

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO DA ÁGUA EM SISTEMAS DE
AQUAPONIA COM TAMBAQUI (*COLOSSOMA MACROPOMUM*) E ALFACE
(*LATUCA SATIVA*): IMPLICAÇÕES PARA A PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL

WITALO DE OLIVEIRA SILVA

Manaus

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO DA ÁGUA EM SISTEMAS DE
AQUAPONIA COM TAMBAQUI (*COLOSSOMA MACROPOMUM*) E ALFACE
(*LATUCA SATIVA*): IMPLICAÇÕES PARA A PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Química da
Universidade Federal do Amazonas exigida
para o título de Mestre em Química com
ênfase na linha de Pesquisa Métodos
analíticos e Estudos Ambientais.

WITALO DE OLIVEIRA SILVA
ORIENTADOR: PROF. DR. GENILSON PEREIRA SANTANA

Manaus

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586e Silva, Witalo de Oliveira

Estudo físico-químico da água em sistemas de aquaponia com tambaqui (*Colossoma macropomum*) e alface (*Latuca sativa*): implicações para a produção sustentável / Witalo de Oliveira Silva. - 2025.

57 f. : il., p&b. ; 31 cm.

Orientador(a): Genilson Pereira Santana.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Química, Manaus, 2025.

1. L.sativa. 2. Eutrofização da água. 3. Nutrientes fósforo. 4. Nitrogênio. 5. Reuso da água. I. Santana, Genilson Pereira. II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Química. III. Título

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me proporcionar a força necessária para superar todos os obstáculos, pela fé que ele me concede e por sempre colocar pessoas que contribuíram para o meu crescimento intelectual.

À minha família, expresso minha gratidão pelo amor e apoio incondicional, pela compreensão diante da minha ausência em diversos momentos e pelo incentivo constante na busca dos meus ideais. A minha mãe, tias e irmãos, agradeço pelo esforço contínuo em proporcionar uma boa educação e por sempre estimular o meu crescimento.

Ao Prof. Dr. Genilson Pereira Santana, expresso minha profunda gratidão pela orientação competente e, acima de tudo, pela amizade, dedicação e respeito.

À Banca examinadora Prof. Dr. Renato Henrique de Souza (DQ/UFAM)/ Raimundo Kennedy Vieira (UFAM).

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo reconhecimento da importância do curso, de tal esforço e principalmente pela bolsa, pois o mesmo foi muito importante para manter uma estabilidade no programa de pós-graduação.

Ao corpo docente e ao Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) que contribuíram direto e indiretamente para a formação acadêmica, mas principalmente aos que estavam no dia-a-dia comigo nas disciplinas.

Resumo

O objetivo deste trabalho é avaliar o reuso da água para o cultivo de alface (*Lactuca sativa*) por hidroponia com água eutrofizada, oriunda de criação intensiva de tambaqui (*Colossoma macropomum*). Dessa forma, construiu-se um sistema piloto composto por um tanque de 1000 L, quatro tanques 200 L, tubulações e conectores e bomba de água. A água onde a espécie *C. macropomum* é criada passa por um sistema de aspersão pelas raízes da *L. sativa* em ciclo fechado dos tanques. Para avaliar a qualidade da água, inicialmente foi estabelecido o nível de eutrofização do tanque de peixe; ou seja, nesta etapa a água da criação dos peixes não entrará em contato com as raízes *L. sativa*, sendo coletadas amostras de 24 em 24 horas por um período de uma semana. Em um segundo momento, o sistema funcionará pelo mesmo período com o mesmo intervalo de coleta de amostras, mas desta vez com a água passando pelas raízes da *L. sativa* no período de 4 semanas. Durante a condução de todo os experimentos serão determinadas as seguintes variáveis físico-químicas recomendadas para avaliar a qualidade da água em sistema de criação de peixes: pH, temperatura, turbidez, condutividade, DBO, DQO, nitrogênio e fósforo da água eutrofizada. A interpretação dos resultados a serem obtidos será baseada nas taxas de redução principalmente das seguintes variáveis nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e fósforo. Para garantir a validade dos experimentos, os mesmos serão conduzidos em quaduplicadas e o efeito do uso da *L. sativa* sob a qualidade da água avaliado por teste de *t* student pareado.

Palavras chaves: *L. sativa*; eutrofização da água; nutrientes fósforo e nitrogênio; reuso da água.

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the reuse of water for the cultivation of lettuce (*Lactuca sativa*) through hydroponics using eutrophic water from intensive tambaqui (*Colossoma macropomum*) farming. A pilot system was constructed, consisting of a 1000 L tank, four 200 L tanks, pipes and connectors, and a water pump. The water where *C. macropomum* is raised is sprayed through the roots of *L. sativa* in a closed cycle of the tanks. To assess water quality, the eutrophication level of the fish tank was initially established; in this stage, the fish farming water did not come into contact with *L. sativa* roots, and samples were collected every 24 hours over a week. In the second phase, the system operated for the same period with the same sampling interval, but with the water passing through *L. sativa* roots over 4 weeks. Throughout the experiments, the following recommended physico-chemical variables were measured to assess water quality in fish farming systems: pH, temperature, turbidity, conductivity, BOD, COD, nitrogen, and phosphorus in eutrophic water. The interpretation of the results will be based on the reduction rates of key variables, mainly ammoniacal nitrogen, nitrite, nitrate, and phosphorus. To ensure the experiments' validity, they will be conducted in quadruplicate, and the effect of using *L. sativa* on water quality will be evaluated using descriptive statistics and the Tukey method. The results obtained allowed us to conclude that using residual water from fish farming is a promising and sustainable alternative for lettuce cultivation in hydroponic systems, provided that treatment and physico-chemical variables are monitored and implemented. This study contributes to expanding knowledge on water reuse in agricultural systems, highlighting its importance in the pursuit of more sustainable agricultural practices.

Keywords: *L. sativa*; water eutrophication; phosphorus and nitrogen nutrients; water reuse.

Lista de Tabela

Tabela 1 - Intervalos de tolerância à qualidade da água	19
Tabela 2 – Resultados das Análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de água.....	29

Sumário

1.	Introdução	8
2.	Objetivo Geral	12
2.1.	Objetivos Específicos	12
3.	Revisão bibliográfica	13
3.1.	Hidroponia versus piscicultura	14
4.	Materiais e métodos	22
4.1.	Testes preliminares com caixa de isopor	22
4.2.	Testes do sistema vertical com água eutrofizada	23
4.3.	Construção da piscicultura x sistema hidropônico vertical	25
4.4.	Bateladas de experimentos	26
4.5.	Análises físico-química e microbiológicas da água	28
	Espectrofotometria – FIA	28
4.6.	Análise estatística baseada no teste de t pareado	28
5.	Resultado e discussão.	29
5.1.	Custo benefício do sistema	37
6.	Conclusão	39
7.	Sugestão para próximos trabalhos	42
	Medidas de prevenção	42
	Processos químicos	43

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios enfrentados atualmente é a crise hídrica, agravada pelo aumento da população global e pela intensificação da agricultura convencional. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), cerca de 70% da água doce disponível no mundo é utilizada para a irrigação agrícola, destacando a necessidade urgente de práticas mais eficientes e sustentáveis (FAO, 2021). No Amazonas, por exemplo, estima-se que aproximadamente 20% da população da região ainda não tem acesso adequado a água potável. Isso conduz que medidas urgentes devem ser tomadas para reduzir a necessidade de soluções integradas que considerem tanto a conservação quanto a distribuição eficiente dos recursos hídricos (LIMA et al, 2020).

O Banco Mundial também destaca a importância da gestão eficiente da água na agricultura. Segundo suas estimativas, a agricultura irrigada é responsável por cerca de 80% do consumo total de água doce em muitos países em desenvolvimento. Uma das causas são os sistemas de irrigação cuja eficiência é de apenas 50% em média (SANTOS et al, 2017).

O relatório da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), o Brasil enfrenta um cenário crítico de distribuição desigual de recursos hídricos. A ANA indica que, embora o país possua aproximadamente 12% da água doce superficial do mundo, sua distribuição é altamente desigual, com a região Norte concentrando cerca de 80% dos recursos hídricos e outras regiões enfrentando escassez (LEITE et al, 2024). Nesse contexto, o reuso de água residual se destaca como uma alternativa promissora, especialmente ao ser integrado a sistemas de produção de alimentos (SHEN et al, 2020).

O cultivo hidropônico, por sua vez, representa uma técnica agrícola que utiliza soluções nutritivas em vez de solo o que permite uma produção baseada em um ambiente controlado e eficiente para o crescimento das plantas (GUIDI et al.,2018). A combinação da piscicultura com a hidroponia; ou seja, aquaponia, representa uma abordagem sustentável para a produção de alimentos (SILVA et al.,2023). Essa prática agrícola permite reduzir a demanda de água potável e minimiza a poluição aquática, principalmente, a eutrofização ocasionada pelo excesso de nutrientes (como nitrogênio e fósforo) despejado dos tanques de

psicultura nas águas superficiais (BIGNON et al, 2023). A poluição aquática de nutriente pode causar a mortandade das várias espécies aquáticas. Em princípio, a principal causa da mortandade é a perda da qualidade da água, avaliada pelas variáveis DBO, DQO, pH entre outras bem como produção de cianobactérias nocivas à saúde humana proveniente da floração exagerada de algas aquáticas (MOCELIN, 2023).

A eutrofização também ocorre na piscicultura principalmente pelo uso excessivo da água. Dessa forma, é necessário que haja um controle rígido da qualidade da água, sem o qual a produção de peixe é afetada diretamente (MENEZES et al 2024). De modo geral, esse fenômeno ocorre principalmente devido ao aumento, principalmente dos nutrientes nitrogênio e fósforo. Esses nutrientes possuem duas fontes potenciais que são restos de ração e excrementos dos peixes (BAUMGARTNER, 2023). Dependendo das concentrações desses nutrientes no tanque de peixe, a qualidade da água usada na psicultura é alterada drasticamente. Uma forma de controlar essa qualidade é pelas variáveis como pH, condutividade elétrica (S), temperatura, oxigênio dissolvido (OD), nitrato (N-NO₃-), amônio (N-NH₄⁺), nitrogênio total (N_{Total}), fosfato (P-PO₄³⁻), fósforo total (P_{Total}), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes totais e coliformes fecais (E. coli), segundo (USHIÑA, 2024).

Nesse contexto, desenvolver um sistema de tratamento de água com custo mais baixo e eficiente com sustentabilidade do ecossistema é uma alternativa importante para a aquicultura (OWATARI, 2022). Assim, a fitotratamento baseado na aquaponia, que utiliza plantas para descontaminar o meio ambiente, ganhou notoriedade por ser de baixo custo, eficiente e aplicável *in situ* (NIERADKA et al., 2023). Para que ocorra um desenvolvimento sustentável na piscicultura intensiva em tanques é fundamental ter estudos mais apurados sobre as propriedades físicas e química da água usada na cultura dos peixes (MEDEIROS et al., 2022). Todavia, a escolha da espécie de peixe é fundamental para o sucesso da aquaponia.

Dessa forma, o tambaqui (*Colossoma macropomum*) em sistemas de aquaponia pode ser uma opção promissora, especialmente no contexto da Amazônia comprovado pelo alto consumo na região (OLIVEIRA et al, 2021). O tambaqui é uma espécie nativa da Bacia Amazônica, conhecida por sua robustez

e capacidade de tolerar variações nos parâmetros da água, o que a torna ideal para sistemas integrados de aquaponia (GOMES et al, 2024). Além disso, a sua produção aumentou significativamente em cerca de 10% segundo dados obtidos em 2022; ou seja, um aumento de produção de cerca de 150 mil toneladas (CAVALCANTE, 2023).

Em termos de eficiência do uso da água, a integração do tambaqui com o cultivo de plantas, como a alface (*Lettuce sativa*), em sistemas aquapônicos, oferece várias vantagens. Estudos indicam que a água utilizada nos tanques de piscicultura, rica em nutrientes provenientes dos resíduos dos peixes, pode ser aproveitada pelas plantas, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos e promovendo uma reciclagem eficiente dos recursos (GODDEK et al., 2023).

A produtividade em sistemas aquapônicos que utilizam tambaqui pode ser bastante elevada. Um estudo realizado por (SANTOS et al., 2020) demonstrou que a produção de alface em sistemas aquapônicos com tambaqui pode alcançar até 25 a 30 plantas por metro quadrado por ciclo, comparável aos sistemas hidropônicos tradicionais, mas com a vantagem adicional de produção de peixe.

Além da eficiência no uso da água, sistemas aquapônicos que utilizam tambaqui também apresentam vantagens ambientais significativas. A recirculação constante da água reduz a necessidade de grandes volumes de água nova, promovendo a sustentabilidade do sistema. Isso é especialmente relevante em regiões onde a água é um recurso escasso, permitindo que a aquaponia se estabeleça como uma alternativa viável e sustentável à agricultura convencional EMBRAPA (2018)

Os benefícios econômicos da aquaponia com tambaqui são igualmente notáveis. A combinação da produção de vegetais e peixes em um único sistema pode proporcionar uma fonte dupla de renda para os produtores, aumentando a rentabilidade e a resiliência econômica das operações agrícolas. Além disso, a demanda crescente por alimentos produzidos de forma sustentável pode abrir novos mercados e oportunidades para produtos aquapônicos FAO, (2021).

