



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

Frederico Felipe Berchof

**Estimulação da nitrificação em sistema de bioflocos quimioautotrófico em água salobra**

Florianópolis

2022

Frederico Felipe Berchof

**Estimulação da nitrificação em sistema de bioflocos quimioautotrófico em água salobra**

Dissertação submetido(a) ao Programa Pós-graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em aquicultura

Orientador: Prof. Dr. Felipe do Nascimento Vieira

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Berchof, Frederico Felipe

Estimulação da nitrificação em sistema de bioflocos  
quimioautotrófico em água salobra / Frederico Felipe  
Berchof ; orientador, Felipe do Nascimento Vieira, 2022.  
31 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós  
Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. Bactérias quimioautotróficas. 3.  
Nitrificação. 4. Salinidade artificial. I. Vieira, Felipe  
do Nascimento . II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. III.  
Título.

Frederico Felipe Berchof

**Estimulação da nitrificação em sistema de bioflocos quimioautotrófico em água salobra**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Felipe do Nascimento Vieira, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luis Alejandro Vinatea Arana, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Adolfo Jatobá Medeiros Bezerra, Dr.  
Instituto Federal Catarinense – IFC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Aquicultura.

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Felipe do Nascimento Vieira, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 15 de julho de 2022.

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Isaias e Sandra, que são meu porto seguro.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, por sempre me conduzir em todos os momentos.

Agradeço aos meus pais pelo amor incondicional e por me apoiarem em todas minhas decisões e me encorajarem a seguir meus sonhos. E ao meu irmão, João Guilherme (ou muleke reta), que mesmo de longe, consegue fazer com que pareça que nunca nos distanciamos.

Aos meus amigos Luiz, Ricardo e Sarah, que sempre estão comigo, mesmo à distância.

Aos meus familiares, em especial meus primos, Juninho, Victor e Bruna, que mesmo longe, nossa irmandade é infinitamente especial.

Ao meu orientador Felipe Vieira, por ter me dado a oportunidade de trabalhar com um grande problema que vivenciei no mercado de trabalho, e pelos ensinamentos durante esta trajetória.

Aos meus professores da pós-graduação da Aquicultura, que me ensinaram e passaram seus conhecimentos tão preciosos.

Ao pessoal do LCM, em especial aos amigos que me ajudaram durante o experimento: o Efrayn, Ramon, Ivanilson, Isa e Claudinha.

À UFSC, que me proporcionou ensino de qualidade e um dos cursos mais bem qualificados do país.

À Florianópolis, essa cidade linda que considero como minha e me ensinou que a vida pode ser mais leve.

Agradeço a todos que de alguma forma colaboraram com minha jornada.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil - (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

O presente estudo avaliou três diferentes preparos de água salobra para estímulo de bactérias quimioautotróficas em salinidade de  $15 \text{ mg L}^{-1}$ : tratamento de combinação de sais; tratamento de água do mar diluída em água doce e; tratamento com sal comercial para água marinha, durante 67 dias. O tratamento de combinação de sais foi elaborado com os sais cloreto de sódio (NaCl) sem adição de iodo e antiemectante, cloreto de magnésio ( $\text{MgCl}_2$ ), sulfato de magnésio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4$ ), cloreto de cálcio di-hidratado ( $\text{CaCl}_2$ ), cloreto de potássio (KCl) e bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ). O tratamento com sal comercial foi elaborado com o sal da marca Nutratec®, feito para salinização artificial da água. Os tratamentos foram estimulados, inicialmente, com os sais cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) e nitrito de sódio ( $\text{NaNO}_2$ ) para acelerar o processo de nitrificação. Durante o estudo, análises físico-químicas da água foram feitas para verificar a qual momento o sistema estaria estável para receber camarões adultos da espécie *Litopenaeus vannamei*. Durante o período de estimulação das bactérias quimioautotróficas, os níveis de nitrogênio amoniacal N-NH<sub>3</sub> do tratamento de combinação de sais foram estatisticamente mais altos ( $5,02 \text{ mg L}^{-1}$ ) em relação aos tratamentos de água do mar diluída e com sal comercial  $1,37 \text{ mg L}^{-1}$  e  $1,84 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente. O tratamento de combinação de sais apresentou níveis seguros de amônia a partir da 5ª semana, já os tratamentos de água do mar diluída e com sal comercial, a partir da 3ª semana. Em relação ao nitrito, o tratamento de combinação de sais obteve níveis mais baixos quando comparados aos outros –  $10,81 \text{ mg L}^{-1}$  no tratamento de combinação de sais contra  $17,57 \text{ mg L}^{-1}$  no tratamento de água do mar diluída e  $20,60 \text{ mg L}^{-1}$  no tratamento com sal comercial, mas os níveis seguros foram observados a partir da 8ª semana no tratamento de combinação de sais, na 6ª semana no tratamento de água do mar diluída e na 7ª semana no tratamento com sal comercial. Após 53 dias, todos os tratamentos apresentaram níveis seguros e estáveis dos compostos nitrogenados, sucedendo, assim, o povoamento dos tanques com densidade de  $1,2 \text{ kg}$  de camarões por  $\text{m}^3$ , com peso inicial de  $13,5 \pm 0,4 \text{ g}$ . Após 13 dias com tanques povoados, o peso médio final dos camarões não apresentou diferença estatística entre os tratamentos. A sobrevivência final no tratamento de água do mar diluída ( $72,6 \pm 14,55\%$ ) foi estatisticamente maior em relação ao tratamento de combinação de sais ( $38,7 \pm 19,89\%$ ). Já o tratamento com sal comercial não apresentou diferença significativa aos demais ( $53,2 \pm 14,31\%$ ). Os resultados indicam que em todos os tratamentos se obteve estimulação de bactérias quimioautotróficas e controle dos compostos nitrogenados, mas em momentos diferentes, contudo, todos permaneceram estáveis e controlados a partir do 51º dia. Entretanto, a sobrevivência dos animais não foi a esperada no tratamento de combinação de sais, podendo estar relacionado aos sais utilizados para preparação da água, reforçando a necessidade de mais estudos para viabilidade deste processo para diminuição de custos para o preparo de água salinizada artificialmente.

**Palavras-chave:** Aquicultura. Bactérias quimioautotróficas. Nitrificação. Salinidade artificial.

## ABSTRACT

The present study evaluated three different preparations of brackish water to stimulate chemoautotrophic bacteria in salinity of 15 mg L<sup>-1</sup>: salt combination treatment; treatment of sea water diluted in fresh water and; treatment with commercial salt for marine water, for 67 days. The salt combination treatment was carried out with sodium chloride salts (NaCl) without addition of iodine and anti-wetting agent, magnesium chloride (MgCl<sub>2</sub>), magnesium sulfate heptahydrate (MgSO<sub>4</sub>), calcium chloride dihydrate (CaCl<sub>2</sub>), potassium (KCl) and sodium bicarbonate (NaHCO<sub>3</sub>). The commercial salt treatment was made with Nutratec® brand salt, made for artificial salinization of water. The treatments were initially stimulated with ammonium chloride (NH<sub>4</sub>Cl) and sodium nitrite (NaNO<sub>2</sub>) salts to accelerate the nitrification process. During the study, physical-chemical analyzes of the water were carried out to verify at what moment the system would be stable to receive adult shrimp of the species *Litopenaeus vannamei*. During the period of stimulation of the chemoautotrophic bacteria, the levels of ammoniacal nitrogen N-NH<sub>3</sub> from the salt combination treatment were statistically higher (5.02 mg L<sup>-1</sup>) compared to the diluted seawater and commercial salt treatments 1.37 mg L<sup>-1</sup> and 1.84 mg L<sup>-1</sup>, respectively. The salt combination treatment showed safe levels of ammonia from the 5th week, while the diluted seawater and commercial salt treatments from the 3rd week onwards. Regarding nitrite, the salt combination treatment obtained lower levels when compared to the others - 10.81 mg L<sup>-1</sup> in the salt combination treatment versus 17.57 mg L<sup>-1</sup> in the diluted seawater treatment and 20.60 mg L<sup>-1</sup> in the commercial salt treatment, but safe levels were observed from the 8th week in the combination salt treatment, in the 6th week in the diluted seawater treatment and in the 7th week in the commercial salt treatment. After 53 days, all treatments showed safe and stable levels of nitrogen compounds, thus succeeding the stocking of the tanks with a density of 1.2 kg of shrimp per m<sup>3</sup>, with an initial weight of 13.5 ± 0.4 g. After 13 days with populated tanks, the final average weight of shrimp showed no statistical difference between treatments. The final survival in the diluted seawater treatment (72.6 ± 14.55%) was statistically higher compared to the combination salt treatment (38.7 ± 19.89%). The treatment with commercial salt showed no significant difference to the others (53.2 ± 14.31%). The results indicate that in all treatments, stimulation of chemoautotrophic bacteria and control of nitrogen compounds were obtained, but at different times, however, all remained stable and controlled from the 51st day onwards. However, the survival of the animals was not what was expected in the treatment of combination of salts, which may be related to the salts used to prepare the water, reinforcing the need for further studies on the feasibility of this process to reduce costs for the preparation of artificially salinized water.

