabela 7 mostra os valores de correlação de Spearman, que indica a associação entre as variáveis ordinais e permite visualizar o comportamento de uma variável diante das demais. Vale destacar que o NIT (nitrogênio inorgânico total) equivale a soma do nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato.

**Tabela 7** - Análise de correlação de Spearman para os parâmetros da qualidade da água de piscicultura em sistema de recirculação.

<b>CORRELAÇÃO</b>	<b>pH</b>	<b>T (°C)</b>	<b>CE (µs/cm)</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>NIT</b>
<b>pH</b>	1,00	-0,02	0,12	0,23	0,03	-0,51	-0,50	-0,33
<b>T (°C)</b>	-0,02	1,00	0,30	-0,30	-0,01	0,25	0,31	0,24
<b>CE (µs/cm)</b>	0,12	0,30	1,00	-0,16	0,01	-0,12	0,68	0,76
<b>OD (mg/L)</b>	0,23	-0,30	-0,16	1,00	-0,08	-0,25	-0,38	-0,19
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(mg/L)</b>	0,03	-0,01	0,01	-0,08	1,00	0,10	-0,26	-0,44
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup>(mg/L)</b>	-0,51	0,25	-0,12	-0,25	0,10	1,00	0,26	0,29
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(mg/L)</b>	-0,50	0,31	0,68	-0,38	-0,26	0,26	1,00	0,86
<b>NIT(mg/L)</b>	-0,33	0,24	0,76	-0,19	-0,44	0,29	0,86	1,00

Nascimento et al. (2020) ponderam que a má qualidade da água, geralmente associada a alta carga de nitrogênio amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N), pode gerar prejuízos como doenças, diminuindo a produtividade e até mesmo podendo inviabilizar o cultivo do tambaqui. Na tabela 7, é possível

observar que o pH possui uma relação inversamente proporcional ao nitrito e nitrato, porém não foi observado o mesmo comportamento entre o pH e nitrogênio amoniacal.

É possível observar ainda uma relação inversamente proporcional entre a temperatura e o oxigênio dissolvido, outra observação foi que exceto pelo nitrogênio amoniacal, as formas nitrogenadas possuem uma relação inversamente proporcional à temperatura, mesmo que fraca, indica que há uma inter-relação. A correlação entre a condutividade e nitrato e nitrogênio inorgânico total é alta, sendo diretamente proporcional. O pH possui uma relação inversamente proporcional ao nitrito e nitrato, apresentando uma correlação negativa e moderada. O OD possui uma correlação negativa e fraca entre nitrito e nitrato. Não foi possível verificar uma correlação entre os dados não paramétricos e o nitrogênio amoniacal.

### 3.6. DESENVOLVIMENTO DAS BACTÉRIAS E DOS PEIXES

Os parâmetros físicos e químicos analisados subsidiam informações sobre o desenvolvimento dos organismos envolvidos, os valores encontrados colaboram com o entendimento de que este sistema de tratamento proposto se mostra eficiente para manter uma água de boa qualidade, apesar de seu baixo custo e reutilização de materiais. A colonização das biomédias pode ser observada na figura 27.



**Figura 27-** Desenvolvimento do biofilme.

**Fonte:** Graciele Monteiro.

Estes microrganismos alojados nos conduítes são responsáveis pela nitrificação e nitratação, e são, portanto, essenciais para o bom desenvolvimento das plantas e dos peixes (figura 28). Como o nitrogênio amoniacal apresenta toxicidade, esses organismos permitem que a concentração deste seja periodicamente diminuída em detrimento do processo de nitrificação e nitratação. Como a alimentação e as excretas estão sempre aumentando a concentração de nitrogênio amoniacal, este processo de nitrificação é dinâmico e constante.



**Figura 28** - Tambaqui na fase de engorda.

**Fonte:** Autor.

O exemplar exposto na figura 28 foi retirado do sistema, pois, foi observada a estagnação do crescimento, no entanto, ao diminuir drasticamente o tamanho populacional não beneficiou o crescimento dos indivíduos que ficaram no tanque de cultivo, com isto deliberou-se que o espaço reduzido oferecido pela caixa de 500 litros pode ter sido um fator que não permitiu seu desenvolvimento observado até a fase adulta, ficando estagnada na fase da engorda.