Dessa forma, neste trabalho foi avaliado o potencial do reuso de água residual proveniente da piscicultura no cultivo de alface em sistema hidropônico. A alface é uma planta amplamente usada em estudos de aquaponia e isso se deve

à sua ampla aplicação na alimentação humana, além de sua sensibilidade aos diferentes parâmetros da água de piscicultura (OLIVEIRA et al., 2019). Segundo a EMBRAPA, a produtividade da alface em sistemas hidropônicos pode chegar a ser três vezes maior em comparação com o cultivo em solo, devido ao controle preciso dos nutrientes e das condições ambientais (EMBRAPA, 2018). Esse aumento na produtividade é um dos principais atrativos para os produtores, uma vez que permite colheitas mais frequentes e com maior qualidade. Estatísticas de produção de alface hidropônica no Brasil indicam que, em média, um sistema hidropônico pode produzir cerca de 25 a 30 alfaces por metro quadrado por ciclo, com ciclos de cultivo que variam entre 30 a 45 dias, dependendo da cultivar e das condições ambientais (SILVA et al., 2019).

Além disso, a hidroponia permite uma economia significativa de água. De acordo com o Instituto de Agricultura Sustentável, sistemas hidropônicos consomem até 90% menos água em comparação com a agricultura tradicional (IAS, 2020). Isso se deve ao fato de que a água é recirculada e reutilizada, minimizando as perdas por evaporação e percolação. Esta característica é particularmente importante em regiões onde a disponibilidade de água é limitada, tornando a hidroponia uma prática sustentável e eficiente.

Dessa forma, espera-se que esta pesquisa possa contribuir para o avanço do conhecimento científico na área de agricultura sustentável com forte conhecimentos nas variáveis químico, físico e biológico do reuso da água de piscicultura para cultivo de tambaqui e alface, oferecendo insights relevantes para a promoção da segurança alimentar e o uso responsável dos recursos naturais.

2. OBJETIVO GERAL

Estabelecer o efeito do acoplamento de torres verticais com *L. sativa* na redução da eutrofização de tanques de tambaqui (*Colossoma macropomum*).

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a capacidade de fitotratamento da *L. sativa* de tanque de peixe (*Colossoma macropomum*) em sistema hidropônico conjugado.
- Determinar a melhor relação de melhoria da qualidade da água com a taxa de crescimento da *L. sativa*;
- Monitorar e corrigir as variáveis físicas e químicas da água em um sistema de piscicultura com torres verticais hidropônicas acopladas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Á aquaponia é um sistema integrado que combina a criação de peixes com o cultivo de plantas em um ambiente recirculante (BAUMGARTNER, 2023). Nesse sistema, os resíduos orgânicos dos tanques de piscicultura fornecem nutrientes para plantas, que, por sua vez, purificam a água. Os nutrientes gerados na piscicultura têm duas fontes: a ração utilizada na criação de peixes e das excreções dos próprios peixes. Quando não tratada a água, os nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, causa a poluição aquática, conhecida como eutrofização. Como um resultado é necessário usar muito recursos para manter a qualidade da água (TAN & JUN, 2023). Mas, na aquaponia, a qualidade da água é mantida com o uso de recursos significativamente menor em comparação à piscicultura tradicional. Em princípio, os resíduos contidos nos tanques de piscicultura são nutrientes para as plantas (NIERADKA et al, 2023). Ao se alimentar dos nutrientes provenientes dos tanques as plantas melhoram a qualidade da água. Dessa forma, a junção hidroponia e aquaponia é um sistema de tratamento de água natural e sustentável (GONÇALVES et al 2024). Ou seja, a aquaponia promove um uso eficiente dos recursos hídricos com menor geração de resíduos.

O reuso de água na agricultura é uma prática que ganhou importância para não só a segurança alimentar mas pela preservação de recursos naturais. Conforme (Asano et al., 2018), o reuso agrícola da água reduz significativamente a demanda por água doce além de reduzir a poluição hídrica com vantagens econômicas e ambientais (MARTINS et al., 2019).

No entanto, é importante garantir que a qualidade da água proveniente da piscicultura atenda aos requisitos específicos da hidroponia, incluindo a ausência de contaminantes prejudiciais e a manutenção dos níveis adequados de nutrientes para as plantas (GUPTA et al., 2021). Além disso, é essencial monitorar regularmente variáveis físico-química e microbiológica da água, como pH, concentração de nutrientes e presença de patógenos, para garantir um ambiente saudável tanto para peixes quanto para plantas (GODDEK et al., 2020). Outro fator relevante aquaponia é a crescente demanda por proteína animal de origem aquática. Dados da FAO recomendam a busca por alternativas mais saudáveis e sustentáveis de alimentação de uma população que cresce rapidamente (FAO,

2018). Nesse sentido, a aquicultura é uma importante fonte de produção de proteína animal com uma opção viável e ecologicamente correta para suprir a demanda crescente da população mundial (MENDONÇA et al., 2023).

Infelizmente, os principais efeitos provocados pela criação de peixes em tanques estão associados ao aumento da concentração de fósforo, nitrogênio e matéria orgânica (BIOLOGY, 2019). Ou seja, a eutrofização em tanques de peixe é um problema complexo que envolve a acumulação excessiva de nutrientes (RENAN et al., 2023). Esse fenômeno leva a uma diminuição da qualidade da água, com efeitos adversos para os peixes e outros organismos aquáticos (ZEYTUNCU, 2023).

3.1. HIDROPONIA VERSUS PSICULTURA

A hidroponia é uma técnica de cultivo de plantas em solução nutritiva, sem a necessidade de solo, que oferece maior eficiência no uso de água e nutrientes essenciais diretamente às raízes das plantas em comparação com métodos tradicionais de cultivo. Dentre as espécies vegetais mais produzida por hidroponia tem-se alface (*Lettuce sativa*). O cultivo de alface em sistemas hidropônicos oferece uma abordagem inovadora e sustentável para a produção de alimentos frescos em diversas condições ambientais (CAMPOS, 2023). Com o controle preciso dos nutrientes e das condições de crescimento, a hidroponia se destaca como uma técnica promissora para atender à crescente demanda por alimentos saudáveis e de alta qualidade (LORA, 2024). Por outro lado, o cultivo de alface em sistema de hidroponia é amplamente adotado devido à sua alta produtividade e qualidade. Segundo (RESH, 2018), a hidroponia permite um controle preciso do sistema de cultivo, resultando em plantas mais saudáveis e livres de doenças.

Apesar do risco de doenças transmitidas por fungos e microrganismos que reduzem a eficiência, a hidroponia oferece diversos benefícios em comparação com métodos tradicionais de seu cultivo em solo (GOMEZ et al., 2020). Uma vez que a hidroponia permite um controle preciso dos nutrientes a serem fornecidos às plantas. Como resultado é possível ter um crescimento mais rápido e saudável da alface (SILVA et al., 2019). Outro benefício importante é a possibilidade de cultivo em áreas urbanas e espaços limitados. Dessa forma, tem-se a possibilidade de

aumentar a disponibilidade de alimentos frescos em ambientes urbanos densamente povoados (SMITH & JONES, 2018). O Quadro 1 mostra as vantagens e desvantagens da hidroponia segundo as variáveis físico-química, custo e benefício e eficiência em relação ao cultivo tradicional no solo.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens da hidroponia em relação ao cultivo tradicional no solo

Aspecto	Vantagens	Desvantagens
Variáveis Físico-Químicas	Controle preciso dos nutrientes na solução nutritiva	Necessidade de monitoramento constante dos parâmetros da água
	Redução do risco de acúmulo de sais	Sensibilidade a flutuações no pH e EC
Custos e Benefícios	Menor uso de substratos, reduzindo custos	Investimento inicial elevado em infraestrutura
	Economia de água comparada ao cultivo tradicional	Necessidade de bombas e sistemas de backup
	Maior eficiência no uso de fertilizantes	Custos de operação e manutenção
Eficiência	Crescimento rápido das plantas devido à alta disponibilidade de nutrientes	Vulnerabilidade a falhas no sistema (ex: interrupção de energia)
	Possibilidade de cultivo em espaços limitados e urbanos	Risco de doenças radiculares em ambientes mal geridos
	Produção contínua e consistente	Dependência de eletricidade

Adaptado de (USHIÑA, 2024)

Existem várias técnicas de cultivo de alface em sistemas hidropônicos, sendo as mais comuns:

- NFT (*Nutrient Film Technique*);
- Fluxo e refluxo (ebb and flow); e
- Gotejamento ou vertical.

Em princípio, o sistema NFT é um dos mais utilizado e tem como base expor as raízes das plantas em uma película de solução nutritiva em constante movimento. Dessa forma, existe um sistema de fluxo e refluxo em que as plantas são irrigadas intermitentemente com a solução nutritiva (RESH, 2012). Já no sistema de gotejamento, a solução nutritiva é distribuída diretamente sobre as raízes das plantas por meio de gotejadores, proporcionando um controle preciso da quantidade de água e nutrientes fornecidos (SAVVAS & PASSAM, 2017).

Para garantir o sucesso do cultivo de alface em hidroponia, algumas considerações são importantes. Segundo Fontes & Neto (2021), Jensen & Collins (2019) e Kaplan & Shabtay (2019) é essencial manter a qualidade da água e a concentração adequada de nutrientes na solução nutritiva, monitorando regularmente de:

- Níveis de pH;
- EC (condutividade elétrica);
- Oxigênio dissolvido;
- Controle da temperatura;
- Umidade no ambiente de cultivo que é fundamental para evitar problemas como o crescimento excessivo de patógenos e o estresse térmico nas plantas; e
- Seleção de variedades de alface adequadas ao cultivo hidropônico e o manejo integrado de pragas e doenças são aspectos-chave para obter uma produção de alta qualidade e livre de problemas.

A piscicultura, por sua vez, é uma prática de criar peixes em ambientes controlados, como tanques, viveiros ou sistemas de recirculação. O objetivo dessa técnica de cultivo agrícola é produzir proteína de forma sustentável e eficiente (CAMPOS, 2024). Essa técnica permite controlar as variáveis importantes, como pH, condutividade para obter condições ambientais capazes de promover um crescimento mais rápido e saudável de peixes em comparação com a pesca tradicional (RESH, 2018).

Entre as espécies de peixes mais cultivadas na piscicultura, destaca-se o tambaqui (*Colossoma macropomum*). A princípio, o cultivo de tambaqui em sistemas de piscicultura é considerado uma abordagem inovadora e sustentável cujo resultado é ter uma produção de proteínas de alta qualidade independente das condições ambientais (SILVA et al, 2024). Com o controle preciso da qualidade da água e da alimentação, a piscicultura se destaca como uma técnica promissora para atender à crescente demanda por alimentos saudáveis e de alto valor nutricional (PARDO, 2022) Nesse contexto, a piscicultura do tambaqui tem como vantagem alta produtividade (MAQUINÉ et al, 2024). Segundo MEANTE (2013), a

piscicultura permite um controle preciso do ambiente de cultivo, resultando em peixes mais saudáveis e livres de doenças.

Muito embora o ambiente controlado da piscicultura reduz o risco de doenças e parasitas, além de aumentar a eficiência no uso de recursos, como água e alimentação, ela oferece diversos benefícios em comparação com métodos tradicionais de pesca (GOMEZ et al., 2020). Por exemplo, ela permite um controle preciso da qualidade da água, resultando em um crescimento mais rápido e saudável dos peixes (SILVA et al., 2019). Assim como a hidroponia, a piscicultura possibilita produzir peixes com qualidade em áreas urbanas e espaços limitados. Assim, como a hidroponia, ela permite aumentar a disponibilidade de alimentos frescos em locais com alta densidade demográfica (SMITH & JONES, 2018). O Quadro 2 mostra um resumo das vantagens da piscicultura em relação ao método tradicional de cultivo de peixes.

Quadro 2- Vantagens e desvantagens em relação à produção tradicional de peixes segundo as variáveis físico-química, custos e benefícios e eficiência na piscicultura

Aspecto	Vantagens	Desvantagens
Variáveis Físico-Químicas	Controle de qualidade da água	Necessidade de monitoramento contínuo da qualidade da água
	Possibilidade de otimizar o ambiente aquático	Sensibilidade a mudanças nas condições da água
Custos e Benefícios	Alta densidade de produção	Investimento inicial elevado
	Uso eficiente de recursos	Custos operacionais altos
	Geração de emprego e renda	Dependência de alimentação artificial
Eficiência	Produção contínua	Risco de doenças e parasitas
	Possibilidade de integração com outras culturas (ex: aquaponia)	Impacto ambiental potencial
	Produção de espécies de alto valor comercial	Gestão complexa

Adaptado de (PAES, 2023)

A princípio, existem várias técnicas de cultivo de peixes em sistemas de piscicultura, segundo (MATIAS et al, 2021) as mais comuns são:

- Sistemas de Recirculação de Aquacultura (RAS);
- Tanques Rede;
- Viveiros escavados.

Dessa forma, no sistema RAS, a água é continuamente reciclada e tratada, proporcionando um ambiente limpo e controlado para os peixes, enquanto no sistema de tanques-rede, os peixes são criados em estruturas flutuantes em corpos d'água naturais (RESH, 2012). Já nos viveiros escavados, os peixes são criados em tanques escavados no solo, proporcionando um ambiente natural, mas controlado (SAVVAS & PASSAM, 2017).