**Palavras-chave:** Aquaculture. Chemoautotrophic bacteria. Nitrification. Artificial salinity.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1	Carcinicultura e produções em salinidades baixas .....	9
1.2	Tecnologia de bioflocos (BFT) .....	10
1.3	Nitrito e nitrificação .....	11
<b>1.4</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
1.4.1	Objetivo Geral .....	12
1.4.2	Objetivos Específicos .....	12
<b>1.5</b>	<b>ESTRUTURA DO TRABALHO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>ARTIGO CIENTÍFICO</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
2.2.1	Localização e período do experimento.....	16
2.2.2	Delineamento experimental.....	16
2.2.3	Preparação dos tanques .....	18
2.2.4	Preparação do sistema quimioautotrófico .....	19
2.2.5	Manejo da qualidade de água .....	19
2.2.6	Aclimação e povoamento .....	21
2.2.7	Alimentação.....	21
2.2.8	Monitoramento dos camarões .....	21
2.2.9	Análise estatística .....	22
<b>2.3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>22</b>
2.3.1	Parâmetros físico-químicos da água durante nitrificação.....	22
2.3.2	Parâmetros físico-químicos após povoamento .....	23
2.3.3	Parâmetros físico-químicos gerais.....	23
2.3.4	Desempenho zootécnico.....	25
<b>2.4</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>25</b>
<b>2.5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO</b> .....	<b>29</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Carcinicultura e produções em salinidades baixas

Dentre as espécies mais produzidas na aquicultura, o camarão-branco-do-pacífico (*Litopenaeus vannamei*) se destaca com cerca de 5,4 milhões de toneladas em 2019, representando cerca de 52% de toda produção de crustáceos em cativeiro. A Organização afirma que o Brasil é o 10º país maior produtor de crustáceos, com cerca de 62 mil toneladas em 2018, sendo basicamente produção do camarão-branco-do-pacífico, onde a região nordeste do país lidera a produção em tanques escavados tradicionais e com grandes volumes de água (IBGE, 2019; FAO, 2021). Por outro lado, produções de camarão marinho no interior do país, em salinidades baixas, já é realidade, e profissionais buscam gradualmente técnicas para aprimorar este tipo de produção.

Os sistemas de produção que utilizam salinidades baixas tendem a expandir em áreas interiores, pois é uma alternativa para investidores que almejam atender um mercado consumidor em ascensão. Este tipo de produção se deu início em países como a Tailândia, Austrália, China, Índia, Estados Unidos e México (BOYD; THUNJAI, 2003) e se desenvolveu mesmo com desvantagens inerentes, como variáveis da qualidade da água e diminuição da tolerância do camarão a compostos tóxicos, principalmente o nitrito (CHEN; LIN 1992; SCHULER; BOARDMAN; FLICK 2010; RAMÍREZ-ROCHÍN et al., 2016). Fatores, sobretudo as doenças enfrentadas pela carcinicultura e o alto custo de imóveis costeiros, igualmente são condições para contribuir para expansão de produções alternativas em regiões distantes do litoral (JORY; DIXON, 1999; WASIELESKY et al., 2013). Entretanto o difícil acesso a água marinha limita a produção, para isto existe, no mercado, sal marinho específico para salinização artificial da água, mas acaba se tornando uma prática de alto custo para os produtores (SOWERS et al. 2006), não sendo a realidade de muitas produções atuais no Brasil.

Hoje, já existem produções interioranas no país que produzem o camarão em salinidades baixas com água artificial, mas muitos problemas são enfrentados. Uma das maiores dificuldades é a baixa sobrevivência dos animais, que pode ser causada por dificuldade em controlar os compostos tóxicos, especialmente o nitrito, devido as salinidades mais baixas, bem como a forma de preparar a água salgada artificial, visto que a quantidade de informações não concretas em relação ao correto balanço iônico da água faz com que o produtor não tenha certeza da melhor forma de preparação da água, causando grandes problemas na produção<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Comunicação pessoal do autor, em 11 de abril de 2021, por vivência em fazenda de produção.

À vista disso, a combinação de alguns sais e minerais que são principalmente utilizados na agricultura pode trazer condições favoráveis de balanço iônico para produção do camarão *Litopenaeus vannamei*. Parmenter (2007) afirma que para se conseguir sucesso na salinização artificial da água, é necessário determinar as concentrações mínimas de íons e cátions ideais para que o camarão possa desempenhar todas suas funções fisiológicas. Parmenter et al. (2009) alegam que para ser economicamente viável a salinização artificial da água, o uso de produtos químicos de baixo custo e facilmente disponíveis seria de grande importância para os produtores. Além disso, estudos indicam que a combinação de cloretos (cloretos de sódio, potássio, cálcio e magnésio) preparados nas mesmas proporções iônicas encontradas na água do mar, pode trazer resultados satisfatórios de crescimento e sobrevivência dos animais (ATWOOD et al. 2003; SOWERS et al. 2006), no qual Parmenter et al. (2009) obtiveram sobrevivências maiores de 80 % em tratamentos que utilizaram salinidade de 15 g L<sup>-1</sup> com combinação de sais e minerais, mas também afirmam que o desenvolvimento de novas tecnologias de cultivo é essencial para o crescimento da carcinicultura.

## 1.2 Tecnologia de bioflocos (BFT)

A busca por métodos de produção que visam maior produtividade e biossegurança parece ser uma resposta para a produção sustentável a custos mais baixos (DE MOURA, 2020; TAW, 2010), uma vez que o progresso da indústria da aquicultura tradicional é desafiado pela disponibilidade limitada de recursos naturais e pelo impacto da produção no meio ambiente (COSTA-PIERCE et al., 2012). O desenvolvimento da aquicultura mais responsável deve se concentrar no conceito de sistemas que, apesar de sua alta produtividade e lucratividade, utilizem menos recursos, incluindo água e espaço físico, e ao mesmo tempo tenham menor impacto possível sobre o meio ambiente (ASCHE et al. 2008).

Desta forma, a tecnologia de produção em bioflocos (BFT) foi desenvolvida baseada no princípio da reciclagem e fixação de nutrientes residuais, em sua maioria o nitrogênio, em biomassa microbiana que possui diversas funções vantajosas no sistema de produção (AVNIMELECH, 2009). Esse tipo de tecnologia, normalmente, é um sistema fechado, com pouca ou nenhuma renovação de água e que permite altas densidades de estocagem de animais nos tanques de produção (BURFORD et al., 2003), diferente de sistemas tradicionais. “Bioflocos ou simplesmente “flocos” é um termo geral para um conjunto de componentes vivos (bactérias, cianobactérias, algas, fungos, protozoários) e não vivos (detritos, alimentos não consumidos, produtos residuais) que formam agregados suspensos em muitos ecossistemas aquáticos, incluindo sistemas de produção aquícola” (SAMOCHA et al., 2017, p. 21). Os bioflocos, além

de controlar os compostos nitrogenados da água, servem como alimento – ou suplemento alimentar para os animais de cultivo (AVNIMELECH et al., 2010).

Para o desenvolvimento dos bioflocos no sistema, é necessária uma fonte de matéria orgânica – como ração não consumida, resíduos de camarões ou um composto orgânico adicionado artificialmente e, após cerca de três semanas, os agregados começam a ficar suficientemente densos para colorir a água e ocupar o sistema (MONROY-DOSTA et al., 2013). Ademais, o desenvolvimento dos flocos é afetado por uma série de outros fatores, como: temperatura, oxigênio dissolvido, pH, carga orgânica, luz e movimentação da água (DE SCHRYVER et al., 2008; OGELLO et al., 2014).

As principais bactérias que compõem o biofoco, em termos gerais, são heterotróficas e quimioautotróficas, essas que controlam os compostos nitrogenados tóxicos da água (SAMOCHA et al., 2017; SOUZA et al., 2019). As bactérias heterotróficas apresentam taxas de crescimento e produção de biomassa de dez a quarenta vezes maiores – o que pode se tornar um problema pelo excesso de sólidos suspensos na água, e também promover o maior consumo de oxigênio do sistema. Além disso, as bactérias heterotróficas utilizam fonte de carbono orgânico para produção de energia, este que pode ser incorporado por meio de produtos como o açúcar, melação de cana, farelo de arroz, dextrose, entre outros itens que apresentam carbono em sua composição (SERRA et al., 2015), sendo a relação carbono: nitrogênio para progressão dessas bactérias cerca de 15:1 (AVNIMELECH, 1999; SAMOCHA et al., 2017).

Em relação às bactérias quimioautotróficas, essas realizam a nitrificação oxidando amônia em nitrito e, posteriormente, a nitrato (FURTADO; POERSCH; WASIELESKY, 2015). O nitrato é muito menos tóxico do que os outros compostos, mas em altas concentrações, pode reduzir o crescimento e a sobrevivência dos camarões (KUHN, 2010). O procedimento da nitrificação é bastante confiável, uma vez já estabelecido no sistema, mas esse processo pode ser inconsistente, especialmente no que diz respeito à biomassa necessária de bactérias quimioautotróficas (RAY et al., 2011; FERREIRA et al., 2020). Devido ao crescimento lento dessas bactérias, o nitrito tende a se acumular em concentrações significativas em ambientes de produção sem renovação de água (HARGREAVES, 2006), tornando-se ainda mais tóxico em sistemas de salinidade baixa.

