



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO E GRADUAÇÃO**  
**DEPARTAMENTO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO**  
**CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**SUZANE RODRIGUES DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA O  
CULTIVO DE *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862)**

MACAPÁ  
2023

**SUZANE RODRIGUES DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA O  
CULTIVO DE *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do curso de Ciências Ambientais, como  
requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em  
Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Jô de Farias Lima

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Cardoso Valverde

MACAPÁ  
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP  
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

---

O48 Oliveira, Suzane Rodrigues de.

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA O CULTIVO DE *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) / Suzane Rodrigues de Oliveira. - Macapá, 2023.

1 recurso eletrônico. 39 folhas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Ciências Ambientais, Macapá, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Jô de Farias Lima.

Coorientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Cardoso Valverde.

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Tratamento de água. 2. Filtro biológico. 3. Camarão-da-Amazônia. I. Prof. Dr. Jô de Farias Lima, orientador. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 628.162

---

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, em primeiro lugar, pelo seu amor, sua infinita misericórdia e bondade.

A minha mãe, Osmarina, por me orientar no melhor caminho.

Aos meus irmãos e sobrinhos pelo incentivo.

Aos meus amigos e colegas de curso e laboratório pelos momentos de leveza e obstáculos enfrentados.

Aos meus professores de colegiado, ao meu orientador e minha coorientadora pelas grandes contribuições no projeto.

Ao meu querido amigo, Keison Cavalcante, por ser uma ponte entre mim e a ciência.

Ao meu companheiro, Marcelo Trajano, por estar ao meu lado em todas as situações, por acreditar e acompanhar o meu crescimento.

Ao CNPq e à Embrapa pelo suporte científico.

A Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), por me beneficiar com os auxílios estudantis.

E por último, agradeço a mim, por ir além de todo medo e ansiedade. Para mim é sinônimo de força e dedicação o término desta etapa.

Todas as vitórias ocultam uma abdicação (Simone Beauvoir).

# ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA O CULTIVO DE *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862)

Autora: Suzane Rodrigues de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Jô de Farias Lima

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Cardoso Valverde

Curso de Bacharelado em Ciências Ambientais

Macapá, 29 de Setembro de 2023

## RESUMO

A crescente demanda pelo camarão-da-Amazônia e a sua redução nos estoques naturais têm impulsionado cientistas e carcinocultores a buscar tecnologia para produção deste crustáceo em cativeiro. Entretanto, esta atividade pode ocasionar possíveis impactos ambientais sobre os recursos hídricos e ecossistêmicos, em decorrência da liberação de compostos nitrogenados provenientes das excretas dos animais e da decomposição da matéria orgânica. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar o desempenho de diferentes mídias biológicas nos Biorreatores de Biofilme de Leito Móvel (BBLM), para o tratamento de água para o cultivo de *Macrobrachium amazonicum*. Adotou-se a seguinte hipótese “o uso de BBLM é eficaz para o tratamento de resíduos provenientes do cultivo do *Macrobrachium amazonicum*, pois, possibilita um melhor desempenho na formação de biofilme, ocasionado pela movimentação das mídias biológicas em contato direto com efluente. Para isso, foram testadas diferentes mídias como meio de suporte para o desenvolvimento bacteriano, em biorreatores com capacidade volumétrica de 10 L e fração de rejeito de 15%. O efluente utilizado no experimento foi produzido artificialmente simulando dados reportados na literatura em sistema de aquicultura de recirculação. A qualidade de água do cultivo do camarão-da-Amazônia, foi avaliada conforme acompanhamento dos seguintes parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), amônia (NH<sub>3</sub>) e nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) com o auxílio de um medidor multiparâmetro (AK88) e fotômetro multiparâmetro (HI 8320-HANNA INSTRUMENTS). A fase experimental contou com quatro tratamentos e três réplicas: T1 - controle (água sem mídias); T2 - mídia K2; T3 - mídia K1; T4 - mídia de espuma de poliuretano. Os resultados obtidos demonstraram que a temperatura variou entre 27,4°C e 29,3°C, pH entre 7,80 e 8,64 e o OD entre 8,09 e 12,15. Todos os tratamentos foram capazes de realizar o processo de nitrificação, não havendo diferença significativa entre os tratamentos, para as análises de NH<sub>3</sub> e NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Conclui-se que os sistemas mantiveram dentro dos padrões estabelecidos para os parâmetros de qualidade de água (temperatura, pH e OD e NH<sub>3</sub>), com exceção do NO<sub>2</sub><sup>-</sup> que ficou acima de 1 mg/L, entretanto, não existindo diferença significativa quando se compara os resultados entre os tratamentos. Sugere-se a realização de estudo adicional utilizando a formulação química do efluente sintético sem uso do extrato de leveduras, pois este é um excelente estimulante bacteriano, que pode ter influenciado na eficiência do T1.

**Palavras-chave:** Camarão-da-Amazônia; Filtro biológico; MBBR; Tratamento de água do cultivo.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processos do ciclo do nitrogênio .....	17
Figura 2: Representação do nitrogênio (N) na molécula de aminoácido.....	17
Figura 3: Reações químicas envolvidas na nitrificação.....	18
Figura 4: Sistema de BBLM de bancada.....	22
Figura 5: Meios de suporte: K1, K2 e espuma.....	23
Figura 6: Equipamentos utilizados: medidor multiparâmetro e fotômetro multiparâmetro.....	25
Figura 7: Valores obtidos para $\text{NH}_3$ e $\text{NO}_2^-$ no tratamento 1 (T1): controle (biorreator sem mídia suporte).....	29
Figura 8: Valores obtidos para $\text{NH}_3$ e $\text{NO}_2^-$ no tratamento 2 (T2): biorreator com mídia suporte K2.....	29
Figura 9: Valores obtidos para $\text{NH}_3$ e $\text{NO}_2^-$ no tratamento 3 (T3): biorreator com mídia suporte K1.....	30
Figura 10: Valores obtidos para $\text{NH}_3$ e $\text{NO}_2^-$ no tratamento 4: biorreator com espuma de poliuretano como mídia suporte.....	30

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Propriedades dos meios de suportes .....	23
Quadro 2: Composição e concentração da água residual sintética alimentada no BBLM .....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de pH para os tratamentos .....	27
Tabela 2: Valores de oxigênio dissolvido para os tratamentos.....	28

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

BBLM: biorreator de biofilme de leito móvel  
CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O: cloreto de cálcio dihidratado  
CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O: cloreto de cobalto hexahidratado  
CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>: carbonatos  
CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O: sulfato de cobre II pentahidratado  
C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>: glicose  
EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
ETE: Estação de Tratamento de Esgoto  
FeCl<sub>3</sub>: cloreto de ferro III  
g: grama(s)  
g/mol: grama(s) por mol  
h: horas  
H<sup>+</sup>: íon hidrogênio  
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>: fosfato monopotássico  
K1 e K2: mídia de plástico (polietileno)  
L: litro(s)  
MBBR: *moving bed biofilm reactor*  
mg/L: miligrama(s) por litro(s)  
MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O: sulfato de magnésio heptahidratado  
mm: milímetro  
MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O: cloreto de manganês tetrahidratado  
m<sup>2</sup>: metro(s) quadrado(s)  
m<sup>3</sup>: metro(s) cúbico(s)  
N: nitrogênio  
NaClO: hipoclorito de sódio  
Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O: molibdato de sódio dihidratado  
NH<sub>3</sub>: amônia  
(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: sulfato de amônio  
NOB: bactérias oxidantes de nitrito  
NO<sub>2</sub><sup>-</sup>: nitrito  
NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrato

OD: oxigênio dissolvido

pH: potencial hidrogeniônico

RAS: sistemas de recirculação

T1: tratamento 1: controle (biorreator sem mídia suporte)

T2: tratamento 2: biorreator BBLM com mídia suporte K2

T3: tratamento 3: biorreator com mídia suporte K1

T3: tratamento 4: biorreator com espuma de poliuretano como mídia suporte

ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O: sulfato de zinco heptahidratado

°C: grau Celsius

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>16</b>
3.1 APLICABILIDADE DO BIORREATOR DE BIOFILME DE LEITO MÓVEL (BBLM) .....	16
3.2 CICLO DO NITROGÊNIO (N) .....	16
3.3 RELAÇÃO DO PROCESSO DE NITRIFICAÇÃO E OS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA .....	18
<b>3.3.1 Oxigênio Dissolvido .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3.2 Temperatura .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3.3 pH .....</b>	<b>19</b>
3.4 AQUICULTURA E IMPACTOS AMBIENTAIS .....	19
3.5 RELEVÂNCIA SOCIOECONÔMICA DO <i>MACROBRACHIUM AMAZONICUM</i> .....	20
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
4.1 ÁREA DE ESTUDO .....	22
4.2 CARACTERÍSTICAS DOS BIORREADORES DE BIOFILME DE LEITO MÓVEL (BBLM) .....	22
4.3 COMPOSIÇÃO DO EFLUENTE SINTÉTICO .....	23
4.4 OPERAÇÃO DOS BIORREADORES DE BIOFILME DE LEITO MÓVEL (BBLM) .....	24
4.5 COLETA DE DADOS .....	25
4.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS .....	25
4.7 ANÁLISE DE DADOS .....	25
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>33</b>



## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O mercado global de alimentos tem experimentado expansão sem precedentes e mudança nos padrões alimentares, tornando-se mais homogêneo e globalizado (ROCHA et al., 2013). Atualmente, a aquicultura contribui com 50% da produção global de peixes, apresentando um crescimento acelerado devido o aumento populacional e a diminuição de organismos aquáticos na natureza (FERREIRA, 2020), para Rocha et al. (2013), este número tende a crescer, por razões socioeconômicas, de saúde e religiosa.

