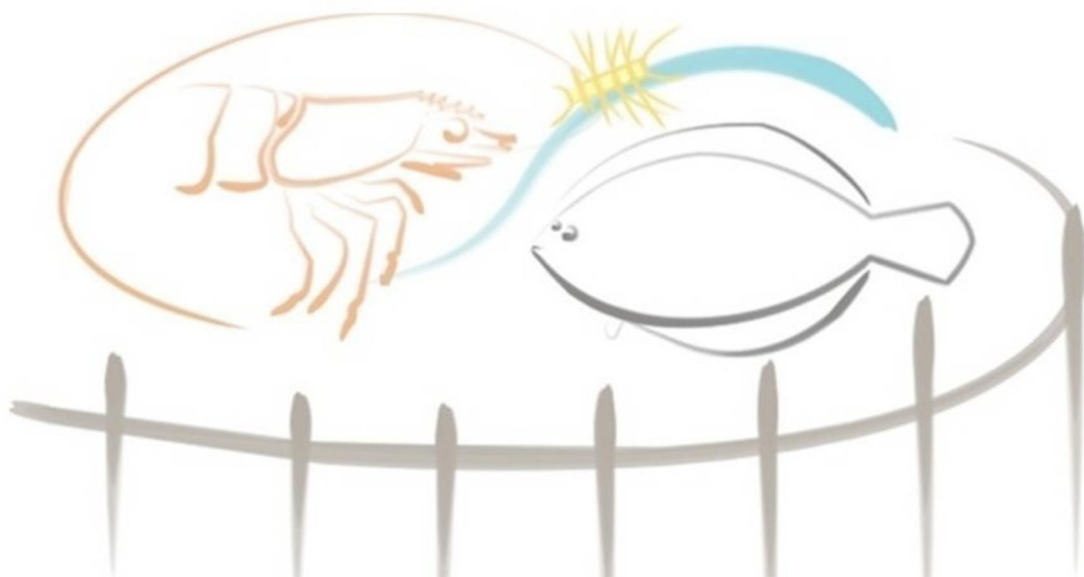




UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA



APRIMORAMENTO DO CULTIVO DO CAMARÃO MARINHO *Litopenaeus vannamei* EM ÁGUAS OLIGOHALINAS DOMINADAS POR BIOFLOCOS

PLÁCIDO SOARES DE MOURA

Rio Grande, RS

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

**Aprimoramento do cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em águas
oligohalinas dominadas por bioflocos**

Aluno: Plácido Soares de Moura.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal do Rio Grande, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Aquicultura.

Orientador: Prof. Dr. Luís Henrique da Silva Poersch

Coorientador: Prof. Dr. Wilson Wasielesky Jr.

Rio Grande, RS

Abril de 2020


ATA 03/2020

DE DEFESA DA 66ª TESE DE DOUTORADO EM AQUICULTURA

No dia trinta de abril de dois mil e vinte, as quatorze horas, por meio de teleconferência, reuniu-se a Banca Examinadora de Tese de Doutorado em Aquicultura, do **PLÁCIDO SOARES DE MOURA**, orientado pelo Prof. Dr. Luís Henrique da Silva Poersch, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. Luís Henrique da Silva Poersch (Orientador – IO/FURG), Prof. Dr. Wilson Wasielesky Junior (Co – orientador - IO/FURG), Prof. Dr. Geraldo Kipper Fóes (IO/FURG), Prof. Dr. Ricardo Berteaux Robaldo (UFPEL) e o Prof. Dr. Giovanni Lemos de Mello (UDESC). Título da Tese: **“APRIMORAMENTO DO CULTIVO DO CAMARÃO MARINHO *Litopenaeus vannamei* EM ÁGUAS OLIGOHALINAS DOMINADAS POR BIOFLOCOS”**. Dando início à defesa, o Coordenador do PPGAq, Prof. Dr. Ricardo Vieira Rodrigues passou a presidência da sessão ao Prof. Dr. Luís Henrique da Silva Poersch, que na qualidade de orientador, passou a palavra para o candidato apresentar a Tese. Após ampla discussão entre os membros da Banca e o candidato, a Banca se reuniu sob a presidência do Coordenador. Durante esse encontro ficou estabelecido que as sugestões dos membros da Banca Examinadora devem ser incorporadas na versão final, ficando a cargo do Orientador o cumprimento desta decisão. O candidato **PLÁCIDO SOARES DE MOURA** foi considerado **APROVADO**, devendo a versão definitiva de a Tese ser entregue na Secretaria do PPGAq, no prazo estabelecido nas Normas Complementares do Programa. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, será assinada pela Banca Examinadora, pelo candidato e pelo Coordenador do PPGAq.



PROF. DR. LUÍS HENRIQUE DA SILVA POERSCH (ORIENTADOR – IO/FURG)



PROF. DR. WILSON WASIELESKY JUNIOR (IO/FURG)



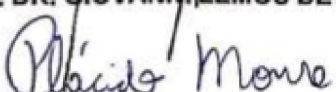
PROF. DR. GERALDO KIPPER FÓES (IO/FURG)



PROF. DR. RICARDO BERTEAUX ROBALDO (UFPEL)



PROF. DR. GIOVANNI LEMOS DE MELLO (UDESC)



PLÁCIDO SOARES DE MOURA



PROF. DR. RICARDO VIEIRA RODRIGUES (Coordenador do PPGAq)

Ficha Catalográfica

M929a Moura, Plácido Soares de.
Aprimoramento do cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em águas oligohalinas dominadas por bioflocos / Plácido Soares de Moura. – 2020.
150 f.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Rio Grande/RS, 2020.
Orientador: Dr. Luís Henrique da Silva Poersch.
Coorientador: Dr. Wilson Wasielesky Jr.

1. Baixa Salinidade 2. Sistema BFT 3. Região Semiárida
4. Balanço Iônico I. Poersch, Luís Henrique da Silva II. Wasielesky Jr, Wilson III. Título.

CDU 639.512

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

Lista de figuras

Capítulo II

- 1 - Distribuição geográfica das fazendas de cultivo de *L. vannamei* em águas interiores, nos estados nordestinos do Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN) e Paraíba (PB) amostradas na pesquisa (pontos pretos). 46
- 2 - Coleta de água subterrânea utilizada para o abastecimento de viveiro de cultivo de *L. vannamei* em Jaguaruana - CE. O choque mecânico da água contra a estrutura de madeira instalada após o tubo favorece a volatilização de gases tóxicos, incorporação de oxigênio e a precipitação do ferro dissolvido na água. 52
- 3 - Representação das proporções médias (%) e desvios padrão das concentrações individuais dos íons majoritários na soma entre eles (Soma), entre as classes de salinidade segundo o Sistema Veneza. A barra preta representa a média da concentração de cada íon encontrada no ambiente marinho segundo Goldberg (1963). 55
- 4 - Concentrações dos íons majoritários observados nas fazendas de cultivo de *L. vannamei* em zonas interiores *versus* a concentração esperada na água do mar diluída à mesma salinidade (pontos pretos). A linha sólida representa a concentração esperada dos íons na água do mar diluída nas diferentes salinidades das amostras das fazendas. Cl⁻: cloreto, Na⁺: sódio, SO₄²⁻: sulfato, Mg²⁺: magnésio, Ca²⁺: cálcio, K⁺: potássio, HCO₃³⁻: bicarbonato, Σ: soma dos íons majoritários. 58
- 5 - Relações iônicas observadas nas águas de cultivo de *L. vannamei* em zonas interiores *versus* a salinidade da amostra (pontos pretos). A linha sólida representa a relação iônica esperada na água do mar diluída nas diferentes salinidades das amostras. A. relação magnésio: cálcio, B. relação potássio: cálcio, C. relação sódio: potássio. 59
- 6 - Avaliação da adequação das águas interiores utilizadas em fazendas de produção de *L. vannamei* no Nordeste brasileiro para o uso em irrigação de acordo com a análise de risco de salinização e do risco de sódio proposta pelo United States Salinity Laboratory, o gráfico foi gerado pelo software Qualigraf[®]. 61

Capítulo III

- 7 - Unidades experimentais utilizadas para o cultivo de *L. vannamei* durante a fase de berçário com diferentes concentrações de inóculo de água marinha na CIBS. 85

8 - Concentrações dos compostos nitrogenados durante o período de 36 dias de formação do inóculo de bioflocos sem a presença de animais. A fonte de nitrogênio utilizada para o desenvolvimento das bactérias foi o sal cloreto de amônio (NH ₄ Cl).	89
---	----

Capítulo IV

9 - Estrutura utilizada para a evaporação solar da água do mar e formação da salmoura adicionada nas águas do berçário de <i>L. vannamei</i> em diferentes alcalinidades.	119
10 - Unidades experimentais utilizadas para o cultivo de <i>L. vannamei</i> na fase de berçário em diferentes alcalinidades através da aplicação de cal hidratada ou bicarbonato de sódio em águas com a CIBS dominadas por bioflocos.	121
11 - Condutividade elétrica da água (mS cm ⁻¹) durante 40 dias de cultivo de <i>L. vannamei</i> na fase de berçário em águas com a CIBS em diferentes alcalinidades utilizando cal hidratada ou bicarbonato de sódio como alcalinizantes.	126
12 - Alcalinidade total da água (mg CaCO ₃ L ⁻¹) durante 40 dias de cultivo de <i>L. vannamei</i> na fase de berçário em águas oligohalinas com a CIBS em diferentes alcalinidades utilizando cal hidratada ou bicarbonato de sódio como alcalinizantes.	127
13 - Concentrações de Na ⁺ (A) e K ⁺ (B) e a relação entre eles (C) durante o período de 40 dias de cultivo de <i>L. vannamei</i> na fase de berçário em águas oligohalinas com a CIBS com diferentes alcalinidades ajustadas com cal hidratada ou bicarbonato de sódio.	132

Anexos

14 - Água subterrânea armazenada no canal de abastecimento de fazenda de produção de <i>L. vannamei</i> em águas oligohalinas na cidade de Limoeiro do Norte - CE.	147
15 - Estrutura de pré-berçário utilizando águas oligohalinas dominadas por bioflocos em fazenda de produção de <i>L. vannamei</i> na cidade de Jaguaruana – CE.	147
16 - Viveiro de produção de <i>L. vannamei</i> em águas oligohalinas, revestido com geomembrana de PEAD, abastecido com água de rio em Ceará Mirim – RN.	148
17 - Aspecto do solo e vegetação da Caatinga em fazenda de produção de <i>L. vannamei</i> , utilizando água subterrânea mesohalina em Tangará - RN.	148
18 - Precipitados de ferro e manganês indicados pela coloração avermelhada da amostra de água durante a filtração, antes das análises no LABOMAR em Fortaleza - CE.	149
19 - Procedimento para a determinação da dureza total e das concentrações de cálcio e magnésio da água nas análises realizadas no IFCE de Morada Nova - CE.	149

Lista de tabelas

Capítulo I

- 1 - Produção mundial em toneladas da aquacultura dos dez principais crustáceos cultivados em águas interiores no ano de 2017, segundo dados da FAO. 19
- 2 - Médias das concentrações em miligramas por litro dos sete íons majoritários encontrados em águas marinhas naturais segundo Goldberg (1963). 22

Capítulo II

- 3 - Médias \pm desvios padrão e intervalos (parênteses) dos parâmetros físico-químicos de águas de cultivo de *L. vannamei* em zonas interiores no Nordeste brasileiro classificadas por salinidade. Os valores descritos para a água do mar natural estão expostos para comparação. 54
- 4 - Médias \pm desvios padrão das concentrações dos íons majoritários, nas diferentes classes de salinidade, em águas utilizadas na produção de *L. vannamei* em regiões interiores no Nordeste brasileiro, em comparação às concentrações estimadas para águas marinhas (Goldberg, 1963) diluídas à mesma salinidade. 56
- 5 - Equações de regressão para os cálculos das concentrações dos íons majoritários (Y em mg L⁻¹) a partir da condutividade elétrica (X em mS cm⁻¹ a 25°C) de águas doces e oligohalinas utilizadas nas fazendas de produção de *L. vannamei* em zonas interiores do Nordeste brasileiro amostradas na pesquisa. 60
- 6 - Médias \pm desvios padrão e intervalos (parênteses) dos parâmetros zootécnicos das fazendas de produção de *L. vannamei* em regiões interiores no Nordeste brasileiro. 62

Capítulo III

- 7 - Concentrações de sais analíticos, concentrações finais esperadas dos íons majoritários e relações iônicas após a preparação da salga artificial da configuração iônica de baixa salinidade (CIBS). Esta configuração iônica simula a encontrada em águas utilizadas na produção de *L. vannamei* em regiões interiores no Nordeste brasileiro. 82
- 8 - Métodos de determinação e parâmetros de qualidade de água avaliados durante o cultivo de *L. vannamei* na fase de berçário com diferentes concentrações de inóculo de água marinha na CIBS. 86
- 9 - Médias \pm desvios padrão dos parâmetros de qualidade da água durante o período de 27 dias de cultivo de *L. vannamei* na fase de berçário com diferentes concentrações (%) de inóculo de água marinha na CIBS. 91

10 - Médias \pm desvios padrão das concentrações em miligramas por litro dos íons majoritários e relações iônicas durante 27 dias de cultivo de <i>L. vannamei</i> na fase de berçário com diferentes concentrações (%) de água marinha na CIBS.	92
11 - Médias \pm desvios padrão dos parâmetros de desempenho zootécnico de <i>L. vannamei</i> ao fim de 27 dias na fase de berçário com diferentes concentrações de água marinha na CIBS.	93

Capítulo IV

12 - Parâmetros físico-químicos da salmoura utilizada para a salga natural da água oligohalina empregada no berçário de <i>L. vannamei</i> em diferentes alcalinidades.	118
13 - Médias \pm desvios padrão dos parâmetros de qualidade da água durante o período de 40 dias de cultivo de <i>L. vannamei</i> na fase de berçário em diferentes alcalinidades através da aplicação de cal hidratada ou bicarbonato de sódio em águas com a CIBS.	125
14 - Concentrações dos íons majoritários (mg L^{-1}) e relações iônicas das águas oligohalinas, antes do início do cultivo de <i>L. vannamei</i> na fase berçário em diferentes alcalinidades utilizando cal hidratada e bicarbonato de sódio como alcalinizantes.	128
15 - Médias \pm desvios padrão e intervalos (em parênteses) das concentrações dos íons majoritários (mg L^{-1}) ao fim de 40 dias de cultivo de <i>L. vannamei</i> na fase de berçário em águas oligohalinas em diferentes alcalinidades utilizando cal hidratada ou bicarbonato de sódio.	130
16 - Médias \pm desvios padrão e intervalos (em parênteses) das relações iônicas ao fim de 40 dias de cultivo de <i>L. vannamei</i> na fase de berçário em águas oligohalinas em diferentes alcalinidades utilizando cal hidratada ou bicarbonato de sódio como alcalinizantes.	131
17 - Médias \pm desvios padrão dos parâmetros de desempenho zootécnico de <i>L. vannamei</i> ao fim do período de 40 dias de cultivo na fase de berçário em águas oligohalinas em diferentes alcalinidades utilizando cal hidratada ou bicarbonato de sódio como alcalinizantes.	134

Anexos

18 - Concentrações letais médias e níveis seguros de exposição de <i>L. vannamei</i> a compostos nitrogenados em baixas salinidades.	150
---	-----

Sumário

Introdução geral - Capítulo I: Produção do camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> em águas continentais de baixa salinidade: referencial teórico e tecnologias potenciais para a atividade.	18
Objetivos.	30
Referências.	31
Capítulo II: Produção do camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> em águas continentais no Nordeste do Brasil: avaliação da composição iônica da água como ferramenta para o desenvolvimento sustentável da atividade.	40
Resumo.	41
Introdução.	43
Material e métodos.	46
Resultados.	52
Discussão.	62
Conclusões.	66
Referências.	67
Capítulo III: Inóculo de água marinha como alternativa para correção iônica de águas oligohalinas para a produção de <i>Litopenaeus vannamei</i> na fase de berçário em meio dominado por bioflocos e suas implicações na qualidade da água.	73
Resumo.	74
Introdução.	76
Material e métodos.	80
Resultados.	89
Discussão.	94
Conclusões.	100
Referências.	100
Capítulo IV: Efeitos das diferentes concentrações dos alcalinizantes, cal hidratada ou bicarbonato de sódio, na composição iônica da água e no desempenho zootécnico de <i>Litopenaeus vannamei</i> , na fase de berçário em águas oligohalinas dominadas por bioflocos.	111
Resumo.	112
Introdução.	114

Material e métodos.	117
Resultados.	123
Discussão.	135
Conclusões.	139
Referências.	140
Conclusões gerais.	146
Anexos.	147
Referências.	151

Dedico esse trabalho a meus pais:
Antônio e Rita de Cássia (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A meu Pai, Antônio Moura pelo seu legado moral, e a meus irmãos Péricles, Priscila e Patrícia pelo apoio por toda a vida.

A meus orientadores Luís Poersch e Wilson Wasielesky Jr. por toda a dedicação ao meu desenvolvimento acadêmico, profissional e pessoal. Agradeço pelas ferramentas, oportunidades, estrutura, apoio, liberdade e confiança nos meus propósitos.

Aos pesquisadores Allen Davis, Jorge Rigail, Luke Roy, Marcelo Sá e Claude Boyd, por toda literatura produzida, vossas pesquisas inspiraram essa tese.

A meus coautores Plínio Furtado, André Braga, Fabiane Serra e Juan Rafael B. Ramírez por todo o apoio a essa pesquisa e por me auxiliarem a permanecer em pé.

Aos estagiários, Vagner, Sebastian, Leandro, Athayde e Matheus por dedicarem seus tempos ao conhecimento, me orgulho pela oportunidade de ter ensinado algo a vocês.

A Lucas Maltez, Juan Rafael B. Ramírez, Marcelo Tesser pelo altruísmo, empatia e solidariedade em tempos de cada um por si e Deus por todos.

Ao coordenador do PPGAq Ricardo Rodrigues e aos servidores Sandro Fabres e Seu Hermes pela prontidão em ajudar sempre que necessário.

Aos pesquisadores que dedicam suas vidas ao desenvolvimento da sociedade.

A Adrian Smith, Bruce Dickinson, Dave Murray, Janick Gers, Nicko McBrain e Steve Harris, por deixarem mais ~~ANIMÁIS~~ a escrita dessa tese.

Ao Projeto Camarão e ao Programa de Pós Graduação em Aquicultura da FURG por terem me dado a oportunidade de compor esses grupos.

Aos órgãos de fomento CAPES, CNPq, FAPERGS e FINEP pela concessão dos recursos que financiam a ciência brasileira. E as empresas privadas que apoiam com seus produtos as atividades do Projeto Camarão: Guabi, Trevisan, AllAqua, Inve e Aquatec.

“O que transforma o velho no novo, bendito fruto do povo será, e a única forma que pode ser norma é nenhuma regra ter. É nunca fazer, nada que o mestre mandar, sempre desobedecer, nunca reverenciar.”

(Belchior)

RESUMO GERAL

A produção de *L. vannamei* em águas oligohalinas interiores (AOI) no Brasil está concentrada na região Nordeste, onde a composição iônica da água é considerada na escolha de áreas de cultivo e no gerenciamento dos recursos hídricos escassos na região. Águas interiores e marinhas apresentam composições distintas, podendo afetar processos fisiológicos de camarões marinhos e a produtividade dos cultivos, principalmente nas fases iniciais onde ocorre a aclimação dos animais às condições das águas interiores. A correção constante da alcalinidade requer a utilização de compostos alcalinizantes adequados às condições dos sistemas de produção. No capítulo I foi realizado um levantamento bibliográfico acerca do cultivo de *L. vannamei* em AOI_s e foi demonstrada a aplicabilidade de sistemas de cultivo fechados como forma de reduzir as demandas de água em regiões semiáridas, aumentar as produtividades dos cultivos e promover o desenvolvimento socioeconômico dessas regiões. O capítulo II avaliou as características da produção de *L. vannamei* em AOI_s no Nordeste brasileiro, no intuito de direcionar a prospecção de novas áreas. Os dados foram coletados nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, totalizando 28 fazendas. As amostras de água foram classificadas por salinidade segundo o Sistema Veneza, em águas doces, oligohalinas e mesohalinas e as composições iônicas e os dados produtivos das propriedades comparados. Através da salinidade, condutividade elétrica (CE) e composição iônica, foram avaliados os usos das águas para irrigação e consumo humano. A maioria das propriedades foram fornecidas com águas oligohalinas e mesohalinas de rios ou poços, onde 78% delas foram consideradas impróprias para irrigação. A área média dos viveiros foi de $1,30 \pm 1,08$ ha. As amostras quando comparadas a água do mar diluída, demonstraram que o Na^+ e SO_4^{2-} , estavam em menor proporção (%), enquanto que o Mg^{2+} , Ca^{2+} e o HCO_3^- estavam em maior proporção, independente da classe salina. As relações iônicas, $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$ e $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ estavam abaixo das ideais em todas as classes, enquanto que a $\text{Na}^+:\text{K}^+$ nas águas oligohalinas estavam em média adequadas para a espécie. Águas oligohalinas e mesohalinas são mais favoráveis a carcinocultura, por possuírem menos usos. Além disso, essas águas possuem alcalinidades e durezas totais superiores a águas doces podendo nelas serem alcançadas maiores produtividades. Através dos dados do capítulo II foi formulada uma salga artificial representativa das fazendas investigadas, chamada de Composição Iônica de Baixa Salinidade (CIBS). Nos capítulos III e IV antes dos

experimentos as águas com a CIBS foram fertilizadas com NH_4Cl para desenvolver um inóculo bacteriano. Os experimentos foram realizados na fase de berçário em meio oligohalino dominado por bioflocos. As pós-larvas foram alimentadas com dietas comerciais. Monitoraram-se a temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, compostos nitrogenados (N-AT, N-NO_2^- e N-NO_3^-), ortofosfato, alcalinidade total (AT), dureza total (DT), salinidade, CE, sólidos suspensos totais e a concentração dos íons majoritários. O desempenho zootécnico foi avaliado através do peso médio final, sobrevivência, taxa de crescimento específico, ganho de peso semanal, produtividade e conversão alimentar aparente. O capítulo III utilizou a inoculação de águas marinhas para a correção iônica da água com a CIBS. O estudo durou 27 dias onde foram utilizados 20 tanques de 150L úteis, com 150 pós-larvas de 0,06g cada. Foram testados quatro tratamentos com inoculação (3, 6, 10 e 13%) e um tratamento sem (0%), com quatro repetições cada. Entre os compostos nitrogenados apenas o N-NO_3^- atingiu concentrações acima do seguro em todos os tratamentos. O desempenho zootécnico foi superior nos tratamentos inoculados, não diferindo entre si. Os resultados estão associados ao incremento dos íons Na^+ , Mg^{2+} e K^+ e da relação $\text{Na}^+:\text{K}^+$. Foi observado que 3% do inóculo marinho pode mitigar os efeitos negativos de desequilíbrios iônicos de águas oligohalinas no desenvolvimento de PLs de *L. vannamei*. O capítulo IV avaliou os efeitos da alcalinidade e do alcalinizante utilizado, na composição iônica da água e no desempenho zootécnico de *L. vannamei*. O estudo durou 40 dias e foi desenvolvido em águas com a CIBS com 0,5% de uma salmoura marinha. Os tratamentos testaram a cal hidratada ou o bicarbonato de sódio (NaHCO_3^-) na manutenção das AT de 75, 150 e 300 mg de $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, com três repetições cada, para isso foram utilizados 18 tanques de 50 litros povoados com 60 pós-larvas de *L. vannamei* com peso médio de 0,02g. Entre os compostos nitrogenados, apenas o N-NO_3^- atingiu valores inadequados em todos os tratamentos. A DT e Mg^{2+} foram maiores onde a AT de 300 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ de foi mantida com cal hidratada (Ca300), bem como a sobrevivência dos animais e a produtividade do sistema. A utilização de cal hidratada na maior concentração elevou além da AT a DT, protegendo os animais dos efeitos tóxicos do N-NO_3^- , compensando a remoção do Ca^{2+} da água pelos animais durante a muda e assim gerando condições adequadas para o desenvolvimento de *L. vannamei* na fase de berçário em meio oligohalino dominado por bioflocos.

Palavras chave: baixa salinidade, sistema BFT, região semiárida, balanço iônico

GENERAL ABSTRACT

The *L. vannamei* production in inland oligohaline waters (IOW) in Brazil is concentrated in the Northeast region, where the ionic composition of water is considered in the selection of cultivation areas and the management of water resources scarce in the region. Inland and marine waters present distinct ionic concentrations, which may affect the physiological processes of marine shrimps and the productivity of crops, especially in the initial phases where the acclimatization of animals to inland water conditions occurs. The constant correction of alkalinity requires the use of alkalinizing compounds adequate to the conditions of the production systems. In Chapter I, a bibliographic survey on the cultivation of *L. vannamei* in IOWs was conducted and the applicability of closed cultivation systems was demonstrated as a way to reduce water demands in semiarid regions, increase productivities and promote the socioeconomic development of these regions. Chapter II evaluated the characteristics of *L. vannamei* production in IOWs in Northeastern Brazil in order to direct the prospecting of new areas. Data were collected in the states of Ceará, Rio Grande do Norte and Paraíba, totaling 28 shrimp farms. The water samples were classified by salinity according to the Venice System, in freshwater, oligohaline and mesohaline and the ionic compositions and the production data of the shrimp farms compared. Through salinity, electrical conductivity (EC) and ionic composition, the uses of water for irrigation and human consumption were evaluated. Most of the properties were supplied with oligohaline and mesohaline waters from rivers or wells, where 78% of them were considered unsuitable for irrigation. The average ponds area was 1.30 ± 1.08 ha. The samples when compared to diluted sea water, showed that Na^+ and SO_4^{2-} were in a lower proportion (%), while Mg^{2+} , Ca^{2+} and HCO_3^- were in a higher proportion, independent of the saline class. The ionic ratios, $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$ and $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ were below ideal in all classes, while $\text{Na}^+:\text{K}^+$ in oligohaline waters were on average adequate for the species. Oligohaline and mesohaline waters are more favorable for shrimp culture, as they have less uses. In addition, these waters have alkalinities and total hardness superior to freshwaters and higher productivity can be achieved in them. Through the data of Chapter II, an artificial salting representative of the farms investigated was formulated, called Low Salinity Ionic Composition (LSIC). In chapters III and IV before the experiments, the water with the LSIC was fertilized with NH_4Cl to develop a bacterial inoculum. The experiments were performed in the nursery phase in

an oligohaline medium dominated by bioflocs. The post-larvae were fed commercial diets. Water temperature (T°C), pH, dissolved oxygen (DO), nitrogenous compounds (N-AT, N-NO₂⁻ and N-NO₃⁻), orthophosphate, total alkalinity (TA), total hardness (TH), salinity, EC, total suspended solids, and the concentration of major ions were monitored. Zootechnical performance was evaluated by mean final weight, survival, specific growth rate, weekly weight gain, productivity and apparent feed conversion. Chapter III used marine water inoculation for ionic water correction with LSIC. The study lasted 27 days where 20 tanks of 150L were used, with 150 post-larvae of 0.06g each. Four treatments were tested with inoculation (3, 6, 10 and 13%) and one treatment without (0%), with four repetitions each. Among the nitrogen compounds only N-NO₃⁻ reached above safe concentrations in all treatments. The zootechnical performance was superior in the inoculated treatments, not differing from each other. The results are associated with the increase of Na⁺, Mg²⁺ and K⁺ ions and the Na⁺:K⁺ ratio. It was observed that 3% of the inoculum can mitigate the negative effects of ion imbalances of oligohaline waters on the development of PLs of *L. vannamei*. Chapter IV evaluated the effects of alkalinity and the alkalinizing compound used, on the ionic composition of the water and on the zootechnical performance of *L. vannamei*. The study lasted 40 days and was developed in waters with LSIC with 0.5% of a marine brine. The treatments tested hydrated lime or sodium bicarbonate (NaHCO₃⁻) in the maintenance of 75, 150 and 300 mg of CaCO₃ L⁻¹ alkalinities, with three repetitions each, 18 tanks of 50 L populated with 60 post-larvae of *L. vannamei* with an average weight of 0.02g were used. Among the nitrogen compounds only N-NO₃⁻ reached inadequate values in all treatments. The TH and Mg²⁺ were higher where the total alkalinity of 300 mg of CaCO₃ L⁻¹ was maintained with hydrated lime (Ca300), as well as the survival of the animals and the productivity of the system. The use of hydrated lime in the higher concentration elevated the alkalinity beyond total hardness, protecting the animals from the toxic effects of N-NO₃⁻, compensating the removal of Ca²⁺ from the water by the animals during moulting and thus generating adequate conditions for the development of *L. vannamei* in the nursery phase in an oligohaline environment dominated by bioflocs.

Keywords: low salinity, BFT system, semiarid region, ionic balance

CAPÍTULO I

Produção do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em águas continentais de baixa salinidade: referencial teórico e tecnologias potenciais para a atividade

Plácido S. Moura*, Wilson Wasielesky Jr., Luís Poersch

Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Rua do Hotel, nº 2, Cassino, Rio Grande, RS, Brasil.
CEP: 96210-030

*Autor correspondente: e-mail: placidopsm@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO GERAL

Entre os camarões marinhos cultivados comercialmente, a espécie mais produzida é o camarão branco do Pacífico, *Litopenaeus vannamei*, nativo na costa Norte do Peru ao Noroeste do México (Roy et al., 2010). Por ser uma espécie tipicamente eurihalina, o *L. vannamei* pode tolerar uma ampla variação de salinidade após aclimatação, desde salinidades inferiores a 0,5 até 60 g L⁻¹ (Araneda et al., 2008; Bray et al., 1994; Chong-Robles et al., 2014; Cuvin-Aralar et al., 2009), ainda que 0,5 seja considerado o limite hipotônico da espécie (Godínez-Siordia et al., 2011). A adaptação às diferentes salinidades somada com as elevadas taxas de crescimento, tornou o *L. vannamei* a espécie preferida em cultivos de camarões em águas interiores (rios, lagos, poços etc.), favorecendo o desenvolvimento dessa atividade em países como Brasil, China, Cuba, Equador, EUA, Índia, Israel, México, Panamá, Tailândia e Venezuela (Aruna & Felix, 2017; Boyd & Thunjai, 2003; Godínez-Siordia et al., 2011; Jaime-Ceballos et al., 2012; Jory, 2017; Miranda et al., 2010; Roy et al., 2010; Samocha et al., 2001). Estatísticas de produção da FAO revelam que no ano de 2017 a produção mundial por aquicultura em águas interiores de *L. vannamei* chegou a 619 mil toneladas, 14% do total produzido (4,46 milhões de toneladas), esses valores são tão expressivos que em águas interiores apenas o *L. vannamei* equivale a 20% da produção (Tabela 1), sendo a grande maioria dos organismos produzidos nessa classe nativos de ambientes dulcícolas (FAO, 2019).

Tabela 1 – Produção mundial em toneladas da aquicultura dos dez principais crustáceos cultivados em águas interiores no ano de 2017, segundo dados da FAO.

Nome científico	Nome comum	Ambiente	Toneladas
<i>Procambarus clarkii</i>	Lagostim vermelho	Dulcícola	1.193.344
<i>Eriocheir sinensis</i>	Caranguejo peludo chinês	Marinho	751.003
<i>Litopenaeus vannamei</i>	Camarão branco do Pacífico	Marinho	619.664
<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	Gigante da Malásia	Dulcícola	263.328
<i>Macrobrachium nipponense</i>	Camarão oriental do rio	Dulcícola	240.739
<i>Palaemonidae</i>	-	Dulcícola	77.148
<i>Penaeus monodon</i>	Camarão tigre gigante	Marinho	3.215
<i>Cherax quadricarinatus</i>	Lagostim da garra vermelha	Dulcícola	239
<i>Macrobrachium malcolmsonii</i>	Camarão do rio da monção	Dulcícola	159
<i>Astacus leptodactylus</i>	Lagostim do Danúbio	Dulcícola	70
Outros	-	Dulcícola	158
Total			3.149.067

Fonte: FAO/FIGIS 2019

Crustáceos aquáticos podem habitar ambientes com diferentes salinidades, para isso, estes animais requerem uma capacidade de regular os osmólitos da hemolinfa em relação ao ambiente externo (osmorregulação) e assim controlar sua pressão osmótica, este motivo faz com que a salinidade da água seja o parâmetro abiótico que mais influência na distribuição e na abundância desses animais no mundo (Romano & Zeng, 2012). Dessa forma, a fisiologia osmorregulatória determina a amplitude salina confortável para o bom desenvolvimento de cada espécie. O *L. vannamei*, por exemplo, em água do mar diluída, à salinidade 24,7 g L⁻¹ possui gradiente de pressão nulo, ou seja, é isosmótico em relação ao meio (Castille Jr & Lawrence, 1981), e teoricamente com menor gasto energético em osmorregulação. No entanto, resultados de crescimento e sobrevivência ótimos são encontrados acima do ponto isosmótico, entre 33 e 40 g L⁻¹ (Ponce-Palafox et al., 1997) e bem abaixo, em 5 g L⁻¹ (Bray et al., 1994). Ainda que a “salinidade ideal” estivesse entre 15 e 25 g L⁻¹ (Boyd, 1989), esse parâmetro parece ser secundário para a produção de *L. vannamei* em águas interiores, pelo fato de representar de forma simples a soma de diversos outros parâmetros importantes da água (composição iônica) pouco explorados até a atualidade.