### 1.3 Nitrito e nitrificação

O nitrito é uma consequência da nitrificação da amônia, e existe um efeito contrário entre a concentração do íon cloreto e a absorção do nitrito na hemolinfa dos camarões, no qual Jensen (2003) e Tomasso (2012) acreditam que o íon nitrito compete pelo mesmo local de

transporte que os íons de cloreto localizado nas células branquiais, assim, a absorção de nitrito aumenta em ambientes hiposmóticos devido às baixas concentrações de íons de cloreto na água. O acúmulo do nitrito em produções deteriora a qualidade da água, reduz o crescimento, aumenta o consumo de oxigênio e até mesmo pode causar alta mortalidade dos camarões (CHEN; CHEN, 1992; VINATEA et al., 2010).

Por conta disso, os meios de estimulação das bactérias nitrificantes se tornam uma opção para controle dos compostos tóxicos da água, e foi constatado por FERREIRA et. al (2020) que uso de sais de cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) e nitrito de sódio ( $\text{NaNO}_2$ ) aceleram o processo de nitrificação pelas bactérias quimioautotróficas sem a necessidade de adição de carbono orgânico, mantendo, assim, a qualidade da água em níveis constantes e adequados para os camarões.

Assim sendo, a necessidade de métodos eficazes de manutenção dos parâmetros de água é essencial para auxiliar o desenvolvimento da carcinicultura interiorana, no qual produtores, muitas vezes, têm dificuldades em controlar os compostos tóxicos da água, em especial o nitrito, que se torna ainda mais tóxico em salinidade baixa. A estimulação das bactérias nitrificantes pode ser uma alternativa para contribuir para o crescimento da aquicultura superintensiva.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo Geral**

Aprimorar técnicas de produção superintensiva do camarão-branco-do-pacífico em água salobra, oferecendo a nitrificação para o controle de compostos nitrogenados pela estimulação quimioautotrófica.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Comparar efeitos da nitrificação no sistema quimioautotrófico de biofloco em água salobra com diferentes preparações de água: salinização com combinação de sais; salinização com sal comercial; água do mar diluída.
- Comparar a composição do balanço iônico dos modos de preparo da água.
- Avaliar a nitrificação do sistema após o povoamento com camarões.

## **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O desenvolvimento deste trabalho está apresentado na forma de artigo científico que será submetido a publicação na revista do Boletim do Instituto de Pesca.

## 2 ARTIGO CIENTÍFICO

### Estimulação da nitrificação em sistema de biofoco quimioautotrófico em água salobra

#### Resumo

O presente estudo avaliou três diferentes preparos de água salobra para estímulo de bactérias quimioautotróficas em salinidade de 15 mg L<sup>-1</sup>: tratamento de combinação de sais; tratamento de água do mar diluída em água doce e; tratamento com sal comercial para água marinha, durante 67 dias. Durante o período de estimulação das bactérias quimioautotróficas, os níveis de nitrogênio amoniacal N-NH<sub>3</sub> do tratamento de combinação de sais foram estatisticamente mais altos (5,02 mg L<sup>-1</sup>) em relação os tratamentos de água do mar diluída e com sal comercial 1,37 mg L<sup>-1</sup> e 1,84 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. O tratamento de combinação de sais apresentou níveis seguros de amônia a partir da 5<sup>a</sup> semana, já os tratamentos de água do mar diluída com sal comercial, a partir da 3<sup>a</sup> semana. Em relação ao nitrito, o tratamento de combinação de sais obteve níveis mais baixos quando comparados aos outros – 10,81 mg L<sup>-1</sup> no tratamento de combinação de sais contra 17,57 mg L<sup>-1</sup> no tratamento de água diluída e 20,60 mg L<sup>-1</sup> no tratamento com sal comercial, mas os níveis seguros foram observados a partir da 8<sup>a</sup> semana no tratamento de combinação de sais, na 6<sup>a</sup> semana no tratamento de água do mar diluída e na 7<sup>a</sup> semana no tratamento com sal comercial. Após 51 dias, todos os tratamentos apresentaram níveis seguros e estáveis dos compostos nitrogenados, sucedendo, assim, ao povoamento dos tanques com densidade de 1,2 kg por m<sup>3</sup> de camarões adultos da espécie *Litopenaeus vannamei*, com peso inicial de 13,5 ± 0,4 g. Após 13 dias de povoamento, o peso médio final dos camarões não apresentou diferença estatística entre os tratamentos. A sobrevivência final no tratamento de água do mar diluída (72,6 ± 14,55%) foi estatisticamente maior em relação ao tratamento de combinação de sais (38,7 ± 19,89%). Já o tratamento com sal comercial não apresentou diferença significativa aos demais (53,2 ± 14,31%). Os resultados indicam que em todos os tratamentos se obteve estimulação de bactérias quimioautotróficas e controle dos compostos nitrogenados, mas em momentos diferentes, contudo, todos permaneceram estáveis e controlados a partir do 51<sup>o</sup> dia. Entretanto, a sobrevivência dos animais não foi a esperada no tratamento de combinação de sais, podendo estar relacionado aos sais utilizados para preparação da água, reforçando a necessidade de mais estudos para viabilidade deste processo para diminuição de custos para o preparo de água salinizada artificialmente.

**Palavras-chave:** Aquicultura. Bactérias quimioautotróficas. Nitrificação. Salinidade artificial

### Abstract

The present study evaluated three different preparations of brackish water to stimulate chemoautotrophic bacteria in salinity of 15 mg L<sup>-1</sup>: salt combination treatment; treatment of sea water diluted in fresh water and; treatment with commercial salt for marine water, for 67 days. During the period of stimulation of the chemoautotrophic bacteria, the levels of ammoniacal nitrogen N-NH<sub>3</sub> from the salt combination treatment were statistically higher (5.02 mg L<sup>-1</sup>) compared to the diluted seawater and commercial salt treatments 1.37 mg L<sup>-1</sup> and 1.84 mg L<sup>-1</sup>, respectively. The salt combination treatment showed safe levels of ammonia from the 5th week, while the seawater treatments diluted with commercial salt, from the 3rd week. Regarding nitrite, the salt combination treatment obtained lower levels when compared to the others - 10.81 mg L<sup>-1</sup> in the salt combination treatment against 17.57 mg L<sup>-1</sup> in the diluted water treatment and 20.60 mg L<sup>-1</sup> in the commercial salt treatment, but safe levels were observed from the 8th week in the combination salt treatment, in the 6th week in the diluted seawater treatment and in the 7th week in the commercial salt treatment. After 51 days, all treatments showed safe and stable levels of nitrogen compounds, thus succeeding the stocking of the tanks with a density of 1.2 kg per m<sup>3</sup> of adult shrimp of the species *Litopenaeus vannamei*, with an initial weight of 13.5 ± 0.4 g. After 13 days of stocking, the final average weight of shrimp showed no statistical difference between treatments. The final survival in the diluted seawater treatment (72.6 ± 14.55%) was statistically higher compared to the combination salt treatment (38.7 ± 19.89%). The treatment with commercial salt showed no significant difference to the others (53.2 ± 14.31%). The results indicate that in all treatments, stimulation of chemoautotrophic bacteria and control of nitrogen compounds were obtained, but at different times, however, all remained stable and controlled from the 51st day onwards. However, the survival of the animals was not what was expected in the treatment of combination of salts, which may be related to the salts used to prepare the water, reinforcing the need for further studies on the feasibility of this process to reduce costs for the preparation of artificially salinized water.

**Palavras-chave:** Aquaculture. Chemoautotrophic bacteria. Nitrification. Artificial salinity.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção que utilizam salinidades baixas tendem a expandir em áreas interiores, pois é uma alternativa para investidores que almejam atender um mercado consumidor em ascensão. Fatores, sobretudo as doenças enfrentadas pela carcinicultura e o alto custo de imóveis costeiros, igualmente são condições para contribuir para expansão de produções em áreas alternativas em regiões distantes do litoral (JORY; DIXON, 1999; WASIELESKY *et al.*, 2013). Por outro lado, um grande problema que as produções interiores enfrentam é que as instalações podem não ter acesso fácil à água do mar, sendo que, neste caso, é necessário prepará-la de forma artificial, adicionando sais e minerais na água doce para atingir o balanço iônico ideal para os camarões. Existe, no mercado, sal marinho específico para salinização artificial da água, mas acaba se tornando uma prática de alto custo para os produtores (SOWERS *et al.* 2006), não sendo a realidade de muitas produções atuais no Brasil.

Hoje, já existem produções interioranas no país que produzem o camarão em salinidades baixas com água artificial, mas muitos problemas são enfrentados. Uma das maiores dificuldades é a baixa sobrevivência dos animais, que pode ser causada por dificuldade em controlar os compostos tóxicos, especialmente o nitrito, devido as salinidades mais baixas, bem como a forma de preparar a água salgada artificial, visto que a quantidade de informações não concretas em relação ao correto balanço iônico da água faz com que o produtor não tenha certeza da melhor forma de preparação da água, causando grandes problemas na produção<sup>1</sup>.