Entretanto, esta atividade pode ocasionar impactos ambientais adversos, como a contaminação de rios, a poluição de ecossistemas sensíveis, a eutrofização, problemas fisiológicos e cardiovasculares no organismo animal (ELER e MILLANI, 2007; MELO FILHO, 2013; TADDA et al., 2021). Segundo Eler e Millani (2007), estas externalidades podem ser amenizadas com a utilização de práticas no setor e na produção de conhecimento.

O efeito poluidor da aquicultura, impulsionou cientistas a buscarem soluções tecnológicas visando o tratamento de efluentes, que resultaram no desenvolvimento da tecnologia de sistema de aquicultura de recirculação, ou RAS, cujo o intuito é promover o reuso da água e área, e favorecer a redução na concentração de nutrientes lançados nos corpos receptores (FERREIRA, 2020).

Todavia, a sua implantação exige uma complexa estrutura, como tanques de cultivo, decantadores, filtros biorreatores dentre outros (KUBITZA, 2006; OWATARI et al., 2016). Cabe ressaltar que os biorreatores são os pontos chave no sucesso da operação de um RAS, pois são eles que promovem o tratamento microbiológico na água e ciclagem dos nutrientes (AVNIMELECH, 2006; KUBITZA, 2006; OWATARI et al., 2016). Em laboratórios de produção de larvas e pós-larvas de camarões de água doce, é comum o uso de granito britado, cascalho e conchas calcárias no enchimento de biorreatores de leito fixo (VALENTI et al., 2009; PAVANELLI, 2010). Contudo, estes materiais possuem alta densidade, além de dificultar o processo de manutenção e limpeza dos biorreatores.

Este estudo incidiu concretamente em avaliar o tipo biorreator de biofilme de leito móvel (BBLM), cuja ideia surgiu na Noruega no final da década de 80, para o tratamentos de efluentes de grandes complexos industriais e residenciais, os meios de suportes mais conhecidos e utilizados para sistemas BBLM são as mídias da série *Kaldnes* (K1, K2, K3 entre outros), feitas com material de alta resistência, denominado polietileno (FERREIRA, 2020), contudo, outros tipos de mídias podem ser utilizadas como suportes biológicos, tais

como: argila expandida, bobes de cabelo, espuma de poliuretano, esponjas de fibra sintética, entre outros (OWATARI et al., 2016).

Pesquisas sobre a larvicultura do camarão-da-Amazônia em sistema com recirculação de água utilizando BBLM são praticamente inexistentes. Embora o camarão-da-Amazônia não possua cultivo comercial, o mesmo possui tecnologia para isso e destaca-se pelo seu reconhecido papel econômico e social (MACIEL e VALENTI, 2009). Além do interesse de diversos aquicultores do Amapá e Pará no cultivo de *M. amazonicum*, essa espécie apresenta grande potencial para a aquicultura (MACIEL e VALENTI, 2009; MORAES-VALENTI et al., 2010), devido sua rusticidade, posição politrófica, resistência a doenças, rápido crescimento e por apresentar altas taxas de sobrevivência em viveiros (MARQUES e MORAES-VALENTI, 2012).

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de diferentes mídias biológicas, que funcionaram como biorreator de biofilme de leito móvel (BBLM) no tratamento de efluentes na manutenção da qualidade de água no cultivo de *Macrobrachium amazonicum* (*M. amazonicum*), para minimizar os impactos ocasionados pelo lançamento de compostos nitrogenados nos corpos hídricos e o bom desempenho da espécie em cativeiro.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Definir um sistema para tratamento da água no cultivo de *Macrobrachium amazonicum*.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a água do cultivo antes e após o processo de degradação biológica, com base nos seguintes parâmetros: temperatura, pH (potencial hidrogeniônico), oxigênio dissolvido (OD), amônia (NH<sub>3</sub>) e nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>);
- Avaliar a eficiência de diferentes meios de suporte nos biorreatores.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 Aplicabilidade do Biorreator de Biofilme de Leito Móvel (BBLM)**

O processo de BBLM é uma nova tecnologia empregada nas estações municipais de tratamento de esgoto, efluentes industriais, fazendas de peixes e até mesmo como pré-tratamento para águas de abastecimento (ODEGAARD, RUSTEN e WESSMAN, 2004).

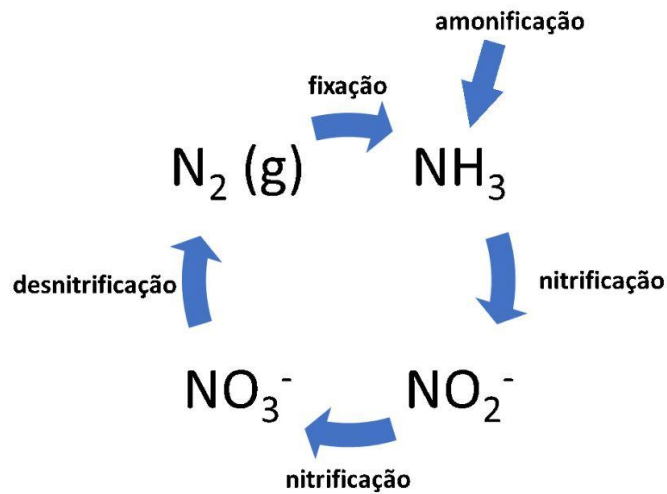
É caracterizada pela presença de suportes móveis ou mídias, que podem apresentar diferentes formas: cilíndricas, com áreas internas, cubos, esferas, cerâmicas porosas, polietileno, entre outros, que são mantidas em suspensão por aeração, permitindo a locomoção e o contato direto com o efluente (FONSECA, 2016; FERREIRA, 2020).

Pode-se considerar que a eficiência dos filtros biológicos está relacionada com o tipo de mídia utilizada para a formação de biofilme (OWATARI et al., 2016), por isso, recomenda-se o uso de materiais que ofereçam maior área superficial e consequentemente, a rápida decomposição de compostos nitrogenados (SONG et al., 2019).

#### **3.2 Ciclo do Nitrogênio (N)**

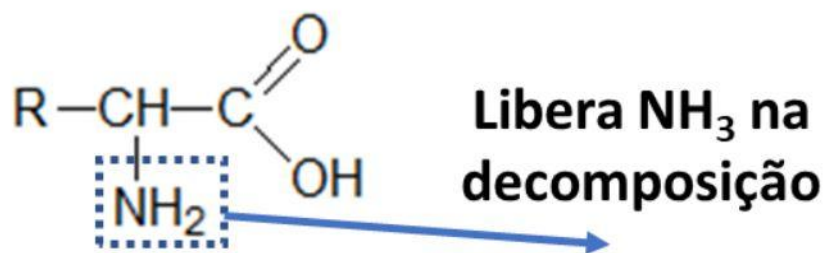
No campo da aquicultura, os processos biológicos são os mais importantes para o tratamento de águas residuárias, destacando-se o processo de nitrificação como o mais relevante (OWATARI et al., 2016).

O nitrogênio é um elemento químico de extrema importância para a vida na Terra, sendo considerado um dos principais constituintes dos seres vivos e do crescimento de plantas, no entanto, somente alguns organismos como as bactérias conseguem realizar a sua fixação da atmosfera e torná-la disponível para as plantas, já que seu ciclo envolve os processos conhecidos como: fixação, amonificação, nitrificação e desnitrificação (GALEMBECK e COSTA, 2016; MARTINS et al., 2019) (Figura 1).

**Figura 1:** Processos do ciclo do nitrogênio

Fonte: OSHIO (2022)

A fixação consiste na transformação do nitrogênio gasoso ( $N_2$ ) em compostos que servem de nutrientes para as plantas, como amônia ( $NH_3$ ) e nitrito ( $NO_2^-$ ), realizada por bactérias do gênero *Rhizobium* (OSHIO, 2022). A fase de amonificação ocorre na decomposição de matéria orgânica, principalmente, as proteínas (aminoácidos), que são compostas por moléculas de nitrogênio, além disso, ocorre a liberação de  $NH_3$  nas excretas de peixes, anfíbios e alguns animais aquáticos (OSHIO, 2022) (Figura 2).