Diversos fatores, além das características biológicas das espécies de camarões marinhos, favoreceram a interiorização dos cultivos em todo o mundo. Sob o ponto de vista financeiro: a possibilidade de aquisição de propriedades com custo imobiliário reduzido (Kuhn et al., 2007; Parmenter et al., 2009), aproximação do centro consumidor, facilidade para aquisição de insumos e a consequente redução de custos com logística, além da maior valorização da produção pela possibilidade de comercialização local de um produto de elevado frescor (Parmenter et al., 2009). Sob aspecto sanitário, cultivos em zonas interiores dificultam a transmissão e instalação de doenças virais como a mancha branca (WSSV), cabeça amarela (YHV) e a síndrome de Taura (TS), por nessas zonas não existirem outros crustáceos marinhos vetores das doenças (Jaime-Ceballos et al., 2012), além do isolamento geográfico, ocasionado pelo distanciamento das zonas estuarinas litorâneas, onde os focos virais estão concentrados. Sob o aspecto legal, os requerimentos para o licenciamento ambiental em zonas interiores são menos restritos do que em zonas costeiras facilitando o processo (Parmenter et al., 2009).

Na região Nordeste do Brasil, o cultivo de *L. vannamei* tem sido uma importante fonte de renda, principalmente para micro e pequenos produtores e comunidades rurais

envolvidas (Marques et al., 2016). Inclusive, quando a atividade é praticada em zonas interiores, que além de modificar a economia regional, auxilia a reter a mão de obra local evitando as migrações humanas do interior para o litoral. Esses motivos revelam um importante fator de desenvolvimento socioeconômico atribuído a carcinicultura em águas interiores (FAO, 2012). Uma das características da aquicultura em geral é a independência do uso de áreas agricultáveis para sua prática, essa característica favorece a região Nordeste do Brasil pelo fato da baixa pluviosidade e a má distribuição das águas superficiais (características do clima semiárido), somadas a presença de solos e águas subterrâneas salinizadas (Barbosa et al., 2012) dificultarem os cultivos agrícolas convencionais. No entanto, o mesmo não acontece para o cultivo de *L. vannamei*, que pode ser realizado com sucesso em águas subterrâneas salinizadas, inclusive em regiões desérticas (Appelbaum et al., 2002; Samocha et al., 2002).

Águas marinhas são classificadas mundialmente por salinidade de acordo com o *Sistema Veneza*, podendo essa classificação ser utilizada também para zonar os organismos animais e vegetais habitantes de um estuário, por exemplo. Os limites de salinidade empregados (g L^{-1}) no sistema Veneza são: águas doces ou limnéticas ($<0,5$), oligohalinas ($0,5 - 5,0$), mesohalinas ($5,0 - 18,0$), polihalinas ($18,0 - 30,0$), euhalinas ($30,0 - 40,0$) e hiperhalinas ($>40,0$) (Venice System, 1958). Em cultivos de camarões marinhos, a terminologia “baixa salinidade” é aplicada para cultivos realizados em salinidades iguais ou inferiores a 10 g L^{-1} (Boyd & Thunjai, 2003). Diversos estudos avaliam os efeitos da baixa salinidade no crescimento do *L. vannamei*, no entanto, devido a inconsistência e a contradição de muitos resultados, essa relação não tem sido bem explicada (Liu et al., 2014). Essa observação tem desafiado a pesquisa, favorecendo a busca e avaliação de outros parâmetros de qualidade de água e seus efeitos na sobrevivência dos animais cultivados em baixa salinidade, sendo os parâmetros mais discutidos relacionados a composição iônica (Pessoa et al., 2016). Por ser um organismo essencialmente marinho, grande parcela da pesquisa relacionada a cultivos de *L. vannamei* em baixa salinidade, sugere que para o bom desenvolvimento dos animais, a composição iônica da água deve ser semelhante ao ambiente natural da espécie (Boyd et al., 2009; Roy et al., 2007). Esses mesmos fundamentos científicos indicam que independente da salinidade que é realizado o cultivo dos camarões, deve-se atentar para as concentrações individuais e relativas dos íons componentes, o maior destaque

encontrado nas pesquisas está relacionado aos íons majoritários, denominados dessa maneira por serem responsáveis pela quase totalidade da concentração dos sólidos totais dissolvidos em águas naturais (Boyd & Thunjai, 2003), sendo eles: cloreto (Cl^-), sódio (Na^+), sulfato (SO_4^{2-}), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+) e bicarbonato (HCO_3^-). As concentrações médias dos íons majoritários em águas superficiais de mares abertos, foi descrita por Goldberg (1963), sendo aceita nos dias atuais pela pequena variabilidade dos valores ao longo do tempo (Tabela 2).

Tabela 2 – Médias das concentrações em miligramas por litro dos sete íons majoritários encontrados em águas marinhas naturais segundo Goldberg (1963).

Íons	Concentrações (mg L^{-1})
Cloreto	19.000
Sódio	10.500
Sulfato	2.700
Magnésio	1.350
Cálcio	400
Potássio	380
Bicarbonato	142

A partir das concentrações individuais em mg L^{-1} dos cátions (íons de carga positiva) majoritários em águas marinhas naturais, foram determinadas as principais relações iônicas para cultivos de camarões marinhos, sendo estas a relação $\text{Na}^+:\text{K}^+$ de 27.6:1.0, $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$ de 3.4:1.0 e $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ de 0.9:1.0. Sendo convencionadas para a água do mar (mares abertos), a relação de 27:3:1:1 ($\text{Na}^+:\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}:\text{K}^+$) (Boyd, 2018), que diversos estudos sugerem ser a ideal para cultivos de camarões em águas interiores, sendo utilizada para adequar a composição destas ao ambiente natural da espécie, o mar (Boyd et al., 2009; Roy et al., 2007).

Águas marinhas possuem a maior riqueza e diversidade do reino mineral em solução, devido ao contínuo intemperismo e lixiviação dos elementos encontrados no continente (rochas, solo) pelo efeito das chuvas, e o consequente carreamento desses elementos para o mar através dos rios, por este motivo esses mesmos elementos

encontrados na terra (compilados na tabela periódica dos elementos) também são encontrados nos oceanos (Niencheski, 2015). Na água do mar juntamente com os íons majoritários, o brometo (Br^-), estrôncio (Sr^{2+}), fluoreto (F^-) e os íons derivados do ácido bórico (H_3BO_3) somam cerca de 99,99 % da concentração de íons dissolvidos, sendo considerados os principais constituintes. Esses constituintes possuem propriedades conservativas, ou seja, a concentração destes varia de acordo com a adição ou perda de água, mantendo as proporções praticamente constante nos oceanos. Os demais constituintes, 0,01% da concentração iônica na água marinha, são considerados elementos menores ou traço, subdivididos em: macronutrientes, micronutrientes (oligoelementos), elementos radioativos e elementos-traço não essenciais (Niencheski, 2015). As águas naturais em geral também possuem íons traço dissolvidos, e alguns deles são essenciais para todos os organismos vivos, principalmente os oligoelementos: Zinco (Zn^{2+}), Cobre (Cu^{2+}), Ferro (Fe^{2+}) e Manganês (Mn^{2+}), podendo a ausência e a escassez inibir o desenvolvimento dos organismos cultivados, ou o excesso ser letal por causar toxicidade (Boyd, 2015). Em alguns casos a exigência de sais marinhos naturais ou sais marinhos artificiais completos (com os elementos traço) é demonstrada em condições experimentais pelos bons resultados encontrados com a suplementação das águas com essas fontes (Kuhn et al., 2007; Sowers et al., 2005). Águas interiores, superficiais (rios, lagos, represas) ou subterrâneas, quando salinizadas, podem possuir concentrações e proporções iônicas bastante distintas das águas marinhas, mesmo em fontes localizadas próximas umas das outras (Boyd et al., 2009, 2002). Podendo estas, serem naturalmente adequadas para o cultivo ou suplementadas de acordo com a necessidade nos viveiros (Boyd et al., 2009, 2007; Mcnevin et al., 2004).

A suplementação dessas fontes de água pode ser realizada com o uso de sais específicos, preferencialmente os de fácil aquisição, custo reduzido e boa solubilidade, geralmente comercializados como fertilizantes agrícolas. As principais fontes dos cátions majoritários utilizadas são: Ca^{2+} : hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), gesso ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) e carbonato de cálcio (CaCO_3); K^+ : muriato de potássio (KCl) e sulfato de potássio (K_2SO_4); Mg^{2+} : cloreto de magnésio hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$) e sulfato de magnésio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$); Na^+ : sal de cozinha (NaCl) e bicarbonato de sódio (NaHCO_3) (Samocha et al., 2017).

O transporte de águas marinhas naturais também pode ser realizado para a elevação da salinidade e aporte de uma grande abundância de íons, no entanto, pode ser uma prática dispendiosa, devido ao elevado volume de água a ser transportado para a pouca quantidade de sais dissolvidos (3,5% do volume). Uma alternativa para essa prática é o uso de salmouras oriundas de tanques de evaporação da indústria salineira, que de preferência deve ser coletada antes da salinidade atingir cerca 250 g L^{-1} (25% do volume), onde as proporções iônicas da salmoura permanecem similares a água marinha natural (Boyd et al., 2002). O uso de salmouras já é uma prática utilizada há décadas na Tailândia para elevação da salinidade de viveiros de cultivo de camarões em águas interiores (Roy et al., 2010), no entanto, essa prática exige alguns cuidados, pois a composição iônica da salmoura muda de acordo com a fase de evaporação da água, onde o aumento da densidade da solução favorece a cristalização dos sais separadamente, de acordo com a solubilidade de cada um, esse processo é chamado de cristalização fracionada (Calliari & Castello, 2015), sendo necessária a análise prévia de composição iônica da salmoura para verificar corretamente as possíveis aplicações (Boyd et al., 2002). Sais marinhos artificiais completos também podem ser adquiridos no mercado da aquicultura, no entanto, muitos desse produtos são importados, restringindo o seu uso devido aos custos elevados na importação, ainda mais quando as salinidades desejadas para o cultivo são elevadas, dificultando ainda mais o retorno financeiro do empreendimento (Ray & Lotz, 2017). Em zonas interiores a configuração iônica da fonte de água a ser utilizada no cultivo de *L. vannamei* deve ser fator chave para a escolha da área de implantação do empreendimento, pelo fato de que toda suplementação/elevação de salinidade gera custo, podendo de acordo com a necessidade da fonte de água natural (dose de correção) inviabilizar a implantação da fazenda. Essa necessidade se torna mais evidente em sistemas semi-intensivos abertos, onde a necessidade de troca de água e a utilização de grandes volumes de água nos viveiros em relação a biomassa estocada (baixa densidade de estocagem), elevam a demanda por sais corretivos, devido a constante perda desses insumos para o ambiente durante as drenagens, e pelo fato da quantidade de sais a ser aplicada ser diretamente relacionada ao volume útil do viveiro. Além disso, o descarte de águas salinizadas gera impactos ambientais pela salinização do solo circunvizinho e do lençol freático através da infiltração (Braaten & Flaherty, 2001). Em sistemas de cultivo de espécies marinhas em viveiros convencionais, além da composição iônica da água, outros

fatores devem ser considerados para a seleção de áreas como as características do solo, relevo, tipo de vegetação e o acesso à terra (Boyd et al., 2009).

Dentro dos tanques de cultivo, a concentração dos sais dissolvidos pode mudar, por simples diluição através do aporte de água doce oriunda das chuvas (Boyd et al., 2002), pela precipitação de sais como o CaCO_3 quando ocorre o declínio nas concentrações de gás carbônico (CO_2) na água, neutralização da alcalinidade/ HCO_3^- em solos ácidos (Boyd et al., 2016), aporte de íons como Ca^{2+} , Na^+ e HCO_3^- pela adição de componentes alcalinizantes (Boyd & Thunjai, 2003), declínio das concentrações de Mg^{2+} e K^+ da água na troca catiônica com o solo natural e pela fixação do K^+ dentro das camadas intermediárias das argilas (Boyd et al., 2007; Boyd, 2018; Wudtisin & Boyd, 2011). A própria atividade metabólica dos camarões também pode interferir na composição iônica da água, um exemplo disso é a absorção do Ca^{2+} da água no processo de muda, já que o *L. vannamei* não possui reservas internas desse íon como outros crustáceos de água doce (McGraw & Scarpa, 2003), podendo haver o colapso do cultivo pela depleção de algum íon essencial sem a devida correção.

Em sistemas fechados com elevadas densidades de estocagem, o grande aporte de ração pode interferir na composição iônica da água, além disso, o reuso da água nesses sistemas durante vários ciclos, pode tornar escasso íons como o estrôncio (Sr^{2+}), devendo ser suplementado para não limitar a produção (Prangnell et al., 2016). A depleção de íons se torna mais agravada quando os cultivos são realizados em baixas salinidades, pela reduzida concentração dos mesmos, podendo alterar demasiadamente as relações iônicas, ainda mais quando são realizados em sistema de bioflocos, onde o conhecimento científico na área ainda é limitado (Esparza-Leal et al., 2016). Algumas características de sistemas intensivos e superintensivos, parecem ser adequadas para o cultivo de camarões marinhos em águas interiores, entre elas, a elevada densidade de estocagem, baixo consumo e a reutilização da água (Krummenauer et al., 2016), sendo estas características primordiais em áreas com escassez hídrica, por ser obrigatória a aplicação de tecnologias baseadas em reuso. Outra característica importante é a utilização de viveiros revestidos com geomembrana isolando as águas de cultivo do solo, essa medida reduz os custos com bombeamento por evitar as perdas de água por infiltração, a consequente contaminação salina do aquífero de água doce (Beltrame & Bonetti, 2007) e o acúmulo de nutrientes e resíduos orgânicos deteriorando a qualidade da água (Avnimelech & Ritvo, 2003).

A necessidade de otimizar o uso da área e da água (produtividade), além de mitigar os impactos ambientais da aquicultura, incentivaram o desenvolvimento de sistemas de cultivo fechados, com a mínima ou nenhuma troca de água e o reuso total desta. Dentre esses sistemas, destaca-se a tecnologia de bioflocos ou sistema BFT (Biofloc Technology System - BFT), que é baseado na manipulação da relação carbono: nitrogênio na água em 15-20C:1N, esta relação em um ambiente rico em oxigênio dissolvido favorece o desenvolvimento de bactérias heterotróficas, que convertem o nitrogênio amoniacal (N-AT) em biomassa, formando agregados de bactérias, fito e zooplâncton, chamados de bioflocos (Avnimelech, 1999; Ebeling et al., 2006). Os bioflocos agem como um biofiltro de alta eficiência, pela rápida transformação do nitrogênio amoniacal e carbono dissolvidos em proteína microbiana, além disso os bioflocos produzidos servem como suplemento alimentar para as espécies cultivadas (Wasielesky Jr. et al., 2006).

As principais fontes de nitrogênio da aquicultura são as excretas metabólicas dos animais cultivados e a decomposição bacteriana (bactérias amonificantes) das fezes, alimentos não consumidos e animais mortos. Esse nitrogênio (N-AT) é encontrado na água sob a forma de amônia total, que é a soma da amônia não ionizada (gás tóxico - NH_3) com o íon amônio (NH_4^+). Particularmente no sistema de bioflocos, o N-AT pode ser removido rapidamente da água através da atividade das bactérias heterotróficas, através do aporte de uma fonte de carbono orgânico de alta solubilidade (melaço de cana e dextrose) na água (Serra et al., 2015). No entanto, parte da amônia é utilizada na atividade de bactérias quimioautotróficas no processo de nitrificação em que ocorre a oxidação da amônia ao íon nitrito (NO_2^-) por bactérias amônia oxidantes (AOB) e em seguida ao íon nitrato (NO_3^-) por bactérias nitrito oxidantes (NOB). Durante o processo de nitrificação ocorre um dos principais gargalos encontrados em sistemas fechados da aquicultura, uma elevação exponencial na concentração do NO_2^- na água, gerando um pico (Bregnballe, 2015; Fugimura et al., 2015; Lara et al., 2012). Isso acontece durante a colonização da população das bactérias nitrificantes, conhecidas por terem uma taxa de crescimento populacional inferior em relação às bactérias heterotróficas, demandando mais tempo para sua estabilização (Ebeling et al., 2006). O incremento do NO_2^- é ocasionado por um desequilíbrio natural na população dos grupos bacterianos AOB e NOB, gerando uma produção de NO_2^- pelas bactérias AOB maior do que a assimilação do mesmo pelas bactérias NOB, que dependem de uma quantidade significativa do NO_2^-

para se estabelecerem. Após este período, as populações bacterianas entram em equilíbrio e em condições aeróbicas apenas o NO_3^- é acumulado.

O NO_2^- é tóxico para os organismos aquáticos em quaisquer condições, no entanto, a sua letalidade é potencializada em condições de baixa salinidade. A elevação da toxicidade do íon NO_2^- é relacionada às baixas concentrações do íon Cl^- encontradas em águas de baixa salinidade, pois ambos competem pelos mesmos transportadores de membrana nas brânquias dos animais durante o processo de osmorregulação, favorecendo o transporte involuntário do NO_2^- para a hemolinfa causando intoxicação nos animais (Ramirez-Rochin et al., 2016; Tomasso, 2012). Sendo assim, um dos principais fatores relacionados as mortandades em sistema BFT em baixa salinidade, ser consequência das elevadas concentrações de NO_2^- (Maicá et al., 2011). O íon NO_3^- também tem toxicidade potencializada para pós-larvas e juvenis de *L. vannamei* à medida que a salinidade é reduzida (Valencia-Castañeda et al., 2018, 2019), fator preocupante em sistemas intensivos e super intensivos nessas condições, devido ao acúmulo natural desse composto em condições aeróbicas entre os ciclos de cultivo, sendo recomendado o uso de mecanismos e manejos para remover ou imobilizar este íon antes do reuso da água em sistemas BFT de baixa salinidade (Alves Neto et al., 2019). As toxicidades dos compostos nitrogenados para *L. vannamei* em diferentes tamanhos e em diferentes sistemas de baixa salinidade estão dispostas nos anexos da tese (Tabela 18).

A manutenção de um sistema BFT eficiente quanto ao processo de nitrificação, depende de alguns fatores, sendo um dos principais a alcalinidade da água. A alcalinidade total da água se define como a soma de todos os compostos com características alcalinas na água (bases tituláveis) sendo os elementos mais abundantes os ânions HCO_3^- e o carbonato (CO_3^-) (Sá, 2012). A atividade das bactérias autotróficas, responsáveis pela nitrificação, consome quase o dobro da alcalinidade dos sistemas de aquacultura em relação às bactérias heterotróficas, para assimilar a mesma quantidade de nitrogênio amoniacal (Ebeling et al., 2006). Por esse motivo, é imprescindível a manutenção dos níveis de alcalinidade em valores altos, como uma reserva alcalina para o consumo das bactérias nitrificantes, e para promover o tamponamento da água diminuindo oscilações de pH. A manutenção da alcalinidade entre 150 e 300 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ é satisfatória tanto para o crescimento de *L. vannamei*, quanto para uma taxa de nitrificação adequada em sistema BFT (Furtado et al., 2015), sendo os alcalinizantes mais eficientes para o sistema

o hidróxido de cálcio – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e o bicarbonato de sódio – NaHCO_3 (Furtado et al., 2011). A salinidade da água também pode interferir no processo de nitrificação e estudos indicam que o aumento da salinidade da água utilizando cloreto de sódio (NaCl) em filtros biológicos submersos tem efeito negativo no processo de nitrificação da água, tanto para as bactérias AOB quanto as NOB, podendo as NOB serem mais afetadas, gerando uma nitrificação parcial e o consequente acúmulo do NO_2^- pela inibição do processo (Aslan & Simsek, 2012; Cortés-Lorenzo et al., 2015). No entanto, estudos avaliando a interferência das relações iônicas importantes como $\text{Na}^+:\text{K}^+$ e a sua interferência no processo de nitrificação ainda são escassos.

Uma das técnicas de manejo aplicadas para acelerar a estabilização das bactérias heterotróficas e nitrificantes no sistema BFT é o uso de inóculos bacterianos de um sistema preestabelecido, esse manejo favorece a rápida estabilização da nitrificação no novo sistema, diminuindo significativamente as concentrações médias de NAT e NO_2^- , reduzindo a amplitude dos picos desses compostos durante o ciclo de cultivo, ou até evitando-os com o reuso total da água (Krummenauer et al., 2014). No entanto, em novos empreendimentos, principalmente os realizados em águas de baixa salinidade, a ausência de inóculo leva a necessidade da formação prévia dos bioflocos antes do povoamento dos tanques, prevenindo os animais cultivados dos picos de NAT e NO_2^- , comumente ocasionados no sistema, sendo o sal cloreto de amônio (NH_4Cl) uma das fontes de nitrogênio inorgânico utilizadas para esse processo (Gaona et al., 2014; Morais et al., 2020, 2019). O aumento da biomassa bacteriana no sistema BFT é refletida na concentração de sólidos suspensos, que deve ser mantida abaixo de 500 mg L^{-1} , através da remoção destes sólidos em tanques de sedimentação, reduzindo a demanda de oxigênio do sistema (Gaona et al., 2011).

Comumente o termo “balanço iônico da água” em cultivos de camarões, é utilizado para definir a conferência/adequação das águas, para as relações iônicas encontradas na água do mar natural (Boyd, 2018). Entretanto, o termo balanço iônico também é usado em hidroquímica ao se referir ao “balanço de cargas iônicas” que se refere a um princípio químico. O princípio da neutralidade elétrica ou lei da eletroneutralidade, preceitua que em qualquer solução aquosa, o peso equivalente dos íons de cargas positivas (cátions) deve ser igual ao dos íons de cargas negativas (ânions), ou seja, toda amostra de água é balanceada ionicamente. Em análises de composição

iônica, uma das formas de checar a precisão dos métodos empregados ou da expertise do analista é a determinação do erro de balanço das cargas, ou erro prático (EP) (Custodio & Llamas, 1983), através da expressão a seguir:

$$EP(\%) = \frac{|\sum \hat{Anions} (\frac{meq}{L}) - \sum \hat{Cations} (\frac{meq}{L})|}{(\sum \hat{Anions} (\frac{meq}{L}) + \sum \hat{Cations} (\frac{meq}{L}))} \times 200$$

Em uma análise de água perfeita, baseando-se no princípio da eletroneutralidade, a determinação de todos os íons existentes na água geraria um erro prático igual a zero, no entanto, com apenas a determinação dos íons majoritários para fins de aquicultura, os erros de até 15% são considerados aceitáveis (Boyd, 2002). Análises de água precisas são imprescindíveis para a realização de compensações iônicas em águas de cultivo, pois concentrações erradas podem acarretar mortalidades por uma correção incorreta, além de custos desnecessários com aquisição de sais. De outro lado, a avaliação correta da composição iônica da água é indispensável para se avaliar as adequações ou restrições do uso desse recurso, seja na aquicultura em geral, irrigação, indústria, consumo humano ou animal (Silva et al., 2011).

A água subterrânea destinada a usos múltiplos na região Nordeste é limitada, principalmente pela elevada salinidade, ocasionada pelo longo período de exposição da água a rochas cristalinas situadas no subsolo. A adequação das águas salinizadas da região para o consumo humano, é realizada principalmente pelo método de osmose reversa, no entanto, esse método gera um rejeito salino passível de contaminação do solo, devendo-se buscar alternativas para seu uso em aquicultura (Soares et al., 2006). Os bons resultados de desempenho zootécnico do *L. vannamei* cultivado em zonas interiores, favoreceram a exploração de águas subterrâneas e superficiais de baixa salinidade na região semiárida do Brasil (Pessôa et al., 2016). Dessa forma, com o intuito de otimizar os resultados de produção e expandir de forma ordenada e sustentável a carcinicultura de águas interiores em zonas semiáridas do Brasil, no presente estudo foram desenvolvidas metodologias acessíveis de correção iônica, manejo de nitrogenados e reuso de água, aplicáveis em sistemas de cultivos intensivos, como o sistema BFT.

OBJETIVO

Objetivo geral

Aplicar e avaliar metodologias para a otimização do cultivo de *Litopenaeus vannamei* na fase de berçário em águas oligohalinas em meio dominado por bioflocos.

Objetivos específicos

- Avaliar *in loco* as condições ambientais dos cultivos de *L. vannamei* em águas oligohalinas interiores (AOI) no Nordeste brasileiro;
- Determinar uma configuração iônica comum das AOI utilizadas para o cultivo da espécie no Brasil;
- Avaliar através da composição iônica das propriedades estudadas a normatização nacional para a classificação dos corpos d'água quanto a salinidade e adequação dos usos;
- Avaliar os efeitos da adição de águas marinhas naturais ou concentradas em AOI no desempenho zootécnico de *L. vannamei* em fase de berçário em sistema BFT;
- Aplicar metodologias para evitar concentrações elevadas de NO_2^- em sistema de bioflocos, na fase de berçário de *L. vannamei* em AOI;
- Avaliar os efeitos do tipo e da concentração do alcalinizante na configuração iônica e no desempenho zootécnico na fase de berçário de *L. vannamei* em AOI.

REFERÊNCIAS

- Alves Neto, I., Brandão, H., Furtado, P., Wasielesky Jr., W., 2019. Acute toxicity of nitrate in *Litopenaeus vannamei* juveniles at low salinity levels. *C. Rural* 49, 1–9.
- Appelbaum, S., Garada, J., Mishra, J.K., 2002. Growth and survival of the white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared intensively in the brackish water of the Israeli Negev desert. *Isr. J. Aquac. - Bamidgeh* 54, 41–48.
- Araneda, M., Pérez, E.P., Gasca-Leyva, E., 2008. White shrimp *Penaeus vannamei* culture in freshwater at three densities: condition state based on length and weight. *Aquaculture*. 283, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.030>
- Aruna, S., Felix, S., 2017. The effect of ionic concentration of low saline waters on growth characteristics of *Penaeus vannamei*. *Int. J. Fish. Aquat. Stud.* 5, 73–76.
- Aslan, S., Simsek, E., 2012. Influence of salinity on partial nitrification in a submerged biofilter. *Bioresour. Technol.* 118, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.057>
- Avnimelech, Y., 1999. Carbon / nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176, 227–235.
- Avnimelech, Y., Ritvo, G., 2003. Shrimp and fish pond soils: Processes and management. *Aquaculture* 220, 549–567. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00641-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00641-5)
- Barbosa, J.E.L., Medeiros, E.S.F., Brasil, J., Cordeiro, R.S., Crispim, M.C.B., Silva, G.H.G., 2012. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnol. Bras.* 24, 103–118. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000030>
- Beltrame, E. & Bonetti, J., 2007. Seleção de sítios para o cultivo de camarões marinhos em Santa Catarina com apoio de um sistema de informação geográfica, in: Barroso, G.F., Poersch, L.H.S., Cavalli, R.O. (Ed.), *Sistemas de cultivos aquícolas na zona costeira do Brasil: recursos, tecnologias, aspectos ambientais e socioeconômicos*, Museu Nacional, Rio de Janeiro, pp. 106-118.
- Boyd, C.A., Boyd, C.E., Rouse, D.B., 2007. Potassium budget for inland, saline water shrimp ponds in Alabama. *Aquac. Eng.* 36, 45–50. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.06.002>

- Boyd, C.A., Chaney, P.L., Boyd, C.E., Rouse, D.B., 2009. Distribution of ground water suitable for use in saline-water aquaculture in Central and West-central Alabama. *J. Appl. Aquac.* 21, 228–240. <https://doi.org/10.1080/10454430903114048>
- Boyd, C.E., 1989. Water quality management and aeration in shrimp farming. Fisheries and Allied Aquacultures Departmental Series No. 2, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, AL, USA, 83 pp.
- Boyd, C.E., 2002. Anion-cation balance, cross-check for reliability of ion analyses. *Glob. Aquac. Advocate.* 74–75.
- Boyd, C.E., 2015. *Water Quality - An Introduction*, 2 ed., Springer International Publishing. Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4>
- Boyd, C.E., 2018. Revisiting ionic imbalance in low-salinity shrimp aquaculture. *Glob. Aquac. Advocate* 9–12.
- Boyd, C.E., Thunjai, T., 2003. Concentrations of major ions in waters of inland shrimp farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States. *J. World Aquac. Soc.* 34, 524–532. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2003.tb00092.x>
- Boyd, C.E., Thunjai, T., Boonyaratpalin, M., 2002. Dissolved salts in water for inland, low-salinity shrimp culture. *Glob. Aquac. Advocate.* 40–45.
- Boyd, C.E., Tucker, C.S., Somridhivej, B., 2016. Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. *J. World Aquac. Soc.* 47, 6–41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12241>
- Braaten, R.O., Flaherty, M., 2001. Salt balances of inland shrimp ponds in Thailand : implications for land and water salinization. *Environ. Conserv.* 28, 357–367. <https://doi.org/10.1017/S0376892901000388>
- Bray, W.A., Lawrence, A.L., Leung-Trujillo, J.R., 1994. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHHN virus and salinity. *Aquaculture.* 122, 133–146. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90505-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90505-3)
- Bregnballe, J., 2015. *A Guide to Recirculation Aquaculture*, FAO/Eurofish. FAO, Roma.
- Calliari, L.J. & Castello, X., 2015. Recursos marinhos não-vivos, in: Castello, J.P. & Krug, L.C. (Ed.), *Introdução às ciências do mar, Textos*, Pelotas, pp. 446-499.

- Castille Jr, F.L., Lawrence, A.L., 1981. The effect of salinity on the osmotic, sodium and chloride concentrations in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus *Penaeus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 68A, 75–80. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(81\)90320-0](https://doi.org/10.1016/0300-9629(81)90320-0)
- Chong-Robles, J., Charmantier, G., Boulo, V., Lizárraga-Valdéz, J., Enríquez-Paredes, L.M., Giffard-Mena, I., 2014. Osmoregulation pattern and salinity tolerance of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) during post-embryonic development. *Aquaculture* 422–423, 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.11.034>
- Cortés-Lorenzo, C., Rodríguez-Díaz, M., Sipkema, D., Juárez-Jiménez, B., Rodelas, B., Smidt, H., González-López, J., 2015. Effect of salinity on nitrification efficiency and structure of ammonia-oxidizing bacterial communities in a submerged fixed bed bioreactor. *Chem. Eng. J.* 266, 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.12.083>
- Custodio, E., Llamas, M.R., 1983. *Hidrología Subterránea.*, in: Editora Omega. Barcelona, Espanha.
- Cuvin-Aralar, M.L.A., Lazartigue, A.G., Aralar, E. V, 2009. Cage culture of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) at different stocking densities in a shallow eutrophic lake. *Aquac. Res.* 40, 181–187. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02081.x>
- Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic control of ammonia-nitrogen in aquaculture production systems. *Aquaculture* 257, 346–358.
- Esparza-Leal, H.M., Xavier, J.A.A, Wasielesky Jr., W., 2016. Performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in indoor nursery tanks under biofloc conditions at different salinities and zero-water exchange. *Aquac. Int.* 24, 1435–1447. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0001-5>
- FAO, 2012. Consecuencias del cambio climático para la pesca y la acuicultura, visión de conjunto del estado actual de los conocimientos científicos, FAO documento técnico de pesca y acuicultura 530. FAO, Roma.

- FAO, 2019. Fisheries Global Information System (FIGIS), Fisheries and Aquaculture Information and Statistics Branch, As estatísticas relatadas nesta seção foram calculadas através de dados do setor de estatísticas e informações online da FAO do Departamento de Pesca e Aquicultura, acessadas em setembro de 2019. <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>
- Fugimura, M.M.S., Flor, H.R., Melo, E.P., Costa, T.V., Wasielesky Jr., W., Oshiro, L.M.Y., 2015. Brewery residues as a source of organic carbon in *Litopenaeus schmitti* white shrimp farms with BFT systems. *Aquac. Int.* 23, 509–522. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9832-0>
- Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky Jr., W., 2015. The effect of different alkalinity levels on *Litopenaeus vannamei* reared with biofloc technology (BFT). *Aquac. Int.* 23, 345–358. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9819-x>
- Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky Jr., W., 2011. Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bioflocs technology (BFT) systems. *Aquaculture* 321(1–2), 130–135.
- Gaona, C., Krummenauer, D., Freitas, A., Miranda, M.H.C., Poersch, L., Wasielesky Jr., W., 2014. Ammonia addition enhances microbial flocs in nursery phase for Pacific White Shrimp. *Glob. Aquac. Advocate* 66–68.
- Gaona, C., Poersch, L., Krummenauer, D., Foes, G., Wasielesky Jr., W., 2011. The effect of solids removal on water quality, growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc technology culture system. *Int. J. Recirc. Aquacult.* 11,54–73.
- Godínez-Siordia, D.E., Chávez-Medina, M.C., Gómez-Jiménez, S., 2011. Acuicultura epicontinental del camarón blanco del Pacífico, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Trop. Subtrop. Agroecol.* 14 (1), 55–62.
- Goldberg, E.D., 1963. The oceans as a chemical system, in: Hill, M.N. (Ed.), *The Composition of Sea-Water: Comparative and Descriptive Oceanography. The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas*, vol. 2. Interscience Publisher, Ney York, pp. 3-25.