Segundo Jensen & Collins (2019), o controle da temperatura e da qualidade da água é fundamental para evitar problemas como o crescimento excessivo de patógenos e o estresse térmico nos peixes. Além disso a seleção de espécies de peixes adequadas à piscicultura e o manejo integrado de pragas e doenças são aspectos-chave para obter uma produção de alta qualidade e livre de problemas (KAPLAN & SHABTAY, 2019). Da mesma forma que na hidroponia, o sucesso da piscicultura depende diretamente do controle das seguintes variáveis (USHIÑA, 2024):

- pH;
- Temperatura da água (T);
- Salinidade (S);
- Oxigênio dissolvido (OD);
- Nitrato;
- Nitrogênio total (N_{total});
- Fósforo;
- Fósforo total (P_{total});
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);
- Demanda Química de Oxigênio (DQO);
- *Escherichia coli*.

Por sua vez, a aquaponia é um sistema integrado que combina a criação de peixes com o cultivo de plantas em um ambiente recirculante. Nesse sistema, os resíduos dos peixes fornecem nutrientes para as plantas, que purificam a água (CAVALCANTE, 2023). Essa integração permite a reutilização da água, resultando em um consumo significativamente menor em comparação à piscicultura tradicional. Os resíduos dos peixes são convertidos em nutrientes para as plantas,

reduzindo a necessidade de tratamento e tornando o sistema mais sustentável (BIAGIONI, 2021).

No entanto, é importante garantir que a qualidade da água proveniente da piscicultura atenda aos requisitos específicos da hidroponia, incluindo a ausência de contaminantes prejudiciais e a manutenção dos níveis adequados de nutrientes para as plantas (GUPTA et al., 2021). A Tabela 1 mostra os intervalos aceitáveis das principais variáveis tanto na hidroponia quanto no tanque de peixe da piscicultura. É essencial monitorar regularmente os parâmetros da água, como pH, concentração de nutrientes e presença de patógenos, para garantir um ambiente saudável tanto para os peixes quanto para as plantas (GODDEK et al., 2023).

Tabela 1 - Intervalos de tolerância à qualidade da água

Variável	Hidroponia		Tanque peixe	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
pH	6,76	3,11	6,50	0,22
S	3,40	1,61	2,47	0,20
T °C	27,83	1,25	27,33	0,93
DBO	4,29	0,83	3,85	0,61
DQO	70,22	2,76	77,92	9,68
Fósforo	0,18	0,34	0,15	0,21
Nitrogênio	3,15	1,01	2,71	0,99

S=condutividade elétrica; T°C= Temperatura em graus celsius; DBO= Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO = Demanda Química de Oxigênio. Referências: (DUARTE et al., 2023), (ALVES et al., 2020), (DEMARTELAERE et al., 2020), (ZEYTUNCU., 2023), (RENAN et al., 2023)

O quantitativo de plantas a ser utilizado no sistema de aquaponia deve estar diretamente ligado à densidade de peixes estocada no sistema, o que por sua vez limita a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas. A literatura sugere proporções entre tanque de peixe e a parte hidropônica que variam de 1:1 até 1:4 (DUARTE et al., 2023).

Outra forma de quantificar a proporção baseia-se na quantidade de ração diária para os peixes. A proporção recomendada é de 60 a 100 gramas de ração por dia a cada metro cúbico do tanque de peixe (CHU & BROWN, 2021). Há ainda uma terceira forma de dimensionar as proporções entre peixes e plantas que se

baseia é a proporção peso de peixe e plantas que dever ser de 1 kg;7 kg respectivamente (GODDEK, 2023).

As três formas buscam manter a composição química da água nutritiva da hidroponia em que a água eutrofizada do tanque de peixe tem que possuir uma quantidade ideal de nitrogênio, enxofre, potássio, cálcio, magnésio e ferro para a obtenção ideal para cultivar a alface (ROSINI, 2015). O estudo de Costa & Silva (2018) ao comparar o crescimento, saúde e biomassa de alface envolvendo o cultivo hidropônico e aquaponia mostrou que não apenas existe sustentabilidade do crescimento saudável das plantas, mas também numa produção superior àquela obtida com água potável convencional. Este resultado também foi constatado por Graber et al. (2019) ao demonstrar a viabilidade e os benefícios ambientais do uso de efluentes de aquicultura em sistemas hidropônicos para reduzir a demanda por água doce e fertilizantes químicos.

Além disso, esses autores consideram que os resultados obtidos foram notáveis, revelando um aumento de 20% na biomassa da alface produzida com água residual de piscicultura. Outro aspecto relevante do estudo foi atribuído à quantidade de nutrientes na água reciclada, principalmente nitrogênio e fósforo e ausência de patógenos e/ou metais pesados (ZHANG et al., 2020; PATEL & RAJPUT, 2021; HAIDER et al., 2022).

Os resultados já vinham sendo enfatizado por Costa & Silva (2018) que consideravam com sendo promissor o uso da aquaponia com uma prática da agricultura sustentável. Para sustentar sua afirmação esses autores não apenas demonstraram a utilidade de reciclar água residual de piscicultura, como também enfatizaram a importância da existência de sistemas de tratamento adequados para garantir a segurança alimentar e a eficiência agrícola.

Além disso, Santos et al., (2020) demonstraram que é viável do uso de sistemas de aquaponia em larga escala para a produção de hortaliças hidropônicas com as seguintes vantagens:

- Remoção de sólidos;
- Níveis adequados de nutrientes para sustentar o crescimento das plantas; e
- Produção satisfatória de hortaliças de alta qualidade.

Por outro lado, Oliveira et al. (2019) mostraram que água recirculação dos tanques de tilápia, após passar por processos de filtragem e tratamento, apresentou condições ideais para o cultivo de plantas na aquaponia. Nesse sentido ao utilizar a água da piscicultura na hidroponia, os nutrientes presentes na água, como nitrogênio, fósforo, potássio e outros micronutrientes, são aproveitados pelas plantas, fornecendo uma fonte natural de fertilização (MARTINS et al., 2019). Dessa forma, a aquaponia contribui significativamente na economia de custos e redução do desperdício de recursos, pois reduz a necessidade de adição de fertilizantes externos.

Para manter o equilíbrio dos sistemas aquáticos e garantir uma fonte constante de nutrientes para as plantas cultivadas em sistemas hidropônicos é necessário controlar o processo de ciclagem dos nutrientes. Por exemplo, o equilíbrio existente na transformação de compostos nitrogenados, como amônia ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) e nitrito (NO_2^-), em nitrato (NO_3^-) (RAKOCY et al., 2018). É fundamental que durante a ciclagem haja um monitoramento dos níveis de amônia, nitrito e nitrato (SALDINGER et al., 2023). Quando a concentração de amônia aumenta, há uma necessidade de reutiliza-lo passando por um sistema fechado (JATOBÁ et al., 2019). Portanto, ao promover a ciclagem eficiente dos nutrientes, os sistemas aquáticos integrados, como a aquaponia, podem fornecer uma fonte natural e sustentável de nutrientes para as plantas hidropônicas, reduzindo a dependência de fertilizantes externos e promovendo a reciclagem de nutrientes entre os diferentes componentes do sistema (ENDUT et al., 2010).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. TESTES PRELIMINARES COM CAIXA DE ISOPOR

Para avaliar a resistência da alface foram realizados testes com água eutrofaizada por esgoto doméstico. Para isso, foram realizadas 2 coletas de 40 L água em um igarapé da bacia do Mindú, localizado às margens da Av. Beira Mar do Bairro Coroado (Manaus), conforme mostrado na Figura 1. Este igarapé possui alto grau de eutrofização de esgoto doméstico (BARBOSA, 2023).

A água coletada no igarapé da bacia do Mindú, localizado na área urbana de Manaus, apresenta um elevado grau de eutrofização, consequência direta do despejo de esgoto doméstico não tratado. A eutrofização é caracterizada pelo enriquecimento da água com nutrientes, como nitrogênio e fósforo, frequentemente oriundos de esgoto e resíduos orgânicos, o que estimula o crescimento excessivo de algas e outras plantas aquáticas (SMITH et al., 2020). Esse processo compromete a qualidade da água, levando ao acúmulo de matéria orgânica e microrganismos patogênicos, incluindo coliformes fecais e *Escherichia coli*, que são indicadores de contaminação fecal e representam riscos tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente (BARBOSA, 2023).

A contínua presença de esgoto doméstico no igarapé do Mindú torna essa água imprópria para consumo e requer uma avaliação cuidadosa em seu uso experimental, como no teste de resistência da alface. A interação das hortaliças com água contaminada pode prejudicar o desenvolvimento das plantas e aumentar o risco de transmissão de patógenos, sendo essencial o monitoramento microbiológico e físico-químico das amostras de água (SMITH et al., 2020).

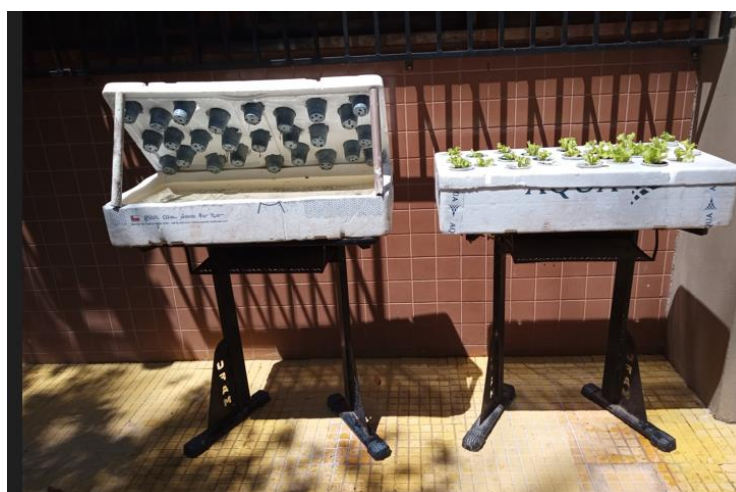
Figura 1: Igarapé Av. Beira Mar do Bairro Coroado



Fonte: Próprio autor.

Cerca de 15 L de água coleta foi adicionada em duas caixas de isopor com as seguintes dimensões: comprimento 46,8 cm x largura 29,0 cm x profundidade 14,1 cm com capacidade de 15 L. As duas caixas de isopor foram tampadas com uma tampa de isopor contendo 25 buracos de 38 mm acoplada (Figura 2). Neste ponto, foram colocadas mudas de alface nos 25 buracos com 10 dias de existência permanecendo nessa condição por 45 dias; ou seja, as mudas de alface foram cultivadas por 45 dias na água contaminada por esgoto doméstico.

Figura 2 - Cultivo de L. sativa em água eutrofizada com esgoto doméstico do igarapé citado acima.



Fonte: Próprio autor.

Durante o período de cultivo de 45 dias, as mudas foram submetidas a um sistema de irrigação controlado, com a aplicação de água em intervalos regulares para garantir a umidade adequada do substrato. Além disso, foram realizados os procedimentos de manejo necessários, como o controle de pragas e doenças, para promover o crescimento saudável das plantas.

Após esse período, verificou-se que ocorreu uma perda de 8% das mudas de alface. Resultado que motivou a execução da próxima etapa do trabalho.

4.2. TESTES DO SISTEMA VERTICAL COM ÁGUA EUTROFIZADA

Para a construção desse sistema foram construídas duas torres hidropônica com tubo de PVC (Tigre) de 100 mm e altura de 180 cm de altura cada, conforme Figura 3. Em cada tubo foram feitos 25 furos de 10 cm de largura e com auxílio de um soprador com aquecimento e um tubo de 10 mm feito um buraco nos cortes

para introduzir mudas de alface. O tubo de PVC foi acoplado em uma bombona de 30 L como base e reservatório de água eutrofizada.

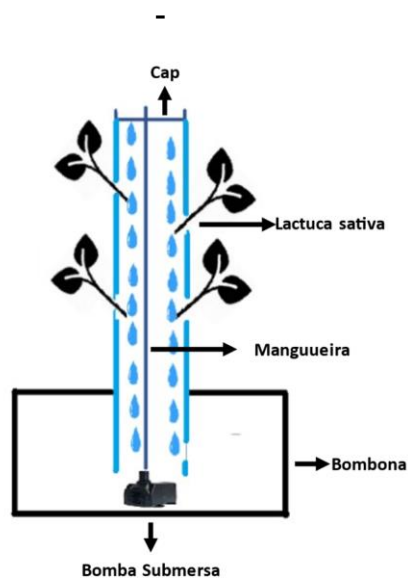
Além disso, foi usada uma bomba submersa da marca Ocean Tech com vazão de 2.000 L/h. Para fazer a recirculação da água eutrofizada com uma mangueira de 2 mm e altura de 180 cm. A mangueira foi acoplada em um CAP de 100 mm contendo furos de dimensão 0,5 mm. O CAP furado tem a função de fazer a aspersão da água do igarapé nas raízes da Alface.

Após o sistema pronto foi inserida as mudas de alface com 10 dias de existência. Da mesma maneira que ocorreu nas caixas isopor as mudas de alface foram submetidas a 15 L de água contaminada por esgoto doméstico do mesmo igarapé anterior local coletado anterior por 45 dias.

Figura 3: Sistema hidropônico vertical. Silva (2023)



Fonte: Próprio autor.