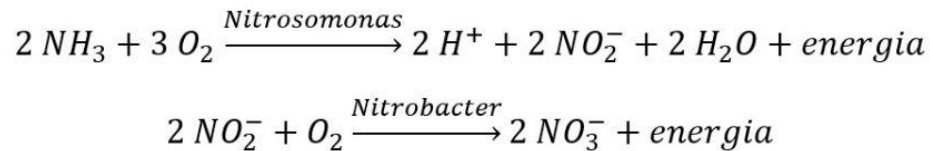
**Figura 2:** Representação do nitrogênio (N) na molécula de aminoácido

Fonte: OSHIO (2022)

A oxidação da amônia ( $NH_3$ ) a nitrato ( $NO_3^-$ ), ocorre na etapa de nitrificação realizada por bactérias do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, nos processos de nitrificação e nitratação, respectivamente (SCHMIDELL e REGINATTO, 2005; MELO FILHO, 2013; MARTINS et al., 2019). Estes organismos são encontrados no solo e na água, através dos sistemas de tratamento de águas residuárias, são seres aeróbios, que obtêm energia de compostos

químicos, como  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_2^-$ , na realização de atividades celulares (MAC CONELL, 2014), por isso, o tratamento biológico pode ser considerado compatível com o meio ambiente e de custo reduzido, pois os compostos dos efluentes servem de substrato para os microrganismos (QUEIROZ et al., 2019).

**Figura 3:** Reações químicas envolvidas na nitrificação



Fonte: OSHIO (2022)

Na fase de desnitrificação, acontece a remoção de compostos oxigenados, e a devolução do nitrogênio gasoso para a atmosfera (OSHIO, 2022).

### 3.3 Relação do Processo de Nitrificação e os Parâmetros de Qualidade da Água

A eficiência do processo de nitrificação no BBLM pode ser afetada por fatores como a disponibilidade de oxigênio dissolvido (OD), temperatura e pH (OWATARI et al., 2016).

#### 3.3.1 Oxigênio Dissolvido

A quantidade de OD fornecido deve ser suficiente para a manutenção do crescimento do biofilme e presença de flocos em suspensão, além disso, também proporciona a movimentação do material de suporte, para o melhor contato com efluente (REIS, 2007).

Em concentrações inferiores a 2 mg/L de OD, a nitrificação praticamente não acontece (CHEN et al., 2006), pois as bactérias oxidantes de nitrito (NOB) são mais sensíveis a baixas concentrações de OD (CIUDAD et al., 2006), Kubitza (2006) recomenda que a faixa ideal é acima de 4 mg/L.

#### 3.3.2 Temperatura

Este parâmetro depende da funcionalidade do biorreator. De acordo com Kim, Lee e Keller (2006), o crescimento de bactérias é estimulado por temperaturas entre 28 e 30°C,

valor ideal para que a nitrificação ocorra, a instabilidade neste parâmetro afeta o crescimento microbiano (ZOPPAS, BERNARDES e MENEGUZZI, 2016).

### 3.3.3 pH

O pH é um parâmetro que influencia diretamente a nitrificação, tendendo a diminuir nos sistemas de recirculação e biorreatores, à medida que as bactérias nitrificantes metabolizam  $\text{NH}_3$  e produzem  $\text{H}^+$  (ion hidrogênio), consumindo alcalinidade (FERREIRA, 2020).

A faixa ideal para os processos de nitrificação está entre 7,0 e 9,0 (CHEN et al., 2006).

## 3.4 Aquicultura e Impactos Ambientais

A aquicultura é a reprodução e crescimento de organismos aquáticos (peixes, moluscos, crustáceos, anfíbios e répteis) em ambiente aquático controlado, como fazendas, para criação de peixes em tanques e rios (SIQUEIRA, 2017).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), houve um aumento na produção de peixes oriundos da aquicultura, de 2015 a 2016, com um percentual de 4,4%, totalizando 507,12 toneladas. Além disso, segundo uma avaliação realizada pela revista *Seafood* Brasil (2019), a produção de peixes no Brasil ultrapassou 1,6 milhões de toneladas em 2018, 50% advindos dessa atividade, e é estimado que até 2030 a aquicultura seja a responsável por 62% da oferta mundial de peixes para consumo humano (TADDA et al., 2021).

Este avanço está relacionado com a diversidade de rios e espécies, a grande extensão da costa marítima e a alta demanda por produtos pesqueiros, devido às questões socioeconômicas, de saúde e religiosa (ROCHA et al., 2013; PACHE et al., 2022).

Apesar de bons avanços no setor de aquicultura, toda atividade produtiva gera impactos ambientais, principalmente se não forem manejadas adequadamente, sem a administração correta dos recursos naturais e práticas sustentáveis (ELER e MILLANI, 2007). O destino indevido dos efluentes dos sistemas de cultivo, tornam-se agentes de contaminação e poluição dos ecossistemas e recursos hídricos (TURCIOS e PAPENBROCK, 2014; OWATARI et al., 2016; MARTINS et al., 2019).

A liberação de compostos químicos afeta diretamente as espécies aquáticas, alterando funções fisiológicas, incluindo processos cardiovasculares, respiratórios, endócrinos e

excretadores, a elevada concentração de nitrito no organismo impede o transporte de oxigênio para as células, tecidos e órgãos, estabelecendo um quadro de hipóxia e cianose, dificultando a capacidade dos animais de crescerem e se reproduzirem (MELO FILHO, 2013; TADDA et al., 2021).

Além disso, a grande disponibilidade de nitrogênio nos corpos hídricos provoca a eutrofização, que aumenta o consumo de oxigênio e turbidez, reduzindo a passagem de luz e formação de toxinas (MELO FILHO, 2013).

### **3.5 Relevância Socioeconômica do *Macrobrachium amazonicum***

Os camarões *Palaemonidae* são conhecidos popularmente como camarões-de-água-doce. Os gêneros *Palaemon*, *Palaemonetes* e *Macrobrachium* são os mais representativos no Brasil, sendo este último o que mais se destaca por abranger 19 espécies, dentre as quais o camarão-da-Amazônia, *Macrobrachium amazonicum* (*M. amazonicum*), desperta interesse comercial principalmente nos estados do Pará, Amapá e Maranhão (BENTES et al., 2016).

Espécies como o *M. acanthurus*, *M. amazonicum* e *M. carcinus* apresentam grande potencial para cultivo (VALENTI, 1993), em virtude da alta resistência a doenças, maturação e larvicultura (FREIRE et al., 2013), além de ocuparem diferentes ambientes, desde regiões tropicais e subtropicais a regiões polares (ÁVILA, 2017). Possuem distribuição no Equador, da Venezuela à Argentina, ocorrendo nos estuários e regiões interiores, e em estados brasileiros, como o: Amapá, Amazonas, Pará, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Mato Grosso, Paraná, Acre, Goiás e Mato Grosso do Sul (SILVA; SOUZA e CINTRA, 2002).

Na região Amazônica, a pesca é uma importante atividade econômica para pescadores artesanais e populações ribeirinhas (MELO et al., 2022), sendo o camarão-da-amazônia uma das espécies nativas mais consumida por diversos grupos (MORAES-RIORIDADES e VALENTI, 2002; VIEIRA e ARAÚJO NETO, 2006).

Sua população caracteriza-se pela atividade reprodutiva contínua e intensificada nos períodos mais chuvosos, podendo surgir fêmeas ovígeras durante todo ano independente do período sazonal (LOPES, FLORES e DANTAS FILHO, 2020).

Para a sua captura são utilizadas pequenas embarcações, redes de arrasto, puçás, tarrafas e matapis, este último é confeccionado com fibras das palmeiras jupati (*Raphia*

*vinifer*), bacaba (*Oenocarpus bacaba*) ou buriti (*Mauritia flexuosa*), posicionados ao longo do leito de rios, igarapés e praias próximas a vegetação (LIMA e MONTAGNER, 2014).

A comercialização ocorre em feiras livres, bares, restaurantes, supermercados e outros pontos comerciais (LIMA e SANTOS, 2014).

A boa aceitação e a valorização no mercado regional e nacional do camarão-da-Amazônia têm provocado um aumento considerável na exploração dos estoques naturais, ocasionando a sobrepesca da espécie, praticada, principalmente pelas grandes embarcações advindas de outras regiões (SILVA e DIAS, 2010).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no Laboratório de Reprodução e Larvicultura, integrado à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), localizado no bairro Universidade, Macapá, Amapá.

### 4.2 Características dos Biorreatores de Biofilme de Leito Móvel (BBLM)

Para simular cada BBLM foi utilizado um balde plástico com capacidade volumétrica de 10 L e fração de enchimento de mídias biológicas de 15% (Figura 4).

**Figura 4:** Sistema de BBLM de bancada



**Fonte:** Autoria própria (2023)

Foram utilizadas diferentes mídias biológicas como meio de suporte para o desenvolvimento do biofilme. Assim, foram empregadas mídias de plásticos nos biorreatores, da série *Kaldnes*, denominadas de K1 e K2, composta por material altamente resistente

(polietileno), abrangendo uma área específica de 500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> e 3500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> e peso de 0,12 g e 0,40 g, respectivamente (FONSECA, 2016) e esponjas de poliuretano cortadas em cubos com espessuras de 15 x 15 x 15 mm (SONG et al., 2019) e peso médio de 0,083 g (Quadro 1 e Figura 5).