As biometrias ocorreram seguindo a metodologia do Serviço Brasileiro de Resposta Técnica (SBRT, 2008), com estes dados, foi possível desenvolver a Tabela 8.



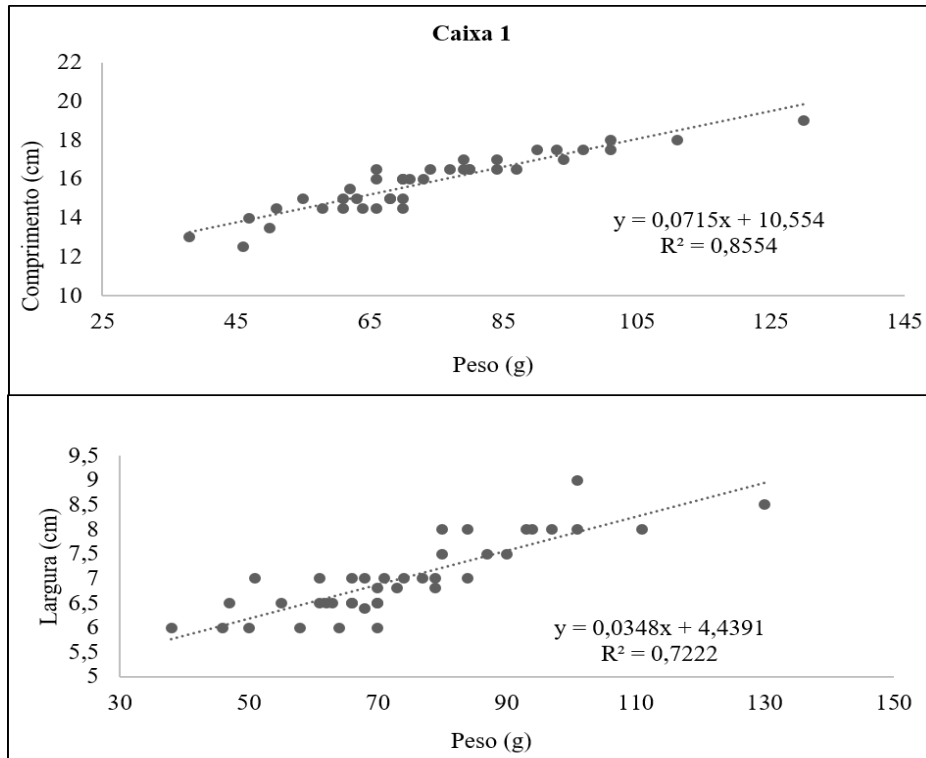
**Tabela 8** - Resultados da biometria.

CAIXA 1	Peso (g)	Comp. (cm)	Larg. cm)
15/10/2021	26,5 ( $\sigma=8,4$ )	10,42 ( $\sigma=1,2$ )	4,5 ( $\sigma=0,53$ )
28/10/2021	35,2 ( $\sigma=9,99$ )	12,75 ( $\sigma=1,33$ )	5,37 ( $\sigma=0,59$ )
12/11/2021	47,8 ( $\sigma=12,12$ )	14,06 ( $\sigma=1,29$ )	6,65 ( $\sigma=0,7$ )
03/12/2021	56 ( $\sigma=12,3$ )	15 ( $\sigma=1,2$ )	6,25 ( $\sigma=0,63$ )
CAIXA 2	Peso (g)	Comp. (cm)	Larg. cm)
15/10/2021	61,6 ( $\sigma=8,16$ )	14,35( $\sigma=0,78$ )	6,32 ( $\sigma=0,29$ )
28/10/2021	72,8 ( $\sigma=8,13$ )	16,3 ( $\sigma=0,58$ )	6,81 ( $\sigma=0,22$ )
12/11/2021	78,1 ( $\sigma=26,5$ )	16,05 ( $\sigma=1,8$ )	7,4 ( $\sigma=0,77$ )
03/12/2021	83 ( $\sigma=19,79$ )	16,65 ( $\sigma=1,1$ )	7,5 ( $\sigma=0,88$ )