Ao final dos 45 dias observou-se que a taxa de perda caixa para 4%; ou seja, ocorreu um aumento considerável da eficiência do sistema, motivando a construção do sistema aquapônico.

4.3. CONSTRUÇÃO DA PISCICULTURA X SISTEMA HIDROPÔNICO VERTICAL

Construiu-se um sistema piloto composto por um tanque de 1000 L (Container da Marca: IBC, com as dimensões 1m x 1m x 1m, com volume de 1m³), quatro tanques 200 L (Bombona da Marca: PEAD, com as dimensões circunferência 188 cm, altura 89 cm e diâmetro 59 cm), conforme Figura 4.

O primeiro tanque e o segundo funcionam como decantador por onde os resíduos mais denso se concentram no fundo do recipiente e posteriormente são retirados por um registro adaptado na parte inferior do mesmo, o terceiro funciona como filtro onde o mesmo tem 20 litros de pedra brita e 10 unidade de lajotas quebradas agregadas em uma saca tipo tela. Uma quarta bombona foi acoplada para servir de reservatório contendo no seu interior uma bomba submersa (Marca: Fontes Ocean Tech, com isolamento à prova d'água (IPX8), vazão 2.000 L/h, coluna d'água 2,45 m).

Figura 4 - Piscicultura x sistema hidropônico vertical Silva (2023).



Fonte: Próprio autor.

Acima da caixa de 1000 L foram colocar 4 torres vertical conforme o item 23 constituindo o sistema hidropônico vertical. Em cada torre foram colocadas de 15 a 14 mudas, totalizando 50 mudas de alface com 10 dias de existência. Neste sistema ocorreu perdas zero.

4.4. BATELADAS DE EXPERIMENTOS

O experimento foi conduzido em estufa plástica com as mudas de alface distribuídas nas 4 colunas espaçadas com distância de 40 cm, conforme

Figura 5. Ou seja, em cada coluna foram plantadas 15 mudas de alfaces obedecendo a seguinte ordem:

- a. 15 plantas
- b. 30 plantas
- c. 45 plantas
- d. 60 plantas

Figura 5 – Coluna contendo as mudas de alface



Inicialmente, adicionaram-se dez gramas diárias de ração sem os alevinos por um período de 30 dias para a formação de colônias de bactérias que ajudam no consumo de amônia e, desta forma, criar um ambiente adequado para o cultivo de peixes (FERREIRA et al, 2023). A Tabela 2 mostra a composição da ração em todas as bateladas dos experimentos. Devido à recomendação da literatura foram usadas as duas composições de ração (JESUS et al, 2023). Assim ração com 28% de proteína foi usada na primeira e segunda semana e a de 36% de proteína usada para as outras duas semanas de batelada dos experimentos.

Tabela 2 – Composição usada durante as bateladas de experimento

Componente	Ração de 28% de Proteína	Ração de 36% de Proteína
Proteína Bruta (%)	28	36
Extrato Etéreo (%)	6	8
Fibra Bruta (%)	5	4
Umidade (%)	12	12
Matéria Mineral (%)	8	9
Cálcio (%)	2	2.5
Fósforo (%)	1.5	1.8
Energia Digestível (kcal/kg)	3000	3400
Aditivos	Vitaminas A, D, E, K, B-complexo; Minerais: Zn, Mn, Fe, Cu, I, Se	Vitaminas A, D, E, K, B-complexo; Minerais: Zn, Mn, Fe, Cu, I, Se

Em seguida, foram adicionados ao tanque de peixe dez tambaquis que foram tratados do modo tradicional. A partir desse momento os peixes foram alimentados diariamente com 100 g de ração por um período de quatro semanas (FREIRE, 2024). A adição de ração sempre ocorria as seis horas da manhã.

Assim, considerou-se a amostra de água coletada nesta etapa como branco. Depois de 15 dias do tanque com os alevinos iniciou-se a batelada dos experimentos com a água dos alevinos sendo circuladas nas quatro colunas de alface. A partir desse momento, a água do tanque com alevinos passou a circular pelas mudas de alface e amostra de água do tanque passou a ser coletada semanalmente por quatro semanas.

A capacidade de tratamento de água pelas colunas de alface foi avaliada usando medidas físico-química e microbiológicas. Sendo as amostras coletadas antes da adição dos alevinos e uma vez por semana nas bateladas de experimentos com alface.

4.5. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICAS DA ÁGUA

As análises físico-químicas e microbiológicas a serem realizadas nesta dissertação estão listadas na Tabela 3. Todas elas foram realizadas segundo o Standard Methods of Water and Wastewater (APHA, 2017)

Tabela 3 Análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de água realizadas conforme Standard Methods of Water and Wastewater (APHA, 2017).

Parâmetros	Métodos
Ph	Potenciometria (pHmetro PH-2000: Instrutherm)
Temperatura	Termômetro
Condutividade elétrica (CE)	Potenciometria (Condutivímetro: Metler Toledo)
Oxigênio dissolvido (OD)	Titulometria – Winkler
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	Espectrofotometria – FIA
Amônio (N-NH ₄ ⁺)	Espectrofotometria – FIA (Espectrofotômetro: UV-1800 Shimadzu)
Nitrogênio total (N _{Total})	Espectrofotometria – FIA
Fosfato (P-PO ₄ ³⁻)	Espectrofotometria – FIA
Fósforo total (P _{Total})	ESPECTROFOTOMETRIA – FIA
DBO ₅	Titulometria – Winkler
Coliformes totais	Método Colilert
Coliformes fecais (<i>E. coli</i>)	Método Colilert

4.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA BASEADA NO TESTE DE T PAREADO

Os resultados obtidos foram avaliados inicialmente por uma estatística descritiva baseada na média, desvio-padrão e coeficiente de variação. E em um segundo momento, utilizou-se o teste de *student t*-pareado com a finalidade de verificar se as médias em cada batelada era iguais ou diferentes com um nível de confiabilidade de 95% em relação entre elas e mesmo e o branco.

5. RESULTADO E DISCUSSÃO.

As análises físico-químicas e microbiológicas estão listadas na Tabela 4 os resultados obtidos foram inicialmente submetidos ao teste t pareado no software R (Domínio público, versão 4.4.1) com nível de confiança de 95% sendo avaliado a diferença estatística entre as bateladas de experimento e o branco. Assim, com intervalo de confiança variando entre 0,35 a 1,84 observou-se uma diferença significativa entre o branco e a média dos resultados das bateladas. Por outro lado, entre as bateladas prevaleceu a igualdade estatística entre os resultados obtidos, com intervalos de confiança entre 0,28 e 0,69. Essa afirmação pode ser comprovada pelos valores de coeficiente de variação (CV) obtidos. Praticamente todos os valores indicam que não variações significativas entre as bateladas, mesmo com nitrogênio total com CV de cerca de 20%. Assim, pode-se afirmar que durante as bateladas não houve grandes alterações na composição química em termos das variáveis determinadas.

Tabela 4 – Resultados das Análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de água

de água		Batelada de experimento						CV	CONAMA
Variáveis	Branco	1	2	3	4	Media			
pH	6,02	7,22	7,34	5,97	5,97	6,40	11,09	6,0 a 9,0	
T	28,5	28,5	28,5	28,0	28,0	28,1±	0,97	< 40	
S	34,82	30,37	30,37	30,95	30,95	30,15±	6,25	SF	
OD	7,29	6,41	7,3	7,08	7,08	7,02±	5,18	<5	
Nitrato	3,8	3,9	2,62	2,92	2,92	2,82±	20,51	10	
N _{total}	0,44	0,53	0,37	0,39	0,39	0,36±	17,96	3,7	
Fosfato	0,23	0,29	0,20	0,20	0,20	0,22±	17,78	SF	
P _{total}	0,19	0,24	0,17	0,17	0,17	0,19±	15,96	0,05	
DBO	3,92	4,11	3,51	4,04	4,04	4,14±	5,83	< 5,0	
DQO	9,55	10,69	9,36	10,87	10,17	10,27±	6,52	SF	
CT	Positivo							SF	
Escherichia coli	Positivo							SF	

Fonte: Próprio autor. SF = Sem Referência, CT = coliformes totais

Além disso, os resultados obtidos após as bateladas experimentais foram avaliados segundo os Art. 15 e 16 do CONAMA no 357 de 2005 e de acordo com os Art. 16 e 21 do CONAMA no 430 de 2011 (BRASIL, 2005), (BRASIL, 2011). Os

resultados das bateladas de experimentos mostram que os valores de pH variam de 5,97 a 7,34, valores aceitáveis pelas resoluções do CONAMA. Além disso, segundo (GODOY et al., 2021) o intervalo de pH observado nas bateladas de experimentos são ideais para cultivar espécies de peixe comerciais; uma que os valores se encontram entre 6,0 e 9,0. Para esses autores nesse intervalo de pH, os peixes realizam perfeitamente suas funções fisiológicas essenciais, como a respiração, a digestão e controle do equilíbrio de água e sais no corpo (osmorregulação). Por outro lado, (NADIA et al., 2023), afirmam que o pH afeta diretamente o metabolismo dos peixes e que valores fora do intervalo ideal podem comprometer a eficiência da conversão alimentar, no crescimento dos peixes e sua reprodução.

O pH também influencia na disponibilidade de nutrientes para o fitoplâncton e zooplâncton, que são importantes fontes de alimento para muitas espécies de peixes (JOSEPH, 2021). Variações abruptas ou prolongadas do valor de pH podem estressar os peixes, tornando-os mais susceptíveis a doenças devido à supressão do sistema imunológico (PÉREZ et al., 2023). Ao contrário de sistemas tradicionais, em que se utiliza técnicas como aeração, adição de produtos químicos ou uso de materiais de tamponamento, no sistema de aquaponia deste trabalho foi possível manter praticamente constante e dentro do intervalo recomendado o valor de pH (WONGKIEW et al., 2023).

Porém a integração de plantas, como alfaces, em sistemas de piscicultura é uma prática comum na aquaponia, que combina aquicultura (criação de peixes) com hidroponia (cultivo de plantas sem solo). Elas desempenham vários papéis importantes no tratamento e manutenção da qualidade da água, como regulação do pH, absorção de nutrientes que se acumulam na água do sistema de piscicultura, particularmente nitrogênio e fósforo que são provenientes dos resíduos fecais dos peixes e sobra da ração. Para (LEE et al., 2021) a absorção de amônia, nitratos e outros compostos nitrogenados pelas plantas na aquaponia contribui para regular o pH da água em condições ideais.

Casos de mortalidade de peixes em pisciculturas devido o pH estar fora dos níveis aceitáveis são relativamente comuns e podem ocorrer em várias partes do mundo, inclusive no Brasil. De acordo com CETESB (2024) podemos falar do caso

no Vale do Paraíba, em São Paulo, onde houve relatos de mortandade de peixes em pisciculturas devido a alterações bruscas no pH da água, muitas vezes associadas a fatores ambientais e poluição e do caso em Mato Grosso segundo Gazeta digital (2023) que é um importante estado produtor de peixes no Brasil, também registrou eventos de mortandade em pisciculturas. As causas incluem não apenas o pH inadequado, mas também a contaminação por pesticidas e outros poluentes agrícolas que podem alterar a qualidade da água.

O pH inadequado da água influencia diretamente a saúde e o bem-estar dos peixes, sendo que o valor ideal para a maioria das espécies de peixes de cultivo é entre 6,0 e 9,0. Valores fora desse intervalo causam estresse, reduzem a resistência a doenças e, em casos extremos, levam à mortandade. Com valor de $\text{pH} \leq 4$ observa-se uma mortandade por causa da acidez da água. De modo geral, dependendo das condições tem-se as seguintes situações: pH ácido de 4,0 a 5,9 os peixes não se reproduzem; de 6,0 a 9,0 têm-se reproduções ideais de peixes; de 9,1 a 10 tem-se um crescimento lento e de ≥ 11 ocorre a morte chamada de alcalina.

O pH é uma variável que afeta também a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e segundo (GILLANI et al., 2023) a quantidade de oxigênio afeta diretamente a degradação da matéria orgânica por processos biológicos aeróbicos. Para (STEFANNAKIS et al., 2012) diversos fatores, como tipo de peixe cultivado, densidade populacional dos peixes, quantidade de alimento fornecido, entre outros são influenciados direta e indiretamente pelo valor de pH. Nesse sentido, os valores de DBO deste trabalho estão abaixo do recomendado pelo CONAMA.

Para (CONNOR et al., 2022) os peixes precisam de oxigênio para respirar, assim como outros organismos aquáticos e esses valores baixos de DBO significam menos matéria orgânica a ser decomposta não influencia no cultivo de peixe por aquaponia. Em contrapartida (ROZARI et al., 2021) afirmam que altos níveis de DBO na água podem levar a uma diminuição nos níveis de oxigênio dissolvido (OD), o que é prejudicial para os peixes. De modo geral, alterações significativas de OD causam estresse e, em casos extremos, levam a níveis altos de mortalidade. Dessa forma, controlar a DBO é importante para manter a qualidade da água em sistemas de piscicultura (AMORI et al., 2022). Na piscicultura tradicional, o controle

de OD é geralmente por manejo adequado, como alimentação controlada, remoção de detritos e monitoramento regular da água. Por outro lado, (RATNA et al., 2021) recomenda o monitoramento contínuo dos níveis de DBO para garantir condições ótimas para o crescimento e saúde dos peixes.