A tecnologia de produção em bioflocos (BFT) foi desenvolvida baseada no princípio da reciclagem e fixação de nutrientes residuais, em sua maioria o nitrogênio, em biomassa microbiana que possui diversas funções vantajosas no sistema de produção (AVNIMELECH, 2009). As principais bactérias que compõem o biofoco, em termos gerais, são heterotróficas e quimioautotróficas, essas que controlam os compostos nitrogenados tóxicos da água (SAMOCHA *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2019). As bactérias heterotróficas apresentam taxas de crescimento e produção de biomassa de dez a quarenta vezes maiores – o que pode se tornar um problema pelo excesso de sólidos suspensos na água, e também promover o maior consumo de oxigênio do sistema.

Em relação às bactérias quimioautotróficas, essas realizam a nitrificação oxidando amônia em nitrito e, posteriormente, a nitrato (FURTADO; POERSCH; WASIELESKY, 2015). O nitrato é menos tóxico do que os outros compostos, mas em altas concentrações, pode

---

<sup>1</sup> Comunicação pessoal do autor, em 11 de abril de 2021, por vivência em fazenda de produção.

reduzir o crescimento e a sobrevivência dos camarões (KUHN, 2010). O procedimento da nitrificação é bastante confiável, uma vez já estabelecido no sistema, mas esse processo pode ser inconsistente, especialmente no que diz respeito à biomassa necessária de bactérias quimioautotróficas (RAY *et al.*, 2011; FERREIRA *et al.*, 2020). Devido ao crescimento lento dessas bactérias, o nitrito tende a se acumular em concentrações significativas em ambientes de produção sem renovação de água (HARGREAVES, 2006), tornando-se ainda mais tóxico em sistemas de salinidade baixa.

O nitrito é uma consequência da nitrificação da amônia, e existe um efeito contrário entre a concentração do íon cloreto e a absorção do nitrito na hemolinfa dos camarões, no qual Jensen (2003) e Tomasso (2012) acreditam que o íon nitrito compete pelo mesmo local de transporte que os íons de cloreto localizado nas células branquiais, assim, a absorção de nitrito aumenta em ambientes hiposmóticos devido às baixas concentrações de íons de cloreto na água. O acúmulo do nitrito em produções deteriora a qualidade da água, reduz o crescimento, aumenta o consumo de oxigênio e até mesmo pode causar alta mortalidade dos camarões (CHEN; CHEN, 1992; VINATEA *et al.*, 2010).

Por conta disso, os meios de estimulação das bactérias nitrificantes se tornam uma opção para controle dos compostos tóxicos da água, e foi constatado por FERREIRA *et al.* (2020) que uso de sais de cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) e nitrito de sódio ( $\text{NaNO}_2$ ) aceleram o processo de nitrificação pelas bactérias quimioautotróficas sem a necessidade de adição de carbono orgânico, mantendo, assim, a qualidade da água em níveis constantes e adequados para os camarões.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.2.1 Localização e período do experimento**

O estudo foi realizado no Laboratório de Camarões Marinhos (LCM), localizado na Estação de Maricultura Elpídio Beltrame, Barra da Lagoa, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. O experimento teve um período total de 66 dias, no qual 53 dias foram de estimulação do sistema quimioautotrófico e 13 dias foram do sistema povoado com camarões.

### **2.2.2 Delineamento experimental**

O experimento foi realizado em três tratamentos (Tabela 1) em quadruplicata distribuídos aleatoriamente.

**Tabela 1** – Definição de cada tratamento e quantidade de macronutrientes utilizados para preparação da água do mar artificial com combinação de sais e composição do sal comercial da marca Nutratec®.

Tratamento	Composição
Combinação de sais	Cloreto de Sódio (NaCl): 13,15 g L <sup>-1</sup> ; cloreto de potássio (KCl): 0,32 g L <sup>-1</sup> ; cloreto de cálcio (CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O): 0,72 g L <sup>-1</sup> ; sulfato de magnésio (MgSO <sub>4</sub> · 7 H <sub>2</sub> O): 4,21 g L <sup>-1</sup> ; cloreto de magnésio (MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O): 2,59 g L <sup>-1</sup> ; bicarbonato de sódio (NaHCO <sub>3</sub> ): 0,13 g L <sup>-1</sup> .
Água do mar diluída	Água do mar diluída – 53% de água marinha (33 mg L <sup>-1</sup> de salinidade) e 47% de água doce.
Sal comercial	Sódio: 9 g L <sup>-1</sup> ; cálcio: 420 mg L <sup>-1</sup> ; magnésio: 1250 mg L <sup>-1</sup> ; potássio: 400 mg L <sup>-1</sup> ; estrôncio: 6 mg L <sup>-1</sup> ; boro: 5 mg L <sup>-1</sup> ; cloretos: 16 g L <sup>-1</sup> ; brometos: 60 mg L <sup>-1</sup> ; sulfatos: 2,5 g L <sup>-1</sup> ; carbonatos: 110 mg L <sup>-1</sup> e elementos-traço.

O tratamento de combinação de sais foi feito com água salinizada por combinação de sais adaptada de Bidwell e Spotte (1985) – cloreto de sódio (NaCl) sem adição de iodo e antiemectante, cloreto de magnésio (MgCl<sub>2</sub>), sulfato de magnésio heptahidratado (MgSO<sub>4</sub>), cloreto de cálcio di-hidratado (CaCl<sub>2</sub>), cloreto de potássio (KCl) e bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>).

O tratamento de água do mar diluída foi preparado com água do mar proveniente da captação pelo LCM e foi diluída em água doce sem cloro.

Já a água com salinização correspondente ao tratamento com sal comercial foi preparada com o sal da marca Nutratec®, que fornece os principais minerais encontrados na água oceânica (cloro, sódio, cálcio, potássio, magnésio e sulfato) e foi, do mesmo modo, diluído em água doce sem cloro nas proporções indicadas pelo fabricante para atingir a salinidade de 15 g L<sup>-1</sup>.

Em todos os tratamentos foi utilizado água doce de uso doméstico proveniente da Companhia Catarinense de Água e Saneamento (CASAN), sendo preparados com salinidade de 15 g L<sup>-1</sup> e mantidos com variação de ± 0,5 g L<sup>-1</sup>. A diluição tanto dos sais como da água do mar foi monitorada com o multiparâmetro (YSI 30 Digital Salinity Meter) até atingir a salinidade desejada.

Os principais cátions da água (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Ca<sup>2+</sup>) foram analisados em todos os tratamentos para verificar a concentração de cada um (Tabela 2). Amostras da água foram coletadas e congeladas no início do experimento. Antes da análise, as amostras foram centrifugadas a 14000 RPM (modelo MiniSpin Plus, Eppendorf, Alemanha) e então diluídas com água deionizada (sistema Milli-Q, Millipore, EUA). Conforme a metodologia proposta por RIZELIO *et al.* (2012), os ensaios foram conduzidos em sistema de eletroforese capilar (modelo

7100, Agilent Technologies, EUA). As concentrações dos cátions da água do mar em salinidade de 32 mg L<sup>-1</sup> são de acordo com PINHEIRO *et al.* (2020).

**Tabela 2** – Concentrações média e proporções dos principais cátions da água dos tratamentos em salinidade de 15 mg L<sup>-1</sup>. Também os valores da água do mar captada do LCM em 32 mg L<sup>-1</sup>.

<b>Cátions</b>	<b>Combinação de sais (15 mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Água do mar diluída (15 mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Sal comercial (15 mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Água do mar (32 mg L<sup>-1</sup>)</b>
Na <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	9585,9	10052,7	9180,9	18644
K <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	503,2	556,7	466,6	674
Mg <sup>2+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	1126,2	1087,8	1056,7	2166,4
Ca <sup>2+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	734,4	783,6	812,2	1164,4
Na:K	19,1:1	18,1:1	19,7:1	27,7:1
Ca:K	1,5:1	1,4:1	1,7:1	1,7:1
Mg:Ca	1,5:1	1,4:1	1,3:1	1,9:1
Mg:K	2,2:1	2,0:1	2,3:1	3,2:1

### 2.2.3 Preparação dos tanques

Os tanques eram circulares (Figura 1) com volume de 500 L, total e 350 L de água de volume útil cada, foram equipados com termostatos e aquecedores de 500 W, onde a temperatura foi mantida em 28±1°C. Aeração (O<sub>2</sub> > 5±1 mg L<sup>-1</sup>) foi mantida por mangueiras microperfuradas (Aero-Tube®) em forma de anel no centro dos tanques, conectadas a um soprador de ar. Quatro substratos artificiais (Needlona®) de 0,80 m por 0,80 m cada foram distribuídos em cada tanque para que aumentasse a área de superfície em 100%. Após o povoamento, bandejas de alimentação foram utilizadas para controle de sobras de ração. Além disso, o fotoperíodo de 12:12 horas foi mantido durante todo o experimento.

**Figura 1** – Unidades experimentais de 350 L de volume útil, composta por quatro substratos artificiais, cano central para drenagem de água, mangueira de aeração e termostato regulado à 28 °C.