- Jaime-Ceballos, B.J., Cabrera-Machado, J.E., Vega-Villasante, F., 2012. Cultivo tierra adentro de camarón marino *Litopenaeus vannamei*: Evaluación del agua de dos granjas acuícolas en Cuba. Rev. Electron. Vet. 13, 1–17.
- Jory, D.E., 2017. Growth away from the coast: Examining inland shrimp farming Considerations for biosecurity, cost and environmental responsibility. Glob. Aquac. Advocate.
- Krummenauer, D., Poersch, L.H., Fóes, G.K., Lara, G.R., Wasielesky Jr., W., 2016. Survival and growth of *Litopenaeus vannamei* reared in BFT System under different water depths. Aquaculture 465, 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.002>
- Krummenauer, D., Samocha, T.M., Poersch, L.H.S., Lara, G.R., Wasielesky Jr., W., 2014. The reuse of water on the culture of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT system. J. World Aquac. Soc. 45, 3–14. <https://doi.org/10.1111/jwas.12093>
- Kuhn, D.D., Boardman, G.D., Craig, S.R., Flick Jr, G.J., McLean, E., 2007. Evaluation of tilapia effluent with ion supplementation for marine shrimp production in a recirculating aquaculture system. J. World Aquac. Soc. 38, 74–84.
- Lara, G.R., Krummenauer, D., Poersch, L.H.S., Wasielesky Jr., W., 2012. Sistema de bioflocos - Processos de assimilação e remoção do nitrogênio. Panor. da Aquicultura 32–36.
- Liu, H., Zhang, X., Tan, B., Lin, Y., Chi, S., Dong, X., Yang, Q., 2014. Effect of dietary potassium on growth, nitrogen metabolism, osmoregulation and immunity of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared in low salinity seawater. J. Ocean Univ. China. 13, 311–320. <https://doi.org/10.1007/s11802-014-2118-3>
- Maicá, P.F., Borba, M.R., Wasielesky Jr., W., 2011. Effect of low salinity on microbial floc composition and performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles reared in a zero-water-exchange super-intensive system. Aquac. Res. 43(3), 361–370. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02838.x>
- Marques, A.R., Ferreira Neto, J.S., Ferreira, F., 2016. Hierarchical clustering and partitioning to characterize shrimp grow-out farms in Northeast Brazil. Aquaculture 463, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.05.012>

- McGraw, W.J., Scarpa, J., 2003. Minimum environmental potassium for survival of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in freshwater. *J. Shellfish Res.* 22, 263–267.
- Mcnevin, A., Boyd, C.E., Silapajarn, O., Silapajarn, K., 2004. Ionic supplementation of pond waters for inland culture of marine shrimp. *J. W. Aquac. Soc.* 35, 460–467.
- Miranda, I., Valles, J.L., Sánchez, R., Álvarez, Z., 2010. Cultivo del camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en agua dulce. *Rev. Científ.* 20, 339–346.
- Morais, A.P., Abreu, P.C., Wasielesky Jr., W., Krummenauer, D., 2019. Importance of aeration intensity for nitrification in biofilms in intensive biofloc systems. *Glob. Aquac. Advocate*.
- Morais, A.P., Abreu, P.C., Wasielesky Jr., W., Krummenauer, D., 2020. Effect of aeration intensity on the biofilm nitrification process during the production of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in Biofloc and clear water systems. *Aquaculture* 514, 734516 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734516>
- Niencheski, L.F.H., 2015. Propriedades químicas da água de mar, in: Castello, J.P. & Krug, L.C. (Ed.), *Introdução às ciências do mar, Textos, Pelotas*, pp. 140-171.
- Parmenter, K.J., Bisesi Jr, 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. *N. Am. J. Aquac.* 71, 134–137.
- Pessôa, M.N.C., Vidal, J.M.A., Silva, U.L., Mendes, P.P., 2016. Marine shrimp cultivated at different densities and feeding regimens in oligohaline waters. *Rev. Caatinga* 29, 700–708.
- Ponce-Palafox, J., Martinez-Palacios, C.A., Ross, L.G., 1997. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. *Aquaculture* 157, 107–115. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00148-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00148-8)

- Prangnell, D.I., Castro, L.F., Ali, A.S., Browdy, C.L., Zimba, P. V., Laramore, S.E., Samocha, T.M., 2016. Some limiting factors in superintensive production of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in no-water-exchange, biofloc-dominated systems. J. World Aquac. Soc. 47, 396–413. <https://doi.org/10.1111/jwas.12275>
- Ramirez-Rochin, J., Frias-Espericueta, M.G., Fierro-Sanudo, J.F., Alarcon-Silvas, S.G., Fregoso-Lopez, M.G., Paez-Osuna, F., 2016. Acute toxicity of nitrite on white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles in low-salinity water. Aquac. Res. 48, 1–7. <https://doi.org/10.1111/are.13069>
- Ray, A.J., Lotz, J.M., 2017. Comparing salinities of 10, 20, and 30‰ in intensive, commercial-scale biofloc shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production systems. Aquaculture 476, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.03.047>
- Romano, N., Zeng, C., 2012. Osmoregulation in decapod crustaceans: Implications to aquaculture productivity, methods for potential improvement and interactions with elevated ammonia exposure. Aquaculture 334–337, 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.12.035>
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P., Boyd, C.A., Pine, H.J., Boyd, C.E., 2010. Shrimp culture in inland low salinity waters. Rev. Aquac. 2, 191–208. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01036.x>
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P., Henry, R.P., 2007. Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth, and respiration of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. Aquaculture 262, 461–469. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.011>
- Sá, M.V.C., 2012. Limnocultura: Limnologia para Aquicultura. Edições UFC, Fortaleza.
- Samocha, T.M., Hamper, L., Emberson, C.R., Davis, D.A., McIntosh, D., Lawrence, A.L., Van Wyk, P.M., 2002. Review of some recent developments in sustainable shrimp farming practices in Texas, Arizona, and Florida. J. Appl. Aquac. 12, 1–42. https://doi.org/10.1300/J028v12n01_01

- Samocha, T. M., Lawrence, A. L., Collins, C. R., Emberson, C. R., Harvin, J. L., & Van Wyk, P. M., 2001. Development of integrated, environmentally sound, inland shrimp production technologies for *Litopenaeus vannamei*. In C. L. Browdy, & D. Jory (Eds.), The new wave: Proceedings of the special session on sustainable shrimp farming. (pp. 64-75). Baton Rouge, LA: World Aquaculture Society
- 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 the production of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, World Aquaculture Society.
- Serra, F. P., Gaona, C.A.P., Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky Jr., W., 2015. Use of different carbon sources for the biofloc system adopted during the nursery and grow-out culture of *Litopenaeus vannamei*. *Aquac. Int.* 23, 1325–1339. <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9887-6>
- Silva, G.M.F., Celligoi, A., Pinese, J.P.P., 2011. Análise das águas dos poços de abastecimento público na bacia do rio Pirapó através dos diagramas de Piper e Stiff. *Rev. Geogr.* 20, 115–128.
- Soares, T.M., Silva, I.J.O., Duarte, S.N., Silva, Ê.F.F., 2006. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 10, 730–737. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300028>
- Sowers, A.D., Gatlin, D.M., Young, S.P., Isely, J.J., Browdy, C.L., Tomasso, J.R., 2005. Responses of *Litopenaeus vannamei* (Boone) in water containing low concentrations of total dissolved solids. *Aquac. Res.* 819–823. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01270.x>
- Tomasso, J.R., 2012. Environmental nitrite and aquaculture: A perspective. *Aquac. Int.* 20, 1107–1116. <https://doi.org/10.1007/s10499-012-9532-6>
- Valencia-Castañeda, G., Frías-Espericueta, M.G., Vanegas-Pérez, R.C., Chávez-Sánchez, M.C., Páez-Osuna, F., 2019. Toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to *Litopenaeus vannamei* juveniles in low-salinity water in single and ternary exposure experiments and their environmental implications. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 70. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.05.002>

- Valencia-Castañeda, G., Frías-Espicueta, M.G., Vanegas-Pérez, R.C., Pérez-Ramírez, J.A., Chávez-Sánchez, M.C., Páez-Osuna, F., 2018. Acute toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to shrimp *Litopenaeus vannamei* postlarvae in low-salinity water. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 101, 229–234. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2355-z>
- Venice System, 1958. The Venice System for the classification of marine waters according to salinity. Limnol. Oceanogr. 3, 346–347. <https://doi.org/10.4319/lo.1958.3.3.0346>
- Wasielesky Jr., W., Atwood, H.L., Stokes, A., Browdy, C.L., 2006. Effect of natural production in a zero-exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture 258, 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.030>
- Wudtisin, I., Boyd, C.E., 2011. Possible potassium and magnesium limitations for shrimp survival and production in low-salinity, pond waters in Thailand. J. World Aquac. Soc. 42, 766–777.

CAPÍTULO II

Produção do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em águas continentais no Nordeste do Brasil: avaliação da composição iônica da água como ferramenta para o desenvolvimento sustentável da atividade

Plácido S. Moura*, Plínio S. Furtado, Juan Rafael Buitrago Ramíres, Wilson Wasielesky Jr., Luís Poersch

Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Rua do Hotel, nº 2, Cassino, Rio Grande, RS, Brasil.
CEP: 96210-030

*Autor correspondente: e-mail: placidopsm@yahoo.com.br

Capítulo submetido a revista Aquaculture Reports

RESUMO

A produção *L. vannamei* em águas interiores no Brasil está concentrada na região Nordeste, sendo uma importante atividade de desenvolvimento regional, no entanto, o recurso hídrico na região é escasso, devendo as análises de composição iônica serem aplicadas para balizar o gerenciamento desse recurso e para a escolha de áreas para a carcinocultura, baseando-se nos requerimentos iônicos da espécie. Os objetivos do trabalho foram avaliar as características da água e da produção de *L. vannamei* em regiões interiores no Nordeste brasileiro, no intuito de direcionar a prospecção de novas áreas. A coleta de dados foi realizada nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, totalizando 28 fazendas. As amostras de água foram classificadas por salinidade segundo o Sistema Veneza em águas doces, oligohalinas e mesohalinas e as composições iônicas e dados produtivos das propriedades foram comparados. Através da salinidade, condutividade elétrica e composição iônica, foram avaliados os usos da água para irrigação e consumo humano. Diferentes métodos de determinação de salinidade foram comparados para a avaliação da precisão dos mesmos. Os resultados revelaram que a maioria das propriedades foram fornecidas com águas oligohalinas e mesohalinas de rios ou poços, onde 78% delas foram consideradas impróprias para irrigação. A área média dos viveiros foi de $1,30 \pm 1,08$ ha com áreas totais de produção entre 1 e 100 ha. Foram encontradas alcalinidades e durezas totais da água adequadas para a carcinocultura na maioria das propriedades investigadas, sendo essa uma característica de regiões semiáridas, essencial para o desenvolvimento da atividade na região, visto que, elevadas concentrações de dureza podem suprir a carência de sais marinhos em baixas salinidades. As amostras quando comparadas a água do mar diluída, demonstram que o Na^+ e SO_4^{2-} , estavam em menor proporção (%) nas águas interiores, enquanto que o Mg^{2+} , Ca^{2+} e HCO_3^- estavam em maior proporção, independente da classe de salinidade. As relações iônicas, $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$ e $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ estavam abaixo das consideradas ideais em todas as classes, enquanto que a $\text{Na}^+:\text{K}^+$ nas águas oligohalinas estavam em média adequadas para a espécie. Águas oligohalinas e mesohalinas são mais favoráveis a carcinocultura, por possuírem menos usos, sem tratamento prévio. Além disso, essas águas possuem alcalinidades e durezas totais mais próximas das ideais para o desenvolvimento de *L. vannamei*, podendo nelas serem alcançadas maiores produtividades.

Palavras chave: composição iônica, salinidade, águas interiores, semiárido.

ABSTRACT

The production of *L. vannamei* in inland waters in Brazil is concentrated in the Northeast region, being an important activity of regional development, however the water resource in the region is scarce, and the analyses of ionic composition should be applied to guide the management of this resource and to the choice of areas for shrimp culture, based on the ionic requirements of the species. The objectives of the work were to evaluate the characteristics of water and production of *L. vannamei* in inland regions in Brazilian Northeast, in order to direct the prospection of new areas. Data collection was carried out in the states of Ceará, Rio Grande do Norte and Paraíba, totaling 28 farms. The water samples were classified by salinity according to the Venice System, in freshwater, oligohaline and mesohaline and the ionic compositions and the productive data of the properties were compared. Through salinity, electrical conductivity and ionic composition, the uses of water for irrigation and human consumption were evaluated. Different methods of determining salinity were compared for the evaluation of their accuracy. The results revealed that most properties were supplied with oligohaline and mesohaline waters from rivers or wells, where 78% of them were considered unsuitable for irrigation. The average ponds area was 1.30 ± 1.08 ha with total production areas between 1 and 100 ha. Alkalinities and total hardness of waters suitable for shrimp culture were found in most of the properties investigated, this being a characteristic of semiarid regions, essential for the development of the activity in the region, since high concentrations of hardness can supply the lack of marine salts at low salinities. The samples when compared to diluted sea water, show that Na^+ and SO_4^{2-} concentrations, were in a lower proportion (%) in inland waters, while Mg^{2+} , Ca^{2+} and HCO_3^- were in a higher proportion, independent of the salinity class. The ionic ratios, $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$ and $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ were below those considered ideal in all salinity classes, while $\text{Na}^+:\text{K}^+$ in oligohaline waters were on average adequate for the species. Oligohaline and mesohaline waters are more suitable to shrimp culture, because they have less uses, without previous treatment. Moreover, these waters have alkalinities and total hardness closer to the ideals for the development of *L. vannamei*, and greater productivity can be achieved in them.

Keywords: ionic composition, salinity, inland waters, semiarid region.

1. INTRODUÇÃO

O uso de águas interiores para a carcinocultura, é uma prática que tem se desenvolvido mundialmente desde os anos 90, principalmente com o cultivo do camarão branco do Pacífico, *Litopenaeus vannamei* (Roy et al., 2010). Ainda que uma espécie marinha, o *L. vannamei* pode crescer em salinidades abaixo de 0,5 após aclimação (Araneda et al., 2008; Cuvin-Aralar et al., 2009). Por essa característica, a espécie está categorizada nas estatísticas de produção da FAO, tanto como aquacultura marinha e costeira, quanto aquacultura interior de crustáceos (FAO, 2018). No Brasil no ano de 2011, 345 propriedades, 28% do total, já operavam com a utilização de águas de poços, rios e açudes para o cultivo da espécie (ABCC, 2013). No estado do Ceará, localizado na região Nordeste, onde se concentra grande parte da produção brasileira, o número de propriedades utilizando águas interiores saltou de 76 para 409 entre 2011 e 2015/2016, superando em número as fazendas que cultivam em águas estuarinas e oceânicas (ABCC 2017a, 2017b, 2013). Essa elevação ocorreu principalmente pela elevada exploração de áreas a montante do estuário do Rio Jaguaribe, onde estão a maior parte das fazendas do estado, destacando-se entre essas áreas o município de Jaguaruana - CE, localizado a aproximadamente 30 km do mar em linha reta, o qual no ano de 2016 alcançou a vice liderança em produção nacional de *L. vannamei* (IBGE, 2017).

Águas superficiais (rios, lagoas, represas etc.) em geral possuem mais usos do que outras fontes, e pela demanda natural, são mais escassas para as atividades humanas. A utilidade da água depende diretamente das características desta, sendo necessária para a sua caracterização a utilização de métodos analíticos, que ao serem considerados pelos órgãos governamentais modernos auxiliam a diminuir as disputas pelo uso da água, protegem os ecossistemas aquáticos e a saúde pública (Boyd, 2015). Assim como para as águas superficiais, a caracterização das águas subterrâneas, também são essenciais para as restrições do seu uso e a correta adequação dos fins, sejam eles para consumo humano, animal, irrigação, indústria ou comércio (Silva et al., 2011).

Os desafios para a conservação dos recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas são maiores, pois além do déficit hídrico característico dessas regiões, elas comportam um quinto da população mundial (Galbally et al., 2010), o que torna a pressão pelo recurso hídrico para as atividades humanas maior. No Brasil, a região semiárida está concentrada na região Nordeste e cobre 11% do território nacional, sendo considerada a

região semiárida mais populosa do mundo (Barbosa et al., 2012). Além da escassez de recursos hídricos superficiais na região Nordeste, é comum a ocorrência de águas subterrâneas salinizadas (Soares et al., 2006), que não são úteis para usos domésticos, municipais e na agricultura tradicional, o que limita a investigação do volume potencial desse tipo de recurso (Boyd et al., 2009).

A composição química de águas superficiais e subterrâneas pode variar bastante, mesmo em fontes de água localizadas próximas umas das outras, isso basicamente não acontece com águas marinhas que apresentam composições praticamente constantes (Boyd et al., 2009; Boyd & Thunjai, 2003; Saoud et al., 2003). Um dos parâmetros mais limitantes para o uso da água é a salinidade, que é definida como a massa em gramas de substâncias dissolvidas, contidas em um quilograma de água após a total evaporação (Niencheski, 2015). A legislação brasileira, na resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, define três classes de salinidade das águas: doces ($\leq 0,5$), salobras ($0,5 - 30,0$) e salinas ($\geq 30,0$), todas elas contemplando o uso dessas águas para aquicultura (CONAMA, 2011). Outra classificação utilizada mundialmente é o Sistema Veneza “The Venice System”, adotado e recomendado para a aplicação universal, possuindo os limites de salinidade das águas como: doces ou limnéticas ($<0,5$), oligohalinas ($0,5 - 5,0$), mesohalinas ($5,0 - 18,0$), polihalinas ($18,0-30,0$), euhalinas ($30,0-40,0$) e hiperhalinas ($>40,0$) (Venice System, 1958), sendo amplamente utilizado em diversas pesquisas (Bleich et al., 2011; Chainho et al., 2007; Greenwood, 2007). No Sistema Veneza, o termo “salobro” foi evitado pelo significado ambíguo, e o termo “mixohalino” foi proposto para classificar águas marinhas entre 0,5 e 30,0 de salinidade (Venice System, 1958).

O conhecimento da salinidade da fonte de água é imprescindível para os interessados em usar esse recurso para a aquicultura (Boyd et al., 2009), já que esse é um dos fatores que mais influencia o status fisiológico dos animais aquáticos (Chen et al., 2014). Em mares abertos, as águas possuem salinidade média, em torno 34,5g (34.472 mg) de sais dissolvidos em um litro ou quilograma de água marinha. Esses sais são compostos principalmente (99,7%) de sete íons chamados de íons majoritários, sendo eles por ordem de abundância: cloreto (Cl^-), sódio (Na^+), sulfato (SO_4^{2-}), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+) e bicarbonato (HCO_3^-), assim como a salinidade do mar a

concentração individual dos íons componentes dela também varia muito pouco entre os oceanos (Niencheski, 2015; Goldberg, 1963). Além da salinidade, os fundamentos científicos sugerem que para um cultivo de sucesso de *L. vannamei* deve-se atentar para as concentrações individuais e relativas dos íons majoritários nas águas de cultivo, os quais devem se apresentar em proporções definidas para facilitar os processos de osmorregulação dos camarões. Geralmente, espera-se que as proporções ideais desses íons para o cultivo de camarões marinhos sejam as mesmas encontradas na água do mar natural (Boyd et al., 2009; Roy et al., 2010). No entanto, mesmo mantendo as proporções, concentrações mínimas de alguns íons são necessárias para o desenvolvimento de *L. vannamei*, entre eles o HCO_3^- que deve estar acima de 75 mg L^{-1} (Davis et al., 2004; Miranda et al., 2010). Dessa forma, fisiologicamente a composição de sólidos dissolvidos na água é mais importante do que o valor da salinidade bruta no referente à osmorregulação e o desenvolvimento de carapaça (Davis et al., 2004; Samocha et al., 1998). Estes motivos levam a crer que a composição iônica da fonte de água em zonas interiores, deve ser previamente considerada durante a seleção de áreas para aquacultura de organismos de água salgada (Boyd et al., 2009).

Os camarões são um dos organismos aquáticos mais valiosos do mercado mundial (FAO, 2018), podendo o seu cultivo em águas interiores ser fator de desenvolvimento regional a exemplo de países como China, Equador, EUA, Tailândia e Vietnã (Roy et al., 2010). No Brasil, a região de maior produção de camarões também é a mais miserável, problema esse diretamente associado a políticas públicas de corrupção e principalmente a escassez de água de qualidade (Soares et al., 2006). Esses motivos levam a crer que o desenvolvimento da aquacultura seria altamente benéfico para o desenvolvimento regiões economicamente deprimidas (Boyd et al., 2009), a exemplo de diversas pesquisas e iniciativas assistenciais a produtores realizadas no estado do Alabama nos EUA, para o desenvolvimento da aquacultura na região (Boyd et al., 2009, 2007b, 2007a; Davis et al., 2005; Roy et al., 2012, 2009). O objetivo do presente trabalho foi gerar informações sobre a composição da água já utilizada em carcinoculturas comerciais em águas interiores no Nordeste brasileiro, e assim, auxiliar na seleção de regiões potenciais para a expansão da atividade de forma ordenada e sustentável. Para tal, foram comparadas as concentrações e relações iônicas das amostras com a da água do mar natural, proposta uma classificação mais precisa das águas quanto a salinidade, verificada a sustentabilidade das águas quanto

aos usos através da composição iônica e comparados os dados produtivos e estruturais dos empreendimentos de acordo com as classes de salinidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e coleta de dados

O estudo foi desenvolvido em outubro de 2016 através da avaliação da composição físico e química da água, da estrutura e dos resultados de produção de 28 fazendas de cultivo de *L. vannamei* em zonas interiores, distribuídas na região Nordeste do Brasil nos estados Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN) e Paraíba (PB), onde se concentram a grande maioria das propriedades que utilizam águas interiores (Figura 1). As amostras de água foram coletadas em garrafas plásticas de 1000 mL diretamente da principal fonte de abastecimento (rio, açude ou poço) e da superfície de um dos viveiros de cultivo de cada propriedade. Imediatamente após a coleta, as amostras foram acondicionadas em caixa isotérmica resfriada com gelo durante o transporte para o laboratório, onde permaneceram em geladeira a 6°C até a realização das análises.

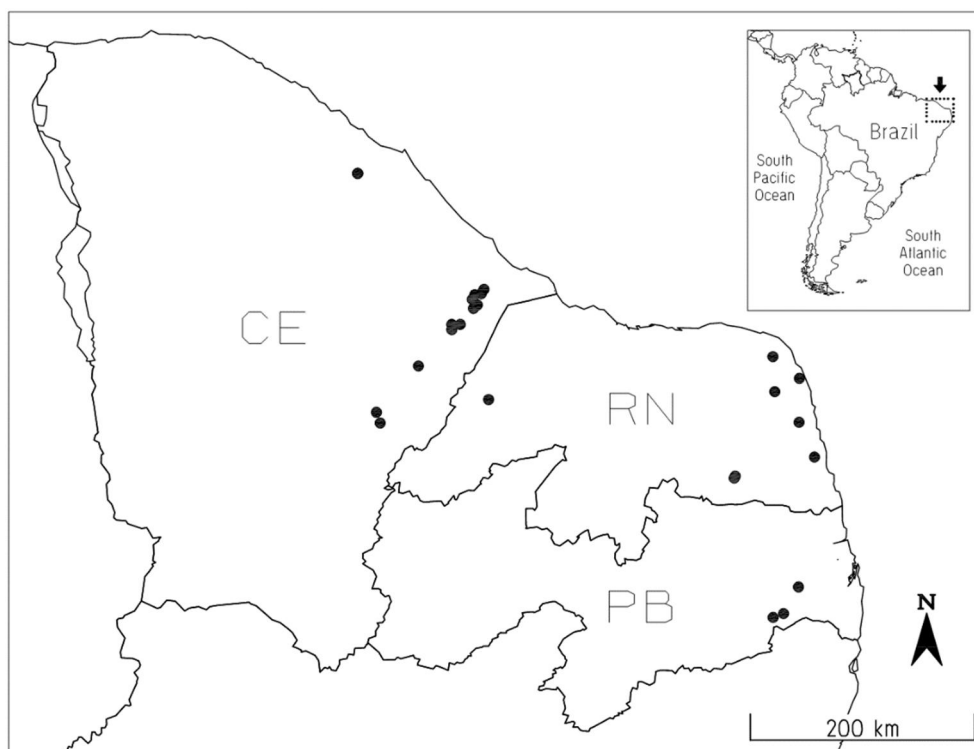


Figura 1 – Distribuição geográfica das fazendas de cultivo de *L. vannamei* em águas interiores, nos estados nordestinos do Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN) e Paraíba (PB) amostradas na pesquisa (pontos pretos).

2.2 Análises de água

As análises de água foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia – IFCE, localizado em Morada Nova – CE e no Laboratório de Práticas Oceanográficas e Ambientais do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR em Fortaleza – CE. Foram determinados seguindo metodologia descrita no *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012) as concentrações (mg L^{-1}) dos sete íons majoritários: Cl^- (4500- Cl^- B), Na^+ (3500-Na B.), SO_4^{2-} (4500 SO_4^{2-} E.), Mg^{2+} (3500-Mg B.), Ca^{2+} (3500-Ca B.), K^+ (3500-K B.) e HCO_3^- através da alcalinidade total (2320 B.). O pH foi determinado através de um pHmetro de bancada (PHOX, P1000). A condutividade elétrica (C.E) e a salinidade foram determinados através de um condutivímetro (ORION, 105A+) com compensação automática de temperatura.

2.2.1 Métodos secundários para a determinação da salinidade

Densímetros e refratômetros ópticos não possuem acurácia suficiente para a determinação de salinidades inferiores a 3 ou 4 (Boyd, 2015), inviabilizando o uso dos equipamentos na pesquisa. Dessa forma, foram empregados outros métodos indiretos de determinação da salinidade para comparação, como a soma das concentrações dos sete íons majoritários (Soma) e a estimativa dos sólidos totais dissolvidos (STD_e), através da multiplicação da condutividade elétrica (C.E) em mS cm^{-1} a 25°C por um fator de correção (K) de acordo com a metodologia descrita em (Walton, 1989). O fator de correção padrão (K) utilizado nas determinações foi o de 0,63, já utilizado em outra pesquisa da área (Ramirez-Rochin et al., 2016).

2.2.2 Balanço iônico

O balanço de cargas iônicas positivas (cátions) e negativas (ânions) das análises, foi realizado utilizando-se a expressão do erro prático (Custodio & Llamas, 1983), que determina a diferença percentual entre a soma dos ânions e a soma dos cátions, entre os íons majoritários expressos em miliequivalentes por litro (meq L^{-1}). O erro prático (EP%) foi o método empregado para a avaliação da acurácia das análises iônicas da pesquisa, através da expressão a seguir:

$$EP (\%) = (|\Sigma_A - \Sigma_C| / \Sigma_A + \Sigma_C) \times 200$$

Onde:

Σ_A – Somatório das concentrações dos ânions expressos em meq L⁻¹.

Σ_C – Somatório das concentrações dos cátions expressos em meq L⁻¹.

As concentrações das amostras em meq L⁻¹ foi determinada pela divisão da concentração do íon na amostra em mg L⁻¹, pelo peso miliequivalente do íon em mg meq⁻¹. Os pesos miliequivalentes (mg meq⁻¹) dos ânions utilizados foram: HCO₃⁻ = 61; Cl⁻ = 35,45 e SO₄²⁻ = 48 e dos cátions: Na⁺ = 23; Mg²⁺ = 12,16; Ca²⁺ = 20,04 e K⁺ = 39,1 de acordo com tabela descrita em (Boyd, 2002).

2.2.3 Relações iônicas

Os quocientes das concentrações em mg L⁻¹ dos íons Na⁺ e K⁺, Mg²⁺ e Ca²⁺ e K⁺ e Ca²⁺ (relações iônicas), consideradas importantes para o desenvolvimento de *L. vannamei*, foram determinadas com o objetivo de avaliar a carência ou excesso dos íons componentes das amostras em comparação com a água do mar natural.

2.3 Classificação das amostras por salinidade segundo o Sistema Veneza

Durante o processamento das amostras coletadas nas fazendas, as águas foram classificadas de acordo com a salinidade gerada pelo condutivímetro, como águas doces (<±0,5), oligohalinas (±0,5-±5,0) e mesohalinas (±5,0-±18,0), seguindo proposto no Sistema Veneza (Venice System, 1958).

2.4 Proporções dos íons componentes das amostras entre classes de salinidade

A representatividade dos íons majoritários na salinidade das amostras (Soma), foi avaliada através da determinação da proporção percentual (%) da concentração de cada íon (mg L⁻¹) na concentração total da soma dos sete íons majoritários (mg L⁻¹), em cada amostra das fazendas avaliadas. De posse das porcentagens, os dados foram agrupados de acordo com o “Sistema Veneza” e as médias comparadas entre as classes de salinidade e entre a proporção encontrada na água do mar.

2.5 Concentrações dos íons componentes das amostras e da água do mar diluída entre classes de salinidade

As concentrações dos íons majoritários determinados nas amostras provenientes das fazendas, após serem agrupadas em classes de salinidade, foram comparadas com as concentrações estimadas dos mesmos íons em água do mar diluída à uma salinidade idêntica à cada amostra coletada nas fazendas. A estimativa das concentrações de cada íon majoritário na água do mar diluída, foi determinada utilizando como base a salinidade (34,47) e as concentrações médias dos íons majoritários nos mares, descrita em Goldberg (1963) (Tabela 3), através da fórmula:

$$[\text{Íon}] = (C_{Mar} / S_{Mar}) \times S_{Am}$$

Onde:

C_{Mar} - concentração do íon no mar em $mg L^{-1}$ segundo Goldberg (1963)

S_{Mar} - salinidade da água do mar em $g L^{-1}$ segundo Goldberg (1963)

S_{Am} - salinidade da amostra da fazenda em $g L^{-1}$

2.6 Dispersão das concentrações dos íons nas amostras em função da concentração estimada na água do mar diluída

As concentrações observadas e estimadas no item 2.5, também foram utilizadas para gerar diagramas de dispersão, sendo utilizados todos os valores independentemente da classe salina, que geraram gráficos para melhor representar a associação dos dados.

2.7 Dispersão das relações iônicas das amostras

Através das concentrações observadas e estimadas no item 2.5, foram gerados diagramas de dispersão entre as relações iônicas: $Mg^{2+}:Ca^{2+}$, $K^+:Ca^{2+}$ e $Na^+:K^+$.

2.8 Regressões das concentrações dos íons componentes pela condutividade elétrica das amostras

Através dos resultados de concentração individual dos íons ($mg L^{-1}$) e a condutividade elétrica da amostra ($mS cm^{-1}$ a $25^{\circ}C$), variáveis dependente (y) e independente (x), respectivamente, foram geradas retas de regressão ($Y = aX + b$) para avaliar o nível de associação entre as variáveis através do coeficiente de determinação R^2 . Na presente análise, foram consideradas apenas amostras classificadas como águas doces

e oligohalinas, por apresentarem menor variação entre salinidades e consequente composição iônica, gerando um ajuste mais preciso das retas.

2.9 Classificação das amostras por uso em irrigação segundo a USSL

Com o objetivo de verificar a possibilidade de usos múltiplos das águas das propriedades amostradas, foi realizada a avaliação de riscos potenciais atribuídos pela salinização do solo nas espécies vegetais. A avaliação foi realizada através do Diagrama para Classificação de Águas para Irrigação, citado pelos pesquisadores do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos - USSL (Richards, 1954). O diagrama leva em consideração dois fatores principais, o risco de salinização através da condutividade elétrica e o risco de sódio através da razão de absorção de sódio (SAR). A elaboração do diagrama e a determinação das classes de risco, foi realizada com o auxílio do software Qualigraf (Möbus, 2018).

2.10 Caracterização estrutural e produtiva das propriedades

Antes de cada coleta de água, foi aplicado *in situ* um questionário ao responsável técnico da propriedade. Foram coletados dados referentes a estrutura de produção da fazenda e os resultados de desempenho zootécnico de três ciclos de cultivo. Os dados estruturais observados foram: área total de lâmina d'água (ha), área média dos viveiros (ha), número de viveiros e a fonte principal de abastecimento de água. Para a análise de desempenho zootécnico, foram coletados dados referentes as produções recentes para a elaboração de uma média para cada propriedade. Cada conjunto de dados contava com: área do viveiro (ha), população inicial (nº de camarões povoados), tempo de cultivo (dias), peso médio final (g), biomassa final despescada (kg) e ração ofertada (kg). Através de cada conjunto de dados foram calculados os parâmetros densidade de estocagem (camarões/m²), população final (nº de camarões despescados), sobrevivência (%), conversão alimentar aparente (CAA) e produtividade (toneladas/hectare). Os parâmetros citados foram calculados através das seguintes fórmulas:

- (1) Densidade de estocagem = população inicial / área do viveiro (m²)
- (2) População final = biomassa final despescada (g) / peso médio final (g)
- (3) Sobrevivência = (população inicial / população final) * 100
- (4) CAA = ração ofertada (kg) / biomassa final despescada (kg)
- (5) Produtividade = biomassa final despescada (t) / área do viveiro (ha)

2.11 Análises estatísticas

O erro máximo aceitável da distribuição das cargas (balanço iônico) determinado para o presente trabalho foi de 15%. As amostras que excederam essa diferença foram descartadas das análises posteriores por possuírem baixa precisão nas determinações dos íons, como recomendado por Boyd (2002).