O estudo iniciou com uma caixa em funcionamento por um período de aclimação das bactérias e da cama de cultivo, e posteriormente foi inserido o segundo lote de peixes, sendo assim, os peixes menores ficaram na caixa 1 e os maiores na 2. Após retirar os 10% ou mais de peixes aleatoriamente para biometria, foi possível desenvolver uma estatística para se obter os valores médios expressos na tabela 7 e figuras 29 e 30.

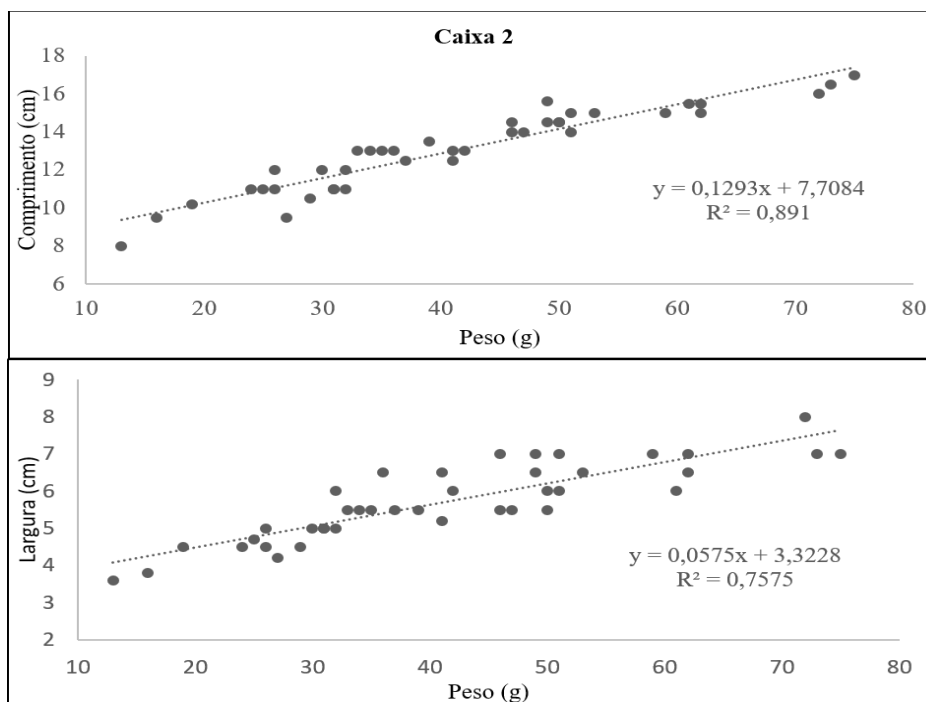
Os peixes foram cultivados até a terceira fase da recria que vai de 70g a 188g e a densidade de até 10 peixes/ m<sup>2</sup> na fase de recria, o que caracteriza o sistema como semi-intensivo (CORRÊA et al., 2018).

Após este período de análise, notou-se uma estagnação no crescimento dos peixes, e delibera-se que o tamanho da caixa de criação pode ter sido um fator que impossibilitou o bom crescimento como no período em que foi realizado a biometria. Com o auxílio do gráfico de dispersão, foi possível observar, além do bom crescimento dos peixes no sistema, que existe uma relação entre o peso e a largura e comprimento como pode ser visto nas figuras seguintes.



**Figura 29** - Biometria da caixa 1.

Nota-se que existe uma correlação forte e positiva entre o peso e as variáveis comprimento e largura. Porém ao analisar as Figura 29 e Figura 30, é possível notar que esta correlação foi mais forte na caixa 2.



**Figura 30** - Biometria da caixa 2.

É importante salientar que quando se fala de qualidade de água para piscicultura não se considera os padrões de potabilidade para água de consumo humano, visto que o sistema de cultivo de peixes necessita de uma quantidade de nutrientes, sendo interessante, em alguns casos, favorecer a produção primária.