#### 2.2.4 Preparação do sistema quimioautotrófico

Todos os tratamentos foram iniciados com a adição de 1 mg L<sup>-1</sup> de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) e 1 mg L<sup>-1</sup> nitrogênio de nitrito (N-NO<sub>2</sub>) pelos sais cloreto de amônio (NH<sub>4</sub>Cl) e nitrito de sódio (NaNO<sub>2</sub>), e foram estimulados até o 51° dia para vir ocorrer a estabilização do sistema quimioautotrófico.

A aplicação do nitrito de sódio foi realizada até o 8° dia, pois a partir de então, o nitrito apresentou níveis altos, tirando a necessidade de aumentar os níveis deste composto no sistema.

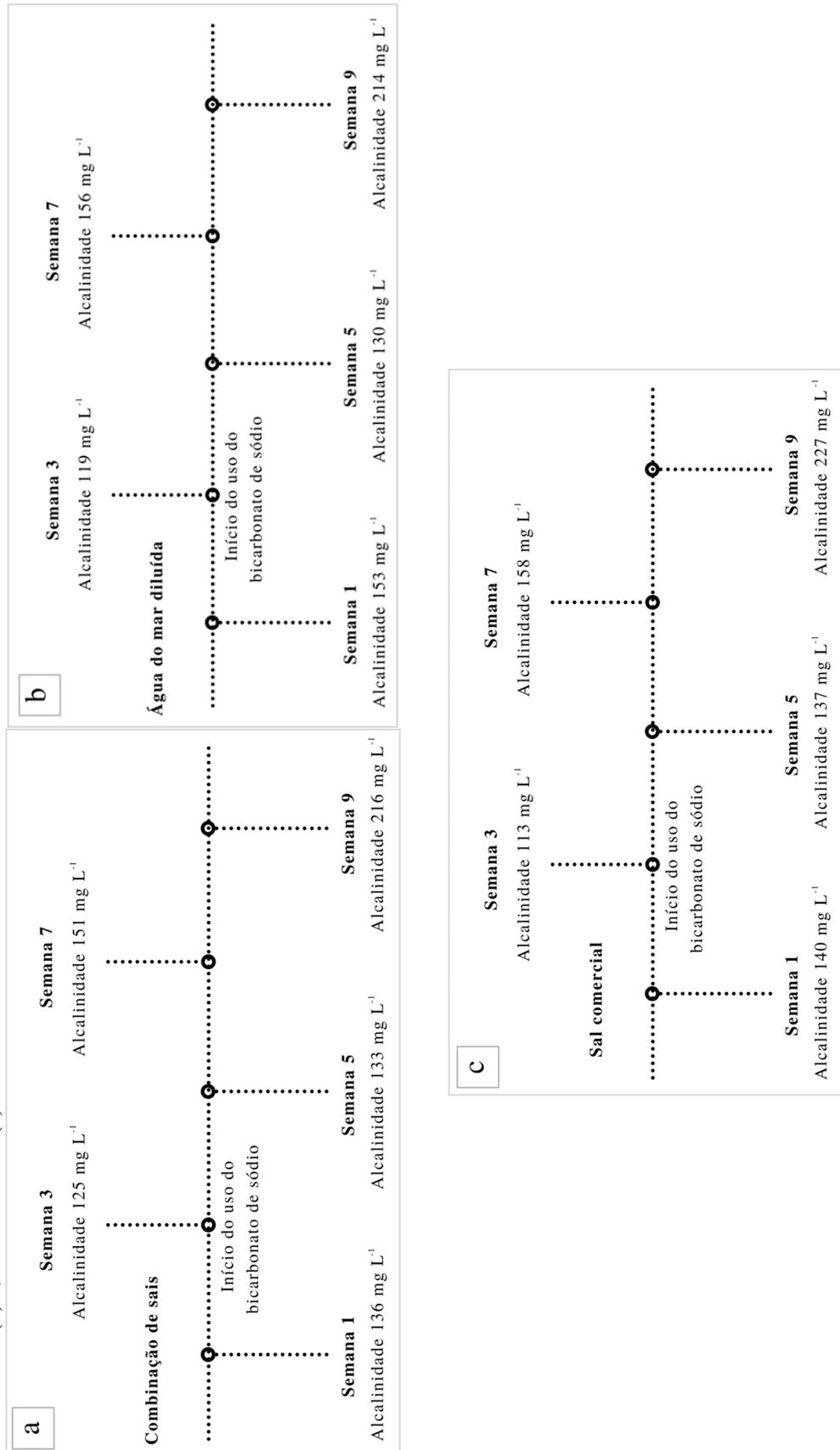
#### 2.2.5 Manejo da qualidade de água

O oxigênio dissolvido (OD) foi monitorado uma vez ao dia (medidor de oxigênio dissolvido YSI 550A). Os compostos nitrogenados, como nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) – método de indofenol com trione (GRASSHOFF *et al.* 1983), nitrogênio de nitrito (N-NO<sub>2</sub>) – método de Griess (STRICKLAND & PEARSONS, 1972), alcalinidade (APHA, 2005 - 2320B), salinidade (YSI 30 Digital Salinity Meter) e pH (Tecnal Tec-5, Piracicaba, SP) até o 22° dia foram monitorados diariamente, seguido de três vezes na semana a partir de então. Nitrato (APHA, 2005 - 2540D) foi avaliado a cada 15 dias.

Para controlar a alcalinidade acima de 120 mg L<sup>-1</sup>, de acordo com Samocha *et al.* (2017), foi utilizado hidróxido de cálcio Ca(OH)<sub>2</sub> (cal hidratada) e bicarbonato de sódio

( $\text{NaHCO}_3$ ). O bicarbonato foi iniciado a aplicação a partir da terceira semana, isso por ter uma diluição melhor na água quando comparado com o hidróxido de cálcio (Figura 2).

**Figura 2** – Linha do tempo com os valores de alcalinidade referentes às semanas do experimento. Tratamento de combinação de sais (a); água do mar diluída (b) e; sal comercial (c).



Para manter a salinidade estável, sempre que se elevava  $0,5 \text{ g L}^{-1}$ , era adicionado água doce até atingir  $15 \text{ g L}^{-1}$  novamente.

#### 2.2.6 Aclimação e povoamento

Antes dos camarões serem distribuídos nas unidades experimentais, cerca de 450 animais foram retirados de um dos tanques de cultivos do LCM – esse que apresentava salinidade de  $33 \text{ g L}^{-1}$ , e foram distribuídos igualmente em três tanques de 1000 L cada, onde a salinidade de  $33 \text{ g L}^{-1}$  foi reduzida para  $15 \text{ g L}^{-1}$  em um período de 8 horas, no qual foi adicionada água doce sem cloro até que a salinidade experimental fosse alcançada. Após esse período, os camarões permaneceram por mais cerca de 15 horas nos tanques de 1000 L – para verificar se ocorreriam mortalidades e, em seguida, foram devidamente distribuídos nos tanques experimentais.

Um total de 372 camarões da espécie *L. vannamei* com peso médio de  $13,5 \pm 0,11 \text{ g}$  foram distribuídos nos 12 tanques, totalizando 31 camarões por unidade experimental, mantendo a densidade de  $1,2 \text{ kg}$  de camarões por  $\text{m}^3$ .

#### 2.2.7 Alimentação

Os camarões foram alimentados quatro vezes ao dia de acordo com a tabela de alimentação de Van Wyk e Scarpa (1999). Ração comercial de 35% de proteína bruta (Guabi Potimar 1,6 mm) foi utilizada. O consumo de ração foi controlado através das bandejas de alimentação dispostas nos tanques.

#### 2.2.8 Monitoramento dos camarões

Diariamente era observado possíveis mortalidades. Os animais mortos eram retirados e contabilizados, sendo diminuída a quantidade de ração ofertada de acordo com as sobras de alimentos nas bandejas.

Foi realizada biometria uma semana após o povoamento para estimar o crescimento através de 10 % da população de cada tanque. Os animais pesados foram devolvidos à mesma unidade experimental. Em seguida do cálculo de peso médio, foi possível ajustar a quantidade de ração ofertada. Ao final do experimento, foi realizada uma despesca e a última biometria para quantificar a biomassa final, peso médio e a sobrevivência total (%), com a contagem de todos os animais.

- ◆ Biomassa final (g) = soma total dos pesos dos animais
- ◆ Peso médio final (g) =  $\frac{\text{biomassa (g)}}{\text{número final de animais}}$
- ◆ Sobrevivência (%) =  $\frac{\text{número final de camarões}}{\text{número inicial de camarões}} * 100$

### 2.2.9 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) de um fator para verificar as diferenças entre tratamentos. Quando houve diferenças significativas, foi aplicado o teste de Tukey. Todos os testes foram realizados com nível de significância de 0,05.