Antes das comparações estatísticas entre as diferentes classes de salinidade, se testaram os pressupostos de normalidade e homocedasticidade para as variáveis físico-químicas e zootécnicas com os testes de Shapiro-Wilk e Levene respectivamente, quando estes foram atendidos se aplicaram as análises de ANOVA e o teste post-hoc de Tukey, caso contrário foram utilizados os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis para detecção de diferenças e de Dunn para múltiplas comparações entre as classes de salinidade avaliadas ($\alpha < 0,05$). Os valores percentuais de sobrevivência e proporção dos íons em cada classe de salinidade foram convertidos (arco-seno da raiz quadrada) antes de serem analisados (Zar, 2010).

Foram realizadas análises de regressão entre as concentrações de cada um dos íons majoritários avaliados e a condutividade elétrica para o conjunto geral de dados coletados. Os dados reportados dos coeficientes de determinação (R^2) foram ajustados pelo n° amostral devido às diferenças do número de amostras entre as classes de água avaliadas. Para comparar as concentrações dos íons majoritários observadas nas amostras classificadas por salinidade, com as concentrações esperadas para a água do mar nas diferentes salinidades encontradas, foi testado o pressuposto de normalidade e se aplicaram testes T de Student quando esta era atendida, caso contrário foi aplicado o teste não paramétrico U de Mann-Whitney. O software utilizado para todas as análises estatísticas foi o Past v.3.25 (Hammer et al., 2001).

3. RESULTADOS

O total de 28 fazendas foram visitadas, possuindo fontes de abastecimento principais: águas subterrâneas (46,4%), seguidas de águas de rios (42,9%) e açudes (10,7%) (Figura 2). As coletas de água geraram um total de 49 amostras distribuídas entre os pontos predeterminados em cada propriedade (viveiro em operação e fonte principal de abastecimento), no entanto, três das amostras foram descartadas por apresentarem resultados com diferença entre cargas superior a 15%. As demais análises apresentaram erros médios de $11,24 \pm 4,84$ (média \pm desvio padrão) e não diferiram estatisticamente entre as classes de água, sendo possível prosseguir com o processamento dos dados. O percentual de águas doces, oligohalinas e mesohalinas entre as amostras classificadas segundo o Sistema Veneza, foi de 30,43%, 58,70% e 10,87%, respectivamente.



Figura 2 - Coleta de água subterrânea utilizada para o abastecimento de viveiro de cultivo de *L. vannamei* em Jaguaruana - CE. O choque mecânico da água contra a estrutura de madeira instalada após o tubo, favorece a volatilização de gases tóxicos, incorporação de oxigênio e a precipitação do ferro dissolvido na água.

Os valores de pH não diferiram estatisticamente entre as classes de salinidade, com valores médios seguidos de desvio padrão de $7,96 \pm 0,71$, $7,82 \pm 0,47$ e $7,54 \pm 0,21$ para as amostras consideradas como doce, oligohalinas e mesohalinas, respectivamente.

Os três métodos utilizados para a determinação da salinidade diferiram estatisticamente entre as classes de água ($p < 0,05$), assim como a dureza total e a condutividade elétrica. A alcalinidade total não diferiu estatisticamente entre as classes de água oligohalinas e mesohalinas, porém ambas as classes foram estatisticamente superiores as classificadas como águas doces. O mesmo padrão foi encontrado na concentração do íon HCO_3^- (Tabela 3).

A concentração dos íons Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} e K^+ diferiram estatisticamente entre todas as classes de água, sendo estes superiores na classe de água mesohalina seguidos da classe oligohalina e doce respectivamente. As concentrações do íon SO_4^{2-} não diferiram estatisticamente entre as classes de água, possuindo valores indetectáveis pela análise em 25 amostras em todas as classes de salinidade (Tabela 3). Os testes estatísticos foram aplicados entre os três métodos de determinação da salinidade dentro da mesma classe de água, identificando que em todas as classes, os valores da determinação da salinidade mensurada pelo condutivímetro (salinidade) e os sólidos totais dissolvidos calculados através da condutividade elétrica (STD_e), não diferiram estatisticamente entre si, no entanto, ambos foram diferentes e superiores a determinação realizada pela soma dos íons majoritários (Soma) (Tabela 3).

A relação $\text{Na}^+:\text{K}^+$ não diferiu estatisticamente entre as classes de água doce e oligohalina, no entanto, ambas foram inferiores à classe de água mesohalina, o mesmo padrão encontrado para a relação $\text{Na}^+:\text{K}^+$, foi encontrado para a relação $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$. A média das relações $\text{Na}^+:\text{K}^+$ nas águas oligohalinas foi a mais próxima da encontrada no ambiente marinho entre as classes de salinidade avaliadas.

A relação $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ não diferiu estatisticamente entre as classes de água doce e oligohalina, sendo ambas superiores a classe de água mesohalina. O valor máximo encontrado para essa relação nas amostras de água mesohalinas foi de 0,1 (Tabela 3).

Tabela 3 – Médias \pm desvios padrão e intervalos (parênteses) dos parâmetros físico-químicos de águas de cultivo de *L. vannamei* em zonas interiores no Nordeste brasileiro classificadas por salinidade. Os valores descritos para a água do mar natural estão expostos para comparação

Parâmetros	Classificação das amostras de água por salinidade (Venice System)			
	Doce (n = 14)	Oligohalina (n = 27)	Mesohalina (n = 5)	Euhalina (Goldberg, 1963)
Salinidade	0,31 \pm 0,09 (0,1-0,4) ^{c,A}	1,31 \pm 1,07 (0,5-3,9) ^{b,A}	10,04 \pm 1,35 (8,5-12,4) ^{a,A}	*34,5
AT (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	81,48 \pm 27,11 (31,5-136,0) ^b	147,10 \pm 43,86 (68,0-227,8) ^a	264,18 \pm 123,16 (147,1-442,0) ^a	*116,4
DT (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	95,64 \pm 21,41 (48,4-140,9) ^c	288,41 \pm 196,90 (96,9-869,9) ^b	2959,76 \pm 962,60 (1982,0-4580,6) ^a	*6603
CE (mS cm ⁻¹)	0,60 \pm 0,19 (0,2-0,8) ^c	2,30 \pm 1,78 (0,9-6,8) ^b	15,29 \pm 1,86 (13,6-18,4) ^a	*54,7
Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	68,23 \pm 16,82 (36,0-94,2) ^c	284,73 \pm 271,44 (76,0-1080,0) ^b	3332,38 \pm 297,00 (3085,6-3900,0) ^a	19000
Na ⁺ (mg L ⁻¹)	28,75 \pm 11,64 (7,3-51,0) ^c	150,99 \pm 145,07 (27,3-654,3) ^b	1.243,52 \pm 249,02 (821,7-1548,1) ^a	10500
SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	4,45 \pm 7,10 (nd-25,2)	15,87 \pm 22,26 (nd-70,6)	87,38 \pm 108,03 (nd-241,8)	2700
Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	13,31 \pm 3,59 (5,9-18,7) ^c	45,93 \pm 38,63 (12,3-155,0) ^b	504,05 \pm 103,00 (376,8-673,5) ^a	1350
Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	16,33 \pm 4,21 (9,7-26,4) ^c	39,67 \pm 18,65 (15,9-92,5) ^b	353,23 \pm 220,37 (171,8-722,3) ^a	400
K ⁺ (mg L ⁻¹)	2,77 \pm 2,10 (1,1-8,7) ^c	6,63 \pm 5,44 (1,1-22,1) ^b	11,69 \pm 2,27 (9,4-15,6) ^a	380
HCO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	99,40 \pm 33,07 (38,4-165,9) ^b	179,46 \pm 53,51 (83,0-277,9) ^a	322,30 \pm 150,26 (179,4-539,2) ^a	142
Soma (mg L ⁻¹)	233,24 \pm 61,47 (108,3-313,6) ^{c,B}	723,29 \pm 486,40 (330,9-2059,6) ^{b,B}	5854,55 \pm 734,37 (5223,7-7289,3) ^{a,B}	34472
STD _e (g L ⁻¹)	0,38 \pm 0,12 (0,1-0,5) ^{c,A}	1,45 \pm 1,12 (0,5-4,3) ^{b,A}	9,63 \pm 1,17 (8,6-11,6) ^{a,A}	*34,5
Na ⁺ :K ⁺	14,68 \pm 8,77 (2,7-32,9) ^b	28,38 \pm 16,10 (5,1-66,9) ^b	106,81 \pm 14,32 (87,3-121,1) ^a	*27,6
Mg ²⁺ :Ca ²⁺	0,84 \pm 0,26 (0,5-1,4) ^b	1,08 \pm 0,56 (0,4-2,5) ^b	1,82 \pm 0,66 (0,9-2,4) ^a	*3,4
K ⁺ :Ca ²⁺	0,19 \pm 0,18 (0,1-0,7) ^a	0,18 \pm 0,16 (0,0-0,7) ^a	0,05 \pm 0,03 (0,0-0,1) ^b	*1,0

Letras minúsculas e maiúsculas diferentes entre colunas e linhas, respectivamente, indicam diferença significativa ($p < 0,05$). AT (alcalinidade total), DT (dureza total), C.E (condutividade elétrica), Soma (soma dos íons majoritários), STD_e (sólidos dissolvidos totais estimados). *valores calculados a partir da água do mar natural segundo Goldberg (1963)

O íon Cl^- presente nas águas mesohalinas teve uma representatividade média de $57,18 \pm 2,67$ % do total (Soma), sendo estatisticamente superior à porcentagem encontrada nas águas oligohalinas ($33,98 \pm 10,15\%$) e doces ($29,83 \pm 4,83\%$), que não diferiram entre si. A proporção de Na^+ na classe de água mesohalina ($21,58 \pm 5,22\%$), não diferiu estatisticamente da classe de água oligohalina ($18,26 \pm 5,71\%$) e ambas foram superiores à média encontrada para as águas doces ($11,91 \pm 2,71\%$) (Figura 3).

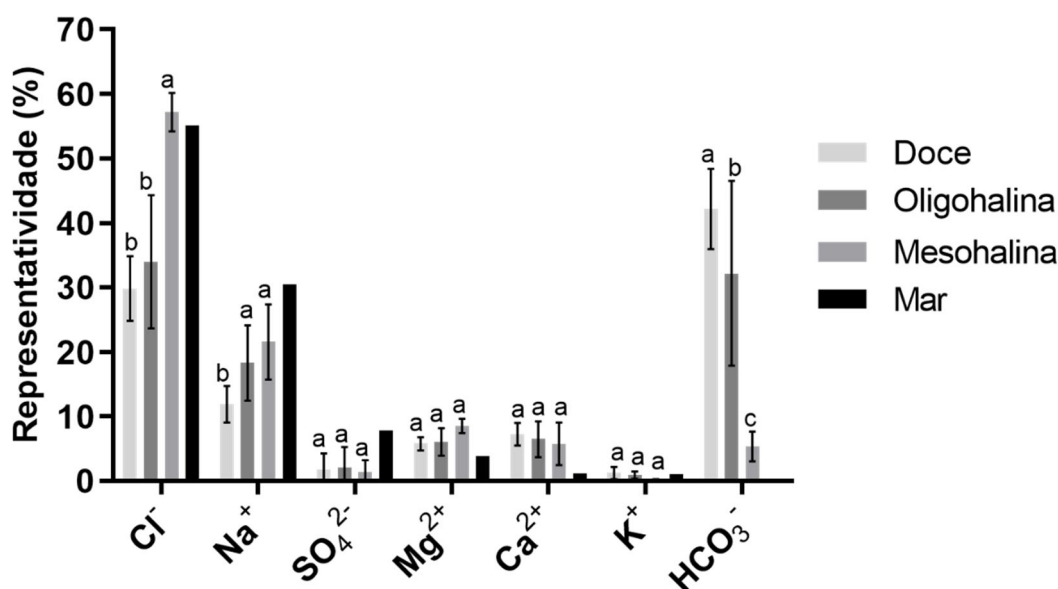


Figura 3 – Representação das proporções médias (%) e desvios padrão das concentrações individuais dos íons majoritários na soma entre eles (Soma), entre as classes de salinidade segundo o Sistema Veneza. A barra preta representa a média da concentração de cada íon encontrada no ambiente marinho segundo Goldberg (1963).

Os íons SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} e K^+ não diferiram entre suas proporções dentro das classes de salinidade avaliadas. As médias seguidas de desvio padrão encontradas para estes íons nas classes de água doce, oligohalina e mesohalina, respectivamente, foram: SO_4^{2-} ($1,77 \pm 2,41\%$, $2,12 \pm 3,14\%$ e $1,36 \pm 1,66\%$), Mg^{2+} ($5,79 \pm 0,96\%$, $6,05 \pm 2,09\%$ e $8,56 \pm 0,99\%$), Ca^{2+} ($7,28 \pm 1,67\%$, $6,48 \pm 2,72\%$ e $5,75 \pm 2,95\%$) e K^+ ($1,23 \pm 0,90\%$, $0,89 \pm 0,56\%$ e $0,20 \pm 0,05\%$).

A proporção da concentração do íon HCO_3^- na soma dos íons, diferiu estatisticamente entre todas as classes de água, sendo esta superior na classe de águas doces ($42,19 \pm 6,00\%$), seguido de águas oligohalinas ($32,20 \pm 14,03\%$) e mesohalinas ($5,37 \pm 2,08\%$) (Figura 3). A ordem de porcentagem (representatividade) de cada íon por

classe de água, do íon com maior proporção para a menor, foi: águas doces: HCO_3^- , Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} e K^+ ; águas oligohalinas: Cl^- , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} e K^+ ; e águas mesohalinas: Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} e K^+ .

A comparação das concentrações observadas nas classes de água da pesquisa com as estimadas para a água do mar diluída na mesma salinidade, revelaram que os íons Cl^- , Na^+ e SO_4^{2-} foram significativamente inferiores as observadas na água do mar, independente das classes das amostras. Por outro lado, o íon Mg^{2+} não diferiu estatisticamente da concentração esperada para a água do mar diluída, independente da classificação. As concentrações médias de Ca^{2+} nas amostras classificadas como doces e oligohalinas foram superiores a água do mar diluída (Tabela 4).

Tabela 4 – Médias \pm desvios padrão das concentrações dos íons majoritários, nas diferentes classes de salinidade, em águas utilizadas na produção de *L. vannamei* em regiões interiores no Nordeste brasileiro, em comparação às concentrações estimadas para águas marinhas (Goldberg, 1963) diluídas à mesma salinidade.

Parâmetro		Classificação das amostras de água por salinidade.		
		Doce	Oligohalina	Mesohalina
Cl^- (mg L ⁻¹)	Amostras	68,23 \pm 16,83	284,73 \pm 271,45	3332,38 \pm 297,00
	Mar	173,23 \pm 50,42*	720,61 \pm 589,44*	5533,77 \pm 745,70*
Na^+ (mg L ⁻¹)	Amostras	28,76 \pm 11,64	151,00 \pm 145,07	1243,53 \pm 249,02
	Mar	95,73 \pm 27,87*	398,23 \pm 325,74*	3058,14 \pm 412,10*
SO_4^{2-} (mg L ⁻¹)	Amostras	4,45 \pm 7,10	15,88 \pm 22,26	87,38 \pm 108,03
	Mar	24,62 \pm 7,17*	102,41 \pm 83,77*	786,38 \pm 105,97*
Mg^{2+} (mg L ⁻¹)	Amostras	13,31 \pm 3,60	45,93 \pm 38,64	504,05 \pm 103,01
	Mar	12,40 \pm 3,61	51,59 \pm 42,20	396,11 \pm 53,38
Ca^{2+} (mg L ⁻¹)	Amostras	16,33 \pm 4,22*	39,68 \pm 18,66*	353,24 \pm 220,37
	Mar	3,65 \pm 1,07	15,18 \pm 12,41	116,51 \pm 15,70
K^+ (mg L ⁻¹)	Amostras	2,77 \pm 2,10	6,64 \pm 5,44	11,70 \pm 2,28
	Mar	3,38 \pm 0,99	14,04 \pm 11,48*	107,77 \pm 14,53*
HCO_3^- (mg L ⁻¹)	Amostras	99,41 \pm 33,08*	179,46 \pm 53,52*	322,30 \pm 150,26*
	Mar	1,30 \pm 0,38	5,39 \pm 4,41	41,36 \pm 5,58

Os asteriscos (*) indicam diferenças estatísticas ($p < 0,05$) as entre as médias das concentrações de cada íon entre as amostras das propriedades investigadas e os valores estimados para a água do mar diluída dentro da mesma classe de salinidade.

O K^+ não diferiu estatisticamente entre os valores observados e os estimados nas amostras de águas doces, no entanto, em águas oligohalinas e mesohalinas os valores das amostras foram inferiores ao esperado para a água do mar diluída. Em todas as classes de água, o HCO_3^- foi superior estatisticamente nas amostras coletadas em relação a água do mar diluída (Tabela 4).

As concentrações do íon Cl^- bem como do íon Na^+ , crescem com o aumento da salinidade das amostras, estando ambas em concentrações abaixo do que a esperada para a água do mar nas diferentes salinidades, representada pela linha sólida (Figura 4). As concentrações de SO_4^{2-} não aumentam com a salinidade e estão abaixo das concentrações esperadas para a água do mar. O íon Mg^{2+} das amostras possui uma distribuição bastante semelhante aos resultados esperados no mar diluído, as concentrações deste crescem juntamente com a salinidade das amostras, possuindo valores semelhantes ao estimado para o mar diluído, estando estes acima e abaixo da linha sólida (Figura 4).

As concentrações de Ca^{2+} aumentaram com a salinidade das amostras e se distribuíram principalmente acima da linha sólida representativa da água do mar diluída (Figura 4). As concentrações de K^+ não aumentam com os valores estimados e geralmente estão abaixo da linha do esperado no mar diluído. As concentrações de HCO_3^- nas amostras tiveram uma elevada dispersão sem tendência de crescer com a salinidade das amostras, todas as concentrações encontradas na pesquisa para esse ânion se encontram acima dos valores estimados para a água do mar diluída. A soma entre os sete íons majoritários cresce juntamente com a salinidade e possui em sua maioria, as concentrações inferiores ao estimado para a água do mar na mesma salinidade (Figura 4).

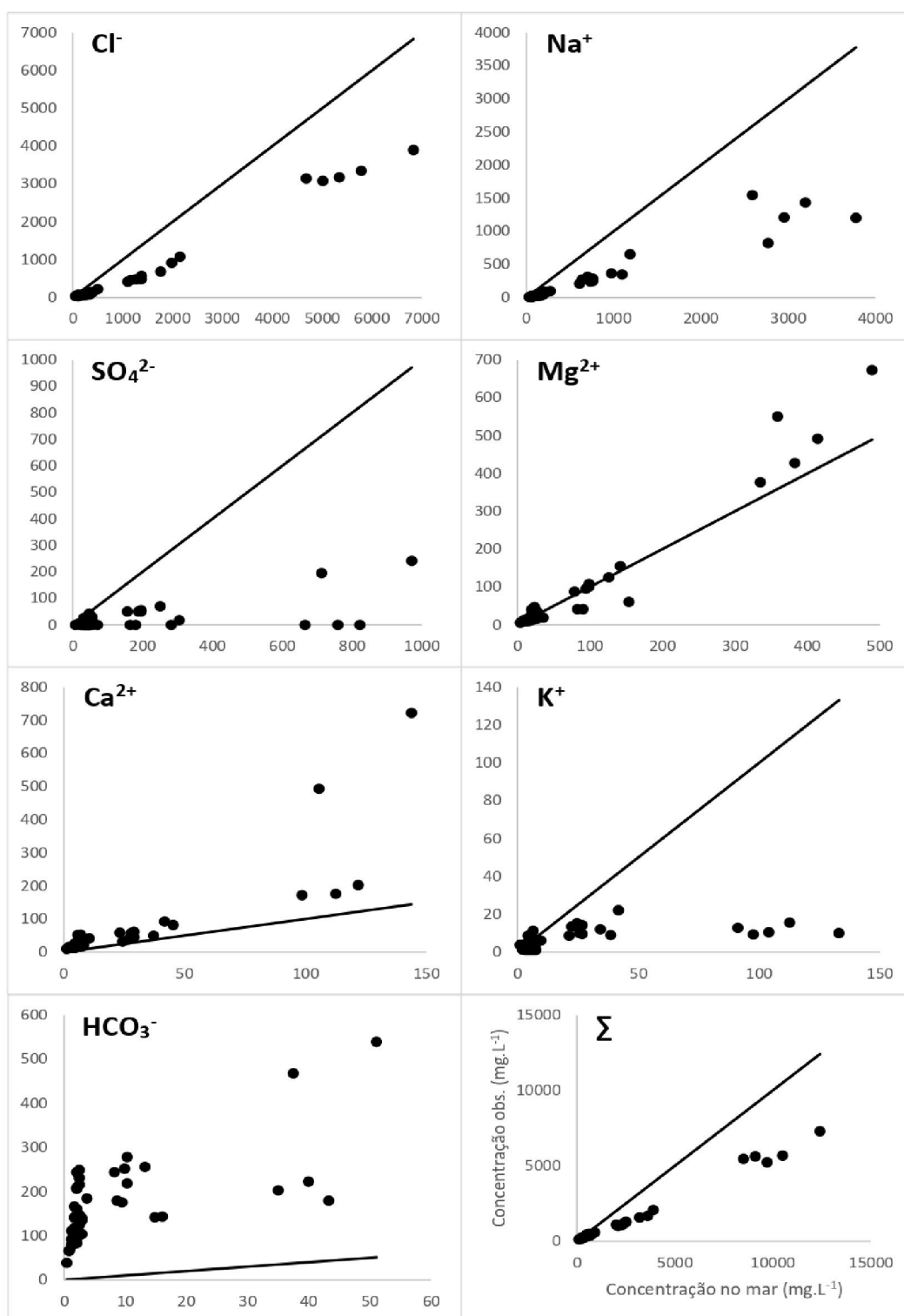


Figura 4 – Concentrações dos íons majoritários observados nas fazendas de cultivo de *L. vannamei* em zonas interiores *versus* a concentração esperada na água do mar diluída à mesma salinidade (pontos pretos). A linha sólida representa a concentração esperada dos íons na água do mar diluída nas diferentes salinidades das amostras das fazendas. Cl⁻: cloreto, Na⁺: sódio, SO₄²⁻: sulfato, Mg²⁺: magnésio, Ca²⁺: cálcio, K⁺: potássio, HCO₃⁻: bicarbonato e Σ: soma dos íons majoritários.

As relações iônicas $Mg^{2+}:Ca^{2+}$, $K^+:Ca^{2+}$ e $Na^+:K^+$ encontradas nas diferentes salinidades das amostras de água coletadas nas fazendas de produção de *L. vannamei* em regiões interiores no Nordeste brasileiro estão dispostas na Figura 5.

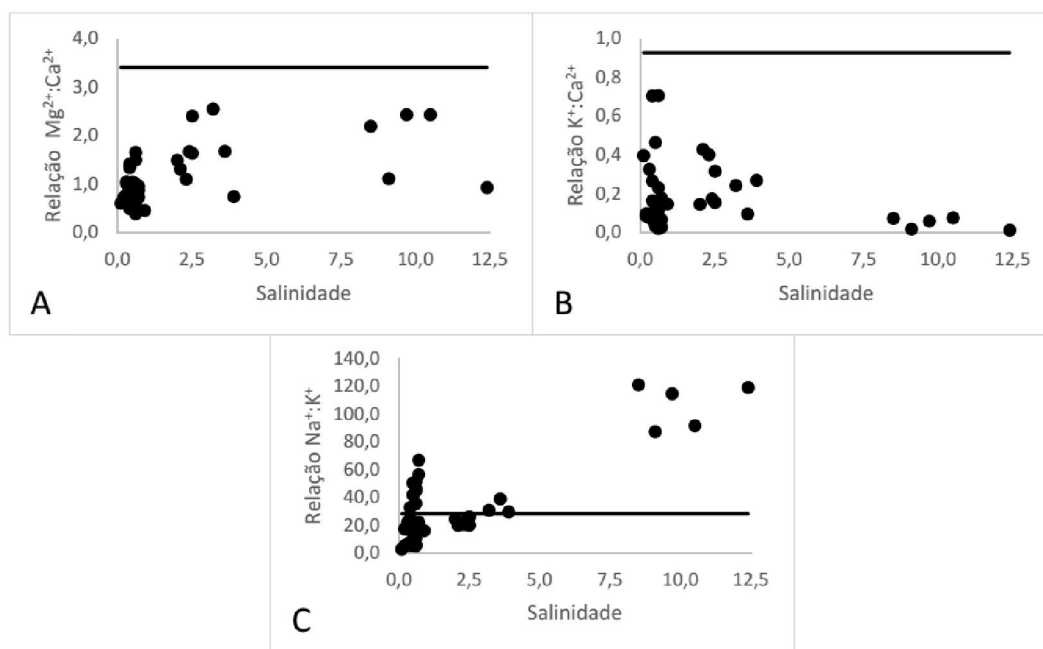


Figura 5 – Relações iônicas observadas nas águas de cultivo de *L. vannamei* em zonas interiores *versus* a salinidade da amostra (pontos pretos). A linha sólida representa a relação iônica esperada na água do mar diluída nas diferentes salinidades das amostras. A) relação magnésio: cálcio, B) relação potássio: cálcio e C) relação sódio: potássio.

A relação $Mg^{2+}:Ca^{2+}$ (Figura 5.A) possuiu valores bastante dispersos e todos abaixo da relação encontrada na água do mar (linha sólida) para estes íons. A relação $K^+:Ca^{2+}$ (Figura 5.B) deteve as mesmas características da relação anterior, com elevada dispersão e abaixo da encontrada no mar natural, no entanto, foram observados apenas valores baixos nas maiores salinidades (águas mesohalinas). A relação $Na^+:K^+$ (Figura 5.C) demonstrou elevada dispersão sem tendência observada com a salinidade das amostras. Nas águas doces, quanto a relação $Na^+:K^+$, apenas uma amostra estava acima da linha sólida. Nas águas oligohalinas até a salinidade 2 g L^{-1} , foram encontradas relações bastante dispersas da relação 28 (linha sólida), porém acima dessa salinidade todas as relações $Na^+:K^+$ estiveram entre 20 e 40 (Figura 5.C). Em águas mesohalinas todos os pontos revelaram relações acima de 87 (Figura 5.C e Tabela 3).

As equações de regressão das concentrações individuais dos íons majoritários pela condutividade elétrica e os coeficientes de determinação (R^2) nas amostras de água, classificadas como doces e oligohalinas, estão apresentados na Tabela 5. Todas as retas geradas na análise de regressão tiveram correlação positiva e significância estatística.

Tabela 5 – Equações de regressão para os cálculos das concentrações dos íons majoritários (Y em mg L⁻¹) a partir da condutividade elétrica (X em mS cm⁻¹ a 25°C) de águas doces e oligohalinas, utilizadas nas fazendas de produção de *L. vannamei* em zonas interiores do Nordeste brasileiro amostradas na pesquisa.

Equação (Y = bX + a)	R ² (%)
Cl ⁻ = 144,20 C.E - 36,61	96,57*
Na ⁺ = 76,82 C.E - 22,54	93,83*
SO ₄ ²⁻ = 6,18 C.E + 1,37	26,30*
Mg ²⁺ = 18,23 C.E + 3,52	73,83*
Ca ²⁺ = 9,46 C.E + 15,47	67,92*
K ⁺ = 2,46 C.E + 1,08	67,43*
HCO ₃ ⁻ = 18,39 C.E + 120,58	23,21*
Soma = 275,74 C.E + 82,87	99,01*

* Significante a p = 0,01, R² ajustado para os graus de liberdade)

O diagrama de classificação da qualidade das águas para o uso em irrigação gerado pelo software, revelou que todas as 46 amostras avaliadas possuíam algum risco de salinização do solo (Figura 6).

Das 32 amostras classificadas com risco absorção de sódio baixo (SAR - S1), uma amostra (2,2%) possuía um risco de salinização do solo baixo (C1), nove amostras (19,6%) com risco médio (C2) e 22 amostras (47,8%) com risco alto (C3). Sete amostras foram classificadas com SAR médio (S2), onde cinco amostras (10,9%) possuíam risco de salinização muito alto (C4) e duas amostras (4,3%) com risco excepcionalmente alto (C5). Duas amostras foram classificadas com SAR forte (S3), uma delas (2,2%) com risco de salinização muito alto e outra (2,2%) com risco de salinização excepcionalmente alto. Cinco amostras (10,9%) foram classificadas com SAR muito forte (S4) e risco de salinização do solo excepcionalmente alto (Figura 6).

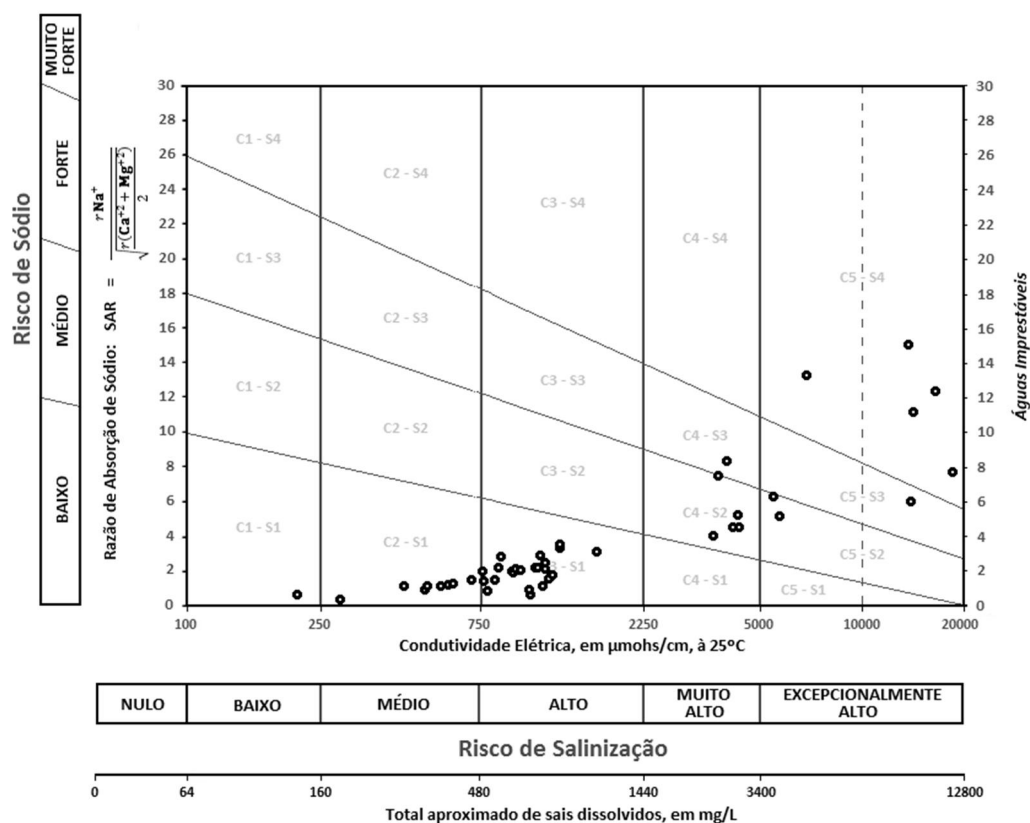


Figura 6 – Avaliação da adequação das águas interiores utilizadas em fazendas de produção de *L. vannamei* no Nordeste brasileiro, para o uso em irrigação de acordo com a análise de risco de salinização e do risco de sódio proposta pelo *United States Salinity Laboratory*, o gráfico foi gerado pelo software Qualigraf®.

A área média dos viveiros das 28 propriedades amostradas foi de $1,30 \pm 1,08$ ha, com valores entre 0,1 e 5,0 hectares. A área total de lâmina d'água das propriedades variou entre 1 e 100 hectares. Quanto a classificação pela salinidade média das fontes de abastecimento no sistema Veneza, 32,1% delas eram abastecidas por águas doce, 53,6% por águas oligohalinas e 14,3% por águas mesohalinas.

Não foram encontradas diferenças significativas entre os parâmetros zootécnicos avaliados nas fazendas de cultivo de *L. vannamei* em zonas interiores classificadas por salinidade pelo sistema Veneza (Tabela 6).

Tabela 6 – Médias \pm desvios padrão e intervalos (parênteses) dos parâmetros zootécnicos das fazendas de produção de *L. vannamei* em regiões interiores no Nordeste brasileiro.

Parâmetros	Classificação das propriedades por salinidade		
	Doce (n=9)	Oligohalina (n=15)	Mesohalina (n=4)
Densidade de estocagem (animais m ⁻²)	35,71 \pm 15,24 (13,3-60,0)	43,76 \pm 16,60 (10,0-70,0)	42,83 \pm 14,85 (30,0-66,7)
Peso médio final (g)	11,38 \pm 2,27 (8,9-14,1)	11,06 \pm 3,98 (6,4-23,8)	13,17 \pm 2,98 (10,0-18,0)
Tempo de cultivo (dias)	88,53 \pm 5,15 (80,7-96,7)	94,05 \pm 23,77 (70,8-172,0)	106,08 \pm 14,68 (90,0-130,0)
Sobrevivência (%)	64,34 \pm 13,71 (44,1-78,5)	70,98 \pm 16,05 (29,7-91,1)	70,86 \pm 14,31 (46,1-80,6)
Conversão alimentar aparente	1,21 \pm 0,06 (1,2-1,3)	1,40 \pm 0,23 (1,1-1,7)	1,36 \pm 0,17 (1,1-1,6)
Produtividade (ton/ha/ciclo)	2,28 \pm 0,74 (1,0-3,2)	3,23 \pm 1,51 (0,8-6,2)	3,92 \pm 1,75 (2,5-6,9)

Não foram observadas diferenças estatísticas entre os parâmetros zootécnicos testados ($p > 0,05$).