O cultivo do tambaqui no presente estudo não se apresentou como uma fonte de geração de renda, porém foi possível desenvolver peixes para consumo familiar.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade da água da piscicultura em sistema de recirculação se mostrou satisfatória, com valores dos parâmetros físicos e químicos que variaram dentro de faixas desejáveis à criação de peixes. A média para o pH no período de investigação foi de 7,03, a temperatura média foi de 28,87 °C, o oxigênio dissolvido apresentou uma média de 6,5 mg/L. A condutividade elétrica foi o único parâmetro que atuou fora das faixas desejáveis à criação de peixes citadas na literatura, sendo o valor médio igual a 501,8 µs/cm, isto se deve a utilização de bicarbonato de sódio para correção de pH e inserção do cloreto de sódio para evitar a formação de fungos. É importante frisar que em um sistema domiciliar não haverá a necessidade de inserção de sal se não forem feitas biometrias. As correções no pH podem ser feitas através do Ca(OH)<sub>2</sub> ou do KOH, desta forma serão inseridos no sistema o cálcio e o potássio que favorecerão o desenvolvimento das plantas. Estas recomendações sobre o manejo podem ser refletidas nos valores de condutividade elétrica de um sistema RAS.

Houve uma boa colonização de biofilme nos conduítes, apresentando assim, uma boa aplicabilidade em reator aerado. Esta aplicabilidade fica evidente quando observados os valores médios encontrados para as formas nitrogenadas. O nitrogênio amoniacal que é a forma mais tóxica aos peixes apresentou uma média de 0,26 mg/L, o nitrito que também apresenta risco à piscicultura teve uma média de 0,61 mg/L, enquanto o nitrato que é a forma assimilável pelas plantas e menos tóxicas aos peixes teve a média de 35,65 mg/L.

A hortelã apresentou um bom crescimento, após o período de aclimação do sistema de tratamento de efluentes. Foram realizadas podas, mas, não houve uma renovação de canteiro com novas mudas, no entanto, foi possível notar que após a segunda poda, a espécie não apresentou o crescimento vigoroso, o valor médio da condutividade apresentado pode comprometer o rendimento radicular e conseqüente desenvolvimento da planta, além disto, não foram inseridos nutrientes que sabidamente são incrementados na aquaponia.

O desenvolvimento do leito de cultivo com macrófitas colonizado com *Salvinia mínima* apresentou rápido crescimento populacional e se mostrou satisfatório para remoção de nutrientes, foi possível observar que esta espécie necessita de intervenção periódica para retirada do excesso de plantas. O maior rendimento da macrófita em relação à hortelã foi notório. Foi observado que caso se tenha o interesse de cultivar espécies vegetais, é necessário visualizar o sistema como aquapônico, sabendo que será importante suprir a necessidade das plantas, dos peixes e dos microrganismos, trabalhando com faixas de parâmetros físicos e

químicos que favoreçam o desenvolvimento dos organismos envolvidos no sistema, corrigindo eventuais mudanças nos parâmetros e inserindo nutrientes que estejam em déficit.

Diante dos resultados encontrados, pode-se observar a boa aplicabilidade e eficiência do sistema de tratamento proposto, porém vale salientar que o uso de filtro mecânico antes do bombeamento seria ideal para retenção dos materiais particulados.

É importante que sejam desenvolvidos mais estudos para se obter maiores informações sobre a dinâmica de cada parte do sistema, estas investigações podem contribuir para encontrar soluções que permitam desenvolver tecnologias sociais, para que seja possível produzir alimentos e gerar segurança alimentar, sendo de suma importância investigar mais a fundo estas técnicas alternativas de geração de alimentos e de tratamento de efluentes.

## REFERENCIAL

ALMEIDA, J. C. R. **Sistema de Recirculação para Aquicultura com Reator de Biofilme Aerado em Membrana na Produção Intensiva de Tilápia**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UNESP. Ilha Solteira. 2020. Disponível em <<http://hdl.handle.net/11449/193607>> Acesso em: fevereiro de 2021.