**Quadro 1:** Propriedades dos meios de suporte

MATERIAL	ALTURA (mm)	DIÂMETRO (mm)	PESO (g)	ÁREA SUPERFICIAL ESPECÍFICA (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
Polietileno (K1)	10	10	0,12	500
Polietileno (K2)	15	15	0,40	3500
Poliuretano (espuma)	~ 16,9	15	0,083	0,846

**Figura 5:** Meios de suporte: K1, K2 e espuma



**Fonte:** Autoria própria (2023)

Todas as mídias foram previamente esterilizadas utilizando solução aquosa de hipoclorito de sódio (NaClO) com a dosagem de 400 mg/L contendo uma concentração de cloro ativo (2,5%), deixado de molho por 24 h, seguido de lavagem em água destilada e secagem em estufa a 50°C por 48 horas (h) para as mídias de polietileno e 60°C para a secagem da espuma de poliuretano no período de 2 h (SONG et al., 2019), com o intuito de realizar a completa higienização dos materiais.

### 4.3 Composição do Efluente Sintético

Foi utilizado efluente sintético (LEE, KANG e SHIN, 2003) simulando uma água do cultivo de *M. amazonicum*, composto por macro e micronutrientes indispensáveis ao desenvolvimento bacteriano, conforme especificado no Quadro 2.

**Quadro 2:** Composição e concentração da água residual sintética alimentada no BBLM

COMPOSTO	FÓRMULA QUÍMICA	PESO MOLECULAR (g/mol)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
Glicose	$C_6H_{12}O_6$	180,0	280
Sulfato de amônio	$(NH_4)_2SO_4$	132,1	142
Fosfato monopotássico	$KH_2PO_4$	136,1	26
Cloreto de cálcio dihidratado	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	147,0	0,368
Sulfato de magnésio heptahidratado	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	246,5	5,07
Cloreto de manganês tetrahidratado	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	197,9	0,275
Sulfato de zinco heptahidratado	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	287,5	0,44
Cloreto de ferro (III)	$FeCl_3$	162,2	1,45
Sulfato de cobre (II) pentahidratado	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	249,7	0,391
Cloreto de cobalto hexahidratado	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	237,9	0,42
Molibdato de sódio dihidratado	$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	242,0	1,26
Extrato de levedura	-	-	30

#### 4.4 Operação dos Biorreatores de Biofilme de Leito Móvel (BBLM)

Os BBLM operaram continuamente em condições aeróbias, fornecido por pedras porosas durante todo o experimento, em temperatura ambiente e luminosidade de 12 horas (h).

A partida dos biorreatores foi facilitada com o uso de mídias já colonizadas (FONSECA, 2016).

Foram adicionados 2 litros (L) da solução de efluente sintético estoque em cada BBLM, a cada 2 dias, em um intervalo de 17 dias. Após esse período, os valores de  $NO_2^-$  se mostraram muito elevados, justificando o término do monitoramento.

#### 4.5 Coleta de Dados

Foram monitorados a cada 2 dias os parâmetros: temperatura, pH e oxigênio dissolvido (OD), com o auxílio de um medidor multiparâmetro (AK88) (FERREIRA, 2020) e para as análises de: amônia ( $\text{NH}_3$ ) e nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), foi utilizado um fotômetro multiparâmetro (HI 8320-HANNA INSTRUMENTS) (Figura 6).

**Figura 6:** Equipamentos utilizados: medidor multiparâmetro e fotômetro multiparâmetro



Fonte: Autoria própria (2023)

#### 4.6 Delineamento Experimental e Tratamentos

O delineamento experimental inteiramente casualizado contou com 4 tratamentos e 3 réplicas cada, sendo:

- T1: tratamento 1: controle (biorreator sem mídia suporte);
- T2: tratamento 2: biorreator com mídia suporte K2;
- T3: tratamento 3: biorreator com mídia suporte K1;
- T4: tratamento 4: biorreator com espuma de poliuretano como mídia suporte.

O experimento consistiu de 12 unidades experimentais.

#### 4.7 Análise de Dados

Os dados coletados foram submetidos ao teste de normalidade, sendo indicada a realização de análise de variância não paramétrica (teste de *Kruskal-Wallis*). Para os resultados que apresentaram diferenças significativas, foi aplicado o teste comparação

múltipla (Teste de *Tukey*), com 95% de confiança ( $p < 0,05$ ) para verificar as diferenças significativas, por meio do programa estatístico R 3.0.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A faixa de temperatura obtida nos experimentos foi de 27,4°C a 29,3°C, seguindo o padrão recomendado para o cultivo do *M. amazonicum*, entre 27,7°C e 29,4°C (MORAES-VALENTI e VALENTI, 2007). Contudo, os dados de temperatura não variaram significativamente entre os tratamentos, demonstrando que a presença de mídias biológicas não influenciou este parâmetro, segundo análise de variância ( $p = 0,054$ ).

A Tabela 1 apresenta os valores obtidos para o pH nos tratamentos.

**Tabela 1:** Valores de pH para os tratamentos

<b>Dia</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
1	8,05	7,80	7,95	7,93
3	8,26	8,06	8,02	8,02
5	8,07	7,87	7,81	7,88
7	8,02	7,90	7,90	7,89
9	8,17	8,08	8,09	8,15
11	8,65	8,63	8,64	8,63
13	8,61	8,59	8,39	8,45
15	8,54	8,47	8,39	8,42
17	8,50	8,42	8,36	8,37

A faixa de pH obtida para os tratamentos foi de 7,80 a 8,64, o que indica que o pH manteve-se alcalino durante todo o experimento. Os valores também são semelhantes aos encontrados na literatura, entre 7,20 e 8,20 para sistemas de cultivo do *M. amazonicum* (MORAES-VALENTI e VALENTI, 2007). Valores acima de 8,50 são comuns em viveiros de aquicultura, sem causar danos às espécies, entretanto, elevadas exposições em pH acima de 9,00 tornam-se nocivos para a aquicultura (BOYD, 2013), o que não foi constatado nos experimentos.

O pH variou entre os tratamentos, sendo significativamente maior no tratamento controle em comparação aos tratamentos com mídia biológica ( $p < 0,001$ ), entretanto, não variou significativamente entre as mídias testadas.

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos para o OD nos tratamentos.

**Tabela 2:** Valores de oxigênio dissolvido para os tratamentos

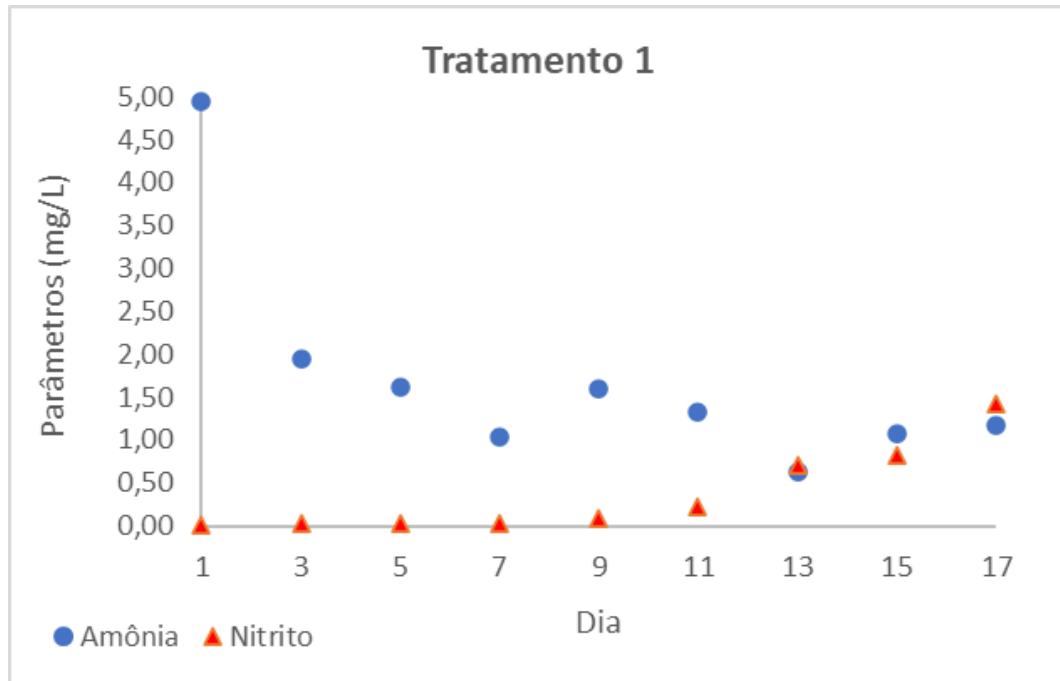
<b>Dia</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
1	11,85	11,10	11,60	11,78
3	12,15	12,50	12,48	12,15
5	9,13	8,69	8,68	8,43
7	9,56	9,83	9,57	9,30
9	8,59	8,31	8,54	8,09
11	9,49	8,33	8,38	8,40
13	8,74	8,68	8,66	8,55
15	8,71	8,35	8,39	8,30
17	8,69	8,52	8,42	8,26

O oxigênio dissolvido (OD) apresentou diferenças significativas ( $p = 0,014$ ) entre os tratamentos T1 e T4. Observou-se que, a partir do dia 5, o pH encontrado para o tratamento sem mídias (T1) mostrou-se um pouco mais alto que o tratamento com mídias suporte do tipo espuma (T4). Essa diferença pode estar associada a ação de bactérias nitrificantes que metabolizam a amônia e produzem  $H^+$ , promovendo a acidificação do meio alterando o pH (BOYD, 2013; FERREIRA, 2020). Além disso, a intensa turbulência da água nos tratamentos, foi mais elevada no T1 (FALANCA, VUITIK e CORREA, 2011). Entretanto, não houve diferença significativa entre os demais tratamentos.