4. DISCUSSÃO

Em laboratório, antes de se iniciar as determinações de composição iônica das águas das propriedades, foi observado em algumas amostras, uma coloração semelhante a ferrugem (marrom-amarelado) com formação de pequenos precipitados. Segundo Boyd (2015), águas subterrâneas frequentemente podem conter traços de ferro (Fe^{2+}) e manganês (Mn^{2+}) reduzidos, remanescentes após a precipitação dos seus respectivos óxidos. A não determinação destes dois íons, além do NO_3^- e ortofosfato (PO_4^{3-}) comuns em águas de aquacultura, silicato (SiO_3^{2-}) e fluoreto (F^-), também utilizados no cálculo dos sólidos totais dissolvidos STD_e (APHA, 2012), podem ter diminuído a precisão do balanço de cargas iônicas. Em uma análise perfeita, a diferença da concentração entre cátions e ânions expressos em miliequivalentes, deve ser próxima ou igual a zero, sendo esta diferença, quando existente, atribuída a erros analíticos acumulados ou a ausência de determinação de íons com concentrações significativas (Freeze & Cherry, 1979). Essas observações são reforçadas pelos valores inferiores encontrados na soma dos íons majoritários como determinante de salinidade (Soma), aos encontrados nos métodos que utilizaram a condutividade elétrica (Salinidade e STD_e). De acordo com os resultados, a classificação por salinidade das amostras através da condutividade elétrica, pareceu ser o

método indireto mais preciso e prático, já validado a décadas (Walton, 1989) e utilizado atualmente (Marandi et al., 2013; Ramirez-Rochin et al., 2016).

As maiores variações de pH das amostras durante as análises, foram encontradas nas águas doces, revelado pelo desvio padrão mais alto e pelos valores de alcalinidade inferiores as demais classes, resultando em um menor poder de tamponamento das amostras. Segundo Sá (2012), em cultivos dulcícolas a alcalinidade deve estar acima de $60 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, conferindo uma menor flutuação de pH. Em relação a fisiologia animal, em uma alcalinidade menor que $50 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, os camarões possuem dificuldades para realizar a muda (Boyd et al., 2002). Nas águas oligohalinas e mesohalinas, os menores valores de alcalinidade superaram as recomendações dos autores, sendo em sua maioria adequadas para a carcinocultura, porém valores extremamente altos foram encontrados nessas classes, podendo acarretar problemas com incrustações de CaCO_3 na carapaça dos animais cultivados em águas de origem subterrânea (Boyd et al., 2002). Elevadas alcalinidades são características de águas naturais encontradas em ecossistemas da região semiárida brasileira (Barbosa et al., 2012). Devido aos valores de pH das amostras estarem próximos e abaixo de 8,4 (89% das amostras), todo o carbono inorgânico dissolvido foi considerado como HCO_3^- (Sá, 2012), assim as concentrações de HCO_3^- seguiram o mesmo padrão da alcalinidade nas três classes de água.

A dureza total sofreu grande variação em todas as classes, principalmente pela diversidade de fontes de coleta encontradas e a localização geográfica já que tanto a alcalinidade e a dureza da água dependem da geologia da bacia hidrográfica e do clima da região (Boyd et al., 2016), e até do ponto de coleta, pelo fato de uma água subterrânea ao ser exposta ao ambiente oxidado de um viveiro precipitar o CaCO_3 , alterando as concentrações de Ca^{2+} e da alcalinidade (Roy et al., 2010). Os resultados encontrados em todas as análises, sugerem que a dureza e a alcalinidade elevadas são características importantes de águas onde se pretende desenvolver a carcinocultura. Segundo Miranda et al. (2010), uma alta dureza substitui a carência de sais marinhos, evitando que os animais sofram com uma depressão intraosmótica. Os resultados das concentrações médias de Ca^{2+} e HCO_3^- nas amostras das fazendas em todas as classes de salinidade, revelaram uma elevada contribuição (%) desses dois íons no total de sólidos dissolvidos (Soma) em relação à concentração média da água do mar. Essa tendência já foi demonstrada em

outras pesquisas em análise de águas interiores na China, Equador, Tailândia e EUA (Boyd et al., 2002; Boyd & Thunjai, 2003).

Ainda que seja o terceiro íon mais abundante em águas marinhas, a baixa proporção ou ausência do íon SO_4^{2-} na maioria das amostras em todas as classes de salinidade, não pareceu interferir nos resultados de produção das propriedades, podendo os valores encontrados estarem associados a carência/ausência de gesso (sulfato de cálcio – CaSO_4) no aquífero (Marandi et al., 2013), ou pela atividade de bactérias sulfato-redutoras no ambiente (Subashchandrabose et al., 2011). Todos os resultados de concentração do íon K^+ , ainda que inferiores ao esperado em água marinha diluída, estiveram acima do mínimo necessário (1 mg L^{-1}) para a sobrevivência dos camarões em águas “doces” (McGraw & Scarpa, 2003). Além disso, os efeitos de uma suplementação desse íon via ração já são comprovados (Liu et al., 2014), podendo as carências das águas das propriedades terem sido compensadas pela oferta de dietas comerciais apropriadas para as condições dos cultivos de *L. vannamei* em águas de baixa salinidade, sendo esse fator decisivo na sobrevivência e crescimento desses animais.

A maior elevação das concentrações dos íons Na^+ e Mg^{2+} , em comparação as de K^+ e Ca^{2+} demonstrada graficamente, foi o principal fator para que nas classes oligohalinas e mesohalinas, respectivamente, as médias das relações iônicas $\text{Na}^+:\text{K}^+$ e $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$ serem mais próximas do ambiente marinho. Em geral, os dados revelam uma elevada adaptabilidade do *L. vannamei* em sobreviver e crescer em águas interiores naturais com composição tão distinta da água do mar diluída, tanto em concentração iônica individual quanto em suas relações, mesmo que o esperado é que o desempenho seja melhorado em águas com proporções similares a água marinha (Boyd et al., 2009).

A classificação das águas para irrigação proposta pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos - USSL (Richards, 1954), é uma forma de se avaliar um dos principais usos das águas interiores com poucos parâmetros, como a condutividade elétrica a concentração de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo utilizado até os dias atuais (Almeida, 2010; Boyd, 2015). Seguindo a classificação da USSL, apenas uma das fontes de água poderia ser utilizada para irrigação sem ocorrer salinização do solo, e outras nove apenas para culturas com moderada tolerância aos sais, na maioria dos casos sem práticas especiais de controle da salinidade. As demais amostras, totalizando 78%, possuíam risco de salinização alto a excepcionalmente alto, podendo serem utilizadas

apenas espécies tolerantes aos sais (Richards, 1954), como as plantas halófitas, já utilizadas no tratamento de efluentes da carcinocultura, produção de alimento e recuperação de solos salinizados na América do Sul (Doncato & Costa, 2017).

Apenas duas das propriedades investigadas possuíam viveiros revestidos com geomembrana como premissa para o sistema de cultivo aplicado. Essa medida favorece os sistemas de cultivo interiores, evitando perdas de água por infiltração e consequente contaminação salina da vegetação nativa circunvizinha. Em geral, a grande maioria das águas das fontes de abastecimento e dos viveiros de cultivo de *L. vannamei* em baixa salinidade, não foram adequadas para a irrigação, principalmente pela condutividade elétrica encontrada nas amostras. A mitigação do processo de salinização do solo, pode ser realizada através de tecnologias de baixo custo de dessalinização das águas de cultivo, por exemplo (Godínez-Siordia et al., 2011). Inclusive, em áreas remotas e isoladas, o uso de dessalinizadores alimentados por fontes de energia renováveis (solar, eólica), são alternativas para o tratamento e reuso dos efluentes da aquicultura, adequando-os para consumo humano (Liu, 2013). A legislação brasileira estabelece o valor máximo permitido (VMP) de sólidos totais dissolvidos para potabilidade de 1000 mg L⁻¹ na Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (MS, 2011), no entanto, diversos outros parâmetros devem ser avaliados para o consumo humano. Segundo a World Health Organization (WHO), efeitos depreciativos quanto a palatabilidade já são encontrados em concentrações acima de 600 mg L⁻¹, restringindo o consumo dessas fontes (WHO, 2017).

Algumas características encontradas nas propriedades pesquisadas foram comuns a sistemas intensivos de cultivo de camarões, entre eles: (1) a área reduzida de viveiros, favorecendo um maior peso médio final, maximizando a biomassa estocada (Ruiz-Velazco et al., 2010) e o melhor controle dos parâmetros ambientais e (2) a aplicação de técnicas de correção e reuso da água, pela própria escassez desse recurso em algumas fontes, e redução de perdas de insumos de produção em trocas d'água (sais, alcalinizantes, probióticos e etc.). Entre as tecnologias aplicadas para cultivos intensivos o sistema de bioflocos, ainda que carente de pesquisas em cultivos estritamente em águas doces na carcinocultura marinha, auxiliaria na minimização do uso de água e na geração de um ambiente estável, possuindo resultados mais efetivos que os sistemas convencionais (Krummenauer et al., 2014).

Sistemas de cultivo isolados geograficamente, são mais biosseguros por reduzir a contaminação cruzada oriunda do uso comum dos rios, como fonte de abastecimento e rede de drenagem em zonas produtivas. Essas podem ser importantes características dos bons resultados de produção encontrados em águas oligohalinas, que tem encorajado a implantação de diversos empreendimentos em zonas interiores, especialmente na zona semiárida do Brasil (Pessoa et al., 2016). Essa observação é reforçada pelas estatísticas nacionais, que no ano de 2011 mostraram que propriedades abastecidas com águas subterrâneas e açudes foram mais produtivas que águas estuarinas e de rios (ABCC, 2013). Ainda que não tenham sido encontradas diferenças estatísticas entre nenhum dos parâmetros zootécnicos avaliados, possivelmente pelo número reduzido de amostras, a utilização de águas oligohalinas e mesohalinas para a produção de *L. vannamei*, em termos financeiros, garantiria maior incremento na receita dos produtores, levando-se em consideração as produtividades máximas encontradas nessas classes em comparação às águas doces. A partir dos resultados obtidos, parece ser ideal o favorecimento de cultivos de camarões em águas interiores com salinidades superiores a 0,5 por possuírem menores possibilidades de usos, reduzindo a demanda hídrica para atividades humanas básicas. A implantação de carcinoculturas em zonas interiores, é um importante fator de desenvolvimento socioeconômico regional, pela geração de empregos, contenção de migrações humanas para o litoral e pela atração de investimentos de outras regiões.

5. CONCLUSÕES

A determinação da salinidade através da condutividade elétrica, somada às análises de composição iônica, são ferramentas imprescindíveis para a classificação salina da água, para a adequação dos usos desse recurso e para a seleção de áreas para a aquicultura de espécies marinhas. Águas interiores com salinidade superior a 0,5, são mais favoráveis a carcinocultura, por possuírem menores serventias em outros usos como a agricultura e consumo humano, sem um tratamento prévio de dessalinização. Além disso, em águas oligo e mesohalinas são encontradas maiores concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} e HCO_3^- , conferindo às águas alcalinidades e durezas totais mais adequadas para o desenvolvimento dos camarões, podendo nelas serem alcançadas maiores produtividades.

6. AGRADECIMENTOS

A Antônio Alves de Moura por ceder o veículo utilizado durante o período das coletas e análises. Aos produtores de *L. vannamei* pelo fornecimento das valiosas amostras de água e dos dados de produção das fazendas. Aos laboratórios de Qualidade da Água do IFCE, Campus Morada Nova - CE e de Práticas Oceanográficas e Ambientais do LABOMAR em Fortaleza – CE que cederam a estrutura para a realização das análises. A F.^{co} Vagner P. Bezerra e aos Prof. Doutores Renato T. Moreira, Sandra T. Santaella e Rivelino M. Cavalcante pelo auxílio durante as análises de água. A Diego Maia Rocha e a ABCC (Associação Brasileira de Criadores de Camarão) por terem auxiliado na localização das propriedades. A CAPES e o Projeto Camarão/FURG por cederem os recursos para a elaboração da presente pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- ABCC, 2013. Levantamento da Infraestrutura Produtiva e dos Aspectos Tecnológicos, Econômicos, Sociais e Ambientais da Carcinicultura Marinha no Brasil em 2011. ABCC/MAPA, Natal.
- ABCC, 2017a. Censo da Carcinicultura do Litoral Norte do Estado do Ceará e Zonas Interioranas Adjacentes 2015/2016. ABCC/MAPA, Natal.
- ABCC, 2017b. Censo da Carcinicultura do Litoral Sul do Estado do Ceará e Zonas Interioranas Adjacentes 2015/2016. ABCC/MAPA, Natal.
- Almeida, O.Á., 2010. Qualidade da água de irrigação, Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas.
- APHA (American Public Health Association), 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd ed, Washington, DC, 1496 pp.
- Araneda, M., Pérez, E.P., Gasca-Leyva, E., 2008. White shrimp *Penaeus vannamei* culture in freshwater at three densities: condition state based on length and weight. *Aquaculture*. 283, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.030>
- Barbosa, J.E.L., Medeiros, E.S.F., Brasil, J., Cordeiro, R.S., Crispim, M.C.B., Silva, G.H.G., 2012. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnol. Bras.* 24, 103–118. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000030>

- Bleich, S., Powilleit, M., Seifert, T., Graf, G., 2011. β -diversity as a measure of species turnover along the salinity gradient in the Baltic Sea, and its consistency with the Venice System. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 436, 101–118. <https://doi.org/10.3354/meps09219>
- Boyd, C.A., Boyd, C.E., Rouse, D.B., 2007a. Potassium budget for inland, saline water shrimp ponds in Alabama. *Aquac. Eng.* 36, 45–50. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.06.002>
- Boyd, C.A., Boyd, C.E., Rouse, D.B., 2007b. Potassium adsorption by bottom soils in ponds for inland culture of marine shrimp in Alabama. *J. W. A. Soc.* 38, 85–91.
- Boyd, C.A., Chaney, P.L., Boyd, C.E., Rouse, D.B., 2009. Distribution of ground water suitable for use in saline-water aquaculture in Central and West-central Alabama. *J. Appl. Aquac.* 21, 228–240. <https://doi.org/10.1080/10454430903114048>
- Boyd, C.E., 2002. Anion-cation balance, cross-check for reliability of ion analyses. *Glob. Aquac. Advocate.* 74–75.
- Boyd, C.E., 2015. *Water Quality - An Introduction*, 2 ed., Springer International Publishing. Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4>
- Boyd, C.E., Thunjai, T., 2003. Concentrations of major ions in waters of inland shrimp farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States. *J. World Aquac. Soc.* 34, 524–532. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2003.tb00092.x>
- Boyd, C.E., Thunjai, T., Boonyaratpalin, M., 2002. Dissolved salts in water for inland, low-salinity shrimp culture. *Glob. Aquac. Advocate.* 40–45.
- Boyd, C.E., Tucker, C.S., Somridhivej, B., 2016. Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. *J. World Aquac. Soc.* 47, 6–41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12241>
- Chainho, P., Lane, M.F., Chaves, M.L., Costa, J.L., Costa, M.J., Dauer, D.M., 2007. Taxonomic sufficiency as a useful tool for typology in a poikilohaline estuary. *Hydrobiologia* 63–78. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-0694-6>
- Chen, K., Li, E., Gan, L., Wang, X., Xu, C., Lin, H., Qin, J.G., Chen, L., 2014. Growth and lipid metabolism of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* at different salinities. *J. Shellfish Res.* 33, 825–832. <https://doi.org/10.2983/035.033.0317>

- CONAMA, 2011. Resolução Normativa do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. CONAMA/BRASIL. DOU nº 053: 18 de março de 2005. p 58-63.
- Custodio, E., Llamas, M.R., 1983. Hidrologia Subterrânea., in: Editora Omega. Barcelona, Espanha, pp. 174–213.
- Cuvin-Aralar, M.L.A., Lazartigue, A.G., Aralar, E. V, 2009. Cage culture of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) at different stocking densities in a shallow eutrophic lake. *Aquac. Res.* 40, 181–187. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02081.x>
- Davis, D.A., Boyd, C.E., Rouse, D.B., Saoud, I.P., 2005. Effects of potassium, magnesium and age on growth and survival of *Litopenaeus vannamei* post-larvae reared in inland low salinity well waters in West Alabama. *J. World Aquac. Soc.* 36, 416–419. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2005.tb00346.x>
- Davis, D.A., Samocha, T.M., Boyd, C.E., 2004. Acclimating Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, to inland, low-salinity waters. Souther Reg. Aquac. Center, Publ. No. 2601 8 p.
- Doncato, K.B., Costa, C.S.B., 2017. Growth and mineral composition of two lineages of the sea asparagus *Sarcocornia ambigua* irrigated with shrimp farm saline effluent. *Exp. Agric.* 1–18. <https://doi.org/10.1017/S0014479717000096>
- FAO, 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the Sustainable Development Goals. (Rome. 210 pp.).
- Freeze, R.A. & Cherry, J.A., 1979. Groundwater, Prentice Hall.
- Galbally, I., Meyer, C.P., Wang, Y., Kirstine, W., 2010. Soil–atmosphere exchange of CH₄, CO₂, N₂O and NO_x and the effects of land-use change in the semiarid Mallee system in Southeastern Australia. *Glob. Chang. Biol.* 16, 2407–2419. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02161.x>
- Godínez-Siordia, D.E., Chávez-Medina, M.C., Gómez-Jiménez, S., 2011. Acuicultura epicontinental del camarón blanco del Pacífico, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Trop. Subtrop. Agroecol.* 14 (1), 55–62.

- Goldberg, E.D., 1963. The oceans as a chemical system, in: Hill, M.N. (Ed.), The Composition of Sea-Water: Comparative and Descriptive Oceanography. The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas, vol. 2. Interscience Publisher, Ney York, pp. 3-25.
- Greenwood, M.F.D., 2007. Nekton community change along estuarine salinity gradients: can salinity zones be defined? *Estuaries and Coasts* 30, 537–542.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4, 1-9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- IBGE, 2017. Produção da Pecuária Municipal 2016, vol. 44. IBGE, Rio de Janeiro.
- Krummenauer, D., Samocha, T.M., Poersch, L.H.S., Lara, G.R., Wasielesky Jr., W., 2014. The reuse of water on the culture of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT system. *J. World Aquac. Soc.* 45, 3–14. <https://doi.org/10.1111/jwas.12093>
- Liu, C.C.K., 2013. The development of a renewable-energy-driven reverse osmosis system for water desalination and aquaculture production. *J. Integr. Agric.* 12, 1357–1362. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60541-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60541-9)
- Liu, H., Zhang, X., Tan, B., Lin, Y., Chi, S., Dong, X., Yang, Q., 2014. Effect of dietary potassium on growth, nitrogen metabolism, osmoregulation and immunity of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared in low salinity seawater. *J. Ocean Univ. China.* 13, 311–320. <https://doi.org/10.1007/s11802-014-2118-3>
- Marandi, A., Polikarpus, M., Jöeleht, A., 2013. A new approach for describing the relationship between electrical conductivity and major anion concentration in natural waters. *Appl. Geochemistry.* 38, 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.09.003>
- McGraw, W.J., Scarpa, J., 2003. Minimum environmental potassium for survival of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in freshwater. *J. Shellfish Res.* 22, 263–267.
- Miranda, I., Valles, J.L., Sánchez, R., Álvarez, Z., 2010. Cultivo del camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en agua dulce. *Rev. Científ.* 20, 339–346.

- Möbus, G., 2018. QUALIGRAF - Programa para análise da qualidade de água. FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www5.funceme.br/qualigraf/mi/midia/show/3>
- MS, 2011. Ministério da Saúde, Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 (Anexo X). Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. MS/BRASIL.
- Niencheski, L.F.H., 2015. Propriedades químicas da água de mar, in: Castello, J.P. & Krug, L.C. (Ed.), Introdução às ciências do mar, Textos, Pelotas, pp. 140-171.
- Pessôa, M.N.C., Vidal, J.M.A., Silva, U.L., Mendes, P.P., 2016. Marine shrimp cultivated at different densities and feeding regimens in oligohaline waters. Rev. Caatinga 29, 700–708.
- Ramirez-Rochin, J., Frias-Espericueta, M.G., Fierro-Sanudo, J.F., Alarcon-Silvas, S.G., Fregoso-Lopez, M.G., Paez-Osuna, F., 2016. Acute toxicity of nitrite on white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles in low-salinity water. Aquac. Res. 48, 1–7. <https://doi.org/10.1111/are.13069>
- Richards, L.A., 1954. Quality of irrigation water, in: Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture, Washington, pp. 69-82.
- Roy, L.A., Davis, D.A., Nguyen, T.N., Saoud, I.P., 2009. Supplementation of chelated magnesium to diets of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low-salinity waters of West Alabama. J. World Aquac. Soc. 40, 248–254.
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P., Boyd, C.A., Pine, H.J., Boyd, C.E., 2010. Shrimp culture in inland low salinity waters. Rev. Aquac. 2, 191–208. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01036.x>
- Roy, L.A., Davis, D.A., Whitis, G.N., 2012. Effect of feeding rate and pond primary productivity on growth of *Litopenaeus vannamei* reared in inland saline waters of West Alabama. N. Am. J. Aquac. 74, 20–26. <https://doi.org/10.1080/15222055.2011.638416>
- Ruiz-Velazco, J.M.J., Hernández-Llamas, A., Gomez-Muñoz, V.M., 2010. Management of stocking density, pond size, starting time of aeration, and duration of cultivation for intensive commercial production of shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquac. Eng. 43, 114–119. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.08.002>
- Sá, M.V.C., 2012. Limnocultura: Limnologia para Aquicultura. Edições UFC, Fortaleza.

- Samocha, T.M., Lawrence, A.L., Pooser, D., 1998. Growth and survival of juvenile *Penaeus vannamei* in low salinity water in a semi-closed recirculating system. *Isr. J. Aquac.* 50, 55–59.
- Saoud, I.P., Davis, D.A., Rouse, D.B., 2003. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. *Aquaculture* 217, 373–383.
- Silva, G.M.F., Celligoi, A., Pinese, J.P.P., 2011. Análise das águas dos poços de abastecimento público na bacia do rio Pirapó através dos diagramas de Piper e Stiff. *Rev. Geogr.* 20, 115–128.
- Soares, T.M., Silva, I.J.O., Duarte, S.N., Silva, Ê.F.F., 2006. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 10, 730–737. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300028>
- Subashchandrabose, S.R., Ramakrishnan, B., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., Naidu, R., 2011. Consortia of cyanobacteria/microalgae and bacteria: Biotechnological potential. *Biotechnol. Adv.* 29, 896–907. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.07.009>
- Venice System, 1958. The Venice System for the classification of marine waters according to salinity. *Limnol. Oceanogr.* 3, 346–347. <https://doi.org/10.4319/lo.1958.3.3.0346>
- Walton, N.R.G., 1989. Electrical conductivity and total dissolved solids-what is their precise relationship?. *Desalination.* 72, 275–292. [https://doi.org/10.1016/0011-9164\(89\)80012-8](https://doi.org/10.1016/0011-9164(89)80012-8)
- WHO, 2017. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. World Health Organization, Geneva.
- Zar, J.H., 2010. *Biostatistical Analysis*, 5th ed, Prentice Hall. New Jersey.

CAPÍTULO III

Inóculo de água marinha como alternativa para correção iônica de águas oligohalinas para a produção de *Litopenaeus vannamei* na fase de berçário em meio dominado por bioflocos e suas implicações na qualidade da água

Plácido Moura^{*a}, Wilson Wasielesky Jr.^a, Fabiane Serra^a, André Braga^b, Luís Poersch^a

^aPrograma de Pós-Graduação em Aquicultura, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rua do Hotel, nº 2, Cassino, Rio Grande, RS, Brasil. CEP: 96210-030

^bInstituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California - UACB, Ensenada, 22870, Baja California, Mexico.

*Autor correspondente: e-mail: placidopsm@yahoo.com.br

Capítulo submetido a Revista Aquaculture

RESUMO

A produção de *Litopenaeus vannamei* em águas oligohalinas é uma alternativa potencial para a expansão contínua da atividade. Porém, essas águas apresentam concentrações iônicas distintas do ambiente marinho, podendo essas diferenças afetar processos fisiológicos dos animais e com isso a produtividade dos cultivos. O experimento utilizou a inoculação de água do mar como estratégia para a correção iônica de águas oligohalinas, formuladas artificialmente para representar a configuração iônica de carcinoculturas em águas oligohalinas do Nordeste brasileiro e com isso avaliou os efeitos da inoculação na qualidade de água e no desempenho zootécnico dos camarões. O experimento durou 27 dias e foi desenvolvido em água dominada por bioflocos (BFT). Foram utilizados 20 tanques de 150L úteis, povoados com 150 pós-larvas (PL₂₂) de 0,057g. Foram testados quatro tratamentos com inoculação de água do mar (3, 6, 10 e 13%) e um tratamento sem inoculação (0%), todos com quatro repetições. As PLs foram alimentadas com dieta comercial com 40% de proteína bruta com quantidades ajustadas semanalmente. Monitoraram-se a temperatura da água, pH, saturação de oxigênio, nitrogênio da amônia (N-AT), do nitrito (N-NO₂⁻) e do nitrato (N-NO₃⁻), ortofosfato, alcalinidade total, dureza total (DT), salinidade, condutividade elétrica (C.E), sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis e a concentração dos íons majoritários. O desempenho zootécnico foi avaliado através do peso médio final, sobrevivência, taxa de crescimento específico, ganho de peso semanal, produtividade e conversão alimentar aparente. As concentrações de N-AT e N-NO₂⁻ permaneceram seguras para a espécie, no entanto, o N-NO₃⁻ atingiu concentrações acima do seguro em todos os tratamentos. A salinidade, DT e a C.E aumentaram significativamente de acordo com a quantidade de inóculo, bem como as concentrações dos íons Cl⁻, Na⁺, Mg²⁺ e K⁺ e a relação Na⁺:K⁺. O desempenho zootécnico foi superior nos tratamentos inoculados, não diferindo entre si. Os resultados estão associados ao incremento dos íons Na⁺, Mg²⁺ e K⁺ e a consequente elevação da relação Na⁺:K⁺, além do aporte de vários de íons menores encontrados no mar, não dosados na água formulada. Os resultados indicam que 3% de inoculação de água do mar é suficiente para mitigar os efeitos negativos de desequilíbrios iônicos de águas oligohalinas interiores, no desenvolvimento de PLs de *L. vannamei* cultivadas em sistema BFT.

Palavras chave: *Litopenaeus vannamei*, semiárido, composição iônica, salinidade

ABSTRACT

The production of *Litopenaeus vannamei* in oligohaline waters is a potential alternative for the continuous expansion of the activity. However, these waters present different ionic concentrations from the marine environment, and these differences may affect the physiological processes of the animals and thus the productivity of cultures. The experiment used the seawater inoculation as a strategy for the ionic correction of oligohaline waters, artificially formulated to represent the ionic configuration of shrimp cultures in oligohaline waters of Brazilian Northeast and thus evaluated the effects of inoculation on water quality and zootechnical performance of shrimps. The experiment lasted 27 days and was developed in biofloc-dominated water (BFT). Twenty tanks of 150L were used, with 150 post-larvae (PL22) per tank (0.057 ± 0.002 g). Four treatments with seawater inoculation (3, 6, 10 and 13%) and one treatment without inoculation (0%) were tested, all with four repetitions. The PLs were fed a commercial diet of 40% crude protein with weekly adjusted amounts. The water temperature, pH, oxygen saturation, ammonia nitrogen (TAN), nitrite (N-NO₂⁻) and nitrate (N-NO₃⁻), orthophosphate, total alkalinity, total hardness (TH), salinity, electrical conductivity (EC), total suspended solids, sedimentable solids, and the concentration of the major ions were monitored. Zootechnical performance was evaluated through: final weight, survival, specific growth rate, weekly weight gain, productivity and apparent food conversion. TAN and N-NO₂⁻ concentrations remained safe for the species, however N-NO₃⁻ reached above safe concentrations in all treatments. Salinity, TH and EC increased significantly according to the amount of inoculum, as well as concentrations of Cl⁻, Na⁺, Mg²⁺ and K⁺ ions and the Na⁺:K⁺ ratio. The zootechnical performance was superior in the inoculation treatments, not differing from each other. The results are associated with the increase of Na⁺, Mg²⁺ and K⁺ ions and the consequent increase of the Na⁺:K⁺ ratio, besides the contribution of several smaller ions found in the sea, not dosed in the formulated water. The results indicate that 3% sea water inoculation is sufficient to mitigate the negative effects of ion imbalances of inland oligohaline waters on the development of *L. vannamei* PLs cultivated in BFT system.

Keywords: *Litopenaeus vannamei*, semiarid region, ionic composition, salinity

1. INTRODUÇÃO

A produção de organismos marinhos em regiões interiores, propõe um grande desafio para a expansão tecnicamente viável da aquicultura. Entre as espécies mais cultivadas no mundo, destaca-se o camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei*, principalmente por sua adaptabilidade as condições ambientais distintas ao ambiente marinho natural. Essa espécie é comumente cultivada nas Américas Central e do Sul desde a década de 80 (Boyd, 1989), sendo bastante explorada em águas interiores de diversos países do ocidente, como o Brasil, Cuba, Equador, EUA, México, Panamá e Venezuela (Godínez-Siordia et al., 2011; Jaime-Ceballos et al., 2012; Jory, 2017; Miranda et al., 2010; Roy et al., 2010). Mesmo tolerando menores salinidades, a interiorização dos cultivos nesses países foram realizadas em ambientes potenciais para a carcinocultura, em águas naturais com salinidade entre 0,5 e 5,0 (oligohalinas), de diversas fontes naturais como poços, rios, lagos e represas (Boyd et al., 2009; Nunes & López, 2001; Valença & Mendes, 2004; Valenzuela-Madrigal et al., 2017).

Em geral, as fontes de águas interiores apresentam proporções diferentes entre os íons que compõem a salinidade destas águas, e são distintas entre si e quando comparadas a água marinha em geral, mesmo que estas estejam em uma mesma salinidade (Boyd et al., 2009). Isso se deve ao fato de que águas interiores possuem a sua composição iônica estreitamente associada as condições ambientais locais, como pluviosidade e geologia da região (Barbosa et al., 2012), diferentemente dos oceanos que possuem a composição iônica praticamente constante em todo o planeta, pelas propriedades conservativas dos principais íons e o pequeno aporte mineral do continente em relação a concentração já existente no mar (Niencheski, 2015).

Em águas naturais, os íons majoritários, ou seja, os mais abundantes, são os cátions: sódio (Na^+), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}) e potássio (K^+), e os ânions: cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-), sendo em águas marinhas, as relações entre as concentrações desses íons comumente utilizadas para a adequação iônica de águas interiores para o cultivo de *L. vannamei*. A principal relação iônica avaliada para o bom desenvolvimento dos camarões marinhos é a existente entre as concentrações (mg L^{-1}) dos cátions encontrados na água do mar natural: Na^+ (10.500), Mg^{2+} (1.350), Ca^{2+} (400) e K^+ (380) de aproximadamente 28:3:1:1 (Boyd, 2018). Ainda que mantenham as relações iônicas consideradas ideais, a água marinha se diluída demasiadamente pode se tornar

inadequada para a sobrevivência e crescimento do *L. vannamei*. Isso se deve ao fato de que a espécie necessita de concentrações mínimas de alguns íons para a realização de suas atividades metabólicas, entre eles o Ca^{2+} , Mg^{2+} e o HCO_3^- , nos quais estão diretamente relacionados a dureza e alcalinidade total da água (Boyd et al., 2016; Davis et al., 2004), além dos íons K^+ e Mg^{2+} (Wudtisin & Boyd, 2011). Assim, fisiologicamente a composição de sais dissolvidos na água é mais importante do que o valor da salinidade bruta no que se refere à osmorregulação e ao desenvolvimento de carapaça desses organismos.

Águas subterrâneas e superficiais com elevada dureza e alcalinidade, são comumente encontradas em regiões de clima árido e semiárido em todo o mundo. Essas características climáticas e de qualidade de água foram cruciais para a o sucesso e evolução da interiorização dos cultivos de *L. vannamei*, visto que as águas utilizadas, mesmos que doces, possuíam dureza suficiente para substituir as carências de água do mar e uma alcalinidade superior a 75 mg L^{-1} (Miranda et al., 2010; Davis et al., 2004). Em contrapartida, nessas mesmas regiões, o que pode limitar o bom desenvolvimento dos animais é a carência de íons importantes como o K^+ e o Mg^{2+} (Wudtisin & Boyd, 2011) e outros constituintes da água do mar em menor concentração, mesmo os que estão classificados como elementos traço em águas marinhas com aproximadamente 0,01% da salinidade da água (Niencheski, 2015). No entanto, ainda são escassas as informações na literatura em relação a influência direta nos organismos cultivados, dos elementos menores encontrados na água do mar natural (Kuhn et al., 2007; Prangnell et al., 2016).