ANDRADE, Helisson Henrique Borsato. **Avaliação do desempenho de sistemas de zona de raízes (wetlands construídas) em escala piloto aplicados ao tratamento de efluente sintético**. 2012. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

ANDRADE, L.; KUMMER, A. C. B.; FAZOLO, A.; DASMACENO, S.; HASAN, S. D. M. **Influência De Nitrogênio Amoniacal E Vazão de Ar No Processo de Nitrificação, Etapa de Tratamento de Efluente de Abatedouro de Peixe**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.30, n.1, p.160-167, jan./fev. 2010. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000100017>>.

ASSUNÇÃO, A. W. A.; GATTI JUNIOR, P. G.; ALMEIDA, R. V.; GASPAROTTO, Y.; AMARAL, L. A. **Utilização de macrófitas aquáticas de três diferentes tipos ecológicos para remoção de Escherichia coli de efluentes de criação de pacu**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 4, p.657-663, 2017. Disponível em <<https://doi:10.1590/S1413-41522017144278>>.

BARRETTO, S. F. A.; PIAZZALUNGA, R. **Tecnologias sociais**. Cienc. Cult. vol. 64, nº 4. São Paulo. 2012. Disponível em <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252012000400002&script=sci\\_arttext](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252012000400002&script=sci_arttext)> Acesso em: fevereiro de 2021.

BELLONI, Diego Filipe. **Desempenho de um filtro biológico aerado submerso utilizando como meio de suporte tampas de garrafas pet**. Programa de pós-graduação em engenharia urbana. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2011.

BEZERRA, T, P.; SILVA, C, P.; LOPES, J. P. **Utilização da macrófita aquática egeria densa planchon, 1849 (hydrocharitacea) na produção de tijolos para construção civil**. Revista Brasileira de Engenharia de Pesca. Bahia, 2007.

BORTOLOTTI, I.M.; GUARIM NETO, G. **O uso do camalote, Eichhornia crassipes (Mart.) Solms, Pontederiaceae, para confecção de artesanato no Distrito de Albuquerque, Corumbá, MS, Brasil**. Acta Botanica Brasilica. 2005. v. 19, n. 2, p. 331-337.

BUENO, G. W. **Modelo bioenergético nutricional e balanço de massas para o monitoramento e estimativa de efluentes da produção comercial de tilápia do Nilo (Oreochromis niloticus) em reservatório tropical**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2015, 127p. Tese de Doutorado. Disponível em <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/18745>> Acesso em: março de 2021.

CANASTRA, I. I. O. **Aquaponia: construção de um sistema de aquaponia a uma escala modelo e elaboração de um manual didático**. Faculdade de Ciências. Universidade do porto. Portugal. 2017. Disponível em <

[https://sigarra.up.pt/fep/en/pub\\_geral.show\\_file?pi\\_doc\\_id=138627](https://sigarra.up.pt/fep/en/pub_geral.show_file?pi_doc_id=138627)> Acesso em: 17 de fevereiro de 2021.

CAMPOS, J.M.; FILHO, T. J. **Balço de fósforo e nitrogênio em leitões cultivados com *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v.24, n.1. jan/fev 2019. Disponível em < <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019133600>>.

CARNEIRO, P. C. F., MORAIS, C. A. R. S., NUNES, M. U. C., MARIA, A. N., FUJIMOTO, R. Y. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Tabuleiros Costeiros Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. DOC 189. ISSN 1678-1937 Outubro, 2015.

CERQUEIRA, Danilo César Oliveira De. **Manejo e qualidade da água em sistemas aquapônicos.** E-book VII CONEDU (Conedu em Casa) - Vol 01... Campina Grande: Realize Editora, 2021. p. 1042-1056. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/74126>>.