## 2.3 RESULTADOS

### 2.3.1 Parâmetros físico-químicos da água durante nitrificação

Durante o período de estimulação quimioautotrófica do sistema (entre o dia 1 e o dia 53), o tratamento de combinação de sais apresentou níveis mais altos de amônia em relação os outros dois tratamentos, mas em relação ao nitrito, o tratamento de combinação de sais obteve níveis mais baixos (Tabela 3). No que se refere ao nitrato, os níveis não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, assim como em relação à alcalinidade, pH, oxigênio dissolvido e salinidade. O tratamento de água do mar diluída apresentou valores de temperatura significativamente maiores aos outros tratamentos, mas ainda permanecendo dentro do ideal para a eficácia do sistema.

**Tabela 3** – Parâmetros físico-químicos da água do sistema durante a nitrificação por 53 dias.

Parâmetro	Combinação de sais	Água do mar diluída	Sal comercial
Nitrogênio amoniacal N-NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	5,02 ± 2,41 <sup>a</sup>	1,37 ± 1,06 <sup>b</sup>	1,84 ± 1,00 <sup>b</sup>
Nitrogênio de nitrito N-NO <sub>2</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	10,81, ± 5,11 <sup>a</sup>	17,57 ± 8,93 <sup>b</sup>	20,60 ± 13,15 <sup>b</sup>
Nitrato N-NO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	33,10 ± 50,46	76,70 ± 85,72	88,20 ± 99,16
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	137,05 ± 30,27	140,70 ± 36,06	138,60 ± 37,16
pH	8,42 ± 0,14	8,44 ± 0,15	8,43 ± 0,30
Oxigênio dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )	6,76 ± 0,27	6,75 ± 0,27	6,73 ± 0,24
Salinidade g L <sup>-1</sup>	15,14 ± 0,27	15,15 ± 0,24	15,13 ± 0,27
Temperatura (°C)	28,52 ± 0,47 <sup>a</sup>	28,32 ± 0,26 <sup>b</sup>	28,50 ± 0,29 <sup>a</sup>

Dados apresentados como média ± desvio padrão.

As diferentes letras indicam diferença significativa (p<0,05) entre os tratamentos na mesma linha pelo teste de Tukey.

### 2.3.2 Parâmetros físico-químicos após povoamento

Os parâmetros da água também foram analisados após o povoamento do sistema, no qual o tratamento com sal comercial apresentou níveis mais altos de amônia em relação aos demais, mas ainda em níveis adequados para a espécie *L. vannamei*. O tratamento de água do mar diluída mostrou diferença significativa na temperatura em relação aos outros tratamentos, mas, da mesma forma, dentro dos padrões adequados à espécie (Tabela 4).

Já os parâmetros de nitrito, nitrato, alcalinidade, pH, oxigênio dissolvido e salinidade, não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos.

**Tabela 4** – Parâmetros físico-químicos da água após o povoamento do sistema em densidade de 1,2 kg por m<sup>3</sup> de camarão-branco-do-pacífico (*Litopenaeus vannamei*) por 13 dias.

Parâmetro	Combinação de sais	Água do mar diluída	Sal comercial
Nitrogênio amoniacal N-NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,02 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,02 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,07 ± 0,07 <sup>b</sup>
Nitrogênio de nitrito NO <sub>2</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,42 ± 0,15	0,32 ± 0,18	0,33 ± 0,22
Nitrato NO <sub>3</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	25,73 ± 5,99	28,45 ± 5,14	27,10 ± 7,57
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	202,20 ± 31,48	195,70 ± 31,20	200,90 ± 34,92
pH	8,39 ± 0,04	8,44 ± 0,20	8,37 ± 0,05
Oxigênio dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )	6,76 ± 0,27	6,75 ± 0,27	6,72 ± 0,25
Salinidade g L <sup>-1</sup>	15,18 ± 0,16	15,16 ± 0,25	15,14 ± 0,24
Temperatura (°C)	28,51 ± 0,47 <sup>a</sup>	28,24 ± 0,26 <sup>b</sup>	28,50 ± 0,29 <sup>a</sup>

Dados apresentados como média ± desvio padrão.

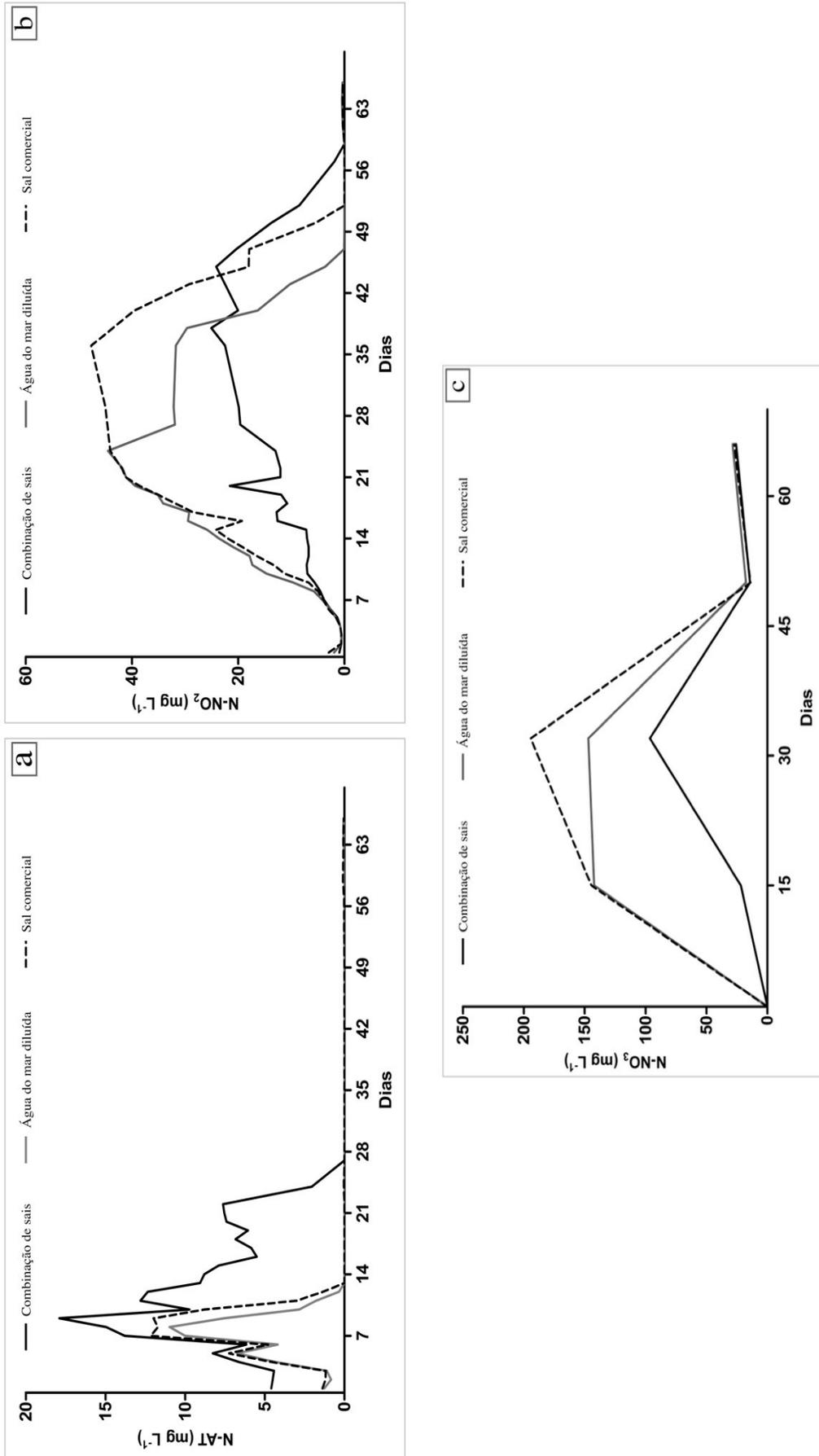
As diferentes letras indicam diferença significativa (p<0,05) entre os tratamentos na mesma linha pelo teste de Tukey.

### 2.3.3 Parâmetros físico-químicos gerais

Ao longo de todo o experimento, os níveis de nitrogênio amoniacal N-NH<sub>3</sub> começaram a apresentar baixas a partir do 8º dia (Figura 3a), e os tratamentos de água do mar diluída e o com sal comercial mostraram níveis próximos de zero por volta do 13º dia. Em relação ao tratamento de combinação de sais, isso foi observado a partir do 27º dia.

Os níveis de nitrito NO<sub>2</sub>-N permaneceram altos na maior parte do experimento em todos os tratamentos (Figura 3b), no entanto, por volta do 35º dia, os níveis começaram a apresentar quedas, mas apenas a partir do 50º dia os níveis foram se tornando favoráveis nos tratamentos de água do mar diluída e com sal comercial. Já no tratamento de combinação de sais, a partir do 58º dia os níveis se tornaram mais adequados para proceder ao povoamento com camarões.

**Figura 3** – Nitrogênio amoniacal (a)  $\text{N-NH}_3$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ), nitrogênio de nitrito (b)  $\text{NO}_2\text{-N}$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e nitrato (c)  $\text{NO}_3\text{-N}$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) durante todo o experimento, utilizando preparos de água: combinação de sais, água do mar diluída e sal comercial, todos em salinidade de  $15 \text{ g L}^{-1}$ .