De acordo com Kubitza (2006), a aeração é uma ferramenta importante no cultivo de camarões, sendo ideal manter os níveis acima de 4 mg/L, o que foi observado nos tratamentos propostos neste estudo. Em sistemas de cultivo como os sistemas de recirculação, os aeradores devem ser mantidos em funcionamento constante, devido ao alto consumo pelo sistema.

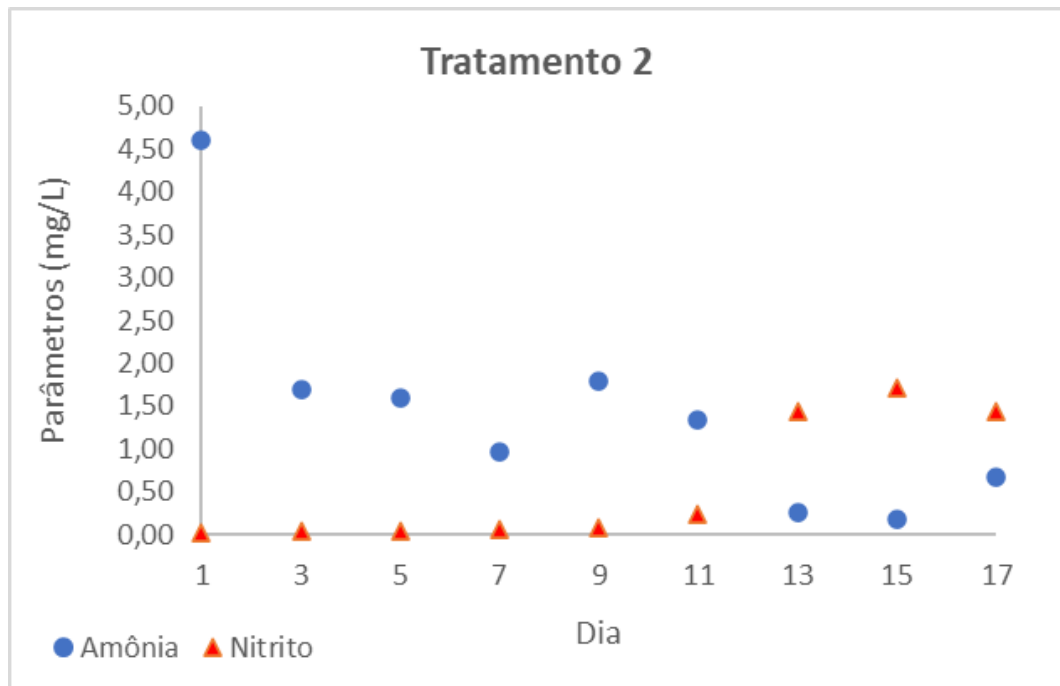
As Figuras 7 (T1), 8 (T2), 9 (T3) e 10 (T4), retratam o comportamento de  $NH_3$  e  $NO_2^-$  ao longo de 17 dias de experimento, estabelecendo uma correlação negativa, ou seja, os valores altos de uma variável equivalem aos valores baixos de outra.

**Figura 7:** Valores obtidos para  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_2^-$  no tratamento 1 (T1): controle (biorreator sem mídia suporte)



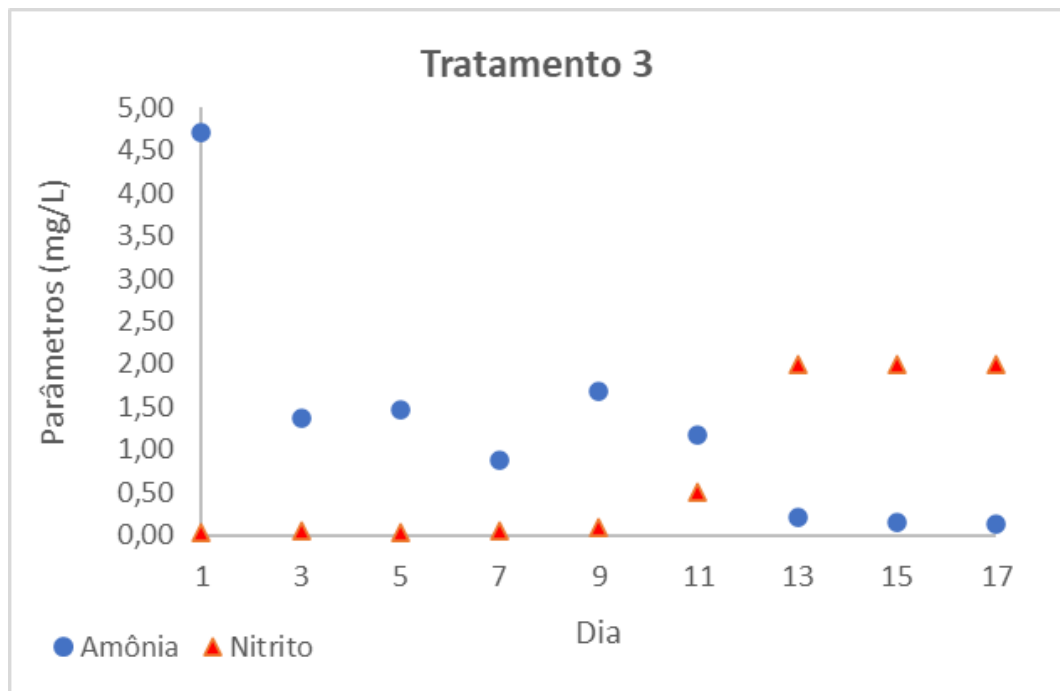
Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 8:** Valores obtidos para  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_2^-$  no tratamento 2 (T2): biorreator com mídia suporte K2



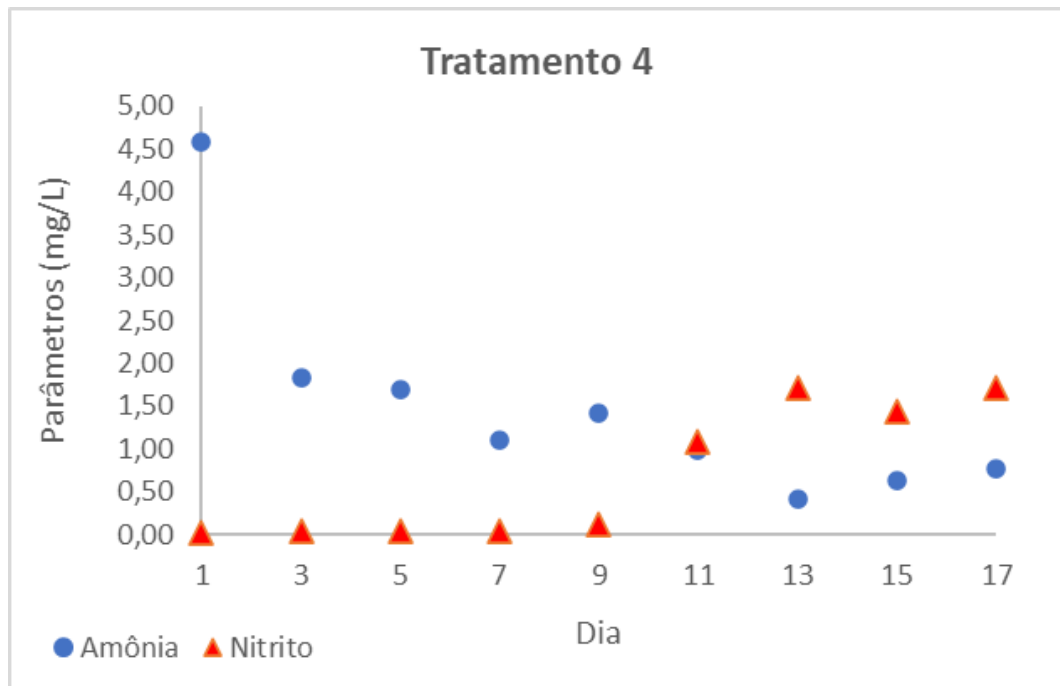
Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 9:** Valores obtidos para  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_2^-$  no tratamento 3 (T3): biorreator com m\u00eddia suporte K1



Fonte: Autoria pr\u00f3pria (2023)

**Figura 10:** Valores obtidos para  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_2^-$  no tratamento 4: biorreator com espuma de poliuretano como m\u00eddia suporte



Fonte: Autoria pr\u00f3pria (2023)

O tratamento 1 (T1) demonstrou eficiência no processo de decomposição de amônia ( $\text{NH}_3$ ). Verificou-se que, no dia 1, a concentração obtida foi de 4,95 mg/L, e os valores para esse parâmetro decaíram, até atingir a concentração mínima de 0,62 mg/L, no dia 13. Pode-se considerar que o T1 comportou-se como uma lagoa aerada de mistura completa, onde houve a constante aeração e turbulência suficiente para manter a biomassa do sistema em suspensão e com o OD distribuído para toda a massa de água (ALEM SOBRINHO e RODRIGUES, 1982; SANTOS, 2007; FERREIRA, 2020).