Além da DBO, a Demanda Química de Oxigênio (DQO) também se encontra dentro dos limites permitidos pelo CONAMA. Esse resultado é um indicador importante pois afeta diretamente a presença de matéria orgânica na água, como apontado por (RATNA et al., 2021). A princípio, a DQO é uma medida que permite estimar a quantidade total de matéria orgânica biodegradável e não biodegradável, o que pode prejudicar a saúde dos peixes. Além disso, a alta DQO resulta em maior consumo de oxigênio, podendo levar ao estresse e mortalidade dos peixes (GARCIA et al., 2022). Por outro lado, a matéria orgânica não degradada pode obstruir filtros e tubulações dos tanques de piscicultura e, dessa forma, é necessário realizar manutenções constante (SILVA et al., 2020). Outro problema relacionado à DQO é o equilíbrio microbiológico, que ao ser alterado favorece a existência de patógenos e supressão dos microrganismos benéficos (MARTINS et al., 2021). O excesso de matéria orgânica também interfere na disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas (FERREIRA et al., 2019). Portanto, manter a DQO dentro dos limites aceitáveis é vital para o equilíbrio do sistema de piscicultura, qualidade observada com a aquaponia usando neste trabalho.

Outra variável que afeta a DBO é a temperatura que segundo (FAO, 2021) o cultivo na piscicultura depende da espécie de peixe, por exemplo: Tilápia: 24-30°C; Truta: 10-18°C; Bagre: 24-30°C; Carpa: 20-28°C. Temperatura fora das condições ideais afetam diretamente o metabolismo dos peixes. Caso esteja fora do intervalo ideal os peixes podem ter estresse e conseqüentemente ocorrerá uma redução do crescimento e o surgimento de doenças, como: Amarelão (Lymphocystis), Síndrome de Desintegração da Barbatana (Fungal Infections), doenças bacterianas (Columnaris, Vibriosis) e outras doenças (PILLAY & KUTTY, 2005).

Por sua vez, a solubilidade do oxigênio na água diminui com o aumento da temperatura, o que pode ser crítico para a sobrevivência dos peixes. Portanto, a reprodução dos peixes necessita de temperaturas específicas se ter um OD ideal.

Se a temperatura estiver fora da faixa ideal, o sistema imunológico dos peixes pode ser suprimido por causa do OD (PILLAY & KUTTY., 2005).

Em sistema hidropônicos, a temperatura da água afeta a temperatura das raízes das plantas, o que pode influenciar o crescimento. Geralmente, para a maioria das plantas hidroponicamente cultivadas: 18-24°C; plantas de clima quente (tomates, pepinos): 22-26°C; plantas de clima frio (alface, espinafre): 18-22°C.

No Sistema Aquapônico a temperatura tem uma grande importância nos: nutrientes onde a temperatura da água pode afetar a disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas; microbiologia em que a atividade dos microrganismos que convertem amônia em nitratos (nitrificação) é influenciada pela temperatura. Idealmente, a nitrificação ocorre de forma eficiente entre 20-30°C; interação peixe-planta que precisa manter uma temperatura que seja adequada tanto para os peixes quanto para as plantas é crucial para o sucesso do sistema aquapônico.

Segundo recomendações de (CORREIA, 2020) para sistemas aquapônicos, é importante manter a temperatura dentro do intervalo recomendado. Dessa forma, em alguns cultivos de peixe utilizam-se aquecedores ou resfriadores de água, monitoramento constante com termômetros e sensores, isolamento com materiais específicos e controle da exposição ao sol e ventilação. Mas para (OKOMODA., 2023) a hidroponia vertical de alface acoplada com piscicultura é uma prática inovadora e integrada ao uso otimizado de recursos e garantir condições ideais de crescimento das plantas e desenvolvimento dos peixes. Ou seja, eliminar a dependência de controle de temperatura e oxigenação artificial.

Outro problema observado na piscicultura é a produção de amônia, substância que se encontra abaixo do limite de detecção em todo o experimento. Esse resultado é bastante positivo, pois a toxicidade da amônia em sistemas de piscicultura é um dos principais desafios enfrentados pelos produtores de peixes Oliveira et al (2021). A amônia é um subproduto natural do metabolismo das proteínas dos peixes, liberada principalmente através das brânquias e, em menor quantidade, através das fezes Silva et al (2020). Em concentrações elevadas, a amônia é altamente tóxica para os peixes, afetando sua saúde e crescimento, além de levar à mortalidade em casos extremos.

Esse problema é mitigado com a implementação de práticas de manejo, como uso de um bom sistema de filtragem biológica, monitoramento regular da qualidade da água e a adoção de técnicas de alimentação que minimizem o excesso de resíduos nitrogenados no sistema Ma et al (2019). Essas estratégias são fundamentais para assegurar um ambiente saudável para os peixes e a viabilidade econômica das operações de piscicultura. Mas, com a integração no sistema aquapônico, as plantas desempenham um papel fundamental na remoção da amônia como observado nos resultados deste trabalho.

Embora, abaixo do detectado a presença da amônia no sistema aquapônico não pode ser desprezada. Isso porque neste trabalho é registrada a presença de nitrato em todas as bateladas de experimentos da ordem de 2,82 mg/L em média. Segundo Yavuzcan et al (2017), o processo de nitrificação na piscicultura é essencial para manter os níveis de amônia baixos no sistema e afeta diretamente a saúde dos peixes. Então, bactérias nitrificantes, como *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, são responsáveis por converter amônia em nitrito (NO_2^-) e, em seguida, no nutriente de plantas nitrato (NO_3^-).

Nesse sentido, as plantas em sistemas aquapônicos desempenham um papel vital na absorção de nutrientes, especialmente nitratos, que são subprodutos do metabolismo dos peixes e do processo de nitrificação. As plantas utilizam esses compostos nitrogenados como fonte de nutrição, ajudando a manter os níveis de nitrato em concentrações seguras. Além de promover o crescimento saudável das plantas, essa absorção de nutrientes reduz o potencial de toxicidade da água e melhora a saúde dos peixes. Dessa forma, as plantas funcionam como um filtro biológico, removendo nutrientes em excesso que poderiam prejudicar o equilíbrio do sistema aquático Gomes et al (2021).

Em princípio, as raízes das plantas em sistemas aquapônicos atuam como filtros naturais, removendo não apenas nutrientes, como nitrato, em excesso, mas também partículas sólidas e resíduos orgânicos Santos et al (2020). Esse processo contribui significativamente para melhorar a qualidade da água, tornando-a mais adequada para a vida aquática. Além disso, a remoção eficaz da amônia e nitratos reduz o potencial de toxicidade, prevenindo o crescimento exagerado de algas e a presença de patógenos Oliveira et al (2021). Essa melhoria na qualidade da água

também resulta na estabilidade da condutividade conforme pode ser observado na Tabela 1. Uma vez que, Rakocy (2006) afirma que a alimentação dos peixes e a decomposição de resíduos orgânicos aumentam a concentração de sais e, conseqüentemente, a condutividade. Por isso, Yavuzcan et al (2017) sustentam a necessidade de um controle rigoroso da condutividade elétrica. Segundo esses autores um ambiente equilibrado na piscicultura é essencial para uma boa qualidade dos peixes.

A presença de coliformes totais e *Escherichia coli* em sistemas integrados de piscicultura e hidroponia (aquaponia) é considerada um impacto na qualidade microbiológica da água. Os coliformes totais são amplamente reconhecidos como indicadores de contaminação fecal e geralmente refletem a presença de organismos patogênicos Correia et al (2020). Em particular, a *Escherichia coli*, um subgrupo específico de coliformes, é significativa por sua associação direta com contaminação fecal e representa um risco potencial para a saúde humana se detectada em concentrações elevadas Stegelmeier et al (2022)

Para lidar com essas variáveis, são necessárias práticas de manejo e tratamento rigorosas, que inclui medidas extremas para prevenir a entrada de contaminantes externos, como controle de acesso e manejo adequado de resíduos e alimentação Kunz et al (2019). Além disso, o uso de sistemas de filtração eficazes a base de filtros mecânicos e biológicos Kunz et al (2019). Após o pré-tratamento mecânico e biológico, técnicas de desinfecção, como cloração, ozonização ou tratamento UV, são aplicadas para eliminar ou reduzir ainda mais a carga bacteriana, assegurando a qualidade microbiológica adequada para a criação sustentável de peixes e cultivo de plantas Dostuni et al (2023). Além disso, o monitoramento regular da qualidade microbiológica da água é imprescindível, segundo Pereira et al (2023).

Em resumo, os resultados mostram que o sistema de aquaponia desenvolvido neste trabalho permite a retirada de uma série de controle. Destacam-se:

1. **Controle pH** – Sistema de aeração, adição de produtos químicos ou uso de materiais de tamponamento;

2. **OD** – Não será necessário o controle mais adequado de variáveis, como alimentação controlada, remoção de detritos e monitoramento regular da água;
3. **Temperatura** - O uso de aquecedores ou resfriadores de água, realizar um monitoramento constante com termômetros e sensores com isolamento usando materiais específicos e controle da exposição ao sol e ventilação.
4. **DBO** – Sistema de filtragem biológica, monitoramento regular da qualidade da água e a adoção de técnicas de alimentação que minimizem o excesso de resíduos nitrogenados no sistema
5. **DQO** – Aeradores e outros dispositivos de tratamento intensivo

A piscicultura tradicional e a aquaponia são duas abordagens distintas na criação de peixes, cada uma com características, vantagens e desvantagens próprias. A piscicultura tradicional foca exclusivamente na criação de peixes, geralmente em tanques, viveiros ou lagos. Esse sistema requer trocas frequentes de água para remover resíduos e manter a qualidade da água, o que implica em um elevado consumo de água. A gestão dos resíduos gerados pelos peixes é um desafio significativo, pois esses resíduos necessitam de tratamento para evitar a contaminação do ambiente. Além disso, a piscicultura tradicional apresenta um maior potencial de impacto ambiental devido ao descarte de água rica em nutrientes e outros poluentes.

Por outro lado, a aquaponia é um sistema integrado que combina a criação de peixes com o cultivo de plantas em um ambiente recirculante. Nesse sistema, os resíduos dos peixes fornecem nutrientes para as plantas, que, por sua vez, ajudam a purificar a água. Essa integração permite a reutilização da água, resultando em um consumo significativamente menor em comparação à piscicultura tradicional. Os resíduos dos peixes são convertidos em nutrientes para as plantas, reduzindo a necessidade de tratamento e tornando o sistema mais sustentável. Além disso, a aquaponia tem um menor impacto ambiental devido ao uso eficiente dos recursos e à menor geração de resíduos.

As vantagens da piscicultura tradicional incluem a simplicidade operacional, com menor complexidade no manejo dos peixes, e geralmente um

menor investimento inicial comparado à aquaponia. A especialização permitida por esse sistema possibilita um maior foco na criação de peixes. Contudo, as desvantagens são o maior consumo de água, os desafios na gestão e tratamento dos resíduos, e o potencial de maior impacto ambiental.

Em contraste, a aquaponia apresenta vantagens como a eficiência no uso dos recursos, menor consumo de água devido ao sistema recirculante, e a sustentabilidade proporcionada pela produção simultânea de peixes e plantas. A qualidade da água é melhor mantida pelas plantas, reduzindo a necessidade de trocas frequentes, e o sistema permite a obtenção de renda dupla. No entanto, as desvantagens incluem a complexidade inicial, que requer conhecimento técnico para equilibrar o sistema e manter a saúde de peixes e plantas, o maior investimento inicial necessário para os equipamentos de recirculação e controle da qualidade da água, e a necessidade de monitoramento constante e manutenção para evitar desequilíbrios.

Em termos de custo-benefício e impacto ambiental, a piscicultura tradicional pode ser vantajosa a curto prazo devido ao menor investimento inicial e à simplicidade operativa. No entanto, os custos contínuos de água e gestão de resíduos podem aumentar, e o impacto ambiental pode ser maior devido ao descarte de água rica em nutrientes. A aquaponia, apesar do maior investimento inicial, oferece maior eficiência no uso de recursos e potencial para diversificação de renda, com custos operacionais reduzidos a longo prazo. Seu impacto ambiental é menor devido à integração dos sistemas de peixes e plantas, à reciclagem de nutrientes e ao menor consumo de água.

5.1. CUSTO BENEFÍCIO DO SISTEMA

O sistema de aquaponia vertical, que combina piscicultura e hidroponia em estruturas verticais, pode oferecer diversos benefícios em termos de eficiência espacial e redução no uso de recursos em comparação a sistemas tradicionais. No entanto, o custo-benefício específico pode variar dependendo de vários fatores, incluindo o tamanho do sistema, as tecnologias empregadas e as condições locais. Aqui estão alguns pontos a considerar:

- Redução de custos com materiais: Em um sistema de aquaponia vertical, a utilização de estruturas verticais pode permitir uma maior densidade de produção tanto de peixes quanto de plantas em uma área menor. Isso pode reduzir custos com espaço e materiais estruturais em comparação a sistemas horizontais tradicionais.
- Redução no uso de água e nutrientes: A recirculação de água entre os tanques de peixes e os sistemas hidropônicos pode reduzir significativamente o consumo de água em comparação a sistemas convencionais de piscicultura e hidroponia separados. Além disso, o uso de plantas para filtrar e utilizar nutrientes pode reduzir ou eliminar a necessidade de aeradores e outros dispositivos de tratamento intensivo de água.
- Custo inicial e manutenção: Embora os sistemas de aquaponia vertical possam exigir um investimento inicial maior em tecnologia e infraestrutura, como sistemas de bombeamento e controle automatizado, eles podem oferecer economias a longo prazo devido à eficiência no uso de recursos.
- Benefícios ambientais: A redução no uso de produtos químicos e fertilizantes sintéticos, típicos da hidroponia convencional, pode resultar em benefícios ambientais significativos, como a diminuição da poluição da água e a conservação de recursos naturais.
- Viabilidade econômica: O sucesso econômico de um sistema de aquaponia vertical depende da gestão adequada do sistema, do mercado para os produtos cultivados e da eficiência na redução de custos operacionais, como energia e manutenção.