### 2.3.4 Desempenho zootécnico

Foi observado diferença significativa na sobrevivência dos camarões no tratamento de água do mar diluída, apresentando sobrevivência superior ao de combinação de sais. Já o tratamento com sal comercial não apresentou diferença significativa aos demais.

Em relação à biomassa final, também houve diferença significativa entre os tratamentos de combinação de sais e o tratamento de água do mar diluída (Tabela 5), e no tratamento com sal comercial não se observou diferença estatística aos demais. Não houve diferença significativa em relação ao peso médio final dos camarões entre os tratamentos.

**Tabela 5** – Parâmetros zootécnicos após 13 dias de cultivo.

Tratamento	Combinação de sais	Água do mar diluída	Sal comercial
<b>Peso final</b>	14,0 ± 1,36	13,9 ± 0,71	14,5 ± 0,91
<b>Biomassa final</b>	168,92 ± 85,42 <sup>a</sup>	311,16 ± 54,57 <sup>b</sup>	237,15 ± 54,78 <sup>ab</sup>
<b>Sobrevivência</b>	38,7 ± 19,89 <sup>a</sup>	72,6 ± 14,55 <sup>b</sup>	53,2 ± 14,31 <sup>ab</sup>

Dados apresentados como média ± desvio padrão.

As diferentes letras indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos na mesma linha pelo teste de Tukey.

## 2.4 DISCUSSÃO

O pico da concentração de nitrogênio amoniacal N-NH<sub>3</sub> nos tratamentos se deu por volta do 7º dia, isso por conta do estímulo pelo sal cloreto de amônio, mas observou-se que, a partir da segunda semana, os níveis começaram a baixar, o que indicou o início da nitrificação pelas bactérias. Diferente dos tratamentos de água diluída e do sal comercial, o tratamento de combinação de sais foi o último a apresentar níveis de amônia próximos de zero, o que pode estar relacionado com os sais utilizados, o que atrasou o período da eficácia das bactérias oxidantes de amônia.

É comum um pico de nitrito em sistemas de aquicultura que dependem da nitrificação para fazer o ciclo do nitrogênio (CHENG & CHEN, 2002). Neste estudo, os altos níveis do nitrito ocorreram entre a 4ª e 5ª semana nos tratamentos, indicando oxidação da amônia para nitrito pelas bactérias. O tratamento de combinação de sais apresentou níveis seguros de nitrito posteriormente aos demais, o que preconiza maiores cuidados antes de suceder um povoamento com animais.

As baixas concentrações de amônia a partir da segunda semana e os altos níveis de nitrito demonstraram a alta produtividade das bactérias oxidantes de amônia e baixa concentração das bactérias oxidantes de nitrito, o que também foi constatado por Sharma e Ahler (1977); Smith *et al.* (1997). O cloreto de amônio que era aplicado no sistema

imediatamente era convertido a nitrito, o que elevou ainda mais os níveis deste composto tóxico (SESUK *et al.*, 2009).

O acúmulo dos altos níveis de nitrito indicou que as oxidações de amônia e nitrito não ocorreram nas mesmas proporções durante o experimento, ainda que a disponibilidade de oxigênio dissolvido, temperatura, pH e alcalinidade foram mantidos em limites ótimos. Desta maneira, a entrada do sal de cloreto de amônio e a baixa concentração de bactérias oxidantes de nitrito, talvez tenha sido a possível explicação para o alto acúmulo de nitrito nos tratamentos.

Observou-se que o nitrato atingiu seu maior pico por volta do 30º dia em todos os tratamentos e, ao mesmo tempo, o nitrito começou a apresentar quedas, indicando, assim, um melhor resultado de nitrificação dos compostos nitrogenados.

Houve um decréscimo nos últimos resultados das análises de nitrato, o que pode ter sido resultado do processo de desnitrificação, em que as bactérias convertem o nitrato a nitrogênio gasoso (VAN WYK & SCARPA, 1999; SCHMIDELL & SPILLER, 2005).

De acordo com Chen *et al.* (2006), para cada grama de amônia oxidada para nitrito, são consumidos aproximadamente 4,18 g de oxigênio e 7,07 g de alcalinidade, o que também reduz o pH. No estudo em questão, notou-se um alto consumo de alcalinidade pelas bactérias nitrificantes, principalmente a partir da terceira semana. A utilização do bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) demonstrou melhor efeito sobre a elevação da alcalinidade da água e sem interferência no aumento do pH em relação ao uso da cal hidratada.

Após o povoamento com os camarões *L. vannamei*, os parâmetros físico-químicos da água se mantiveram adequados para a espécie. O nitrito NO<sub>2</sub>-N se manteve em média de 0,35 mg L<sup>-1</sup> nos tratamentos, o que é bem abaixo do nível seguro (6,1 mg L<sup>-1</sup> a 15 mg L<sup>-1</sup> de salinidade e um pH de 8,0) recomendado por Lin e Chen (2003), indicando a eficácia da nitrificação nos tratamentos.

Um dos maiores desafios para a aquicultura em salinidades baixas é a toxicidade do nitrito. Os camarões *L. vannamei* tornam-se mais suscetíveis a este composto na condição hiposmótica (PONCE-PALAFOX *et al.*, 1997). Neste estudo, a nitrificação foi bem-sucedida e se manteve estável mesmo com animais nos tanques e com o aporte de ração. Da mesma forma em relação à amônia e nitrato, que manteve uma média considerada ótima para animais de cultivo (SAMOCHA *et al.*, 2017; VAN WYK, 1999).

Os tratamentos com água salinizada artificialmente apresentaram ótimos resultados em relação aos compostos nitrogenados, mostrando que é possível produzir camarões marinhos com sal sintético, corroborando com estudos de Sowers *et al.* (2006), Parmenter (2007) e Pinto (2019). Estes mesmos autores também tiveram bons resultados de desempenho zootécnico e

sobrevivência com a espécie *L. vannamei* quando foi utilizado combinação de sais comerciais prontos com sais de baixo custo, a exemplo dos utilizados no tratamento de combinação de sais, fazendo com que os custos de produção sejam mais baixos, sendo uma alternativa para o sucesso da produção.

O tratamento de combinação de sais pode ter tido alguma deficiência em micronutrientes essenciais encontrados na água oceânica e no sal comercial, de modo que a sobrevivência tenha sido afetada por isso, demonstrando resultados parecidos com os de Atwood *et al.* (2003), este que, do mesmo modo, avaliou a sobrevivência de *L. vannamei* com água salinizada por combinação de sais de cloreto de cálcio, cloreto de sódio, cloreto de potássio e cloreto de magnésio.

## 2.5 CONCLUSÃO

Os diferentes modos de preparo da água não interferem no controle dos compostos nitrogenados, mostrando que as bactérias nitrificantes são, também, eficientes em água salobra tanto em água do mar diluída como em água salinizada artificialmente. Entretanto, o preparo da água utilizando apenas água do mar diluída demonstrou melhores resultados na sobrevivência dos camarões.

## REFERÊNCIAS

- APHA (American Public Health Association). 2005 **Standard Methods for the Examination of Water and Waste water**. 21.ed. Washington, DC, p.1368.
- AVNIMELECH, Y. 1999 Carbon:nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**. 176, 227-235. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00085-X)
- BIDWELL, J.P.; SPOTTE, S. 1985 **Artificial seawater: formulas and methods**. Woods Hole: Jones & Bartlett.
- CHEN, S., LING, J., BLANCHETON, J.P. 2006 Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. **Aquacult. Eng.** 34, 179–197.
- CHENG, S.Y., CHEN, J.C. 2002 **Study on the oxyhemocyanin, deoxyhemocyanin, oxygen affinity and acid–base balance of Marsupenaeus japonicus following exposure to combined elevated nitrite and nitrate**. **Aquat. Toxicol.** 61, 181–193.
- GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. 1983 **Methods of Seawater Analysis**, 2ed. Verlag Chemie, Weinheim.
- LIN, Y.C., CHEN, J.C. 2003 Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. **Aquaculture** 224, 193–201.

PINHEIRO, I.; CARNEIRO, R. F. S.; VIEIRA, F. N.; GONZAGA, L. V.; FETT, R.; COSTA, A. C. O.; MAGALLÓN-BARAJASC, F. J.; SEIFFERT, W. Q. 2020 Aquaponic production of *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in biofloc system at different salinities. **Aquaculture**, [S.L.], v. 519, p. 734918, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734918>.

PINTO, P. H. O. 2019 **Cultivo de camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*) em sistema bioflocos utilizando água doce salinizada – desempenho zootécnico, econômico e qualidade nutricional**. 2019. 33 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PONCE-PALAFIX J.; MARTINEZ-PALACIOS, C. A.; ROSS, L. G. 1997 **The effect of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931** *Aquaculture*, 157, pp. 107-115.

RIZELIO, V. M.; GONZAGA, L. V.; BORGES, G. S. C.; MALTEZ, H. F.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. 2012 Fast determination of cations in honey by capillary electrophoresis: A possible method for geographic origin discrimination. **Talanta**, v. 99, p. 450–456.

SCHMIDELL, W.; SPILLER, V. R. 2005. **Processos de Eliminação de Nitrogênio**, V Curso de Tratamento Biológico de Resíduos, Florianópolis.