Os demais tratamentos (T2, T3 e T4) também foram capazes de realizar o processo de oxidação da amônia.

No T2, a concentração inicial de  $\text{NH}_3$  foi de 4,61 mg/L, e percebeu-se redução desse parâmetro, até atingir 0,19 mg/L, no dia 15.

Os valores obtidos para a concentração de amônia no T3, para os dias 13, 15 e 17, demonstraram-se os menores dentre todos os tratamentos, indicados em 0,20 mg/L, 0,15 mg/L e 0,13 mg/L, respectivamente.

No T4, a concentração de  $\text{NH}_3$  decaiu de 4,59 mg/L a 0,76 mg/L, no decorrer dos 17 dias.

Em relação ao nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), observou-se baixas concentrações, entre 0,02 mg/L a 0,12 mg/L para todos os tratamentos (T1, T2, T3, e T4) até o registro do dia 9, e um aumento expressivo nos valores obtidos após o dia 11, de 0,22 mg/L a 2,00 mg/L.

Para o T1, no dia 17 a concentração atingiu 1,43 mg/L para o  $\text{NO}_2^-$ .

Comportamentos semelhantes para o  $\text{NO}_2^-$  também foram evidenciados nos demais tratamentos (T2, T3 e T4), à medida que a amônia se decompõe.

No T2, o valor de  $\text{NO}_2^-$  aumentou de 0,24 mg/L no dia 11, até atingir uma concentração de 1,43 mg/L no dia 17.

No T3, o  $\text{NO}_2^-$  obtido manteve-se alto, na concentração de 2 mg/L nos 3 últimos dias registrados.

No T4, observou-se uma concentração de  $\text{NO}_2^-$  de 1,72 mg/L no dia 17.

Com relação aos dados de  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_2^-$ , ambos não foram significativamente diferentes entre os tratamentos. A amônia obteve:  $p = 0,349$ ; e o nitrito:  $p = 0,571$ , de acordo com a análise de variância. Assim, pode-se considerar que o controle (T1) ou o uso de diferentes tipos de mídias (T2, T3 e T4) não interferiram diretamente nos processos de nitrificação, já que observou-se, de um modo geral, que a amônia foi convertida com o passar dos dias em nitrito, em todos os tratamentos.

Isso, possivelmente, pode ser explicado pela ação de bactérias nitrificantes, que, em condições aeróbias, oxidam a amônia até sua forma menos tóxica, e essa transformação é realizada, principalmente, por bactérias dos gêneros *Nitrosomonas* (que oxidam amônia a nitrito) e *Nitrobacter* (que oxidam nitrito a nitrato) (CORRÊA; NUNES ALEXANDRE e LAPA, 2018). Como em todos os tratamentos havia quantidade de OD suficiente, o processo de conversão ocorreu.

Para o RAS, a amônia e nitrito mesmo em pequenas concentrações podem ser nocivos aos organismos aquáticos (FERREIRA, 2020). Segundo Dutra et al. (2017), as brânquias do *M. amazonicum* quando submetidas a concentrações de  $\text{NH}_3$  superiores a 5 mg/L, apresentam o inchaço da lamela; em concentrações de 10 mg/L, 20 mg/L e 40 mg/L, ocorre alta descamação do epitélio lamelar, infiltração hemocítica, inchaço hemocítico e inflamação; e em 80 mg/L o animal possui muitas necroses e elevada taxa de mortalidade.

Nos estudos de Campos et al. (2012), sobre a toxicidade aguda da amônia em juvenis de camarão rosa (*Farfantepenaeus Brasiliensis*), animais expostos a 5 mg/L de  $\text{NH}_3$  tiveram mortalidade em 24 horas. Timmons et al. (2002) recomenda um valor limite de 2 mg/L de  $\text{NH}_3$  para a aquicultura, o que foi observado a partir do 3 registro para todos os tratamentos, e 1 mg/L de  $\text{NO}_2^-$ , que manteve-se um pouco acima da faixa estabelecida.

Para Dutra (2017) o *M. amazonicum* é mais sensível ao  $\text{NO}_2^-$  em comparação a outras espécies de *Macrobrachium*, o que pode estar relacionado com o tamanho, idade e estágio de desenvolvimento do animal (WAJSBROT et al., 1993).

Nas concentrações de 1 mg/L e 2 mg/L, o camarão apresenta inchaço lamelar, necrose em pequena frequência e inflamações, em 4; 8 e 16 mg/L ocorreu o alto grau de degeneração das brânquias (DUTRA et al., 2017). Assim, os autores concluem que menores concentrações de nitrito são mais agressivas à estrutura branquial do que a amônia total.

A utilização do extrato de levedura na composição do efluente sintético, pode ter influenciado na eficiência do tratamento sem mídia (T1), pois é uma fonte rica de nutrientes para o crescimento e manutenção de culturas bacterianas, fornecendo vitaminas, especialmente aquelas pertencentes ao complexo B, nitrogênio, aminoácidos e carbono em meios de cultura microbiológicas e celular (NEOGEN CORPORATION, 2011; LADERQUÍMICA, 2023). Contém cerca de 40% de aminoácidos livres, 5 a 7% de nucleotídeos, minerais e vitaminas solúveis em água (SILVA, 2006). A sua composição define a qualidade do meio, as suas especificações variam entre fabricantes, sendo necessário verificar antes da compra (SPLABOR, 2022).

## 6 CONCLUSÃO

Observou-se que os parâmetros de qualidade de água analisados (temperatura, pH, OD, amônia e nitrito) mantiveram-se dentro dos padrões estabelecidos pela literatura, com exceção do nitrito que ficou um pouco acima de 1 mg/L, tornando-se prejudicial para a espécie, enquanto a amônia permaneceu abaixo de 2 mg/L no período avaliado.

O processo de nitrificação da amônia a nitrito ocorreu em todos os tratamentos propostos (T1, T2, T3, e T4), mesmo sem mídia biológica, indicando que o extrato de levedura utilizada na formulação do efluente sintético contribuiu no tratamento dos compostos nitrogenados, independente da presença das mídias.

Por ocasião dos resultados, como sugestão, é recomendada a realização de estudo adicional utilizando a formulação química do efluente sintético sem uso do extrato de leveduras. Será importante monitorar uma possível interferência na colonização das mídias por bactérias nitrificantes em razão da presença das leveduras.

## REFERÊNCIAS

ALEM SOBRINHO, P.; RODRIGUES, M. M. Contribuição ao projeto de sistemas de lagoas aeradas aeróbias para o tratamento de esgotos domésticos. **Revista Departamento de Águas e Esgotos (DAE)**, 128<sup>a</sup> ed. 1982. Disponível em:

<http://revistadae.com.br/site/busca-por-artigos/>? Acesso em: 05 de setembro de 2023.

ÁVILA, Felipe Fernandes de. **Identificação de camarões de água doce coletados na região do baixo Amazonas por meio de marcadores moleculares**. 2017. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2017. Disponível em:

[https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/bitstream/123456789/230/1/Dissertacao\\_IdentificacaodeCamaroesdeAgua.pdf](https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/bitstream/123456789/230/1/Dissertacao_IdentificacaodeCamaroesdeAgua.pdf) Acesso em: 23 de maio de 2023.

AVNIMELECH, Y. Biofiltros: a necessidade de uma nova abordagem abrangente.

**Aquacultural Engineering**, v. 34, p. 172–178, 2006. DOI: [10.1016/j.aquaeng.2005.04.001](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.04.001).

Acesso em: 28 de março de 2023.