Em resumo, o custo-benefício de um sistema de aquaponia vertical em comparação a sistemas convencionais pode ser positivo, especialmente quando considerados os benefícios econômicos, ambientais e de eficiência no uso de recursos. No entanto, é importante realizar uma análise detalhada de viabilidade econômica e técnica para determinar a adequação desse sistema às condições específicas e objetivos do produtor.

6. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo indicam que a utilização da água proveniente de sistemas de aquaponia na produção de alface hidropônica é uma estratégia viável e promissora. A água, enriquecida com nutrientes provenientes dos resíduos de peixes, promoveu um crescimento vigoroso e saudável das plantas, sem a necessidade de adição significativa de fertilizantes externos.

Esses achados corroboram a ideia de que a integração entre a piscicultura e a hidroponia pode proporcionar benefícios significativos, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Ao reciclar os nutrientes presentes na água da piscicultura para alimentar as plantas cultivadas em sistemas hidropônicos, é possível reduzir a necessidade de insumos externos, minimizando os impactos ambientais associados à agricultura convencional.

Portanto, este estudo sugere que a utilização da água da piscicultura na hidroponia pode representar uma abordagem sustentável e eficiente para a produção de alimentos, contribuindo para a segurança alimentar e a conservação dos recursos naturais. No entanto, são necessárias mais pesquisas para aprimorar as práticas de manejo e otimizar o desempenho desses sistemas integrados em diferentes contextos agrícolas.

Para concluir de maneira dissertativa sobre os temas abordados, considerando os resultados dos experimentos de aquaponia discutidos e os diversos aspectos envolvidos na gestão de sistemas integrados de piscicultura e hidroponia, pode-se destacar que a qualidade da água é um fator crítico para o sucesso desses sistemas. Os resultados das análises de pH, essenciais para o funcionamento fisiológico dos peixes e para a eficiência dos processos biológicos, demonstraram que os valores observados estão dentro dos limites recomendados para a saúde e reprodução dos peixes, conforme evidenciado por Godoy et al (2021) e Nadia et al (2023).

Além disso, a interação entre pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), temperatura e outras variáveis, como destacado por Gillani et al (2023) e Stefannakis et al (2012), evidencia a complexidade do manejo necessário para garantir condições ideais de cultivo tanto para os peixes quanto para as plantas. A importância da integração de práticas sustentáveis, como a aquaponia vertical, é

ressaltada não apenas pelos benefícios econômicos de redução de custos com materiais e água, mas também pelos ganhos ambientais, como a minimização da poluição e o uso mais eficiente de recursos naturais, conforme discutido por diversos autores ao longo do texto.

Por fim, a necessidade de estratégias robustas de manejo e tratamento, incluindo o controle microbiológico eficaz para reduzir a presença de coliformes totais e *Escherichia coli*, como sugerido por Correia et al (2020) e Pereira et al (2023), sublinha a importância do monitoramento contínuo e da implementação de tecnologias de filtragem avançadas para assegurar a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental. Esses aspectos são cruciais para orientar futuras pesquisas e práticas na área de aquaponia, visando um desenvolvimento cada vez mais seguro e eficiente desses sistemas integrados.

Podemos destacar a relevância dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) no contexto da aquaponia, demonstrando como essa prática pode enfrentar desafios globais até 2030. A piscicultura, um componente crucial da produção de alimentos, contribui significativamente para a segurança alimentar (ODS 2) ao promover a produção sustentável de peixes com práticas que minimizem os impactos ambientais (FAO, 2021). O uso eficiente da água na piscicultura, essencial para a preservação dos recursos hídricos (ODS 6), é possível através de técnicas inovadoras de reutilização de água que economizam o desperdício (OMS, 2020). Além disso, uma aplicação de tecnologias avançadas na aquicultura pode fomentar a industrialização sustentável e inclusiva (ODS 9), melhorando a eficiência e a infraestrutura do setor (UNIDO, 2019). Práticas sustentáveis na piscicultura também promovem padrões de consumo e produção responsável (ODS 12), reduzindo o impacto ambiental e garantindo a longevidade da produção (PNUMA, 2020). A minimização dos impactos negativos na vida aquática (ODS 14) é alcançada através de práticas responsáveis que protegem os ecossistemas e promovem a biodiversidade (WWF, 2021). Por fim, a gestão sustentável das áreas costeiras e a proteção dos ecossistemas terrestres relacionados à piscicultura (ODS 15) são cruciais para manter a integridade ambiental Iverson e Dervan (2020). Assim, este estudo não atende apenas aos objetivos específicos do ODS, mas também ilustra como a aquaponia pode ser um

modelo de prática sustentável, alinhando-se com metas global de desenvolvimento sustentável. O alinhamento com os ODS não só realça a importância ambiental e social da aquaponia, mas também sublinha o seu potencial económico, ao incentivo a práticas que garantem a proteção a longo prazo dos sistemas produtivos. Este estudo exemplifica como a integração da aquicultura com a agricultura hidropônica pode otimizar recursos, reduzir resíduos e aumentar a resiliência dos sistemas agrícolas contra as mudanças climáticas e outros desafios ambientais. Dessa forma, a aquaponia surge como uma solução multifacetada, promovendo um equilíbrio entre a produção de alimentos, a conservação dos recursos naturais e o bem-estar das comunidades. Ao contribuir para a segurança alimentar, a gestão sustentável da água, a inovação industrial e a conservação dos ecossistemas, a aquaponia reforça seu papel como uma prática essencial no avanço dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Assim, a implementação da aquaponia pode transformar a forma como produzimos alimentos, gerimos os recursos hídricos e preservamos os ecossistemas, oferecendo um modelo eficaz para enfrentar os desafios do século XXI. A adoção generalizada dessa prática pode fomentar um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável, evidenciando que é possível integrar o crescimento económico com a preservação ambiental e a justiça social. Portanto, este estudo não só fornece insights públicos valiosos para futuras pesquisas e políticas, mas também inspira ações concretas para promover um mundo mais sustentável e resiliente para as futuras gerações. Com a integração da aquaponia nas práticas agrícolas e pesqueiras, observamos uma abordagem inovadora que não apenas melhora a eficiência na produção de alimentos, mas também contribui para a saúde dos ecossistemas e o bem-estar das comunidades. Esse modelo sustentável oferece uma solução promissora para enfrentar questões globais como a escassez de recursos naturais e as mudanças climáticas, demonstrando que é possível criar um futuro mais sustentável e equilibrado. Portanto, este estudo não apenas destaca a importância da aquaponia no contexto dos ODS, mas também reforça a necessidade de continuar investindo em práticas e tecnologia são que promovem a integração entre desenvolvimento económico e conservação ambiental.

7. SUGESTÃO PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

Medidas de prevenção

- Para evitar tais incidentes, é crucial que os piscicultores monitorem regularmente a qualidade da água, incluindo o pH, e tomem medidas corretivas rápidas quando necessário. A adoção de práticas de manejo sustentável e o controle de fontes de poluição também são essenciais para manter a saúde dos ecossistemas aquáticos e garantir a viabilidade da piscicultura.
- são necessárias mais pesquisas para avaliar completamente os efeitos do reuso da água da piscicultura sobre o crescimento das plantas, a qualidade dos produtos e a sustentabilidade do sistema em longo prazo
- calcular a massa fresca média das plantas de alface , onde esse aumento na massa fresca pode indica um bom desenvolvimento vegetativo das plantas e uma absorção eficiente dos nutrientes presentes na água da piscicultura.

Colocar o sistema funcionamento por mais tempo possível para saber quanto tempo o tanque suporta com a mesma água

Para avaliar a sustentabilidade e a capacidade de um sistema aquapônico em manter a qualidade da água ao longo do tempo, é crucial considerar diversas variações físicas, químicas e biológicas. Isso inclui monitorar parâmetros como pH, temperatura, concentração de amônia, nitratos, nitritos, oxigênio dissolvido, entre outros. A ideia é observar como essas configurações se comportam ao longo do período em que o sistema opera sem a necessidade de trocas de água significativas. Isso não apenas demonstra a eficiência do sistema em manter condições adequadas para os peixes e plantas, mas também ajuda a entender a estabilidade do ambiente aquático em termos de equilíbrio biológico e ciclagem de nutrientes.

A redução da necessidade de trocas de água não apenas economiza recursos hídricos, mas também promove um ambiente mais estável para as espécies aquáticas, minimizando o estresse e ambientalmente prejudicial à incidência de doenças. Além disso, uma análise contínua das configurações

permite ajustes precisos no manejo do sistema, otimizando-o para melhores resultados produtivos

Processos químicos

No sistema de aquaponia, que combina piscicultura (produção de peixes) e hidroponia (cultivo de plantas sem solo), ocorrem diversas discussões e processos químicos que são essenciais para o funcionamento do sistema. Aqui estão algumas das diferentes reações e processos químicos envolvidos:

Essas respostas ilustram a interação complexa entre os componentes biológicos (peixes, plantas e microorganismos) e os processos químicos (nitrificação e absorção de nutrientes) que ocorrem no sistema de aquaponia. O resultado é um ciclo fechado e sustentável de nutrientes, onde os resíduos dos peixes são convertidos em nutrientes que alimentam o crescimento das plantas, enquanto as plantas ajudam a purificar a água para os peixes, reduzindo a necessidade de trocas de água e maximizando a eficiência do sistema como um todo. Esse ciclo fechado também contribui para a redução do consumo de água e de insumos agrícolas, tornando a aquaponia uma prática agrícola altamente sustentável. Além disso, uma interação simbiótica entre peixes e plantas ajuda a criar um ambiente mais estável e saudável, minimizando os riscos de estresse ambiental e doenças para os organismos envolvidos. A gestão cuidadosa desses processos químicos e biológicos é essencial para manter a saúde e a produtividade do sistema ao longo do tempo, garantindo benefícios tanto para a produção de alimentos quanto para a conservação dos recursos naturais.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

- ASANO**, T. et al. Reclaimed water for agriculture: Benefits and risks. *Environmental Science & Technology*, 2018.
- BARBOSA**, W. R. M. et al. Estudo sobre ações e intervenções antrópicas de canais urbanos na Bacia do Quarenta-Manaus (AM). 2023.
- BAUMGARTNER**, T. S. Uso do vegetal azolla caroliniana para adubação e fixação de nutrientes em meios aquapônicos: uma revisão bibliográfica. 2023.
- BIGNON**, L. M. P. et al. Avaliação da produção de biomassa de microalgas em meios alternativos e sua utilização como bioestimulante vegetal. 2023.
- BIAGIONI**, R. C. Desempenho produtivo e qualidade da água em um sistema de aquaponia contendo tilápias em diferentes densidades de cultivo, alfaces e macrófitas aquáticas. 2021.
- BIOLOGY**, Aquaculture Division. Environmental Impacts of Aquaculture. International Institute of Biology, 2019.
- BOYD**, C. E. Manejo da qualidade da água na aquicultura. Springer, 2019.
- CAMPOS, G. Cultivo inovador e sustentável de *Nasturtium officinale* L. por hidroponia com reaproveitamento de águas residuais da produção de *Squalius alburnoides*. 2024. Tese (Doutorado).
- CARPENTER**, S. R.; **BENNETT**, E. M.; **PETERSON**, G. D. Scenarios for ecosystem services: An overview. *Ecology and Society*, v. 26, n. 1, 2021.
- CAVALCANTE**, L. A. Avaliação da suplementação de ferro para produção de cultivares de alface em sistema aquapônico com tilápia do Nilo. 2023.
- CETESB** - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Mortandade de Peixes. Disponível em: (ligação indisponível). Acesso em: 12 jul. 2024.
- COSTA**, A. R.; **SILVA**, M. F. Uso de água tratada de piscicultura no cultivo hidropônico de alface. Universidade de São Paulo, 2018.
- COSTA**, F.; **SILVA**, G. Efficiency of recycled fish farm water in hydroponic lettuce cultivation. *Journal of Cleaner Production*, 2018.
- D**, S. et al. Utilization of Fish Farm Effluents in Hydroponic Vertical Farming. *Aquaculture*, v. 410-411, 2023.

ENDUT, A. et al. Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system. *Desalination*, v. 261, n. 3, p. 302-308, 2010.

FERREIRA, M. B. et al. Efeitos da suplementação dietária da azadiractina sobre o desempenho zootécnico e saúde de juvenis de tilápia-do nilo mantidos em sistema de recirculação. 2023.