Na natureza, o *L. vannamei* adulto habita, assim como outros peneídeos, as zonas costeiras de maior profundidade, onde permanece a maior parte do ciclo de vida. No entanto, por um breve período que se inicia após a reprodução, desova e eclosão dos ovos, os animais ainda em fases larvais são carregados pelas correntes de maré em direção aos estuários, onde permanecem desde a fase de pós-larva (PL) até iniciar a migração para o alto mar, já na fase de juvenil. Em zonas estuarinas, a salinidade e a composição iônica da água variam constantemente pela influência tanto de águas continentais quanto marinhas, através do ciclo de marés (Valentin & Muelbert, 2015).

Dentro da cadeia produtiva da espécie, as condições do cativeiro se assemelham ao ambiente natural, onde os laboratórios de reprodução e larvicultura dependem das águas marinhas constantemente, pelo fato dos reprodutores (camarões adultos) perderem a tolerância à baixas salinidades e desbalanços iônicos (Gong et al., 2004; Chong-Robles

et al., 2014), bem como larvas e pós-larvas menores que PL₁₅, não possuem ou não terem desenvolvido totalmente os arcos branquiais, necessários para a aclimação à salinidades abaixo de 4 g L⁻¹ (Balbi et al., 2005; Davis et al., 2002). Esses motivos, fazem com que a produção comercial do *L. vannamei* esteja em águas interiores concentrada nas fases intermediárias do cultivo (berçário e engorda), onde os animais são capazes de tolerar às variações da composição iônica. No entanto, mesmo assim o processo de aclimação deve ser realizado respeitando a capacidade dos organismos em se adequarem as novas condições (McGraw et al., 2002; McGraw & Scarpa, 2004).

A implementação das fases de pré-berçário e berçário propõem diversas vantagens à produção comercial de camarões marinhos, como o melhor aproveitamento de área e tempo de cultivo, possibilitando ciclos mais curtos, maior controle de parâmetros ambientais e da oferta de alimento proposta pelo confinamento dos animais, viabilização do uso de dietas de melhor qualidade e específicas para as fases, possibilidade de manutenção do estoque e da avaliação da qualidade do lote de animais anteriormente a fase de engorda, através do desempenho zootécnico. Além desses fatores, por serem mais evidentes os problemas relacionados a composição iônica nas fases iniciais dos cultivos, as estruturas de berçário fornecem maior tempo para a adaptação dos animais oriundos dos laboratórios de larvicultura para as condições locais, visto que as maiores dificuldades encontradas pelos produtores em águas interiores estarem relacionadas as mortalidades, tanto na aclimação quanto durante o ciclo de cultivo (Boyd et al., 2002).

Em regiões interiores, as principais alternativas para a elevação da salinidade com uma composição iônica adequada são: transporte de águas marinhas naturais ou concentradas (salmouras) oriundas da indústria salineira (Boyd & Thunjai, 2003) e/ou a aquisição de sais marinhos comerciais. No entanto, devido aos custos da utilização dessas fontes, as fazendas tendem a operar com a mínima salinidade possível, no intuito de viabilizar a produção (Ray & Lotz, 2017). A depender da qualidade técnica da fazenda e da disponibilidade de compostos químicos de baixo custo na região, a formulação de sais marinhos completos ou a compensação individual de alguns elementos, podem ser alternativas de grande valor (Parmenter et al., 2009; Pine & Boyd, 2010).

Características de sistemas de cultivo intensivos ambientalmente corretos, são favoráveis à produção de *L. vannamei* em águas interiores, entre elas: a baixa utilização de água em relação a biomassa produzida (alta produtividade), já que os custos de

salinização estão relacionados, entre outros, ao volume de água; e o reuso total da água de cultivo, pois o descarte de água levaria junto o investimento com os sais e causaria impactos ambientais com salinização do ambiente (Braaten & Flaherty, 2001). Além desses fatores, o reuso de água se torna obrigatório em regiões onde a água é um recurso escasso, principalmente as águas doces que possuem mais usos que águas oligohalinas (Boyd et al., 2009). Entre as técnicas empregadas em berçários de produção de *L. vannamei*, a tecnologia de bioflocos (BFT) tem sido alvo de diversas pesquisas com bons resultados em termos de produção utilizando sistemas em baixa salinidade: 5,0 g L⁻¹ (Moreno-Arias et al., 2016) e 4,0 g L⁻¹ (Zacarias et al., 2018). No entanto, em salinidades inferiores, a sobrevivência de pós-larvas (Esparza-Leal et al., 2016) e juvenis (Maicá et al., 2011), tem sido afetada pela toxicidade do íon nitrito (NO₂⁻), acumulado durante um breve período na fase de colonização da comunidade bacteriana em sistema BFT.

A letalidade do NO₂⁻ é potencializada à medida que a salinidade, e a consequente concentração do Cl⁻, é reduzida na água. Isto se deve ao fato desses ânions (Cl⁻ e NO₂⁻) competirem pelos mesmos sítios de absorção nas brânquias dos animais, assim no processo de compensar ativamente as perdas corporais de Cl⁻ por difusão simples para o meio menos concentrado (a água), os animais acabam absorvendo o NO₂⁻ e morrendo por asfixia ocasionada pela anemia funcional, atribuída a modificação estrutural da proteína carreadora do oxigênio para o metabolismo dos camarões, a hemocianina (Cheng & Chen, 2002; Gross et al., 2004; Romano & Zeng, 2013). Dessa forma, as mortalidades por NO₂⁻ tem sido um dos principais fatores limitantes a intensificação de sistemas de cultivo de *L. vannamei*, principalmente em baixa salinidade (Furtado et al., 2016).

A adição de um volume mínimo de 25% de água enriquecida com bioflocos, ou seja, o reuso parcial (inóculo de microrganismos) ou integral, pode promover a rápida estabilização da comunidade de bactérias nitrificantes e prevenir os picos de concentração do NO₂⁻ (Krummenauer et al., 2014). No entanto, a utilização de um inóculo depende de um cultivo preestabelecido, podendo na ausência deste em baixa salinidade, ser necessária a realização de trocas parciais de água para evitar mortalidades atribuídas ao NO₂⁻, elevando o consumo de água. Além disso, em alguns casos é necessária a redução do aporte de nitrogênio (N) do sistema, através da supressão alimentar dos animais, diminuindo a taxa de crescimento dos organismos durante os dias de exposição a este composto nitrogenado. Uma alternativa para o desenvolvimento rápido do sistema BFT

sem a utilização de animais, é a fertilização prévia da água com uma fonte de N inorgânico como o sal amoníaco (cloreto de amônio - NH_4Cl) já utilizado em altas salinidades (Gaona et al., 2014; Morais et al., 2020), podendo este ser uma importante ferramenta para desenvolver os cultivos de camarões em sistema BFT em águas oligohalinas. Diante do exposto, o objetivo do estudo é avaliar a influência do inóculo de água marinha natural no desenvolvimento de pós-larvas de *L. vannamei* em sistema BFT em águas oligohalinas análogas as utilizadas em cultivos da espécie no Nordeste brasileiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização do experimento e procedência dos animais

O experimento foi conduzido na Estação Marinha de Aquacultura (EMA), Instituto de Oceanografia (IO) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), localizada na praia do Cassino, cidade de Rio Grande -RS, na região Sul do Brasil, e teve duração de 27 dias. Os náuplios de *L. vannamei* foram adquiridos de uma larvicultura comercial (Aquatec LTDA) localizada no Nordeste do Brasil. Os animais foram mantidos no setor de larvicultura da EMA até alcançarem 10 dias no estágio de desenvolvimento de pós-larva (PL₁₀). Após esse período, os animais foram mantidos em pré-berçário por 10 dias (PL₂₀) antes de ser iniciado o processo de aclimação às baixas salinidades. Esse período foi aguardado para a garantia de que todo o lote de animais superasse a fase de PL₁₅, onde ocorre o total desenvolvimento dos filamentos branquiais, tornando os animais aptos a tolerar as reduções de salinidade, e assim reduzir as mortalidades atribuídas ao processo de aclimação no experimento (Balbi et al., 2005; Davis et al., 2002).

2.2 Aclimação dos animais

A aclimação dos animais às salinidades experimentais foi realizada em um tanque de polietileno de 1000L úteis, abastecido com água marinha com salinidade 30, sendo previamente tratada com 10 mg L⁻¹ de cloro, oriundo de uma solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 12%. A eliminação do cloro da água foi realizada por aeração. As reduções de salinidade foram realizadas através da substituição de volumes conhecidos da água marinha do tanque de aclimação por água salgada artificialmente com salinidade 0,6 e alcalinidade de 150 mg L⁻¹ CaCO₃, com a composição iônica semelhante à água a ser utilizada no experimento, descrita a seguir (Tabela 7).

A metodologia utilizada para a aclimatação foi adaptada de Van Wyk, 1999 e McGraw et al., 2002, com as reduções de salinidade realizadas como se segue: dia 1: redução de 30,0 para 5,0 com taxa de redução de 46,7% da salinidade de por hora; dia 2: redução de 5,0 para 2,0 com taxa de redução de 0,25 g/L/h e dia 3: redução de 2,0 para 0,67 com taxa de redução de 0,13 g/L/h. Durante todo o procedimento de aclimatação o tanque permaneceu sob aeração constante e a temperatura média de 28°C. A alimentação dos animais foi fornecida a cada 2 horas, utilizando uma ração comercial com características nutracêuticas recomendada para pós-larvas durante momentos de alterações ambientais estressantes (Stress Pack, INVE®). Após a aclimatação, à medida que cada salinidade alvo foi alcançada, as pós-larvas foram contabilizadas e transferidas para as respectivas unidades experimentais.

2.3 Preparação da salga artificial

Inicialmente foram preenchidas com água doce da companhia de abastecimento municipal quatro reservatórios com 750 L de volume útil totalizando 3.000 L. Antes da adição dos sais, uma análise da água de abastecimento foi realizada para quantificar a concentração dos íons dissolvidos naturalmente na fonte, e assim evitar grandes alterações nas concentrações esperadas para os tratamentos experimentais. Os valores encontrados foram: condutividade elétrica = 135,9 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e salinidade = 0,09, demonstrando uma baixíssima concentração de sais dissolvidos, evitando algum manejo para a dessalinização da água. A cada reservatório de água foi dissolvida uma mistura de sais analíticos como fontes dos íons majoritários (Tabela 7), com o objetivo de simular em laboratório uma configuração iônica similar a encontrada em carciniculturas interiores em águas doces e oligohalinas. Para isso, foi utilizada a condutividade elétrica média de águas com essas características e equações regressão para a estimação da concentração de cada íon majoritário através da condutividade elétrica, utilizando dados expostos em pesquisa prévia¹. Esta configuração será chamada a seguir de configuração iônica de baixa salinidade (CIBS). A formulação para o preparo da CIBS está descrita na Tabela 7:

¹ Capítulo II – Produção do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em águas continentais no Nordeste do Brasil: avaliação da composição iônica da água como ferramenta para o desenvolvimento sustentável da atividade

Tabela 7 – Concentrações de sais analíticos, concentrações finais esperadas dos íons majoritários e relações iônicas após a preparação da salga artificial da configuração iônica de baixa salinidade (CIBS). Esta configuração iônica simula a encontrada em águas utilizadas na produção de *L. vannamei* em regiões interiores no Nordeste brasileiro.

Sais analíticos	Fórmulas	Concentrações (mg L ⁻¹)
Cloreto de sódio	NaCl	100
Cloreto de magnésio hexahidratado	MgCl ₂ x 6H ₂ O	300
Sulfato de sódio	Na ₂ SO ₄	26
Cloreto de cálcio dihidratado	CaCl ₂ x 2H ₂ O	110
Cloreto de potássio	KCl	15
Bicarbonato de sódio	NaHCO ₃	240
Íons majoritários	Símbolos	Concentrações (mg L ⁻¹)
Cloreto	Cl ⁻	225,5
Sódio	Na ⁺	113,4
Sulfato	SO ₄ ²⁻	17,6
Magnésio	Mg ²⁺	35,9
Cálcio	Ca ²⁺	30,0
Potássio	K ⁺	7,9
Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	174,3
Relações iônicas	-	Valores
Na ⁺ :K ⁺	-	14,4
Mg ²⁺ :Ca ²⁺	-	1,2
K ⁺ :Ca ²⁺	-	0,3

2.4 Preparação do inóculo de bioflocos.

Com o objetivo de favorecer a estabilização das comunidades bacterianas envolvidas no processo de nitrificação e evitar possíveis mortalidades atribuídas a toxicidade de amônia ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) e NO_2^- durante o período experimental, as águas salgadas artificialmente (3000 L da CIBS) foram previamente fertilizadas, induzindo o desenvolvimento das bactérias nitrificantes como alternativa para maturar o sistema anteriormente a estocagem dos camarões nas unidades experimentais. O processo foi realizado sem animais, com a adição do sal inorgânico cloreto de amônio (NH_4Cl) como fonte de nitrogênio para a proliferação das bactérias nitrificantes, sendo ministradas duas vezes por semana na concentração de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ seguindo a metodologia adaptada de Gaona et al., 2014. O processo foi repetido até que a adição do nitrogênio oriundo do NH_4Cl nos tanques de formação do inóculo não mais se acumulasse na forma de nitrogênio amoniacal total (N-AT), nem de N-NO_2^- , apenas N-NO_3^- , indicando a total estabilização da comunidade bacteriana nitrificante.

A fertilização orgânica foi realizada através da adição de melaço líquido (37,3% de carbono) com o objetivo de manter uma relação C:N inicial de 15:1. (Avnimelech, 1999; Ebeling et al., 2006). As correções de alcalinidade foram realizadas com a utilização de cal hidratada comercial (Furtado et al., 2014).

O sistema foi mantido sobre aeração e aquecimento constante e as perdas de água por evaporação foram repostas sempre que necessário utilizando água doce da rede de abastecimento, previamente dechlorada. Doses semanais de probiótico comercial (Sanolife[®] PRO-W, INVE[®]) foram adicionadas nas águas durante a formação do inóculo e por todo o período experimental na concentração de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ ($0,5 \text{ g m}^{-3}$).

A água marinha natural utilizada no experimento como fonte adicional de íons para a CIBS, foi obtida de um tanque de engorda de camarões, já estabelecido no laboratório em salinidade 30. Esta água colonizada por bactérias, foi armazenada em um tanque de 750 L úteis provido de aeração e aquecimento constante idêntico aos utilizados para a formação do inóculo com a CIBS. No entanto, a água perdida por evaporação não foi reposta até a salinidade 35 ser alcançada, no intuito de ser utilizada no experimento a água com concentrações iônicas semelhantes a água do mar natural. Todo o processo de preparação do inóculo teve duração de 36 dias, resultando na utilização de um inóculo inicial BFT de 100% para o experimento.

2.5 Delineamento experimental

O presente experimento foi desenvolvido em ambiente fechado, com iluminação artificial oriunda de lâmpadas fluorescentes e fotoperíodo ajustado para 12 horas de claro e 12 horas de escuro. A temperatura da sala foi mantida em 28°C através do sistema de ar condicionado. As unidades experimentais foram compostas por tanques pretos de fibra de vidro com o fundo cônico e volume útil de 150 L. A aeração foi fornecida continuamente através de mangueiras difusoras (Aerotube[®]), instaladas em cada unidade experimental (Figura 7). O sistema de aeração foi alimentado com ar injetado na rede de distribuição do laboratório por um compressor radial (soprador) de 7,5 CV.

As unidades experimentais foram abastecidas no dia anterior ao povoamento através do bombeamento e mistura dos inóculos de água marinha e da CIBS, previamente preparados nos tanques de 750L. O experimento foi composto de cinco tratamentos com quatro repetições cada, onde no tratamento 1 não foi adicionado à CIBS o inóculo de água marinha (0%), e nos demais tratamentos (2, 3, 4 e 5), foram adicionados 3, 6, 10 e 13% do volume útil do tanque o inóculo de água marinha com salinidade 35 g L⁻¹, respectivamente. As porcentagens de água do mar adicionadas, foram determinadas de modo que a salinidade variasse entre a menor salinidade da CIBS, sem a adição da água do mar (aprox. 0,6) e o limite de salinidade da classe de água oligohalinas (5,0 g L⁻¹). Os animais foram estocados na densidade de 1000 PL m⁻³, totalizando 150 animais com peso médio inicial (PMI) de 0,057 ± 0,002 g por unidade experimental.



Figura 7 – Unidades experimentais utilizadas para o cultivo de *L. vannamei* durante a fase de berçário com diferentes concentrações de inóculo de água marinha na CIBS.

2.6 Manejo da qualidade da água

A temperatura da água foi mantida em aproximadamente 28°C, com a utilização de aquecedores elétricos de 250W e condicionadores de ar. Duas vezes ao dia (8:00 e 16:00h) foram mensurados os parâmetros de saturação de oxigênio (%OD) e temperatura com sonda multiparâmetro (Modelo: Multi 3410, WTW®) e com a mesma frequência diária, o pH foi mensurado com um pHmetro de bancada (modelo: FEP20, Mettler Toledo®). A salinidade e a condutividade elétrica da água foram avaliadas uma vez por semana com sonda multiparâmetro (modelo: Multi HQ40d, HATCH®). As concentrações do N-AT e do N-NO₂⁻ foram mensurados diariamente. As concentrações do N-NO₃⁻, ortofosfato como fósforo (P-PO₄³⁻), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos sedimentáveis (SS) foram mensurados uma vez por semana. O método original de determinação dos SS (Tabela 8) foi adaptado com um tempo de sedimentação de 30 minutos, seguido de uma leve agitação para a soltura dos bioflocos fixados nas paredes do cone Imhoff com mais 15 minutos de sedimentação, ao fim desse período o volume dos bioflocos no cone foi registrado (Avnimelech et al., 2014; Samocha et al., 2017). A alcalinidade total da água foi mensurada duas vezes por semana. Os métodos e referências utilizados para todas as análises laboratoriais estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Métodos de determinação e parâmetros de qualidade de água avaliados durante o cultivo de *L. vannamei* na fase de berçário com diferentes concentrações de inóculo de água marinha na CIBS.

Parâmetros avaliados	Métodos de análises	
	Técnicas	Referências
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	Titulometria	APHA (2012), 2320 B.
Dureza total (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	Titulometria	APHA (2012), 2340 C.
N-AT (mg L ⁻¹)	Espectrofotometria	UNESCO (1983)
N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	Espectrofotometria	Aminot & Chaussepied (1983)
N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	Espectrofotometria	Aminot & Chaussepied (1983)
P-PO ₄ ³⁻ (mg L ⁻¹)	Espectrofotometria	Aminot & Chaussepied (1983)
SS (mL L ⁻¹)	Volumetria	*APHA (2012), 2540-F.
SST (mg L ⁻¹)	Gravimetria	Strickland & Parsons (1972)
Densidade dos bioflocos (mg mL ⁻¹)	-	*De Schryver et al. (2008)
Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	Titulometria	APHA (2012), 4500-CL ⁻ B
Na ⁺ (mg L ⁻¹)	Fotometria de chama	APHA (2012), 3500-Na B.
SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	Espectrofotometria	APHA (2012), 4500 SO ₄ ²⁻ E.
Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	Titulometria	APHA (2012), 3500-Mg B.
Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	Titulometria	APHA (2012), 3500-Ca B.
K ⁺ (mg L ⁻¹)	Fotometria de chama	APHA (2012), 3500-K B.
HCO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	Titulometria	APHA (2012), 2320 B.

NAT: nitrogênio amoniacal total, N-NO₂⁻: nitrogênio do nitrito, N-NO₃⁻: nitrogênio do nitrato, P-PO₄³⁻: ortofosfato como fósforo, SS: sólidos sedimentáveis (cone Imhoff), SST: sólidos suspensos totais, Cl⁻: cloreto, Na⁺: sódio, SO₄²⁻: sulfato, Mg²⁺: magnésio, Ca²⁺: cálcio, K⁺: potássio e HCO₃⁻: bicarbonato. *métodos adaptados.

A densidade dos bioflocos (mg mL⁻¹) foi determinada através do quociente entre a massa (SST em mg L⁻¹) e o volume (SS em mL L⁻¹) dos bioflocos em 1 litro de água. Para isso, a amostra para a determinação dos sólidos suspensos totais foi obtida do mesmo volume de água coletado no cone Imhoff para os sólidos suspensos. A metodologia foi adaptada do índice de volume de floco (IVF), que define o volume em mL ocupado por 1g de flocos bacterianos, determinado através das análises de sólidos suspensos voláteis (SSV) e sólidos sedimentáveis (SS) citado em De Schryver et al. (2008).

Os valores de saturação de oxigênio dissolvido (%OD) foram convertidos para concentração em mg L^{-1} através da metodologia proposta por Benson & Krause (1984), onde foi levada em consideração a temperatura, salinidade e altitude (nível do mar, 0m) dos tanques no momento da mensuração para os cálculos. Para a determinação da dureza total e da concentração dos íons majoritários na água, as amostras foram coletadas e deixadas em repouso até a total sedimentação dos bioflocos, assim apenas o volume sobrenadante foi armazenado. As coletas foram realizadas no início, meio e fim do período de 27 dias experimentais e as amostras armazenadas a 4°C até a realização das análises ao final do experimento.

Os ajustes de alcalinidade total foram realizados sempre que necessário para manter as concentrações próximas a 150 mg L^{-1} , com a adição de cal hidratada comercial (Furtado et al., 2015a, 2014). As concentrações dos níveis de sólidos suspensos totais foram mantidas abaixo de 500 mg L^{-1} através do uso de um clarificador (tanque sedimentador) de pequeno porte (Gaona et al., 2011).

2.7 Manejo alimentar

A alimentação dos animais foi ofertada duas vezes ao dia (09:00 – 17:00). Na primeira semana de cultivo, foi utilizada uma ração comercial em pó (Guabi, 40PL), seguida de uma ração de granulometria variada para camarões juvenis (Guabi, 40J), ambas com 40% de proteína bruta. Os níveis de garantia (g/Kg) de minerais segundo o rótulo do fabricante da ração estão a seguir: cinzas: 140,00, cálcio: 12,00 – 30,00, fósforo: 14,50, sódio: 1,85 e potássio: 8,00.

Foram utilizadas bandejas de alimentação para a avaliação do consumo diário, e o ajuste da ração foi realizado semanalmente, tomando como base o peso médio determinado nas biometrias, assim como, a sobrevivência estimada pelo consumo de ração e observações da rotina diária. O percentual da biomassa ofertado em ração diariamente foi determinado através de tabela de alimentação (Jory et al., 2001).

2.8 Avaliação do desempenho zootécnico

O desenvolvimento dos animais foi acompanhado através de biometrias semanais, o peso de 10% da população de cada tanque foi medido com uma balança digital com precisão de 0,001g (modelo: UX420H, Marte[®]). No fim do período experimental todos os animais presentes nas unidades experimentais foram pesados e contabilizados para a

determinação do peso médio final (Pmf) e porcentual de sobrevivência. O desempenho zootécnico dos animais foi avaliado através dos parâmetros:

$$(1) \text{Sobrevivência (\%)} = (\text{população final} / \text{população inicial}) * 100$$

$$(2) \text{Incremento na biomassa (g)} = \text{biomassa final (g)} - \text{biomassa inicial (g)}$$

$$(3) \text{Conversão alimentar aparente (CAA)} = \text{ração ofertada (g)} / \text{incremento na biomassa (g)}$$

$$(4) \text{Produtividade (Kg m}^{-3}\text{)} = \text{incremento na biomassa} / \text{volume do tanque (L)}$$

$$(5) \text{Ganho em peso semanal (g semana}^{-1}\text{)} = (\text{Pmf} - \text{Pmi}) / \text{n}^{\circ} \text{semanas}$$

$$(6) \text{Taxa de crescimento específico (\% dia}^{-1}\text{)} = ((\ln \text{Pmf} - \ln \text{Pmi}) / \text{tempo em dias}) * 100$$

2.9 Análises estatísticas

A precisão das análises de composição iônica foi verificada através da determinação do erro de distribuição das cargas positivas e negativas (balanço iônico), a diferença máxima percentual aceitável para o presente trabalho foi de 15%, as amostras que superavam essa diferença não foram utilizadas para análises posteriores (Boyd, 2002). Para a determinação foi utilizada a expressão do erro prático (EP%), citado em Custodio & LLamas (1983).

Antes das comparações estatísticas se testaram os pressupostos de normalidade e homocedasticidade para as variáveis físico-químicas e zootécnicas com os testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Quando estes foram atendidos, se aplicou as análises de ANOVA de uma via, seguido pelo teste post-hoc de Tukey, caso contrário foram utilizados os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis para detecção de diferenças e teste de Dunn para múltiplas comparações entre os tratamentos avaliados ($\alpha=0,05$). Os valores percentuais de sobrevivência e taxa de crescimento específico foram convertidos (arco-seno da raiz quadrada) antes de serem analisados (Zar, 2010). O software utilizado para todas as análises estatísticas foi o Past v.3.25 (Hammer et al., 2001).

3. RESULTADOS

3.1 Formação do inóculo BFT

A produção do inóculo bacteriano para o experimento utilizando a fonte inorgânica de N (NH_4Cl), teve duração de 36 dias. As médias seguidas dos desvios padrão dos parâmetros de qualidade de água foram: oxigênio dissolvido = $7,7 \pm 0,6 \text{ mg L}^{-1}$, temperatura = $25,5 \pm 1,9 \text{ }^\circ\text{C}$, pH = $8,3 \pm 0,1$, alcalinidade total = $157,6 \pm 19,6 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ e sólidos suspensos totais = $33,3 \pm 15,5 \text{ mg L}^{-1}$.

Os picos de N-AT ocorreram nos dias 6, 10 e 16 em resposta ao aporte de NH_4Cl , sendo estes controlados com a adição do melão de cana de açúcar. A última adição de NH_4Cl foi realizada no dia 25, quando observado que todo o nitrogênio aportado estava sendo assimilado pela rápida atividade das bactérias amônia oxidantes (AOB). A partir do dia 7, as concentrações de N-NO_2^- permaneceram em ascendência até o dia 30, atingindo a concentração máxima de $8,3 \pm 1,5 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 8) e a partir desse ponto, as concentrações foram reduzidas, sendo indetectáveis no último dia (dia 36), indicando a estabilização das bactérias nitrificantes. O primeiro valor detectável de N-NO_3^- foi encontrado no dia 8, seguindo em ascensão até o valor médio de $17,3 \pm 8,0 \text{ mg L}^{-1}$ no fim do período experimental (Figura 8). As médias de condutividade elétrica das águas nos tanques iniciaram em $1.026,0 \pm 3,56 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$ e encerraram em $1.397,0 \pm 18,83 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$.

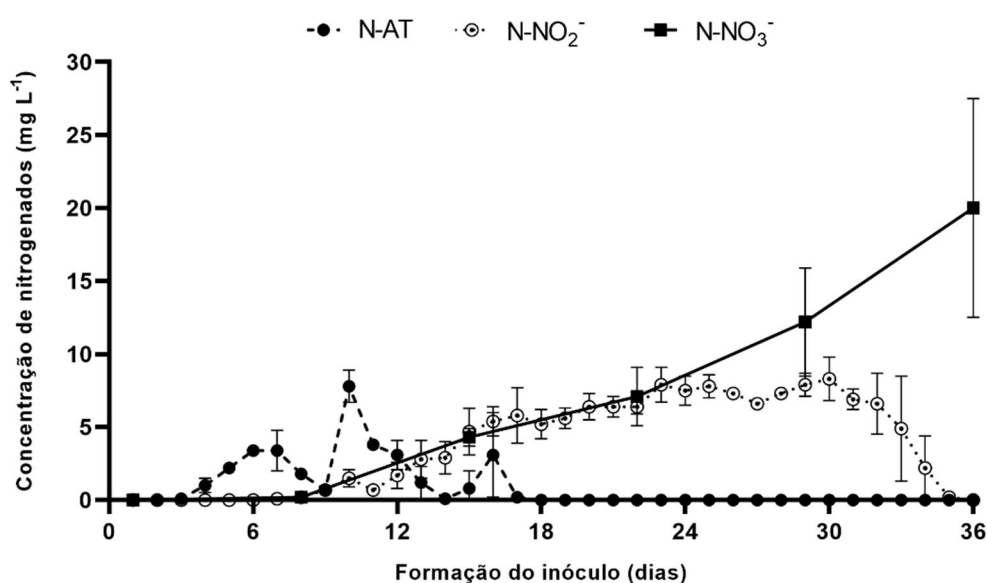


Figura 8 – Concentrações dos compostos nitrogenados durante o período de 36 dias de formação do inóculo de bioflocos sem a presença de animais. A fonte de nitrogênio utilizada para o desenvolvimento das bactérias foi o sal cloreto de amônio (NH_4Cl).

3.2 Berçário

Durante o experimento, os parâmetros de qualidade de água (temperatura, alcalinidade total, N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} , sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis e densidade dos bioflocos não diferiram estatisticamente entre os tratamentos (Tabela 9).

As concentrações médias de oxigênio dissolvido, decresceram à medida que a salinidade aumentava, não sendo detectada diferença estatística entre os tratamentos: 0% e 3%, 6% e 10% e entre 10% e 13% de água do mar na CIBS, variando entre 7,06 e 8,47 mg L^{-1} . O pH não diferiu estatisticamente ($p>0,05$) entre os tratamentos 0% e 3%, 3% e 6% e entre 10% e 13% de água do mar na CIBS, variando entre 7,26 e 8,88.

A média das concentrações de N-AT foi estatisticamente superior ($p<0,05$) no tratamento que não recebeu água do mar (0%) em relação aos demais, que não diferiram entre si. As concentrações médias de N-NO_2^- não diferiram entre si nos tratamentos 0%, 6% e 10%, 0%, 3% e 6% e entre 10% e 13% de água do mar na CIBS. As concentrações máximas mensuradas para N-AT e N-NO_2^- foram de 0,28 e 0,89 mg L^{-1} encontradas nos tratamentos de 10 e 13% de água do mar na CIBS, respectivamente, durante todo o período experimental. Ao fim do período experimental as médias das concentrações de N-NO_3^- nos tratamentos testados foram: 0% ($45,25 \pm 5,12$), 3% ($35,25 \pm 13,50$), 6% ($36,50 \pm 11,39$), 10% ($43,00 \pm 6,16$) e 13% ($40,00 \pm 14,88$).

A salinidade, condutividade elétrica e dureza total da água diferiram entre todos os tratamentos de acordo com os aportes de água marinha (Tabela 9). Esse mesmo padrão foi encontrado para as concentrações médias dos íons Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ e na soma entre todos os íons majoritários (Soma), sendo os maiores valores encontrados na concentração de 13% de água do mar na CIBS (Tabela 10). As concentrações médias do SO_4^{2-} e do Ca^{2+} não diferiram estatisticamente ($p>0,05$) entre os tratamentos 13 e 10%, 6 e 10% e entre 0 e 3% de aporte de água do mar na CIBS. O HCO_3^- não diferiu estatisticamente ($p>0,05$) entre nenhum dos tratamentos experimentais (Tabela 10).

Tabela 9 - Médias \pm desvios padrão dos parâmetros de qualidade da água durante o período de 27 dias de cultivo de *L. vannamei* na fase de berçário com diferentes concentrações (%) de inóculo de água marinha na CIBS.

	Percentual de água do mar na CIBS				
	0%	3%	6%	10%	13%
Salinidade	0,78 \pm 0,05 ^c	1,72 \pm 0,29 ^d	2,90 \pm 0,07 ^c	4,06 \pm 0,07 ^b	5,03 \pm 0,10 ^a
O ₂ D (mg L ⁻¹)	7,67 \pm 0,16 ^a	7,63 \pm 0,21 ^a	7,53 \pm 0,35 ^b	7,49 \pm 0,16 ^{bc}	7,45 \pm 0,16 ^c
Temperatura (°C)	27,75 \pm 0,50	27,74 \pm 1,00	27,71 \pm 0,62	27,85 \pm 0,76	27,76 \pm 0,61
pH	8,37 \pm 0,20 ^a	8,33 \pm 0,19 ^{ab}	8,29 \pm 0,14 ^b	8,24 \pm 0,14 ^c	8,25 \pm 0,14 ^c
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	143,63 \pm 13,01	144,50 \pm 12,24	144,75 \pm 15,52	144,88 \pm 17,78	144,13 \pm 13,86
Dureza Total (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	468,42 \pm 59,41 ^c	617,32 \pm 97,36 ^d	835,23 \pm 53,22 ^c	1044,04 \pm 60,62 ^b	1231,13 \pm 46,26 ^a
Condutividade Elétrica (mS cm ⁻¹)	1,64 \pm 0,12 ^c	3,57 \pm 0,15 ^d	5,65 \pm 0,13 ^c	7,77 \pm 0,19 ^b	9,47 \pm 0,25 ^a
N-AT (mg L ⁻¹)	0,05 \pm 0,07 ^a	0,02 \pm 0,03 ^b	0,02 \pm 0,03 ^b	0,03 \pm 0,06 ^b	0,03 \pm 0,04 ^b
N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,06 \pm 0,09 ^{bc}	0,05 \pm 0,02 ^c	0,07 \pm 0,04 ^{bc}	0,08 \pm 0,09 ^{ab}	0,10 \pm 0,12 ^a
N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	30,25 \pm 14,03	27,19 \pm 13,31	27,44 \pm 12,57	28,75 \pm 13,51	28,19 \pm 13,90
P-PO ₄ ³⁻ (mg L ⁻¹)	2,48 \pm 0,68	2,31 \pm 0,42	2,38 \pm 0,34	2,36 \pm 0,39	2,32 \pm 0,37
SST (mg L ⁻¹)	308,50 \pm 167,60	381,25 \pm 192,50	351,75 \pm 143,28	379,75 \pm 191,42	384,75 \pm 206,45
SS (mL L ⁻¹)	21,56 \pm 15,96	18,13 \pm 6,08	17,63 \pm 7,12	40,56 \pm 42,83	19,91 \pm 20,45
Densidade (mg mL ⁻¹)	21,42 \pm 10,91	25,23 \pm 9,18	23,43 \pm 5,36	22,22 \pm 16,55	32,40 \pm 22,26

Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos após ANOVA de uma via seguida do Teste de Tukey. O₂D: oxigênio dissolvido, N-AT: nitrogênio amoniacal total, N-NO₂⁻: nitrogênio do nitrito, N-NO₃⁻: nitrogênio do nitrato, P-PO₄³⁻: fósforo do ortofosfato, SST: sólidos suspensos totais e SS: sólidos sedimentáveis.