CORRÊA, R. O.; SOUZA, A. R. B.; JUNIOR, H. M. **Criação de Tambaquis.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Amazônia Oriental Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2018.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. Disponível em: <[https://issuu.com/samanta-nippon/docs/fundamentos de limnologia - francis](https://issuu.com/samanta-nippon/docs/fundamentos_de_limnologia_-_francis)>. Acesso em: setembro de 2021.

FAO. 2020. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action.** Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>. Disponível em <<https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1415747/>> Acesso em: novembro de 2021.

HUNDLEY, G. C.; NAVARRO, R. D. **Aquaponia: A integração entre piscicultura e hidroponia.** Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v.3, n.2, p.52-61, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.21206/rbas.v3i2.218>>.

Ismiño-Orbe, R.A et al. **Excreção de amônia por tambaqui (*Colossoma macropomum*) de acordo com variações na temperatura da água e massa do peixe.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.38, nº 10, p.1243-1247, out. 2003. DOI:10.1590/S0100-204X2003001000015.

KUBITZA, F. **Aquicultura no Brasil. Conquistas e Desafios.** Panorama da Aquicultura, v.25, n.150, p.11-13, 2015.

KUBITZA, F. **Tilápias; Panorama da Aquicultura.** vol.10, nº 60. Agosto de 2000. Disponível em: <[http://www.acquaimagem.com.br/docs/Pan60\\_Kubitza.pdf](http://www.acquaimagem.com.br/docs/Pan60_Kubitza.pdf)>.

MACEDO, C. F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. 2010. **Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações.** Bol. Inst. Pesca, São Paulo, 36(2): p.149-163.

MANUAL TÉCNICO. **Biosseguridade e resposta a emergência sanitária para a produção de animais de aquicultura.** CNA-SENAR, 2018. Disponível em <

[https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/manual\\_tecnico\\_-\\_biosseguridade\\_sanitaria.pdf](https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/manual_tecnico_-_biosseguridade_sanitaria.pdf)  
Acesso em: novembro de 2021.

MATOS, F. T., WEBBER, D. C., FONTOURA, A. C., PINHO, E., ROUBACH, R., BUENO, G. W., FLORENCIO, D., BARROS, D. J. 2016. **Monitoramento de qualidade de água das atividades aquícolas em reservatórios continentais brasileiros**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, (Séries Embrapa), p.66.

MARTINS, A.T.; PITELLI, R. A. **Efeitos do manejo de *Eichhornia crassipes* sobre a qualidade da água em condições de mesocosmos**. Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 23, n. 2, p. 233-242, 2005. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0100-83582005000200009>>.

MORAVIA, W.G.; OLIVEIRA, C. A. S.; VASCONCELOS, W. L. Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

NASCIMENTO, L. T. do; MALATO, B.V.; GOMES, P. W. P.; SILVA, T. M.; MURIBECA, A. J. B.; GOMES, P. W. P. **Qualidade da água para produção de *Colossoma macropomum* (Serrasalminidae) em Salvaterra, Estado do Pará**. Biota Amazônia ISSN 2179-5746. Macapá, v.10, n. 3, p. 12-15. Dezembro, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.unifap.br/index.php/biota/article/view/5218/v10n3p12-15.pdf>>.

NUNES, T. R. **Relação Harmônica Entre Peixes, Plantas e Bactérias**. Engenharias, ciência e tecnologia 5. Organizador: Luís Fernando Paulista Cotian. Atena Editora, 2019. Cap 1 – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 5). 2019, Ponta Grossa - PR. DOI 10.22533/at.ed.889193101.

PAOLI, A.C. **Análise de desempenho e comportamento de *wetlands* horizontal de fluxo subsuperficial baseado em modelos hidráulicos e cinéticos**. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte 2010.

PEIXES BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura Peixes BR 2018. Associação Brasileira da Piscicultura, 2018. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/anuario2018/>>

PEIXES BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura Peixes BR 2018. Associação Brasileira da Piscicultura, 2019. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/anuario-peixe-br-da-piscicultura-2019/>>

PEIXES BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura Peixes BR 2018. Associação Brasileira da Piscicultura, 2020. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/anuario-2020/>>

PEIXES BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura Peixes BR 2018. Associação Brasileira da Piscicultura, 2022. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/anuario2022/>>

SCHULTER, E.P; FILHO, J.E.R.V. TD 2328 - **Evolução da piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia**, Rio de Janeiro: Ipea, 2017. ISSN 1415-4765.