FONTES, P.; NETO, A. Nutrient solution management in soilless culture systems. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. The State of World Fisheries and Aquaculture 2021. Roma: FAO, 2021. Disponível em: (ligação indisponível). Acesso em: 15 jul. 2024.

FREIRE, I. S. Impactos ecotoxicológicos de microplásticos de polietileno no peixe Danio rerio e no caramujo *Biomphalaria glabrata*. 2024.

GAZETA DIGITAL. Estado ocupa a 7ª colocação no ranking de criação de peixes. Disponível em: (link unavailable). Acesso em: 12 jul. 2024.

GLIBERT, P. M. et al. Eutrophication, harmful algae and cyanobacteria blooms, and a crisis in the world's freshwater resources. *Limnology and Oceanography*, v. 65, n. S1, p. S45-S76, 2020.

GODDEK, S. et al. Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, v. 7, n. 4, p. 4199-4224, 2019.

GODDEK, S. et al. Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Springer Nature, 2020.

GODDEK, S. et al. The Current Status of Aquaponics—A Review. *Journal of the World Aquaculture Society*, v. 49, n. 2, p. 281-294, 2018.

GODDEK, S. et al. Aquaponics and Global Food Challenges. In *Aquaponics Food Production Systems*. Springer, Cham, 2020. p. 1-32.

GODDEK, S. et al. How greenhouse horticulture in arid regions can contribute to climate-resilient and sustainable food security. *Global Food Security*, v. 38, p. 100701, 2023.

GODFREY, S.; WU, J. Recycled water: A key component of urban water management. *Water Research*, 2019.

- GOMES**, P. F. F. et al. Perfil hemato-bioquímico do tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1816) comparando diferentes fases de crescimento em cultivo aquapônico. *Ciência Animal Brasileira*, v. 25, p. e-78130, 2024.
- GOMEZ**, P. et al. Hydroponic lettuce quality and yield in different seasons and climates. *Scientia Horticulturae*, v. 252, 2019.
- GONÇALVES**, L. U. et al. SUSTENTA: Simpósio Internacional de Uso Sustentável e Tecnologias Alimentares para a Piscicultura familiar na Amazônia: Anais. 2024.
- GONZALEZ**, P. et al. Quality of hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown with vermicompost-based nutrient solutions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 98, n. 10, 2018.
- GRABER**, A.; JUNGE, R. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, v. 246, n. 1-3, p. 147-156, 2009.
- GUIDI**, L. R. et al. Quinolones and tetracyclines in aquaculture fish by a simple and rapid LC-MS/MS method. *Food Chemistry*, v. 245, p. 1232-1238, 2018.
- GUPTA**, S.; GUPTA, M. Sustainable aquaponics: a review on recirculating aquaculture systems and hydroponic cultivation for sustainable food production. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 12, p. 15008-15025, 2021.
- HAIDER**, M. R. et al. Assessment of water quality and treatment technologies in hydroponic systems. *Environmental Technology & Innovation*, 2022.
- JENSEN**, M.; COLLINS, W. Hydroponic Crop Production. CRC Press, 2019.
- JESUS**, A. M. de et al. Resíduos de açaí, seus efeitos na emergência de plântulas e produção de mudas em meio aquapônico. 2022. Tese (Doutorado) - UFRA/Campus Belém.
- KAPLAN**, D.; SHABTAY, A. Integrated pest management in hydroponics. In: *Integrated Pest Management for Crops and Pastures*. CABI, 2019.
- LEITE**, E. M. F. et al. Aquicultura em reservatórios hidrelétricos no Brasil. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, v. 22, n. 1, p. 1624-1642, 2024.
- LENNARD**, W. Aquaponic food production systems: Integration of hydroponics with aquaculture for sustainable food production. CRC Press, 2021.

LIMA, C. A. S. et al. Socioeconomic and profitability analysis of Tambaqui *Colossoma macropomum* fish farming in the state of Amazonas, Brazil. *Aquaculture Economics & Management*, v. 24, n. 4, p. 406-421, 2020.

LOPEZ, M. et al. Nutritional quality of hydroponically grown lettuce. *Food Chemistry*, v. 318, 2020.

LORA, J. et al. Da hegemonia aquapônica: Um convite à prática. *Research, Society and Development*, v. 13, n. 8, p. e13513846594-e13513846594, 2024.

MAQUINÉ, A. B. et al. Ozonização e radiação UV: ferramentas de tratamento da água para criação de tambaqui em sistema de recirculação para aquicultura (RAS). *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, v. 22, n. 4, p. e4067-e4067, 2024.

MARTINEZ, A. et al. Environmental and nutritional considerations in hydroponic cultivation: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 69, n. 15, 2021.

MARTINS, C. I. et al. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, v. 43, n. 3, p. 83-93, 2010.

MARTINS, P. Aquaponia em Educação Ambiental—Percepções de alunos e de professores. *REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, v. 36, n. 3, p. 356-369, 2019.

MATIAS, J. F. et al. A teoria dos stakeholders como ferramenta de planejamento estratégico na aquicultura: Estudo de caso na região Norte-Amazônica (Pará) e na região Nordeste (Ceará) do Brasil. *Sistemas & Gestão*, v. 16, n. 1, p. 34-43, 2021.

MEANTE, R. E. X. Análise técnica e econômica da produção de tambaqui (*Colossoma macropomum*) na região de Ariquemes-RO, Brasil. 2020.

MEDEIROS, R. et al. VIABILIDADE ECONÔMICA DA AQUAPONIA DE JUVENIS DE TILÁPIA E RÚCULA EM SISTEMA NFT. 2022.

MENDONÇA, V. V. O. et al. Lettuce production in hydroponic and fish-farming aquaponic under different channel slopes and nutrient solutions in the NFT system. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, n. 9, p. 746-754, 2023.

MENEZES, M. D. et al. Algas Biorremediadoras: Avaliação da eficiência na remoção de nutrientes em um sistema tipo Seeded Algal Turf Scrubber (sATS). 2024.

MOCELIN, C. M. Potencial emprego de macrófitas na remoção de nitrogênio e fósforo em águas residuárias no Rio Grande do Sul. 2021.

MOREIRA, A. S. P. et al. Seasonal plasticity of the polar lipidome of *Ulva rigida* cultivated in a sustainable integrated multi-trophic aquaculture. *Algal Research*, v. 49, p. 101958, 2020.

NIERADKA, I. et al. ESTUDO SOBRE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DOS DEJETOS DE UM MÓDULO DE AQUAPONIA E AUTOMAÇÃO DO BIODOGESTOR. 2023.

OLIVEIRA, D. C. F. et al. Aquaponia: a integração entre peixes e plantas: revisão de literatura. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 7, n. 3, p. e71372-e71372, 2024.

OLIVEIRA, E. M.; COSTA, P. R.; FERNANDES, M. A. Eficiência de sistemas de recirculação de água na produção integrada de tilápia e alface hidropônica. *Revista de Aquicultura Sustentável*, v. 9, n. 3, p. 78-91, 2019.

OLIVEIRA, F. A. et al. Hydroponic Lettuce Grown Under Increasing Electric Conductivity Levels of Nutrient Solution: Mineral Nutrition and Postharvest Quality. *HortScience*, v. 55, n. 7, 2020.

OLIVEIRA, J. P.; FERNANDES, M. C. A adaptabilidade do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em sistemas de aquaponia: Uma revisão. *Journal of Aquaponic Systems*, v. 12, n. 4, p. 233-248, 2022.

OWATARI, M. S. et al. Sistemas de recirculação e reúso de água na aquicultura: Uma ferramenta para sustentabilidade. In: *Ciências agrárias: a multidisciplinaridade dos recursos naturais*, 2022. Paerl, H. W., & Paul, V. J. (2022). "Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria." *Water Research*, 198.

PAERL, H. W.; OTTEN, T. G.; KUDELA, R. Mitigating the expansion and impacts of harmful algal blooms in a warmer, more eutrophic future: Leveraging existing scientific knowledge and capabilities to predict and prevent bloom events. *Science of The Total Environment*, v. 782, p. 146893, 2021.

PAES, G. CRIAÇÃO DE TILÁPIAS DO NILO EM TANQUES COM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA. *Simpósio de Tecnologia Fatec Jaboticabal*, v. 13, n. 1, p. e13110-e13110, 2023.

- PARDO**, A. F. de J. Uso da *Landoltia Punctata* no tratamento do efluente de piscicultura resultante do SRA com reator de biofilme aerado em membrana. 2022.
- PATEL**, S.; **RAJPUT**, T. B. Efficiency of water use in integrated aquaponic systems. *Agricultural Water Management*, 2021.
- PILLAY**, T. V. R.; **KUTTY**, M. N. *Aquaculture: Principles and Practices*. 2. ed. Wiley-Blackwell, 2005.
- RAKOCY**, J. E.; **BAILEY**, D. S.; **SHULTZ**, R. C. Aquaponic production of tilapia and basil: Comparing a batch and staggered cropping system. *Aquacultural Engineering*, v. 28, n. 1-2, p. 27-40, 2004.
- RAKOCY**, J. E.; **MASSER**, M. P.; **LOSORDO**, T. M. *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture*. SRAC Publication No. 454, 2006.
- RENAN**, A. et al. Eutrophication in Fish Tanks: Causes, Effects, and Solutions. *Aquaculture Research*, v. 45, n. 7, 2023.
- RESH**, H. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. CRC Press, 2012.
- REYNOLDS**, C. S. et al. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, v. 41, n. 6, p. 551-559, 2019.
- ROSINI**, L. M. Impactos ambientais da aquicultura. In: *O Império da Técnica: Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente*. Editora Appris, 2015.
- SALDINGER**, C. M. et al. *Sustainable Aquaculture Practices: A Comprehensive Guide*. Springer, 2023.
- SANTOS**, A. C. L. dos et al. Utilização das quotas individuais transferíveis na gestão pesqueira global: os casos do Banco Mundial e da Comissão Internacional para a Conservação do Atum do Atlântico. 2017.
- SANTOS**, R. C.; **SOUZA**, M. B.; **LIMA**, A. L. Desempenho de sistemas de aquaponia em larga escala para produção de hortaliças hidropônicas. *Revista de Agricultura Sustentável*, v. 10, n. 2, p. 45-58, 2020.
- SAVVAS**, D.; **PASSAM**, H. *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, 2017.

- SCHINDLER**, D. W.; **HECKY**, R. E.; **MCCULLOUGH**, G. K. The long-term recovery of lakes from eutrophication: a tale of two lakes. *Freshwater Biology*, v. 68, n. 2, 2023.
- SHEN**, Y. et al. Farm animals and aquaculture: significant reservoirs of mobile colistin resistance genes. *Environmental Microbiology*, v. 22, n. 7, p. 2469-2484, 2020.
- SILVA QUIRINO**, É. F. et al. Qualidade física em rações para aquicultura de Tambaqui (*Colossoma macropomun*): Uma Revisão. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 7, n. 2, p. e69575-e69575, 2024.
- SILVA**, A. R. et al. Viabilidade da utilização de água de aquaponia na produção de alface hidropônica. *Revista Brasileira de Agricultura Urbana*, v. 8, n. 1, p. 12-25, 2018.
- SILVA**, M. B.; **VIEIRA**, R. S. Quality of hydroponically and soil-grown lettuce. *Scientia Horticulturae*, v. 243, 2019.
- SILVA**, M. et al. Hidroponia: uma abordagem prática. Editora UFV, 2019.
- SILVA**, V. C. F. da et al. USING WASTEWATER FROM FISH FARMING FOR FERTIGATION OF LETTUCE CROP. *Engenharia Agrícola*, v. 43, n. 4, p. e20230025, 2023.
- SMITH**, J.; **JONES**, R. Urban hydroponics: a potential solution for fresh food production in urban areas. *Journal of Urban Agriculture*, v. 4, n. 1, 2018.
- SMITH**, J. L. et al. Sensory attributes and consumer preference for hydroponic and conventionally grown lettuce. *Journal of Food Science*, v. 83, n. 10, 2018.
- SMITH**, J. L. et al. Sensory quality and elemental nutrient composition of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown using aquaponic and hydroponic methods. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 52, n. 4, 2017.
- SMITH**, J.; **JONES**, A.; **BROWN**, C. Aplicação de nitrato retido como nutriente em hidroponia vertical: um estudo de caso com alface. *Revista de Agricultura Urbana Sustentável*, v. 10, n. 2, p. 45-58, 2022.
- SMITH**, V. H. et al. Cultural eutrophication of natural lakes in the United States: Challenges and uncertainties. *Limnology and Oceanography*, v. 65, n. S1, p. S265-S289, 2020.

SOUSA, R. G.; **SILVA**, F. R. O consumo e a comercialização de tambaqui na Amazônia. *Revista Brasileira de Aquicultura*, v. 25, n. 3, p. 145-160, 2021.

STANKUS, A. State of world aquaculture 2020 and regional reviews: FAO webinar series. *FAO Aquaculture Newsletter*, n. 63, p. 17-18, 2021.

TAN, Y.; **JUN**, L. Environmental Pollution from Aquaculture: Causes, Effects, and Solutions. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 9, 2023.

USHIÑA, D. Y. S. Uso eficiente de nutrientes na produção de biomassa vegetal num sistema de aquaponia com monitorização inteligente. 2024. Tese (Doutorado).

YAVUZCAN YILDIZ, H. et al. Fish welfare in aquaponic systems: Its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces—a review. *Water*, v. 9, n. 1, p. 13, 2017.