As relações iônicas $\text{Na}^+:\text{K}^+$, foram diferentes entre todos os tratamentos, com valores crescentes de acordo com o aporte de água do mar na CIBS (Tabela 10). As relações $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$, foram superiores nas duas maiores concentrações de água do mar na CIBS (10 e 13%) e os demais tratamentos diferiram entre si com valores crescentes de acordo com o aporte de água do mar. As relações $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ não diferiram ($p>0,05$) entre os tratamentos 10 e 13%, 6 e 10% e entre 0, 3 e 6% de água do mar na CIBS (Tabela 10).

Tabela 10 - Médias \pm desvios padrão das concentrações em miligramas por litro dos íons majoritários e relações iônicas durante 27 dias de cultivo de *L. vannamei* na fase de berçário com diferentes concentrações (%) de água marinha na CIBS.

Íons	Percentual de água do mar na CIBS				
	0%	3%	6%	10%	13%
Cl^-	401,6 \pm 32,5 ^e	1029,9 \pm 156,0 ^d	1765,9 \pm 54,6 ^c	2495,7 \pm 93,0 ^b	3157,4 \pm 87,6 ^a
Na^+	232,4 \pm 16,5 ^e	539,4 \pm 63,6 ^d	952,3 \pm 33,0 ^c	1287,2 \pm 45,7 ^b	1571,8 \pm 43,8 ^a
SO_4^{2-}	164,7 \pm 41,5 ^c	245,8 \pm 48,1 ^c	356,4 \pm 44,2 ^b	454,4 \pm 58,8 ^{ab}	521,8 \pm 51,0 ^a
Mg^{2+}	70,6 \pm 10,7 ^e	103,3 \pm 17,2 ^d	146,8 \pm 11,3 ^c	191,2 \pm 10,8 ^b	229,3 \pm 8,2 ^a
Ca^{2+}	71,0 \pm 6,5 ^c	76,7 \pm 11,0 ^c	92,2 \pm 6,2 ^b	102,6 \pm 8,4 ^{ab}	114,6 \pm 7,0 ^a
K^+	41,6 \pm 3,0 ^e	52,1 \pm 8,3 ^d	65,3 \pm 3,1 ^c	77,2 \pm 3,2 ^b	88,0 \pm 4,0 ^a
HCO_3^-	170,4 \pm 29,1	157,1 \pm 34,5	167,8 \pm 40,6	164,6 \pm 40,1	164,0 \pm 29,9
Soma	1152,3 \pm 62,6 ^e	2204,4 \pm 286,9 ^d	3546,7 \pm 116,3 ^c	4772,9 \pm 180,1 ^b	5846,8 \pm 144,7 ^a
Relações					
$\text{Na}^+:\text{K}^+$	5,61 \pm 0,46 ^e	10,47 \pm 0,92 ^d	14,62 \pm 0,90 ^c	16,70 \pm 0,84 ^b	17,89 \pm 0,80 ^a
$\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$	0,99 \pm 0,08 ^d	1,34 \pm 0,07 ^c	1,60 \pm 0,14 ^b	1,87 \pm 0,11 ^a	2,00 \pm 0,10 ^a
$\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$	0,59 \pm 0,03 ^d	0,68 \pm 0,05 ^c	0,71 \pm 0,04 ^{bc}	0,76 \pm 0,04 ^{ab}	0,77 \pm 0,04 ^a

Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas ($p<0,05$) entre os tratamentos. No ambiente marinho as relações iônicas $\text{Na}^+:\text{K}^+$, $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$ e $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ equivalem a 27,6, 3,4 e 1,0 respectivamente.

Os parâmetros zootécnicos como peso médio final, sobrevivência, taxa de crescimento específico, ganho de peso semanal e produtividade, seguiram o mesmo padrão, sendo estatisticamente superiores nos tratamentos que receberam água do mar, não diferindo entre si. O tratamento com apenas a CIBS (0%), teve peso médio final e sobrevivência próxima a metade dos valores encontrados nos demais tratamentos (Tabela 11). A menor conversão alimentar aparente entre os tratamentos foi alcançada no menor aporte de água do mar na CIBS (3%), no entanto, este não diferiu estatisticamente ($p>0,05$) dos tratamentos 6 e 13%, bem como os tratamentos 6, 10 e 13% de água do mar na CIBS também não diferiram estatisticamente entre si. A maior conversão alimentar aparente foi encontrada no tratamento que não recebeu água do mar (0%) (Tabela 11).

Tabela 11 - Médias \pm desvios padrão dos parâmetros de desempenho zootécnico de *L. vannamei* ao fim de 27 dias na fase de berçário com diferentes concentrações de água marinha na CIBS.

	Percentual de água do mar na CIBS				
	0%	3%	6%	10%	13%
Peso médio final (g)	0,64 \pm 0,16 ^b	1,21 \pm 0,08 ^a	1,19 \pm 0,14 ^a	1,14 \pm 0,08 ^a	1,24 \pm 0,05 ^a
Sobrevivência (%)	52,17 \pm 21,65 ^b	96,67 \pm 2,11 ^a	97,00 \pm 0,86 ^a	95,67 \pm 3,67 ^a	92,83 \pm 5,72 ^a
TCE (% dia ⁻¹)	8,84 \pm 0,94 ^b	11,30 \pm 0,24 ^a	11,25 \pm 0,47 ^a	11,09 \pm 0,27 ^a	11,40 \pm 0,15 ^a
GPS (g semana ⁻¹)	0,15 \pm 0,04 ^b	0,30 \pm 0,02 ^a	0,29 \pm 0,04 ^a	0,28 \pm 0,02 ^a	0,31 \pm 0,01 ^a
Produtividade (kg m ⁻³)	0,29 \pm 0,16 ^b	1,11 \pm 0,08 ^a	1,10 \pm 0,12 ^a	1,03 \pm 0,10 ^a	1,10 \pm 0,09 ^a
CAA	2,04 \pm 0,35 ^a	0,71 \pm 0,06 ^c	0,84 \pm 0,12 ^{bc}	0,89 \pm 0,10 ^b	0,84 \pm 0,09 ^{bc}

Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas ($p<0,05$) entre os tratamentos (Kruskall Wallis – Dunn).

4. DISCUSSÃO

4.1 Formação do inóculo

Os valores de sólidos suspensos totais (SST) ao final da preparação do inóculo, alcançaram concentrações máximas de $55,0 \text{ mg L}^{-1}$, indicando uma baixa densidade das bactérias heterotróficas, as quais são responsáveis pela maior parte das partículas suspensas no sistema de bioflocos (Ebeling et al., 2006). Esse resultado se deve a redução do aporte de carbono (C) orgânico (ração e melaço), durante a preparação do inóculo.

A adição do nitrogênio inorgânico (NH_4Cl), associada a uma supressão do C orgânico no sistema, favoreceu o desenvolvimento das bactérias nitrificantes, que apesar do crescimento lento em relação às bactérias heterotróficas, são elas que desempenham um papel crucial, atuando na oxidação dos compostos nitrogenados através do processo de nitrificação, mantendo o sistema em equilíbrio (Avnimelech et al., 2014; De Schryver et al., 2008). A preparação dos inóculo com a utilização de NH_4Cl como fonte de nitrogênio, apresentou uma distribuição gráfica do desenvolvimento das concentrações dos compostos nitrogenados (Figura 8) e tempo de cultivo semelhantes as encontradas em outras pesquisas (Ferreira et al., 2020; Otoshi et al., 2011).

Neste sistema, ocorre a redução da alcalinidade quando as bactérias nitrificantes realizam a oxidação dos compostos nitrogenados inorgânicos, e essa redução ocorre devido as bactérias nitrificantes serem autotróficas, consumindo o carbono inorgânico oriundo da alcalinidade para gerar biomassa bacteriana (Ebeling et al., 2006; Furtado et al., 2015a). No presente estudo, a depreciação da alcalinidade do inóculo bacteriano foi detectada a partir do dia 18, durante a elevação das concentrações de N-NO_2^- , indicando o desenvolvimento das bactérias nitrificantes. As correções de alcalinidade utilizando cal hidratada mantiveram este parâmetro dentro dos níveis ideais para a estabilização da comunidade bacteriana nitrificante e a total oxidação do N-NO_2^- acumulado em N-NO_3^- .

A condutividade elétrica está diretamente relacionada as concentrações de sólidos dissolvidos na água, ou seja, a salinidade (Boyd, 2015). Neste estudo, foi observado um leve incremento deste parâmetro nos tanques de preparação do inóculo, devido ao aporte dos sais utilizados para manejar o sistema a cal hidratada [$\text{Ca(OH)}_2 + \text{Mg(OH)}_2$] e do NH_4Cl , além do melaço de cana, rico em minerais dissolvidos (Nogueira et al., 2009).

4.2 Berçário

A saturação do oxigênio na água possui relação inversa com a salinidade (Boyd, 1989), explicando as diferenças estatísticas encontradas entre a concentração desse gás entre os tratamentos, mesmo assim todas as concentrações encontradas permaneceram acima de 90% de saturação e não afetaram o desempenho zootécnico dos animais.

A utilização da água colonizada por bactérias nitrificantes no experimento, favoreceu a mitigação do N-AT durante todo o período experimental, não sendo necessárias aplicações de melação de cana-de-açúcar, comumente utilizado para o controle desse composto em sistema BFT. Além do N-AT, as concentrações de N-NO₂⁻ também não se acumularam, evitando mortalidades causadas pela toxicidade desses compostos, mesmo em exposições agudas (Lin & Chen, 2001, 2003). As concentrações médias de N-NO₂⁻ mantiveram-se abaixo do nível de segurança para PL (0,45 mg L⁻¹) e juvenis (0,62 mg L⁻¹) da espécie em salinidade 2 (Gross et al., 2004; Ramirez-Rochin et al., 2016). Ainda que elevações pontuais de NAT e N-NO₂⁻ tenham sido mensuradas nas maiores salinidades, ambos permaneceram em níveis seguros para a espécie não afetando o desenvolvimento dos animais (Gross et al., 2004; Li et al., 2007). No entanto, as concentrações de N-NO₃⁻ alcançaram ao fim do experimento, no tratamento sem o inóculo de água do mar (0%), valores médios de 45,25 ± 5,12 mg L⁻¹, podendo ter afetado a sobrevivência dos animais, visto que essas concentrações estavam acima do considerado seguro para juvenis da espécie com peso médio de 3,3g em salinidade 3g L⁻¹ (45 mg.L⁻¹), e 1,8g em salinidade 5g L⁻¹ (60 mg L⁻¹) (Valencia-Castañeda et al., 2019; Alves Neto et al., 2019), e o efeito tóxico dos compostos nitrogenados é potencializado a medida a salinidade diminui (Kuhn et al., 2010; Schuler et al., 2010; Tomasso, 2012).

Os valores alcalinos de pH estão relacionados as altas concentrações de O₂D, no qual possuem relação inversa com o CO₂, que por sua vez tem propriedades de acidificar a água (Sá, 2012). As médias de pH em todos os tratamentos estiveram acima de 8,29 com desvio padrão máximo de 0,2, indicando a estabilidade do sistema pela elevada alcalinidade. Ainda que alcalinos, os valores de pH no presente estudo permaneceram adequados para o desenvolvimento da espécie (Boyd, 2015; Furtado et al., 2015b).

Os resultados de composição iônica da água demonstraram que os aportes de água do mar na CIBS, refletiram diretamente na concentração dos íons Cl⁻, Na⁺, Mg²⁺ e K⁺. Isso se deve ao fato dos íons Cl⁻ e Na⁺ serem os mais abundantes em águas marinhas

(Goldberg, 1963) e do Mg^{2+} e K^+ serem escassos em águas interiores (Roy et al., 2010, 2007; Valenzuela-Madrigal et al., 2017; Wudtisin & Boyd, 2011) como as que basearam a configuração da CIBS².

As concentrações de Ca^{2+} entre os tratamentos de 0 e 3% de água do mar na CIBS não diferiram, revelando que esse parâmetro não foi limitante para o resultado de desempenho dos animais. A concentração desse íon na CIBS, elevou-se ao longo do período de preparação do inóculo e do berçário (Tabelas 7 e 10), isso se deve ao aporte da cal hidratada, rica em hidróxido de cálcio [$Ca(OH)_2$], utilizada para a correção da alcalinidade. A manutenção desse parâmetro em aproximadamente 150 mg L^{-1} de $CaCO_3$ (Furtado et al., 2015a), também refletiu na concentração de HCO_3^- que não diferiu estatisticamente entre os tratamentos. Em valores de pH próximos à 8,4 como os encontrados no experimento, todo o equilíbrio das concentrações do carbono inorgânico na água está no HCO_3^- , zerando as concentrações de CO_2 e CO_3^{2-} na água (Boyd, 2015).

Por refletir a concentração iônica encontrada em fazendas de produção *L. vannamei* em águas oligohalinas do semiárido brasileiro, a CIBS possui elevados níveis de pH, alcalinidade e HCO_3^- , uma característica natural das águas encontradas na região (Barbosa et al., 2012). As concentrações elevadas de alcalinidade, estão relacionadas as reservas naturais de $CaCO_3$ em regiões semiáridas, que também conferem dureza à água através das concentrações de Ca^{2+} , sendo todos esses fatores somados as altas temperaturas e concentrações de outros íons, fatores preponderantes para o sucesso dos cultivos da região (Pessôa et al., 2016). Essas informações são reforçadas pelo fato de que, em águas do mar diluídas à baixas salinidades as concentrações de HCO_3^- e Ca^{2+} devem ser supridas, podendo a baixa concentração destes, somada a outros fatores, ocasionar mortalidades (Esparza-Leal et al., 2016). Em estudo realizado em água doce, Mendes et al., (2006) encontraram relação direta do crescimento e sobrevivência de *L. vannamei* com as concentrações de Ca^{2+} na água, sendo o indicado para a espécie, uma alcalinidade total e uma dureza de cálcio superior a 75 mg L^{-1} de $CaCO_3$, o equivalente a 90 mg L^{-1} de HCO_3^- e 30 mg L^{-1} de Ca^{2+} (Boyd & Thunjai, 2003; Davis et al., 2004).

Os aportes de água do mar também influenciaram na concentração média do SO_4^{2-} , mesmo que em alguns casos não sendo encontradas diferenças entre os tratamentos.

² Capítulo II – Produção do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em águas continentais no Nordeste do Brasil: avaliação da composição iônica da água como ferramenta para o desenvolvimento sustentável da atividade

Isso se deve ao fato desse íon ser o terceiro mais abundante em águas marinhas (Goldberg, 1963) e comumente escasso em águas subterrâneas junto com o K^+ e Mg^{2+} (Boyd et al., 2007). Além disso, o SO_4^{2-} também é um produto da decomposição das proteínas sendo excretado da hemolinfa de decápodes marinhos através da glândula antenal (Bradley, 2009; He et al., 2013). Além das excretas dos animais, o SO_4^- pode ser produzido pela decomposição da matéria orgânica (restos de ração, fezes, plantas e animais mortos), através da oxidação do enxofre (S) oriundo da matéria orgânica, no qual é mineralizado pelas bactérias para sulfeto (S^{2-}), que por sua vez, em ambiente aeróbico é oxidado para SO_4^- (Boyd, 2015). Em sistemas de cultivos aquáticos ricos em oxigênio, o SO_4^{2-} tende a ser acumulado (Sarti et al., 2008), sendo encontrado na água em sua principal forma oxidada, o ácido sulfúrico (H_2SO_4) (Boyd, 2015; Timmons & Ebeling, 2010).

A relação $Na^+:K^+$ no tratamento que não recebeu água do mar foi bastante baixa, inferior ao valor formulado da CIBS, de aproximadamente 14 (Tabela 7), podendo ser um dos principais fatores do baixo desempenho dos animais nesse tratamento. Essa redução foi ocasionada pelos aportes de melaço de cana, rico em K^+ e com baixa concentração de Na^+ (Nogueira et al., 2009) durante a preparação do inóculo, além de que uma baixa relação entre $Na^+:K^+$, de aproximadamente 0,2, também foi encontrada na ração, conforme descrito no rótulo do fabricante. Diversos estudos com *L. vannamei* testam em salinidades menores que 5 g L^{-1} e relações $Na^+:K^+$ acima e pouco abaixo da encontrada na água do mar (28:1), com os melhores resultados nas relações mais próximas ao ambiente natural, 23:1 (Liu et al., 2016), 29:1 (Roy et al., 2007) 40:1 (Perez-Velazquez et al., 2012). Porém, nessas mesmas condições, são escassos estudos avaliando o desempenho dos animais em relações inferiores a 20. Devido à variedade de composições iônicas das águas interiores em cultivos de *L. vannamei* em águas doces e oligohalinas, são encontrados com frequência relações $Na^+:K^+$ baixas como o demonstrado no capítulo anterior³ e em outros estudos (Jaime-Ceballos et al., 2012; Pessoa et al., 2016; Valenzuela-Madrigal et al., 2017). Em salinidade 30, Zhu et al. (2004) identificaram que numa relação $Na^+:K^+$ de 20:1 (valores convertidos), os juvenis de *L. vannamei* direcionaram a maior porcentagem da energia para crescimento e menos para respiração e excreção. Mesmo assim, os autores

³ Capítulo II – Produção do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em águas continentais no Nordeste do Brasil: avaliação da composição iônica da água como ferramenta para o desenvolvimento sustentável da atividade

não encontraram diferenças significativas quanto ao peso médio final dos animais na menor relação testada que foi de 15:1.

As relações entre o $Mg^{2+}:Ca^{2+}$ e $K^+:Ca^{2+}$ em todos os tratamentos, estiveram abaixo do encontrado nas águas marinhas, sendo os valores menores encontrados no tratamento onde não foi aportada água do mar a CIBS (0%), mesmo assim, essas relações iônicas estiveram superiores à testada por Roy et al. (2007), onde animais de 1,2 g em água salgada artificialmente à salinidade $4g L^{-1}$, obtiveram desempenho zootécnico inferior, ao fim de 42 dias, apenas onde as concentração de Mg^{2+} e a relação $Mg^{2+}:Ca^{2+}$ foram inferiores a $20 mg L^{-1}$ e 0,37:1 respectivamente.

Mesmo com relações iônicas e salinidades inferiores a água do mar, os resultados de desempenho zootécnico dos animais no presente experimento, principalmente no tratamento com o menor aporte (3%) de água do mar na CIBS (salinidade $1,72 g L^{-1}$), foram similares a diversas outras pesquisas desenvolvidas em sistema BFT na fase de berçário e utilizando águas marinhas naturais sem diluição alguma (Esparza-Leal et al., 2016, 2015; Serra et al., 2015; Wasielesky Jr. et al., 2013), comprovando a adaptabilidade da espécie ao sistema BFT em salinidades abaixo de $2 g L^{-1}$.

A busca por salinidades cada vez menores para a produção de *L. vannamei* em sistema BFT, pode favorecer a resolução de um dos principais gargalos encontrados no sistema, a mitigação do PO_4^{3-} e do NO_3^- através de sistemas de aquaponia e de fertirrigação, ou ainda pelo uso dos sólidos suspensos produzidos no sistema como adubo na agricultura, já que a maioria das espécies vegetais não tolera salinidades altas, podendo ser alternativa viável para a destinação dos efluentes da carcinocultura em águas com salinidades inferiores a $1 g L^{-1}$ (Mariscal-Lagarda et al., 2014; McIntosh & Fitzsimmons, 2003; Miranda et al., 2008b, 2008a)

No presente experimento, o mínimo de aporte de água do mar na CIBS, no tratamento de 3% ($30 L m^{-3}$), foi suficiente para conferir um melhor resultado de desempenho zootécnico aos animais cultivados. Estes resultados estão relacionados a dois fatores principais: a elevação da relação $Na^+:K^+$ aproximando-se da encontrada no mar e o aporte de uma variedade de íons menores encontrados em águas marinhas que não foram supridos na formulação da salga artificial da CIBS. Elementos traço, principalmente os essenciais, tem sido considerados limitadores do desenvolvimento de *L. vannamei* em salgas artificias e em sistemas fechados de cultivo, podendo se tornarem

escassos pela remoção destes do meio pela atividade dos animais (Kuhn et al., 2007; Prangnell et al., 2016). As propriedades avaliadas para a formulação da CIBS em pesquisa anterior⁴, possuíam em média resultados de desempenho zootécnico superiores aos encontrados no tratamento de composição análoga (0% de água do mar na CIBS). Esses resultados podem estar relacionados as diferenças do sistema de cultivo empregados nas fazendas investigadas, como viveiros escavados sem revestimento do solo, predominância de organismos fotoautotróficos e zooplâncton na água e no solo, além da utilização de águas salinizadas naturalmente, onde haveria uma maior probabilidade dos animais cultivados assimilarem uma ampla variedade de íons essenciais pela água ou através do alimento natural. Elementos traço como o zinco, cobre, ferro e manganês estão presentes em todos os organismos vivos, estando associados a íons de carga oposta em maior concentração, ou insolúveis em água (Boyd, 2015).

Baseado nos resultados encontrados no presente estudo, o aporte mínimo de 3% (30 L m⁻³) de água do mar natural em salinidade 35g L⁻¹, proporcionou melhor crescimento e sobrevivência de pós-larvas de *L. vannamei* em águas oligohalinas de configuração iônica similar às encontradas no Nordeste brasileiro para o cultivo da espécie. O transporte de águas marinhas, pode ser uma alternativa viável para a correção iônica nos viveiros de camarões marinhos em zonas interiores, além disso, a viabilidade econômica desse processo pode ser melhorada quando são utilizadas salmouras, visto que a água do mar pode ser concentrada a uma salinidade máxima de 250 g L⁻¹, sem haver precipitação de sais (Roy et al., 2010), reduzindo a concentração encontrada na pesquisa para aproximadamente 0,42% (4,2 L m⁻³). No entanto, para a realização desse processo, devem ser consideradas as restrições ambientais e legais de cada país quanto a salinização de viveiros escavados em regiões interiores, além dos aspectos de biossegurança, pois a água pode ser vetor de doenças de camarões marinhos quando não tratada previamente.

⁴ Capítulo II – Produção do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em águas continentais no Nordeste do Brasil: avaliação da composição iônica da água como ferramenta para o desenvolvimento sustentável da atividade

5. CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a inoculação mínima de 3% de água do mar em águas com salinidade inferior a 1 g L^{-1} , com composições iônicas similares as encontradas em fazendas de produção de *L. vannamei* no Nordeste brasileiro, são suficientes para elevar as concentrações de importantes cátions, como o Na^+ , Mg^{2+} e K^+ e aproximar as relações iônicas dessas águas às encontradas no ambiente marinho, e com isso atribuir características adequadas para o desenvolvimento de pós-larvas de *L. vannamei* em sistema BFT em águas oligohalinas.

6. AGRADECIMENTOS

Aos órgãos de fomento CAPES, CNPq, FAPERGS e FINEP pela concessão dos recursos que financiam a ciência brasileira. E as empresas privadas que apoiam com seus produtos as atividades do Projeto Camarão: Guabi, Trevisan, AllAqua, Inve e Aquatec.

7. REFERÊNCIAS

- Alves Neto, I., Brandão, H., Furtado, P., Wasielesky Jr., W., 2019. Acute toxicity of nitrate in *Litopenaeus vannamei* juveniles at low salinity levels. C. Rural 49, 1–9.
- Aminot, A., Chaussepied, M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, Brest, Paris, 395 pp.
- APHA (American Public Health Association), 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd ed, Washington, DC, 1496 pp.
- Avnimelech, Y., 1999. Carbon / nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. Aquaculture 176, 227–235.
- Avnimelech, Y., De Schryver, P., Emerenciano, M., Kuhn, D.D., Ray, A.J., Taw, N., 2014. Biofloc technology A practical guide book, 3rd ed, World Aquaculture Society. World Aquaculture Society.
- Balbi, F., Rosas, J., Velásquez, A., Cabrera, T.R., Maneiro, C., 2005. Aclimatación a baja salinidad de postlarvas del camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) provenientes de dos criaderos comerciales. Rev. Biol. Mar. Oceanogr. 40, 109–115. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572005000200003>

- Barbosa, J.E.L., Medeiros, E.S.F., Brasil, J., Cordeiro, R.S., Crispim, M.C.B., Silva, G.H.G., 2012. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnol. Bras.* 24, 103–118. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000030>
- Benson, B.B., Krause, D., 1984. The concentration and isotopic fractionation of oxygen dissolved in freshwater and seawater in equilibrium with the atmosphere. *Limnol. Oceanogr.* 29, 620–632.
- Boyd, C.A., Boyd, C.E., Rouse, D.B., 2007. Potassium budget for inland, saline water shrimp ponds in Alabama. *Aquac. Eng.* 36, 45–50. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.06.002>
- Boyd, C.A., Chaney, P.L., Boyd, C.E., Rouse, D.B., 2009. Distribution of ground water suitable for use in saline-water aquaculture in Central and West-central Alabama. *J. Appl. Aquac.* 21, 228–240. <https://doi.org/10.1080/10454430903114048>
- Boyd, C.E., 1989. Water quality management and aeration in shrimp farming. Fisheries and Allied Aquacultures Departmental Series No. 2, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, AL, USA, 83 pp.
- Boyd, C.E., 2002. Anion-cation balance, cross-check for reliability of ion analyses. *Glob. Aquac. Advocate.* 74–75.
- Boyd, C.E., 2015. *Water Quality - An Introduction*, 2 ed., Springer International Publishing. Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4>
- Boyd, C.E., 2018. Revisiting ionic imbalance in low-salinity shrimp aquaculture. *Glob. Aquac. Advocate* 9–12.
- Boyd, C.E., Thunjai, T., 2003. Concentrations of major ions in waters of inland shrimp farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States. *J. World Aquac. Soc.* 34, 524–532. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2003.tb00092.x>
- Boyd, C.E., Thunjai, T., Boonyaratpalin, M., 2002. Dissolved salts in water for inland, low-salinity shrimp culture. *Glob. Aquac. Advocate.* 40–45.
- Boyd, C.E., Tucker, C.S., Somridhivej, B., 2016. Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. *J. World Aquac. Soc.* 47, 6–41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12241>

- Braaten, R.O., Flaherty, M., 2001. Salt balances of inland shrimp ponds in Thailand : implications for land and water salinization. *Environ. Conserv.* 28, 357–367.
<https://doi.org/10.1017/S0376892901000388>
- Bradley, T.J., 2009. *Animal Osmoregulation*, Oxford University Press. New York.
- 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.
[https://doi.org/10.1016/S0166-445X\(02\)00053-X](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(02)00053-X)
- Chong-Robles, J., Charmantier, G., Boulo, V., Lizárraga-Valdéz, J., Enríquez-Paredes, L.M., Giffard-Mena, I., 2014. Osmoregulation pattern and salinity tolerance of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) during post-embryonic development. *Aquaculture* 422–423, 261–267.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.11.034>
- Custodio, E., Llamas, M.R., 1983. *Hidrología Subterránea*, Omega. Barcelona, España.
- Davis, D.A., Samocha, T.M., Boyd, C.E., 2004. Acclimating Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, to inland, low-salinity waters. Souther Reg. Aquac. Center, Publ. No. 2601 8 p.
- Davis, D.A., Saoud, I.P., McGraw, W.J., Rouse, D.B., 2002. Considerations for *Litopenaeus vannamei* reared in inland low salinity waters. In: Cruz-Suarez, E., Rique-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola, G., Simoes, N. (Eds.), *Avances en Nutrición Acuícola: Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, pp. 73–94. 3 al 6 de septiembre del 2002.
- 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.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.019>
- Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic control of ammonia-nitrogen in aquaculture production systems. *Aquaculture* 257, 346–358.

- Esparza-Leal, H.M., Xavier, J.A.A, Wasielesky Jr., W., 2016. Performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in indoor nursery tanks under biofloc conditions at different salinities and zero-water exchange. *Aquac. Int.* 24, 1435–1447. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0001-5>
- Esparza-Leal, H.M., Cardozo, A.P., Wasielesky Jr., W., 2015. Performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in indoor nursery tanks at high stocking density in clear-water versus biofloc system. *Aquac. Eng.* 68, 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.07.004>
- 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. *Aquac. Eng.* 88. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.102040>
- Furtado, P.S., Fugimura, M.M.S., Monserrat, J.M., Souza, D.M., Garcia, L.O., Wasielesky Jr, W., 2015b. Acute effects of extreme pH and its influences on the survival and biochemical biomarkers of juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Mar. Freshw. Behav. Physiol.* 48, 417–429. <https://doi.org/10.1080/10236244.2015.1086539>
- Furtado, P.S., Gaona, C.A.P., Poersch, L.H. S., Wasielesky Jr., W., 2014. Application of different doses of calcium hydroxide in the farming shrimp *Litopenaeus vannamei* with the biofloc technology (BFT). *Aquac. Int.* 22, 1009–1023. <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9723-9>
- Furtado, P.S., Poersch, L.H.S., Wasielesky Jr., W., 2015a. The effect of different alkalinity levels on *Litopenaeus vannamei* reared with biofloc technology (BFT). *Aquac. Int.* 23, 345–358. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9819-x>
- Furtado, P.S., Valenzuela, M.A.J., Rodriguez-Fuentes, G., Campos, B.R., Wasielesky Jr., W., Gaxiola, G., 2016. Chronic effect of nitrite on the rearing of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* in two salinities. *Mar. Freshw. Behav. Physiol.* 49, 201–211. <https://doi.org/10.1080/10236244.2016.1163837>
- Gaona, C., Krummenauer, D., Freitas, A., Miranda, M.H.C., Poersch, L., Wasielesky Jr., W., 2014. Ammonia addition enhances microbial flocs in nursery phase for Pacific white shrimp. *Glob. Aquac. Advocate* 66–68.

- Gaona, C., Poersch, L., Krummenauer, D., Foes, G., Wasielesky Jr., W., 2011. The effect of solids removal on water quality, growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc technology culture system. *Int. J. Recirc. Aquacult.* 11,54–73.
- Godínez-Siordia, D.E., Chávez-Medina, M.C., Gómez-Jiménez, S., 2011. Acuicultura epicontinental del camarón blanco del Pacífico, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Trop. Subtrop. Agroecol.* 14 (1), 55–62.
- Goldberg, E.D., 1963. The oceans as a chemical system, in: Hill, M.N. (Ed.), *The Composition of Sea-Water: Comparative and Descriptive Oceanography. The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas*, vol. 2. Interscience Publisher, New York, pp. 3-25.
- Gong, H., Jiang, D.H., Lightner, D. V., Collins, C., Brock, D.L., 2004. A dietary modification approach to improve the osmoregulatory capacity of *Litopenaeus vannamei* cultured in the Arizona desert. *Aquac. Nutr.* 10, 227–236. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00294.x>
- Gross, A., Abutbul, S., Zilberg, D., 2004. Acute and chronic effects of nitrite on white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, cultured in low-salinity brackish water. *J. World Aquac. Soc.* 35, 315–321. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2004.tb00095.x>
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4, 1-9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- He, X., Hu, G., Lu, G., 2013. The effect of lower salinity on microstructure of antennary gland of *Litopenaeus vannamei*. *J. Food, Agric. Environ.* 11, 782–785.
- Jaime-Ceballos, B.J., Cabrera-Machado, J.E., Vega-Villasante, F., 2012. Cultivo tierra adentro de camarón marino *Litopenaeus vannamei*: Evaluación del agua de dos granjas acuícolas en Cuba. *Rev. Electron. Vet.* 13, 1–17.
- Jory, D.E., 2017. Growth away from the coast: Examining inland shrimp farming. Considerations for biosecurity, cost and environmental responsibility. *Glob. Aquac. Advocate*.