BENTES, B.; MARTINELLI-LEMOES, J. M.; ARAÚJO, C.; ISSAC, V. A pesca do camarão-da-Amazônia, perspectivas futuras no litoral Paraense. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 2, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602016000200017>

BOYD, C. E. Manejo do ciclo do pH para manter a saúde animal. **Advocate da GAA**, p. 28-30, 2013. Disponível em:

[https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2013/10/MANEJO\\_DO\\_CICLO\\_DO\\_pH\\_PARA\\_MANTER\\_A\\_SADE\\_ANIMAL.pdf](https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2013/10/MANEJO_DO_CICLO_DO_pH_PARA_MANTER_A_SADE_ANIMAL.pdf) Acesso em: 31 de agosto de 2023.

CAMPOS, B. R.; MIRANDA FILHO, K. C.; D'INCÃO, F.; POERSCH, L.; WASIELESKY, W. Toxicidade aguda de amônia, nitrito e nitrato sobre os juvenis de Camarão rosa (*farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817) (Crustacea: Decapoda). **Atlântica**, v. 34, n. 1, p. 75-81, 2012. DOI: <https://www.10.5088/atl.2012.34.1.75> Acesso em: 05 de setembro de 2023.

CHEN, S.; LING, J.; BLANCHETON, J. P. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. **Engenharia Aquacultural**, v. 34, p. 179-197, 2006. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.004> Acesso em: 26 de agosto de 2023.

CIUDAD, G.; WERNER, A.; BORNHARDT, C.; MUHOZ, C.; ANTILEO, C. Differential kinetics of ammonia- and nitrite-oxidizing bacteria: A simple kinetic study based on oxygen affinity and proton release during nitrification. **Process Biochemistry**. v. 41, p. 1764-1772, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.03.032> Acesso em: 26 de agosto de 2023.

CORRÊA, G. N.; NUNES ALEXANDRE, M.; LAPA, K. R. Filtros biológicos para sistemas de recirculação aquícola (RAS). **Aquaculture, Brasil**, 2018. Disponível em:

<https://www.aquaculturebrasil.com/artigo/164/filtros-biologicos-para-sistemas-de-recirculacao-aquicola-ras> Acesso em: 25 de agosto de 2023.

DUTRA, F. M.; SPONCHIADO, D.; RONNAU, M.; CUPERTINO BALLESTER, E. L. Amônia e nitrito: Efeito sobre a estrutura branquial do Camarão-da-Amazônia. **Aquaculture, Brasil**, Paraná, 5ª ed. 2017. Disponível em:

<https://www.aquaculturebrasil.com/artigo/49/amonia-e-nitrito-%E2%80%93-efeito-sobre-a-estrutura-branquial-do-camarao-da-amazonia> Acesso em: 30 de agosto de 2023.

DUTRA, Fabrício Martins. **Efeito da amônia e nitrito sobre pós larvas, juvenis e adultos do camarão-da-amazônia *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862)**. 2017. 175 p. Tese (Doutorado em Zoologia) – Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Zoologia), Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2017. Disponível em:

<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/46288/R%20-%20T%20-%20FABRICIO%20MARTINS%20DUTRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 07 de setembro de 2023.

ELER, M. N.; MILLANI, T. J. Métodos de estudos de sustentabilidade aplicados à aquicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, São Paulo, v. 36, p. 33-44, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007001000004> Acesso em: 10 de abril de 2023.

FALANCA, N.; VUITIK, G. A.; CORREA, N. A. Estudo de processo de aeração por bolhas. *In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/4253fa0365b88fd99dd0a0a5e15a133187069714d17e279cd779dbfc85998855.pdf> Acesso em: 05 de setembro de 2023.

FERREIRA, Leonardo Schorcht Bracony Porto. **Microbioma e parâmetros de operação de MBBR em um sistema de recirculação na piscicultura intensiva**. 2000. 70 p. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Programa de Pós-graduação em Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2020. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/219531> Acesso em: 31 de março de 2023.

FONSECA, Diego Fonseca. **Desempenho de sistemas MBBR em diferentes condições de recheio e vazão: estudo em escala piloto e laboratorial**. 2016. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em:

<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/images/Documento/dissertacoes/DiegoLUIZFONSECA---MSc.-2016.pdf> Acesso em: 13 de abril de 2023.

FREIRE, J. L.; MARQUES, C. B.; SILVA, B. B. Population structure and reproductive biology of *Macrobrachium amazonicum* shrimp (HELLER, 1862) (Decapoda: Palaemonidae) in a estuary in the Northeast region of state Pará, Brazil. **Brazilian Journal Aquatic Science Technology**, v.16, n.2, p.65-76, 2013. Disponível em:

<https://siaiap32.univali.br/seer/index.php/bjast/article/viewFile/3427/2470> Acesso em: 23 de maio de 2023.

GALEMBECK, E.; COSTA, C. A evolução da composição da atmosfera terrestre e das formas de vida que habitam a Terra. **Química Nova Escola**, v. 38, n. 4, p. 318-323, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160043> Acesso em: 31 de março de 2023.

HELLER, C. *Beitrage zur naheren Kenntnis der Macrouren. Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien*, p. 389-426, 1862. Disponível em: [https://www.marinespecies.org/aphia.php?ptax\\_details&id=107696](https://www.marinespecies.org/aphia.php?ptax_details&id=107696) Acesso em: 15 de março de 2023.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pecuária Municipal 2016: Centro-Oeste concentra 34,4% do rebanho bovino do país**. 2017. Disponível em:

<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/16992-pecuaria-municipal-2016-centro-oeste-concentra-34-4-do-rebanho-bovino-do-pais> Acesso em: 24 de março de 2023.

KIM, D. J.; LEE, D. I.; KELLER, J. Effect of temperature and free ammonia on nitrification and nitrite accumulation in landfill leachate and analysis of its nitrifying bacterial community by FISH. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 3, p. 459-468, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.032> Acesso em: 07 de setembro de 2023.

KUBITZA, F. Sistemas de recirculação: sistemas fechados com tratamento e reúso da água. **Panorama da Aquicultura**, v. 16, n. 95, p. 15-22, 2006.

LADERQUÍMICA, 2023. Disponível em: <https://www.laderquimica.com.br/extrato-de-levedura-500g> Acesso em: 17 de setembro de 2023.

LEE, W.; KANG, S.; SHIN, H. Sludge characteristics and their contribution to microfiltration in submerged membrane bioreactors. **Journal of Membrane Science**, v. 216, n. 1-2, p. 217-227, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(03\)00073-5](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(03)00073-5)

LIMA, J. de F.; SANTOS, T. dos S. Aspectos econômicos e higiênico-sanitários da comercialização de camarões de água doce em feiras livres de Macapá e Santana, Estado do Amapá. **Biota Amazônia**, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/101292/1/CPAF-AP-2014-Aspectos-economicos-e-higienicos.pdf> Acesso em: 24 de março de 2023.

LIMA, J. de F.; MONTAGNER, D. **Aspectos gerais da pesca e comercialização do camarão-da-Amazônia no Amapá**, Embrapa Amapá, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128137/1/CPAF-AP-2014-DOC-83-Pesca-camarao-final-30-07-15.pdf> Acesso em: 24 de março de 2023.

LOPES, Y. V. A.; FLORES, I. G.; DANTAS FILHO, J. V. Presença da espécie exótica *Macrobrachium rosenbergii* causa riscos ao camarão *Macrobrachium amazonicum* nativo da

Amazônia. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 683-710, 2020. DOI: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e32020683-710> Acesso em: 07 de setembro de 2023.

MAC CONELL, Érica Ferreira de Abreu. **Caracterização da comunidade bacteriana de filtros biológicos percoladores tratando efluente anaeróbio**. 2014. 143 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9P4FJ7/1/tese\\_de\\_doutorado\\_erika\\_f.\\_a.\\_m\\_ac\\_conell.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9P4FJ7/1/tese_de_doutorado_erika_f._a._m_ac_conell.pdf) Acesso em: 31 de março de 2023.

MACIEL, C. R.; VALENTI, W. C. Biology, fisheries, and aquaculture of the Amazon river prawn *Macrobrachium amazonicum*: a review. **Nauplius**, v. 17, n. 2, p. 61-79, 2009. Disponível em: [https://www.caunesp.unesp.br/Home/pesquisa/ap\\_maciel\\_valenti\\_2009.pdf](https://www.caunesp.unesp.br/Home/pesquisa/ap_maciel_valenti_2009.pdf) Acesso em: 18 de março de 2023.

MARQUES, H. L. de A.; MORAES-VALENTI, P. Current status and prospects of farming the giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii* (De Man 1879) and the Amazon river prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller 1862)) in Brazil. **Aquaculture Research**, v. 43, n. 7, jul. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03032.x>

MARTINS, G. O.; SOUZA, A. R.; SILVA FILHO, M. V.; SINISCALCHI, L. A. B. Cultivo de bactérias nitrificantes a partir do biofilme de filtro biológico aerado submerso tratando esgoto. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 6, p. 77-91, out./nov., 2019. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0008>

MELO FILHO, Marcos Estevão Santiago. **Aplicação dos processos de nitrificação e desnitrificação em um sistema de reuso direto planejado da água para o cultivo superintensivo de Camarão Marinho**. 2013. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/107323/320738.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 29 de março de 2023.