SEDAM, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia (PERH/RO)**. Rondônia. 2019. Disponível em: <<http://coreh.sedam.ro.gov.br/wp-content/uploads/2019/08/RESUMO-EXECUTIVO-1.pdf>>.

Serviço Brasileiro de Resposta Técnica. **Biometria de tabaqui**. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico. SEBRAE, 2008. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1094579/1/CriacaodeTabaquisAINFO.pdf>>. Acesso em: março de 2021.

SIQUEIRA, T. V. **Aquicultura: a nova fronteira para produção de alimentos de forma sustentável**. 2018. R. BNDS, 25 (29), 119-170. Disponível em: <<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16085>>.

SIDONIO, L.; CAVALCANTI, I.; CAPANEMA, L.; MORCH, R.; MAGALHÃES, G.; LIMA, J.; BURNS, V.; ALVES JÚNIOR, A.J.; MUNGIOLI, R. **Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades**. BNDES Setorial, v.35, p.421-463, 2012. Disponível em: <[https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3512.pdf](https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3512.pdf)>. Acesso em: dezembro de 2021.

VALENTI, W. C. 2002. **Aquicultura sustentável**. In: Congresso de Zootecnia, 12º, Vila Real, Portugal, 2002, Vila Real: Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos. Anais...p.111-118. Centro de Aquicultura da UNESP Departamento de Biologia Aplicada, FCAV, UNESP 14884-900 Jaboticabal. 2002. SP. Brasil.

PEREIRA, L.P.F. & MERCANTE, C.T.J. (2005) **A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água: uma revisão**. Boletim do Instituto de Pesca, v. 31, n. 1, p. 81-85.

SILVA, A. R.; SANTOS, R. B.; BRUNO, A. M. S.; GENTELINI, A. L.; SILVA, A. H. G.; SOARES, E.C. **Eficiência do aguapé sobre variáveis limnológicas em canais de abastecimento utilizados no cultivo de tabaqui**. ACTA AMAZÔNICA. VOL. 44(2) 2014, p. 255 – 262. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0044-59672014000200011>>.

RABELO, D. S. e SALVI, J. S. **Viabilidade de (aguapé) como alternativa para filtração de água em Ji-paraná/**. South American Journal of Basic Education, Technical and Technological. Rondônia. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/1493>>. Acesso em: outubro de 2021.

RAUH, Gustavo. **Aspectos legais e alternativas de tratamento de efluentes em piscicultura de água doce**. MBA em Gestão Ambiental. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

SOUZA, J. L. C.; SANTOS, K. B. dos; KEPPELER, E. C. **Ocorrência de Eichhornia crassipes, espécie perigosa e invasora em um lago oxbow da Amazônia Sul-ocidental**. Ciências Biológicas: Campo promissor em pesquisa 3. ISBN-978-85-5722-259-5. Pg 01-11. Editora Atena, 2020. DOI: 10.22533/at.ed.2572016011.

SOUZA, F. B. de. **Produção de biomassa de algas e macrófitas em lagoas de tratamento de efluentes sanitários**. 2018. 99 f. Trabalho de Conclusão (Graduação em Engenharia

Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. **Tratamento de efluentes da piscicultura**. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI-RS. Centro Nacional de Tecnologias Limpas – SENAI. 2013.

VASCONCELOS, A. L. A. P. **Tratamento Físico-biológico de baixo custo para aquaponia comercial**. Centro Universitário de Brasília – UniCEUB. Brasília, 2018.

Von Sperling, M.; Sezerino, P.H. (2018). **Dimensionamento de *wetlands* construídos no Brasil**. Boletim *Wetlands* Brasil, Edição Especial, dezembro/2018. 65 p. ISSN 2359-0548. Disponível em: <<http://gesad.ufsc.br/boletins/>>.