SERRA, F. P.; GAONA, C. A.; FURTADO, P. S.; POERSCH, L. H.; WASIELESKY, W. 2015 Use of different carbon sources for the biofloc system adopted during the nursery and grow-out culture of *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture International** <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9887-6>.

SHARMA, B., AHLER, R.C. 1977 Nitrification and nitrogen removal. **Water Research** 11, 897–925.

SMITH, R.V., DOYLE, R.M., BURNS, L.C., STEVENS, R.J. 1997 **A Model for nitrite accumulation in soils**. **Soil Biology and Biochemistry** 29 (8), 1241–1247.

STRICKLAND, J.D.H; PARSONS, T.R. 1972 **A Practical Handbook of Seawater Analysis**, 2ed. Fish. Res. Board Can., Ottawa.

VAN WYK, P.; SCARPA, J. 1999 **Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems**. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee, Florida, p. 128-138.

## REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO

ASCHE, F., ROLL, K.H; TVETERÅS, S. 2008 Future trends in aquaculture: productivity growth and increased production. **Aquaculture in the Ecosystem**. Holmer, M., Black, K., Duarte, C.M., Marbà, N., Karakassis, I., (eds). Dordrecht, The Netherlands: Springer Science + Business Media B.V., pp. 271–292.

ATWOOD H.L.; YOUNG S.P.; TOMASSO J.R. 2003 Survival and growth of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* postlarvae in low-salinity and mixed- salt environments. **Journal of the World Aquaculture Society** 34, 518-523.

AVNIMELECH, Y. 2010 Biofloc Technology. Baton Rouge, Louisiana: **The World Aquaculture Society**, p. 272.

BURFORD, M. A.; PETER, J. T.; ROBINS, P. M.; BAUMAN, H. R.; PEARSON, C. D. 2003 Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. **Aquaculture**, v. 219, p. 393-411.

AVNIMELECH, Y. 2009 Biofloc Technology — A Practical Guide Book. Baton Rouge, LA: **The World Aquaculture Society**, p. 182.

BOYD, C.E.; THUNJAI, T. 2003 Concentrations of major ions in waters of inland shrimp farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States. **Journal of the World Aquaculture Society** 34, 524–532.

CHEN, J.C.; LIN, C.Y. 1992 Lethal effects of ammonia on *Penaeus chinensis* Osbeck juveniles at different salinity levels. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology** 156:139–148.

CHEN, J.C.; CHEN, S.F. 1992 Effects of nitrite on growth and molting of *Penaeus monodon* juveniles. *Comp. Biochem. Physiol.*, 101 C, pp. 453-458.

COSTA-PIERCE, B.A.; JENA, J.K.; KAUSHIK, S.J.; HASHIM, R.; YAKUPITIYAGE, A.; RANA, K.; HINSHAW, J.; LEMOS, D.; HERNÁNDEZ, A.J.; BUENO, P.; RUTAISIRE, J.; GREENHALGH, F. 2012 Responsible use of resources for sustainable aquaculture. **Proceedings of the Global Conference on Aquaculture 2010: Farming the Waters for People and Food**. Subasinghe, R.P., Arthur, J.R., Bartley, D.M., De Silva, S.S., Halwart, M., Hishamunda, N., Mohan, C.V., Sorgeloos, P., (eds). Rome, Italy: **Food and Agriculture Organization of the United Nation**, pp. 113–436.

DE MOURA, P. S. **Aprimoramento do cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em águas oligohalinas dominadas por bioflocos**. 2020 151 f. Tese (Doutorado) - Curso de Aquicultura, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2020.

DE SCHRYVER, P.; CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOON, N.; VERSTRAETE, W. 2008 The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. **Aquaculture** 277:125-137.

FAO. Food and Agriculture Organization of The United Nations. 2021 **The State of World Fisheries and Aquaculture**. FIGIS - Fisheries Statistics – Aquaculture, Rome.

FERREIRA, G. S.; SILVA, V. F.; MARTINS, M. A.; SILVA, A. C. C. P.; MACHADO, C.; SEIFFERT, W. Q.; VIEIRA, F. N. 2020 Strategies for ammonium and nitrite control in *Litopenaeus vannamei* nursery systems with bioflocs. **Aquacultural Engineering**, Florianópolis, v. 88, p. 102040-11111, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.102040>.

FURTADO, P.S.; POERSCH, L.H.; WASIELESKY, W. 2015 The effect of different alkalinity levels on *Litopenaeus vannamei* reared with biofloc technology (BFT). **Aquaculture International** 23, 345–358. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9819-x>.

IBGE. **Produção da aquicultura, por tipo de produto**. 2020 Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6661>. Acesso em: 15 fev. 2021.

HARGREAVES, J.A. 2006 Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. **Aquacultural Engineering** 34:344–363. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.08.009>

JENSEN, F.B. 2003 Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals – a review. **Comparative Biochemistry and Physiology A** 135, 9–24.

JORY, D.E.; DIXON, H.M. 1999 Shrimp white spot virus in the western hemisphere. **Aquaculture Magazine** 25, 83–91.

KUHN, D.D; SMITHB, S. A.; BOARDMANC, G. D.; ANGIERA, M. W.; MARSHA, L.; FLICK, G. J. Jr. 2010 Chronic toxicity of nitrate to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: impacts on survival, growth, antennae length, and pathology. **Aquaculture** 309, 109–114.

MONROY-DOSTA, M; DE LARA-ANDRADE, R.; CASTRO-MEJÍA, J.; CASTRO-MEJÍA, G.; COELHO-EMERENCIANO, M. G. 2013 Composicion y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia. **Revista de Biología Marina y Oceanografía** 48(3):511-520.

OGELLO, E. O., S. M. MUS, C. M. AURA, J. O. ABWAO, AND J. M. 2014 Munguti. An appraisal of the feasibility of tilapia production in ponds using biofloc technology: A review, **International Journal of Aquatic Science** 5(1):21-39.

PARMENTER, K. J. 2007 **Survival of pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in low- salinity and mixed-ion environments**. 38 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biological Sciences, Clemson University, Clemson.

PARMENTER, K. J.; BISESI, J. H.; YOUNG, S. P.; KLAINE, S. J.; ATWOOD, H. L.; BROWDY, C. L.; Tomasso, J. R. 2009 Culture of Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei* in a Mixed-Ion Solution. **North American Journal Of Aquaculture**, South Carolina, v. 71, n. 2, p. 134-137, abr. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1577/a08-015.1>.

RAMÍREZ-ROCHÍN, J.; FRÍAS-ESPERICUETA, M. G; FIERRO-SAÑUDO, J. F; ALARCÓN-SILVAS, S. G; FREGOSO-LÓPEZ, M. G; PÁEZ-OSUNA, F. 2016 Acute toxicity of nitrite on white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles in low-salinity water. **Aquaculture Research**, Sinaloa, v. 48, n. 5, p. 2337-2343, 16 abr. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/are.13069>.

RAY, A.J.; LOTZ, J.M.; BRUNSON, J.F.; LEFFLER, J.W. 2011 Shrimp sampling method improves stocking process. **Global Aquaculture Advocate** 14 (4), 14–15.

SAMOCHA, T. M.; PRANGNELL, D. I.; HANSON, T. R.; TREECE, G. D.; MORRIS, T. C.; CASTRO, L. F.; STARESINIC, N. 2017 Design and Operation of Super Intensive, Biofloc-Dominated Systems for Indoor Production of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei* – The Texas A&M AgriLife Research Experience. **The World Aquaculture Society**, Baton Rouge, Louisiana USA.

SCHULER D.J.; BOARDMAN G.D.; FLICK G.J. 2010 Acute toxicity of ammonia and nitrite to pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at low salinities. **Journal of the World Aquaculture Society** 41, 438–446.

SOUZA, J.; CARDOZO, A.; WASIELESKY JR, W.; ABREU, P. C. 2019 Does the biofloc size matter to the nitrification process in Biofloc Technology (BFT) systems? **Aquaculture**, Rio Grande, v. 500, p. 443-450, fev. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.051>.

SOWERS, A.D.; TOMASSO, J.R., BROWDY, C.L.; ATWOOD, H.L. 2006 Production characteristics of *Litopenaeus vannamei* in low-salinity water augmented with mixed salts. **Journal of the World Aquaculture Society** 37, 214-217.

TAW, N. 2010 **Biofloc technology expanding at white shrimp farms**. *Global Aquaculture Advocate* 13(3):20-22.

TOMASSO J.R. 2012 Environmental nitrite and aquaculture: a perspective. **Aquaculture International** 20, 1107–1116.

VINATEA, L.; GALVEZ, A. O.; BROWDY, C. L.; STOKES, A.; VENERO, J.; HAVEMAN, J.; LEFFLER, J. W. 2010 Photosynthesis, water respiration and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a super-intensive raceway culture with zero water exchange: Interaction of water quality variables. **Aquacultural Engineering**. 42, 17-24.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2009.09.001>

WASIELESKY, W.; KRUMMENAUE, D. 2013 Cultivo de camarões em sistema de bioflocos: realidades e perspectivas. **Revista Abcc**, Cassino, p. 30-36, jun.