ZEYTUNCU, B. et al. *Aquaponics: Integrating Fish and Plant Culture*. Wiley, 2023.

ZHANG, H. et al. Effects of recycled water on plant growth and soil health in agricultural use. *Soil and Water Conservation Journal*, 2020.

6. ANEXOS

ANEXO I - RESULTADO DOS EXAMES FÍSICOS-QUÍMICOS

 Amazonlab Ambiental Análises de água		AMAZONLAB AMBIENTAL Laboratório de análises de água e efluentes Endereço: Rua Coronel Ferreira de Araújo, 121 Petrópolis Tel: (92) 99172-9046 98225-0990 3664-6218 E-mail: amazonlabambiental@gmail.com	
Cliente WITALO DE OLIVEIRA SILVA - IFAM ZONA SUL		Protocolo 000100011788	
Endereço AV. GOV. DANILO DE MATOS AREOSA, 1731 - DISTRITO INDUSTRIAL I		Data coleta 01/03/24 07:00	
Origem da amostra ÁGUA EUTROFIZADA DE PISCICULTURA		Data da Entrada no laboratório 01/03/2024	
Ponto de Amostragem TANQUE DE PISCICULTURA - 200M PROFUNDIDADE		Data da emissão do laudo 22/04/24 15:00	
Licença de operação L.O Nº 043/2023 (IPAAM)		Responsável pela coleta O INTERESSADO	

RESULTADOS DOS EXAMES FÍSICO-QUÍMICOS E ORGANOLÉPTICOS		
01 - PARÂMETROS	RESULTADOS	CONAMA Nº 357 ART. 15 E 16
pH	5,97	6,0 a 9,0
TEMPERATURA	28,0 C°	< 40
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	30,95 µS/cm	Sem referência
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	7,08	> 5
NITRATO	2,92	10
AMÔNIA	ND	Sem referência
NITROGÊNIO TOTAL	0,39	3,7
FOSFATO	0,20	Sem referência
FÓSFORO TOTAL	0,17	0,050
DBO	4,04	< 5
DQO	10,87	Sem referência
02 - PARÂMETROS BACTERIOLÓGICOS	RESULTADOS	CONAMA Nº 357 ART. 15 E 16
COLIFORMES TOTAIS	PRESENÇA UFC/100 mL	Sem referência
ESCHERICHIA COLI	PRESENÇA UFC/100 mL	Sem referência

Notas: UFC = Unidade Formadora de Colônias / uH = Unidade Hazen / uT = Unidade de Turbidez
 NMP = Número Máximo Permitido
 Metodologia analítica baseados na 23ª edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA – AWWA – WPCF.

CONCLUSÃO

Amostra se água de piscicultura enviada para análises, encontra-se de acordo com a Resolução CONAMA nº 357 Art. 15/16.


 Dr. João Rubim Salgueiro
 CRF - AM 2355
 Bioquímico

Folha: 1 de 1

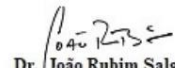
Preservação do Meio Ambiente: Uma missão para todos nós.

ANEXO II - RESULTADO DOS EXAMES FÍSICOS-QUÍMICOS

 Amazonlab Ambiental Análises de água		AMAZONLAB AMBIENTAL Laboratório de análises de água e efluentes Endereço: Rua Coronel Ferreira de Araújo, 121 Petrópolis Tel: (92) 99172-9046 98225-0990 3664-6218 E-mail: amazonlabambiental@gmail.com	
Cliente WITALO DE OLIVEIRA SILVA - IFAM DISTRITO		Protocolo 000100010870	
Endereço AV. GOV. DANILO DE MATOS AREOSA, 1731 - DISTRITO INDUSTRIAL I		Data coleta 30/01/24 09:00	
Origem da amostra ÁGUA EUTROFIZADA DE PISCICULTURA		Data da Entrada no laboratório 30/01/2024	
Ponto de Amostragem TANQUE DE PISCICULTURA 20 CM DE PROFUNDIDADE		Data da emissão do laudo 23/02/24 11:52	
Licença de operação L.O Nº 043/2023 (IPAAM)		Responsável pela coleta O INTERESSADO	

RESULTADOS DOS EXAMES FÍSICO-QUÍMICOS E ORGANOLÉPTICOS		
01 - PARÂMETROS	RESULTADOS	NMP PORTARIA GM/MS Nº 888
PH	6,02	-
TEMPERATURA	28,5	-
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	34,82	Desejável entre 6,0 a 9,0
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	7,29	-
NITRATO	3,8	-
AMÔNIA	0,00	-
NITROGÊNIO TOTAL	0,44	-
FOSFATO	0,23	-
FÓSFORO TOTAL	0,19	-
DBO	3,92	-
DQO	9,55	-
02 - PARÂMETROS BACTERIOLÓGICOS	RESULTADOS	NMP PORTARIA GM/MS Nº 888
COLIFORMES TOTAIS	PRESENÇA UFC/100 mL	-
ESCHERICHIA COLI	PRESENÇA UFC/100 mL	-

Notas: UFC = Unidade Formadora de Colônias / uH = Unidade Hazen / uT = Unidade de Turbidez
 NMP = Número Máximo Permitido
 Metodologia analítica baseados na 23ª edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA – AWWA – WPCF.


Dr. João Rubim Salgueiro
 CRF - AM 2355
 Bioquímico

Folha: 1 de 1

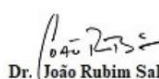
Preservação do Meio Ambiente: Uma missão para todos nós.

ANEXO III - RESULTADO DOS EXAMES FÍSICOS-QUÍMICOS

 Amazonlab Ambiental Análises de água		AMAZONLAB AMBIENTAL Laboratório de análises de água e efluentes Endereço: Rua Coronel Ferreira de Araújo, 121 Petrópolis Tel: (92) 99172-9046 98225-0990 3664-6218 E-mail: amazonlabambiental@gmail.com	
Cliente WITALO DE OLIVEIRA SILVA - IFAM ZONA SUL		Protocolo 000100011227	
Endereço AV. GOV. DANILO DE MATOS AREOSA, 1731 - DISTRITO INDUSTRIAL I		Data coleta 22/02/24 11:00	
Origem da amostra ÁGUA DE TANQUE		Data da Entrada no laboratório 22/02/2024	
Ponto de Amostragem TANQUE DE PEIXES		Data da emissão do laudo 14/03/24 15:47	
Licença de operação L.O Nº 043/2023 (IPAAM)		Responsável pela coleta O INTERESSADO	

RESULTADOS DOS EXAMES FÍSICO-QUÍMICOS E ORGANOLÉPTICOS		
01 - PARÂMETROS	RESULTADOS	NMP PORTARIA GM/MS Nº 888
pH	7,22 uH	-
TEMPERATURA	28,5 C°	-
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	30,37 µS/cm	-
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	6,41 uT	-
NITRATO	3,90	-
AMÔNIA	0,00	-
NITROGÊNIO TOTAL	0,53	-
FOSFATOS	0,29	-
FÓSFORO TOTAL	0,24	-
DBO	4,11	-
DQO	10,69	-
02 - PARÂMETROS BACTERIOLÓGICOS	RESULTADOS	NMP PORTARIA GM/MS Nº 888
COLIFORMES TOTAIS	PRESENÇA UFC/100 mL	-
ESCHERICHIA COLI	PRESENÇA UFC/100 mL	-

Notas: UFC = Unidade Formadora de Colônias / uH = Unidade Hazen / uT = Unidade de Turbidez
 NMP = Número Máximo Permitido
 Metodologia analítica baseados na 23ª edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – APHA – AWWA – WPCF.


 Dr. João Rubim Salgueiro
 CRF - AM 2355
 Bioquímico

Folha: 1 de 1

Preservação do Meio Ambiente: Uma missão para todos nós.

7. APÊNDICE I

7.1 LEGISLAÇÕES DE AQUICULTURA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

As legislações ambientais brasileiras visam dar condições de produtividade e segurança jurídica ao sistema aquícola, gerando emprego e renda, aliando a produção e sustentabilidade ambiental. A principal resolução brasileira que aborda os licenciamentos de empreendimentos aquícolas é a Resolução CONAMA nº 413/2009. Essa norma trata do licenciamento ambiental da aquicultura, sendo uma derivação das legislações para o licenciamento ambiental, conforme definidas na Lei nº 6.938/81 – Lei da Política Nacional do Meio Ambiente – e na Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Todavia, os estados passaram a ter suas próprias resoluções e instruções normativas, podendo realizar o controle dos empreendimentos aquícolas e seus respectivos licenciamentos, obedecendo os critérios da legislação estadual que funcionam também como derivações da Legislação Federal. De modo geral, observa-se que é padrão na Amazônia o licenciamento simplificado de empreendimentos de piscicultura de pequeno porte (até 5 ha). Entretanto, alguns estados são mais beneficiados no momento da instalação dos empreendimentos, como é o caso de Rondônia e Roraima. No caso de Rondônia, a legislação permite o uso de área de preservação permanente já degradadas para instalação dos viveiros e, conseqüentemente, grandes áreas são instaladas nessas planícies. Além disso, a região está próxima aos grandes fornecedores de insumos para ração, Rondônia e Mato Grosso.

No caso do Estado de Roraima, a geomorfologia do terreno contribui para instalação de grandes lagoas ou tanques de criação nos campos naturais, conhecidos como “lavrados”, onde aflora o lençol freático. A produção em larga escala é o principal aliado dessa atividade no estado, pois o estado também enfrenta entraves com a oferta de ração. Grande parte da ração consumida nas pisciculturas de Roraima tem origem no estado de Rondônia e, mesmo percorrendo longas distâncias até chegar no destino final, a piscicultura de Roraima ainda se mostra competitiva. Apesar de ser o maior consumidor de pescado da piscicultura no Brasil, prioritariamente com o consumo de tambaqui, o Estado do Amazonas enfrenta diversas barreiras ambientais para implantação das pisciculturas de grande porte. Cerca de 95% dos piscicultores do Estado do

Amazonas tem menos de 5 hectares e o maior tamanho das pisciculturas não ultrapassa os 50 hectares (LIMA et al . 2019). O pequeno porte dos piscicultores, a competição dos piscicultores do Amazonas como o pescado oriundo dos estados de Rondônia e Roraima, o preço elevado da ração, as restrições da legislação ambiental e a falta de regularização fundiária no Estado são alguns dos entraves a serem superados para alavancar a piscicultura no Amazonas.

O **quadro 1** detalha as legislações relacionadas ao controle de empreendimentos aquícolas e os critérios de licenciamentos ambientais de cada estado da região Norte do Brasil.

Estado	Legislação	Licenciamento
Acre	Portaria Normativa Nº 5/2010 Lei Estadual Nº 1426/2001 Lei Estadual Nº 2156/2009	Dispensa de licenciamento ambiental para empreendimentos de aquicultura de pequeno porte. Serão considerados nesta categoria aqueles que possuem lâmina d'água inferior a 2 hectares
Amapá	Lei Estadual Nº 898/2005 Lei Complementar Estadual Nº 91/2015	O órgão ambiental competente poderá estabelecer procedimentos simplificados aos empreendimentos de pequeno potencial de impacto ambiental, conforme § 1º do art. 12 da Res. CONAMA 237/1997.
Amazonas	Lei Estadual Nº 4330/2016 Lei Estadual Nº 3785/2012	Órgão ambiental competente autorizará a introdução de espécies exóticas, alóctones, híbridas e organismos geneticamente modificados para aquicultura (LEI SUSPENSÃO - MPF)
Pará	Instrução Normativa Nº 004/2013 Lei Estadual Nº 6713/2005	A lei tem como objetivo estimular a aquicultura de espécies endêmicas e originárias da região amazônica; Os empreendimentos aquícolas no Estado devem providenciar o cadastramento e o licenciamento ambiental, sob a responsabilidade da Secretaria Executiva de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente.
Rondônia	Lei Estadual Nº 3437/2014 Lei Estadual Nº 3941/2016	Dispensa de licenciamento para sistema de baixo Impacto Ambiental: empreendimentos que utilizem até 5 hectares de lâmina d'água, tanques-rede ou tanques revestidos com

		volume de até 1.000 m ³ , com exploração de espécies nativas.
Roraima	Lei Estadual Nº 153/2009 Resolução CEMACT Nº 1/2014 Lei nº 1211, de 24 de novembro de 2017.	Declara a piscicultura em área de preservação permanente como relevante interesse público, permitindo o uso das áreas.
Tocantins	Lei Estadual Nº 2034/2009 Resolução COEMA Nº 07/2005 Lei Complementar Nº 124 DE 05/08/2019	Os piscicultores de pequeno porte e baixo potencial de severidade das espécies com áreas de até 5 (cinco) hectares de lâmina d'água em tanque escavado, em barragens de acumulação de água da chuva com até 50 (cinquenta) hectares e tanques rede de até 10.000 (dez mil) metros cúbicos de água ficam dispensados de licenciamento ambiental e outorga.

Portanto, para tais regiões, há uma demanda óbvia para focar em métodos alternativos que sejam fáceis de construir e simples de operar e manter. Ao longo das últimas décadas, diversos estudos foram realizados envolvendo o tratamento de águas contaminadas e o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, alternativas e de baixo custo que possam reduzir de forma eficiente a concentração de poluentes a padrões ambientalmente aceitáveis. (ZEYTUNCU, 2023)