MELO, O. A.; ABDON DA SILVA, L. M.; LIMA, J. F.; FIGUEIREDO SILVA, S. L.; CAMPOS SOUSA, P. H.; DUARTE, S. S.; CINTRA, I. H. A. Estrutura populacional do camarão-da-Amazônia *Macrobrachium amazonicum* (Heller 1862) na foz do Rio Amazonas. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, n. 1, p. 490-511, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-038>

MORAES-RIORIDADES, P. M. C.; VALENTI, W. C. Crescimento relativo do camarão canela *Macrobrachium amazonicum* (Heller) (*Crustacea, Decapoda, Palaemonidae*) em viveiros. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, n. 4, p.1169-1176, dez. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-81752002000400023>

MORAES-VALENTI, P. M. C.; VALENTI, W. C. Effect of Intensification on Grow Out of the Amazon River Prawn, *Macrobrachium amazonicum*. **Aquaculture Society**, v. 38, n. 4, p. 516-526, 2007. Disponível em:

[https://www.caunesp.unesp.br/Home/pesquisa/ap\\_moraes-valenti\\_etal\\_2007.pdf](https://www.caunesp.unesp.br/Home/pesquisa/ap_moraes-valenti_etal_2007.pdf) Acesso em: 30 de agosto de 2023.

MORAES-VALENTI, P; MORAIS, P. A de; PRETO, B. de L.; VALENTI, W. C. Effect of density on population development in the Amazon river prawn *Macrobrachium amazonicum*. **Aquatic Biology**, v. 9, p. 291-301, 2010. Disponível em:

<https://www.int-res.com/articles/ab2010/9/b009p291.pdf> Acesso em: 18 de março de 2023.

NEOGEN CORPORATION, 2011. Disponível em:

[https://www.neogen.com/globalassets/pim/assets/original/10000/7184\\_pt\\_pi.pdf](https://www.neogen.com/globalassets/pim/assets/original/10000/7184_pt_pi.pdf) Acesso em: 13 de setembro de 2023.

ØDEGAARD, H.; RUSTEN, B.; WESSMAN, F. State of the art in Europe of the moving bed biofilm reactor (MBBR) process. **Proceedings of the Water Environment Federation**, v. 16, p.348-354. 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.2175/193864704784147610>

OSHIO, R. **Ciclo do nitrogênio**: o que é, como funciona e sua importância, 2022. Disponível em: <https://vestibulares.estrategia.com/portal/materias/quimica/ciclo-do-nitrogenio/> Acesso em: 25 de agosto de 2023.

OWATARI, M. S.; JESUS, G. F. A.; LAPA, K. R.; MARTINS, M. L.; MOURIÑO, J. L. P. Mídias biológicas para sistema de recirculação de Aquicultura (RAS). **Aquaculture Brasil**, p. 32-35, nov./dez. 2016. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/330449135\\_Midias\\_biologicas\\_para\\_sistemas\\_de\\_recirculacao\\_em\\_aquicultura\\_RAS](https://www.researchgate.net/publication/330449135_Midias_biologicas_para_sistemas_de_recirculacao_em_aquicultura_RAS) Acesso em: 15 de março de 2023.

PACHE, M. C. B.; LE BOURLEGAT, C. A.; DIAS, J. L. E.; SANT'ANA, D. A.; PISTORI, H.; NAKA, M. H. Aquicultura e inovação com base em processos de aprendizagem interativa: Projeto Pacu em Terenos, MS. **Interações**, v. 23, n. 2, p. 595-612, abr./jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v23i2.3522>

PAVANELLI, Caio Augusto Malvestio. **Viabilidade técnica e econômica da larvicultura do camarão-da-Amazônia, *Macrobrachium amazonicum*, em diferentes temperaturas**. 2010. 107 p. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Programa de Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da UNESP-CAUNESP, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/86680> Acesso em: 28 de março de 2023.

QUEIROZ, M. T. A.; QUEIROZ, C. A.; ALVIM, L. B.; SABARÁ, M. G.; LEÃO, M. M. D.; AMORIM, C. C. Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos. **Gestão & Produção**, v. 26, n. 1, p. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-530X1149-19>

REIS, Gelma Gonçalves dos. **Influência da carga orgânica no desempenho de reatores de leito móvel com biofilme (MBBR)**. 2007. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://portal.peq.coppe.ufrj.br/index.php/dissertacoes-de-mestrado/2007-1/212-influencia-da-carga-orgânica-no-desempenho-de-reatores-do-leito-movel-com-biofilme-mbbr/file> Acesso em: 26 de agosto de 2023.

ROCHA, C. M. C.; RESENDE, E. K.; ROUTLEDGE, E. A. B.; LUNDSTEDT, L. M. Avanços na pesquisa e no desenvolvimento da aquicultura brasileira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 8, p. IV-VI, ago. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800iii>

SANTOS, A. B. Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos. **Banco do Nordeste no Brasil**, 2007. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/781> Acesso em: 05 de setembro de 2023.

SCHMIDELL, W.; REGINATTO, V. **Processos de eliminação de nitrogênio**, In: V Curso de Tratamento Biológico de Resíduos, Florianópolis, 2005. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001632468> Acesso em: 05 de abril de 2023.

SEAFOOD BRASIL, 2019. V **Anuário Seafood Brasil**. Disponível em: <https://www.seafoodbrasil.com.br/revista/seafood-brasil-30-5th-yearbook-5-anuario> Acesso em: 15 de março de 2023.

SILVA, K. C. A.; SOUZA, R. A. L.; CINTRA, I. H. A. Camarão-cascudo *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) no município de Vigia-Pará Brasil. **Boletim Técnico-Científico do CEPNOR**, v. 2, n. 1, p. 41-73. 2002. Disponível em: <https://rgc.ufra.edu.br/index.php/CEPNOR/article/view/164> Acesso em: 23 de maio de 2023.

SILVA, L. M. A.; DIAS, M. T. A pesca artesanal no Estado do Amapá: Estado atual e desafios. **Boletim Técnico-Científico do CEPNOR**, v. 10, n. 1, p: 43 - 53, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/82983/1/AP-2013-Pesca-artesanal-no-Estado-do-Amapa.pdf> Acesso em: 20 de março de 2023.

SILVA, Vanessa Karla. **Extrato de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) e prebiótico na dieta pré-inicial para frangos de corte criados em diferentes temperaturas**. Dissertação (Mestre em Zootecnia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP. Jaboticabal, 2006. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/cp030080.pdf> Acesso em: 13 de setembro de 2023.

SIQUEIRA, T. V. Aquicultura: A nova fronteira para aumentar a produção mundial de alimentos de forma sustentável. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, v. 17, p. 54-60, 2017. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8142/1/BRU\\_n17\\_Aquicultura.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8142/1/BRU_n17_Aquicultura.pdf) Acesso em: 25 de agosto de 2023.

SONG, Z.; ZHANG, X.; NGO, H.H; GUO, W.; SONG, P.; ZHANG, Y.; WEN, H.; GUO, J. Zeolite powder based polyurethane sponges as biocarriers in moving bed biofilm reactor for improving nitrogen removal of municipal wastewater. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 1078-1086, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.173>

**SPLABOR**, 2022. Disponível em:

<https://www.splabor.com.br/blog/meio-de-cultura-2/o-que-e-extrato-de-levedura-em-microbiologia-saiba-mais/amp/> Acesso: 17 de setembro, 2023.

TADDA, M. A; LI, C; GOUDA, M; ABOMOHRA, A. E; SHITU, A; AHSAN, A; ZHU, S; LIU, D. Enhancement of nitrite/ammonia removal from saline recirculating aquaculture wastewater system using moving bed bioreactor. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 5, artigo 105947, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105947>

TIMMONS, M. B.; EBELING, J. M.; WEATHON, F. W.; SUMMERFELT, S. T.; VINCI, B. **J. Recirculating Aquaculture System**, 2ª ed. 2002. Disponível em: <https://www.abebooks.com/9780971264618/Recirculating-Aquaculture-Systems-2nd-Edition-0971264619/plp> Acesso em: 07 de setembro de 2023.

TURCIOS, A. E; PAPENBROCK, J. Sustainable treatment of aquaculture effluents - what can we learn from the past for the future?. **Sustainability**, v. 6, n. 2, p. 836-856, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3390/su6020836>

VALENTI, W. C. Freshwater prawn culture in Brazil. **World Aquaculture**, v. 24, p. 29-34, 1993.

VIEIRA, I. M.; ARAÚJO NETO, M. D. Aspectos da socioeconomia dos pescadores de camarão da Ilha do Pará (Pa) e Arquipélago do Bailique (Ap). **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 19, n. 1, p. 85-94, 2006.

WAJSBROT, N.; GASITH, A.; KROM, M. D.; SAMOCHA, T. M. Effect of dissolved oxygen and the molt stage on the acute toxicity of ammonia to juvenile green tiger prawn *Penaeus semisulcatus*. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 9, p. 497-504, 1990. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/etc.5620090413>

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, A. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 29-42, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100134682>