- Jory, D.E., Cabrera, T.R., Dugger, D.M., Fegan, D., Lee, P.G., Lawrence, A.L., Jackson, C.J., McIntosh, R.P., Castañeda, J., 2001. A global review of shrimp feed management: status and perspectives. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture 2001*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, p 104–152.
- Krummenauer, D., Samocha, T.M., Poersch, L.H.S., Lara, G.R., Wasielesky Jr., W., 2014. The reuse of water on the culture of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT system. *J. World Aquac. Soc.* 45, 3–14. <https://doi.org/10.1111/jwas.12093>
- Kuhn, D.D., Boardman, G.D., Craig, S.R., Flick Jr, G.J., McLean, E., 2007. Evaluation of tilapia effluent with ion supplementation for marine shrimp production in a recirculating aquaculture system. *J. World Aquac. Soc.* 38, 74–84.
- Kuhn, D.D., Smith, S.A., Boardman, G.D., Angier, M.W., Marsh, L., Flick Jr, G.J., 2010. Chronic toxicity of nitrate to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: Impacts on survival, growth, antennae length, and pathology. *Aquaculture* 309, 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.09.014>
- Li, E., Chen, L., Zeng, C., Chen, X., Yu, N., Lai, Q., Qin, J.G., 2007. Growth, body composition, respiration and ambient ammonia nitrogen tolerance of the juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different salinities. *Aquaculture* 265, 385–390. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.02.018>
- Lin, Y., Chen, J.C., 2001. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 259, 109–119.
- Lin, Y.C., Chen, J.C., 2003. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. *Aquaculture* 224, 193–201. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00220-5)
- Liu, H., Tan, B., Yang, J., Chi, S., Dong, X., Yang, Q., 2016. Effects of aqueous Na/K and dietary K on growth and physiological characters of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low-salt well water. *Aquac. Res.* 47, 540–553. <https://doi.org/10.1111/are.12513>

- Maicá, P.F., Borba, M.R., Wasielesky Jr., W., 2011. Effect of low salinity on microbial floc composition and performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles reared in a zero-water-exchange super-intensive system. *Aquac. Res.* 43(3), 361-370. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.02838.x>
- Mariscal-Lagarda, M.M., Páez-Osuna, F., Esquer-Méndez, J.L., Guerrero-Monroy, I., Del Vivar, A.R., Brito-Solano, K.Y., López-Pérez, D.N., Alonso-Rodríguez, R., 2014. Water quality in an integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)-Tomato (*Lycopersicon esculentum*) using low salinity groundwater in Sonora, Mexico. *Exp. Agric.* 50, 306–319. <https://doi.org/10.1017/S0014479713000690>
- McGraw, W.J., Davis, D.A., Teichert-Coddington, D., Rouse, D.B., 2002. Acclimation of *Litopenaeus vannamei* postlarvae to low salinity: influence of age, salinity endpoint, and rate of salinity reduction. *J. World Aquac. Soc.* 33, 78–84. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00481.x>
- McGraw, W.J., Scarpa, J., 2004. Mortality of freshwater-acclimated *Litopenaeus vannamei* associated with acclimation rate, habituation period, and ionic challenge. *Aquaculture* 236, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.01.037>
- McIntosh, D., Fitzsimmons, K.M., 2003. Characterization of effluent from an inland, low-salinity shrimp farm: What contribution could this water make if used for irrigation. *Aquac. Eng.* 27, 147–156. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(02\)00054-7](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(02)00054-7)
- Mendes, P.P., Albuquerque, M.L.L.T., Queiroz, D.M., Santos, B.L.S., Lima, A.C., Lopes, Y.V.A., 2006. Aclimação do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) à água doce com diferentes estratégias de alimentação e calagem. *Acta Sci. Anim. Sci.* 28, 89–95.
- Miranda, F.R., Souza Jr, F.E.A., Lima, R.N., Sousa, C.C.M., Santana, M.G.S., Costa, C.A.G., 2008a. Uso de efluentes da carcinicultura de águas interiores na irrigação do arroz. *Eng. Sanit. e Ambient.* 13, 380–386.
- Miranda, F.R., Lima, R.N., Crisóstomo, L.A., Santana, M.G.S., 2008b. Reuse of inland low-salinity shrimp farm effluent for melon irrigation. *Aquac. Eng.* 39, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.04.001>

- Miranda, I., Valles, J.L., Sánchez, R., Álvarez, Z., 2010. Cultivo del camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en agua dulce. Rev. Científ. 20, 339–346.
- Morais, A.P., Abreu, P., Wasielesky Jr., W., Krummenauer, D., 2020. Effect of aeration intensity on the biofilm nitrification process during the production of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in Biofloc and clear water systems. Aquaculture 514, 734516 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734516>
- Moreno-Arias, A., Lopes-Elias, J.A., Miranda-Baeza, A., Rivas-Vega, M.E., Martínez-Cordova, L.R., Ramirez-Suárez, J.C., 2016. Replacement of fishmeal by vegetable meal mix in the diets of *Litopenaeus vannamei* reared in low-salinity biofloc system: effect on digestive enzymatic activity. Aquac. Nutr. 23(2), 236–245. <https://doi.org/10.1111/anu.12384>
- Niencheski, L.F.H., 2015. Propriedades químicas da água de mar, in: Castello, J.P. & Krug, L.C. (Ed.), Introdução às ciências do mar, Textos, Pelotas, pp. 140-171.
- Nogueira, F.S., Ferreira, K.S., Carneiro Júnior, J. B., Passoni, L.C., 2009. Minerais em melados e em caldos de cana Minerals in sugar cane syrup and cane juice. Ciência e Tecnol. Aliment. 29, 727–731. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000400005>
- Nunes, A.J.P., López, C.V., 2001. Low-salinity, inland shrimp culture in Brazil and Ecuador – economics, disease issues move farms away from coasts. Glob. Aquac. Advocate 4, 62–64.
- Otoshi, C., Rodriguez, N., Moss, S., 2011. Establishing nitrifying bacteria in super-intensive biofloc shrimp production. Glob. Aquac. Advocate.
- Parmenter, K.J., Bisesi Jr, 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. N. Am. J. Aquac. 71, 134–137.
- Perez-Velazquez, M., Davis, D.A., Roy, L.A., González-Félix, M.L., 2012. Effects of water temperature and Na⁺: K⁺ ratio on physiological and production parameters of *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity water. Aquaculture 342–343, 13–17. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.02.008>

- Pessôa, M.N.C., Vidal, J.M.A., Silva, U.L., Mendes, P.P., 2016. Marine shrimp cultivated at different densities and feeding regimens in oligohaline waters. *Rev. Caatinga* 29, 700–708.
- Pine, H.J., Boyd, C.E., 2010. Adsorption of magnesium by bottom soils in inland brackish water shrimp ponds in Alabama. *J. World Aquac. Soc.* 41, 603–609.
- Prangnell, D.I., Castro, L.F., Ali, A.S., Browdy, C.L., Zimba, P. V., Laramore, S.E., Samocha, T.M., 2016. Some Limiting factors in superintensive production of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in no-water-exchange, biofloc-dominated systems. *J. World Aquac. Soc.* 47, 396–413. <https://doi.org/10.1111/jwas.12275>
- Ramirez-Rochin, J., Frias-Espericueta, M.G., Fierro-Sanudo, J.F., Alarcon-Silvas, S.G., Fregoso-Lopez, M.G., Paez-Osuna, F., 2016. Acute toxicity of nitrite on white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles in low-salinity water. *Aquac. Res.* 48, 1–7. <https://doi.org/10.1111/are.13069>
- Ray, A.J., Lotz, J.M., 2017. Comparing salinities of 10, 20, and 30‰ in intensive, commercial-scale biofloc shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production systems. *Aquaculture* 476, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.03.047>
- Romano, N., Zeng, C., 2013. Toxic effects of ammonia, nitrite, and nitrate to decapod crustaceans: A review on factors influencing their toxicity, physiological consequences, and coping mechanisms. *Rev. Fish. Sci.* 21, 1–21. <https://doi.org/10.1080/10641262.2012.753404>
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P., Boyd, C.A., Pine, H.J., Boyd, C.E., 2010. Shrimp culture in inland low salinity waters. *Rev. Aquac.* 2, 191–208. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01036.x>
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P., Henry, R.P., 2007. Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth, and respiration of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. *Aquaculture* 262, 461–469. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.011>
- Sá, M.V.C., 2012. *Limnocultura: Limnologia para Aquicultura*. Edições UFC, Fortaleza.

- 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 the production of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, World Aquaculture Society.
- Sarti, A., Silva, A.J., Côrtes, R.S., Foresti, E., 2008. Remoção de sulfato de águas residuárias industriais em reator anaeróbico de leito fixo operado em bateladas sequenciais. Eng. Sanit. e Ambient. 13, 15–22. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000100003>
- Schuler, D.J., Boardman, G.D., Kuhn, D.D., Flick Jr, G.J., 2010. Acute toxicity of ammonia and nitrite to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at low salinities. J. World Aquac. Soc. 41, 438–446.
- Serra, F. P., Gaona, C.A.P., Furtado, P.S., Poersch, L.H.S., Wasielesky Jr., W., 2015. Use of different carbon sources for the biofloc system adopted during the nursery and grow-out culture of *Litopenaeus vannamei*. Aquac. Int. 23, 1325–1339. <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9887-6>
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fishery Research Board Canada, Ottawa, 310 pp.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., 2010. Recirculating Aquaculture. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY, 998 pp.
- Tomasso, J.R., 2012. Environmental nitrite and aquaculture: A perspective. Aquac. Int. 20, 1107–1116. <https://doi.org/10.1007/s10499-012-9532-6>
- UNESCO, 1983. Chemical methods for use in marine environmental monitoring. In: Manual and Guides 12. Intergovernmental Ocean. Commission, Paris, France.
- Valença, A.R., Mendes, G.N., 2004. Importância da composição iônica da água oligohalina e “doce” no cultivo de *Litopenaeus vannamei*. Panor. da Aquic. 86.
- Valencia-Castañeda, G., Frías-Espericueta, M.G., Vanegas-Pérez, R.C., Chávez-Sánchez, M.C., Páez-Osuna, F., 2019. Toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to *Litopenaeus vannamei* juveniles in low-salinity water in single and ternary exposure experiments and their environmental implications. Environ. Toxicol. Pharmacol. 70. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.05.002>

- Valentin, J.L. & Muelbert, J.H., 2015. Ambientes marinhos, in: Castello, J.P. & Krug, L.C. (Ed.), *Introdução às ciências do mar*, Editora Textos, Pelotas, pp. 314-381.
- Valenzuela-Madrigal, I.E., Valenzuela-Quiñónez, W., Esparza-Leal, H.M., Rodríguez-Quiroz, G., Aragón-Noriega, E.A., 2017. Effects of ionic composition on growth and survival of white shrimp *Litopenaeus vannamei* culture at low-salinity well water. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 52, 103–112. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572017000100008>
- Van Wyk, P.M., 1999. Receiving and acclimation of postlarvae. In: Van Wyk, P.M., Davis-Hodgkins, M., Laramore, C.R., Main, K.L., Mountain, J., Scarpa, J. (Ed.), *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee, pp. 115–124.
- Wasielesky Jr., W., Fróes, C.N., Fóes, G.K., Krummenauer, D., Lara, G.R., Poersch, L.H.S., 2013. Nursery of *Litopenaeus vannamei* reared in a biofloc system: The effect of stocking densities and compensatory growth. *Bio One* 32, 799–806. <https://doi.org/10.2983/035.032.0323>
- Wudtisin, I., Boyd, C.E., 2011. Possible potassium and magnesium limitations for shrimp survival and production in low-salinity, pond waters in Thailand. *J. World Aquac. Soc.* 42, 766–777.
- Zacarias, S., Schweitzer, R., Arantes, R., Galasso, H.L., Santo, C.E., Vinatea, L., Pinheiro, I., Espirito Santo, C., 2018. Effect of different concentrations of potassium and magnesium on performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in low-salinity water and a biofloc system. *J. Appl. Aquac.*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/10454438.2018.1536009>
- Zar, J.H., 2010. *Biostatistical Analysis*, 5th ed, Prentice Hall. New Jersey.
- Zhu, C.B., Dong, S.L., Wang, F., Huang, G., 2004. Effects of Na/K ratio in seawater on growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 234, 485–496. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.11.027>

CAPÍTULO IV

Efeitos das diferentes concentrações dos alcalinizantes, cal hidratada ou bicarbonato de sódio, na composição iônica da água e no desempenho zootécnico de *Litopenaeus vannamei*, na fase de berçário em águas oligohalinas dominadas por bioflocos

Plácido Soares de Moura*, Plínio S. Furtado, Wilson Wasielesky Jr., Juan Rafael
Buitrago Ramíres, Luís Poersch

Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rua do Hotel, nº 2, Cassino, Rio Grande, RS, Brasil.
CEP: 96210-030

*Autor correspondente: e-mail: placidopsm@yahoo.com.br

RESUMO

O *Litopenaeus vannamei* é produzido mundialmente em águas oligohalinas, onde a alcalinidade da água é característica-chave para a escolha das áreas. Nos sistemas de cultivos intensivos, as correções de alcalinidade são constantes, devendo a avaliação da eficiência dos alcalinizantes ser realizada para a melhor escolha. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da alcalinidade e do alcalinizante utilizado, na composição iônica da água e no desempenho zootécnico de *L. vannamei* na fase de berçário em sistemas BFT em meio oligohalino. O estudo durou 40 dias e foi desenvolvido em águas salgadas artificialmente com configuração iônica similar à de fazendas de produção no Nordeste brasileiro, a essa água foi adicionado 0,5% de uma salmoura marinha. Os tratamentos testaram a cal hidratada ou o bicarbonato de sódio (NaHCO_3^-) na manutenção das alcalinidades 75, 150 e 300 $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, com três repetições cada. Para isso, foram utilizados 18 tanques de 50 litros povoados com 60 pós-larvas de *L. vannamei*, com peso médio de 0,02g. Monitoraram-se a temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), pH, oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio da amônia (N-AT), do nitrito (N-NO_2^-) e do nitrato (N-NO_3^-), ortofosfato, alcalinidade total (AT), dureza total (DT), salinidade, condutividade elétrica (CE), sólidos suspensos totais e a composição iônica. O desempenho zootécnico foi avaliado através do peso médio final, sobrevivência, taxa de crescimento específico, ganho de peso semanal e produtividade. Os parâmetros OD, $^{\circ}\text{C}$ e pH, bem como N-AT e N-NO_2^- permaneceram adequados para a espécie. No entanto, o N-NO_3^- atingiu concentrações acima do seguro em todos os tratamentos. A DT e Mg^{2+} foram maiores onde a alcalinidade de 300 $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ foi mantida com cal hidratada (Ca300). A salinidade, pH e Na^+ foram superiores no tratamento de maior alcalinidade com NaHCO_3^- (Na300). A maior sobrevivência e produtividade do experimento foi encontrada no Ca300, estando associada a elevação das concentrações de HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} , que junto com a alcalinidade elevou a DT, protegendo os animais das altas concentrações de N-NO_3^- e compensando a remoção do Ca^{2+} da água pelos animais no processo de muda. Conclui-se que a utilização da cal hidratada e a manutenção da alcalinidade em 300 $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ em sistema BFT, atribui à água características satisfatórias para o desenvolvimento de *L. vannamei* na fase de berçário em meio oligohalino.

Palavras chave: semiárido, águas continentais, águas interiores, salmoura.

ABSTRACT

Litopenaeus vannamei is produced worldwide in oligohaline waters, where the alkalinity of the water is a crucial aspect for area selection. In intensive production systems, alkalinity corrections are constant, and the efficiency of alkalizing compounds should be evaluated for the best choice. The objective of the work was to evaluate the effects of alkalinity and the alkalizing compound used, on the ionic composition of the water and on the zootechnical performance of *L. vannamei* in the nursery phase in BFT systems in oligohaline medium. The study lasted 40 days and was developed in artificially salted waters with an ionic configuration similar to that of production farms in the Northeast of Brazil, to which 0.5% of a marine brine was added. The treatments tested hydrated lime or sodium bicarbonate (NaHCO_3^-) in the maintenance of alkalinities 75, 150 and 300 mg of $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, with three repetitions each, 18 tanks of 50 L populated with 60 post-larvae of *L. vannamei* with an average weight of 0.02g were used. The water temperature ($^{\circ}\text{C}$), pH, dissolved oxygen (DO), ammonia nitrogen (TAN), nitrite (N-NO_2^-) and nitrate (N-NO_3^-), orthophosphate, total alkalinity (TA), total hardness (TH), salinity, electrical conductivity (EC), total suspended solids, and ionic composition were monitored. Zootechnical performance was evaluated through average final weight, survival, specific growth rate, weekly weight gain and productivity. The DO, $^{\circ}\text{C}$ and pH parameters, as well as TAN and N-NO_2^- remained adequate for the species, however N-NO_3^- reached above safe concentrations in all treatments. DT and Mg^{2+} were higher where the alkalinity of 300 mg of $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ was maintained with hydrated lime (Ca300). Salinity, pH and Na^+ were higher in the treatment of higher alkalinity with NaHCO_3^- (Na300). The highest survival and productivity of the experiment was found in Ca300, being associated with increased concentrations of HCO_3^- , Ca^{2+} and Mg^{2+} , which together with the alkalinity raised the TH, protecting the animals from high concentrations of N-NO_3^- and compensating the removal of Ca^{2+} from the water by the animals in moulting process. It is concluded that the use of hydrated lime, and the maintenance of alkalinity in 300 mg of $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ in BFT system, attributes to the water satisfactory characteristics for the development of *L. vannamei* in the nursery phase in oligohaline medium.

Keywords: semiarid, continental waters, inland waters, brine.

1. INTRODUÇÃO

A exploração de águas interiores oligohalinas para a produção comercial do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, foi uma das principais medidas tomadas para a elevação da produção mundial da espécie na última década. Isso se deve principalmente a dois motivos, a capacidade que a espécie possui em crescer bem em águas com características distintas do ambiente marinho e a facilidade por parte dos empresários de adquirir propriedades em zonas distantes da costa devido aos custos imobiliários reduzidos, permitindo menor custo com a implantação do projeto aquícola. No entanto, mesmo se adaptando a amplas variações das concentrações absolutas e relativas dos principais íons componentes da salinidade, como o cloreto (Cl^-), sódio (Na^+), sulfato (SO_4^{2-}), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+) e bicarbonato (HCO_3^-), é imprescindível uma concentração mínima de alguns destes íons para o crescimento e sobrevivência da espécie. Entre as concentrações para o bom desenvolvimento da espécie, o HCO_3^- não deve ser menor que 92 mg L^{-1} , valor esse baseado na alcalinidade total mínima de $75 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, visto que o HCO_3^- é o principal constituinte desse parâmetro em águas naturais (Boyd, 2015; Roy et al., 2010).

A alcalinidade total é a soma de todos os compostos com características alcalinas que podem ser mensurados por titulação, sendo os mais abundantes os íons HCO_3^- e carbonato (CO_3^{2-}). A alcalinidade confere a água uma importante característica, o poder de neutralização de ácidos (poder tampão), gerando estabilidade ao pH. Associada a alcalinidade, a dureza total da água é definida como a concentração dos cátions divalentes presentes na água (principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+}), expressos em equivalentes de CaCO_3 , sendo importantes variáveis para a determinação do uso da água, da produtividade dos ecossistemas aquáticos e da produção da aquicultura (Boyd et al., 2016). A dureza de cálcio mínima para cultivos de camarões marinhos é idêntica a alcalinidade total, $75 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, esse valor corresponde a uma concentração mínima de Ca^{2+} de 30 mg L^{-1} . Mesmo sendo comumente encontradas associadas em águas naturais, com concentrações expressas nas mesmas unidades ($\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$), a alcalinidade e a dureza total conferem características distintas a água (Boyd et al., 2016; Boyd & Thunjai, 2003).

Alcalinidades e durezas totais elevadas foram umas das principais propriedades encontradas em águas naturais oligohalinas, onde os cultivos de *L. vannamei* em zonas interiores foram bem sucedidos mundialmente (Boyd & Thunjai, 2003; Jaime-Ceballos

et al., 2012; Miranda et al., 2010; Pessôa et al., 2016; Valenzuela-Madrigo et al., 2017). Na região Nordeste do Brasil onde a atividade está concentrada, as propriedades utilizam para a produção de *L. vannamei*, principalmente viveiros escavados de pequeno porte, abastecidos com águas subterrâneas oligohalinas (Pessôa et al., 2016). Nessa região de clima semiárido, comumente são encontradas nas águas naturais com alcalinidade elevada, estando esta característica associada a litologia da região (Barbosa et al., 2012).

A aclimação do *L. vannamei* a águas com salinidades próximas a 1 g L^{-1} , como as encontradas na maioria das fazendas no Nordeste, exige períodos mais elevados para a redução de salinidade e a utilização de pós-larvas (PL_s) mais desenvolvidas, com idades superiores a PL₁₅, o que demanda a utilização de estruturas adequadas para a realização do processo com eficiência (Balbi et al., 2005; Davis et al., 2002; McGraw et al., 2002; McGraw & Scarpa, 2004; Van Wyk, 1999). Essa demanda estrutural da aclimação, somada aos cuidados necessários nas fases de pré-engorda dos cultivos como: um maior controle da qualidade de água, melhor oferta de dietas específicas, proteção contra predadores naturais, melhor acompanhamento do desenvolvimento do lote de animais e uma maior biossegurança, favoreceram a implantação dos setores de berçário nas fazendas de cultivo de *L. vannamei* em baixa salinidade. Além disso, a implantação dessas fases, gerou em toda a carcinocultura uma diminuição do tempo de engorda e a consequente elevação da quantidade de ciclos anuais, atribuída a possibilidade de um estoque constante de animais maiores, mais resistentes e aclimatados às condições locais.

A fase de larvicultura do *L. vannamei*, é desenvolvida comercialmente em laboratórios que utilizam águas marinhas nos tanques de cultivo. Nesses laboratórios, a aclimação da espécie à salinidade da fazenda é realizada previamente ao transporte, através da diluição da água do mar com água doce. Quando recebidas nas fazendas, uma nova aclimação das PL_s é realizada de forma rápida, pela pequena diferença de salinidade, no entanto, a água do transporte em geral possui configuração iônica distinta das águas das propriedades. A necessidade de reduzir essas diferenças e possibilitar a recepção de animais menores, favoreceu o uso de águas marinhas para realizar compensações iônicas nos viveiros de cultivo em zonas interiores, com o objetivo de mitigar as mortalidades associadas a desbalanços iônicos durante a aclimação (Boyd & Thunjai, 2003). No entanto, esse processo é dispendioso devido as longas distâncias de transporte entre o litoral e a propriedade e o baixo poder de salinização da água marinha

natural quando comparada a grandes unidades de cultivo (viveiros). A fim de contornar esse problema, alguns produtores estão utilizando águas hipersalinas (salmouras) em tanques de menores volumes destinados as fases iniciais do cultivo (berçário). Porém, mesmo que do ponto de vista financeiro seja vantajoso, existem restrições ambientais para a adição de água salgada em viveiros escavados devido o potencial de salinização do solo ou lençol freático (Braaten & Flaherty, 2001).

Considerando os aspectos financeiros e ambientais, a utilização de sistemas de cultivo baseados em reduzidas ou nenhuma troca de água, se tornam alternativas para as fases iniciais de cultivo de *L. vannamei* nessas propriedades. O sistema de bioflocos (BFT), tem gerado bons resultados em berçários com *L. vannamei* em baixa salinidade, devido a rápida assimilação dos compostos nitrogenados produzidos pelo metabolismo animal e pela decomposição da matéria orgânica não consumida. Desta maneira, a reutilização de águas previamente colonizadas por bactérias heterotróficas e nitrificantes, tem sido uma importante aliada no combate aos efeitos tóxicos dos compostos nitrogenados, visto que a toxicidade é potencializada em salinidades baixas (Krummenauer et al., 2014; Valencia-Castañeda et al., 2019).

Pouco se sabe sobre o cultivo de camarão marinho em águas oligohalinas em sistema BFT, como os efeitos dos insumos de produção (ração, fontes de carbono orgânico e sais alcalinizantes), na composição iônica da água e limites de parâmetros físico-químicos como sólidos suspensos totais, alcalinidade e pH, visto que a maioria das pesquisas que estabeleceram os limites para estes parâmetros foram desenvolvidas em salinidades acima de 5 g L⁻¹.

A necessidade de utilização de sais alcalinizantes é constante no sistema BFT, isso se deve ao fato das bactérias nitrificantes consumirem o carbono inorgânico sob a forma dos íons HCO₃⁻ e CO₃⁻² durante a oxidação da amônia total (NH₃ + NH₄⁺) à nitrato (NO₃⁻), e dessa forma reduzindo a alcalinidade da água (Chen et al., 2006). Diferentes tipos de sais alcalinizantes com diferentes eficácias, podem ser utilizados para corrigir a alcalinidade em sistemas BFT, entre eles o hidróxido de cálcio - Ca(OH)₂, carbonato de sódio – Na₂CO₃ e bicarbonato de sódio – NaHCO₃ (Furtado et al., 2011). Pesquisas sobre o assunto foram desenvolvidas em altas salinidades, avaliando os efeitos das diferentes alcalinidades no desempenho zootécnico de *L. vannamei*; em sistema BFT e em águas claras (Furtado et al., 2015; Maicá et al., 2018; Piérri et al., 2014). No entanto, em águas

oligohalinas pouco se sabe dos efeitos dos principais cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) associados ao HCO_3^- e CO_3^{2-} nos sais alcalinizantes comerciais, e seus efeitos na composição iônica da água de cultivo e no desempenho zootécnico do *L. vannamei*. Assim, o presente trabalho teve como objetivo, avaliar os efeitos das concentrações e dos alcalinizantes utilizados, na configuração iônica da água e no desempenho zootécnico do *L. vannamei* em baixa salinidade na fase de berçário em sistemas BFT.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização do experimento e procedência das pós-larvas

O estudo foi conduzido na Estação Marinha de Aquicultura (EMA) no Instituto de Oceanografia (IO) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), localizada na praia do Cassino na cidade de Rio Grande -RS. Os animais foram adquiridos de uma larvicultura comercial, localizada no município de Canguaretama-RN e foram mantidos em água marinha natural até o estágio de desenvolvimento PL₂₅, quando foi iniciado o período experimental, com duração de 40 dias.

2.2 Aclimação das pós-larvas

A aclimação para a salinidade do experimento foi realizada em um tanque de fibra de vidro de 1 m³ útil, abastecido com água marinha natural, com salinidade 30 g L⁻¹. A redução de salinidade foi realizada através da substituição da água marinha do tanque de aclimação, por água doce da companhia de abastecimento público, com a alcalinidade ajustada com cal hidratada comercial para 100 mg CaCO₃ L⁻¹. A metodologia utilizada para as reduções de salinidade, foi adaptada de Van Wyk, 1999 e McGraw et al., 2002, descrita a seguir: dia 1: redução de 30,0 para 5,0 com taxa de redução de 46,7% da salinidade por hora e dia 2: redução de 5,0 para 2,5 com taxa de redução de 0,25 g/L/h. Durante todo o período de aclimação o tanque permaneceu sob aeração com temperatura média de 28°C. Os animais foram alimentados a cada 2 horas, utilizando uma ração industrializada indicada para a nutrição de pós-larvas durante períodos estressantes (Stress Pack, INVE®).

2.3 Salinização da água

Inicialmente foi preenchido um reservatório com 1 m³ de volume útil com água doce da companhia de abastecimento público. Antes da adição dos sais foram determinadas a salinidade e condutividade elétrica da fonte, a fim de evitar grandes alterações das concentrações iônicas esperadas para o experimento. Os valores encontrados de condutividade elétrica e salinidade foram: 135 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e 0,1 g L⁻¹, respectivamente, demonstrando uma baixíssima concentração de íons na água. A salga da água foi realizada baseando-se nos resultados encontrados em estudos anteriores⁵, sendo composta de uma mistura de sais analíticos (Tabela 7 – Cap.3), resultando em uma configuração iônica similar a encontrada em cultivos de *L. vannamei*, em águas oligohalinas interiores na região Nordeste do Brasil, nomeados a seguir como configuração iônica de baixa salinidade (CIBS).

À CIBS foi adicionada um inóculo de 0,5% (5 litros m⁻³), de uma salmoura oriunda de água marinha natural concentrada por evaporação solar. A preparação da salmoura foi realizada em um tanque circular com área de 19,63 m², confeccionado em lona de PVC de cor preta (Vinitank[®], Sansuy[®]). Para a aceleração do processo de evaporação, a água foi colocada em recirculação no tanque através de uma tubulação de PVC perfurada, instalada a um metro da lâmina d'água, aumentando a superfície de contato da água com o ar quente da estufa (Figura 9). As características da salmoura estão descritas na Tabela 12. Após a salga artificial e natural, a água atingiu a salinidade e condutividade elétrica de 2,1 g L⁻¹ e 3,9 mS cm⁻¹, respectivamente.

Tabela 12 – Parâmetros físico-químicos da salmoura utilizada para a salga natural da água oligohalina empregada no berçário de *L. vannamei* em diferentes alcalinidades.

Parâmetros	Valores	Unidades
Salinidade	310	g L ⁻¹
Densidade	1,21	g cm ⁻³
Graus Baumé	25	°Bé
Cloreto	95.793,8	mg L ⁻¹

⁵ Capítulo II – Produção do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em águas continentais no Nordeste do Brasil: avaliação da composição iônica da água como ferramenta para o desenvolvimento sustentável da atividade



Figura 9 – Estrutura utilizada para a evaporação solar da água do mar e formação da salmoura adicionada nas águas do berçário de *L. vannamei* em diferentes alcalinidades.

2.4 Preparação do inóculo bacteriano com cloreto de amônio

Após a realização da salga, a água a ser utilizada no experimento foi fertilizada com cloreto de amônio (NH_4Cl), com o objetivo de favorecer o desenvolvimento de bactérias nitrificantes e evitar possíveis mortalidades associadas a toxicidade dos compostos nitrogenados amônia ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) e nitrito (NO_2^-), durante o experimento. Os aportes de NH_4Cl foram realizados duas vezes por semana na concentração de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, de acordo com a metodologia adaptada de Gaona et al., 2014. O processo foi repetido até que o aporte de nitrogênio amoniacal (NH_4Cl) fosse totalmente assimilado pelas bactérias nitrificantes, e apenas o íon nitrato (NO_3^-) se acumulasse, indicando a estabilização do processo de nitrificação.

A fertilização com carbono (C) orgânico foi realizada apenas no primeiro dia da preparação do inóculo, através da adição de melão líquido (37,3% de C), com o objetivo de manter uma relação C:N inicial de 15:1 e induzir o desenvolvimento da comunidade bacteriana heterotrófica (Avnimelech, 1999; Ebeling et al., 2006). O consumo do carbono

inorgânico pelas bactérias nitrificantes, foi compensado através da manutenção da alcalinidade total do sistema em $100 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, com adições periódicas de cal hidratada (Furtado et al., 2014). O sistema permaneceu sob aeração e aquecimento constante, e as perdas d'água por evaporação foram repostas sempre que necessário utilizando água doce. Aportes semanais de probiótico comercial (Sanolife[®] PRO-W, INVE[®]) foram realizados no inóculo e por todo o período experimental na concentração de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ ($0,5 \text{ g m}^{-3}$), seguindo as orientações do fabricante. Todo o processo de preparação do inóculo teve duração de 31 dias, resultando na utilização de 100% do inóculo BFT para o experimento.

2.5 Delineamento experimental.

Durante o período experimental, a temperatura do ambiente foi mantida em aproximadamente 28°C . As unidades experimentais foram compostas por tanques de polietileno com volume útil de 50 litros e a aeração foi fornecida continuamente por mangueiras difusoras de ar (Aerotube[®]). O abastecimento das 18 unidades experimentais com o inóculo bacteriano foi realizado inicialmente por 6 unidades mantendo a mesma alcalinidade do inóculo ($100 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$), e as demais foram abastecidas através de um tanque intermediário com 150L de volume útil, onde a alcalinidade de cada tratamento foi ajustada com o respectivo alcalinizante. Todas as unidades experimentais foram abastecidas no dia anterior ao povoamento dos animais (Figura 10).

O experimento foi composto de seis tratamentos com três repetições cada, onde foram testados três alcalinidades, sendo: 75, 150 e 300, e dois tipos de alcalinizantes, sendo: cal hidratada e bicarbonato de sódio (NaHCO_3^-), identificados pelas siglas “Ca” e “Na”, respectivamente, como se segue: Ca 75, Ca 150, Ca 300, Na 75, Na 150 e Na 300. A cal hidratada comercial utilizada, era composta por hidróxido de cálcio [Ca(OH)_2], hidróxido de magnésio [Mg(OH)_2] e outros minerais na forma de cinzas, segundo o rótulo do fabricante, e o NaHCO_3^- era de alta pureza para análise (P.A.). Os animais foram estocados na densidade de $1200 \text{ pós-larvas m}^{-3}$ com peso médio inicial (PMI) de $0,02 \text{ g}$.



Figura 10 – Unidades experimentais utilizadas para o cultivo de *L. vannamei* na fase de berçário em diferentes alcalinidades através da aplicação de cal hidratada ou bicarbonato de sódio em águas com a CIBS dominadas por bioflocos.

2.6 Manejo da qualidade da água.

A temperatura da água foi regulada pela temperatura do ambiente. Duas vezes ao dia (8:00 e 16:00h) foram mensurados os parâmetros de concentração de oxigênio dissolvido em mg L^{-1} (O_2D) e temperatura em graus Celsius (T°C), com sonda multiparâmetro (Multi HQ40d, HATCH®). O pH foi mensurado diariamente no período matinal com um pHmetro de bancada (modelo: FEP20, Mettler Toledo®) e a salinidade e condutividade elétrica da água foram avaliadas uma vez por semana, com a sonda multiparâmetro. As concentrações do nitrogênio amoniacal total (N-AT) e do nitrogênio do nitrito (N-NO_2^-), foram mensurados diariamente na primeira semana de cultivo, e após esse período três vezes por semana, antes da alimentação dos animais. A alcalinidade total da água foi mensurada três vezes por semana e as concentrações de nitrogênio do nitrato (N-NO_3^-), fósforo do ortofosfato (P-PO_4^{3-}) e sólidos suspensos totais (SST), mensurados uma vez por semana. Os métodos e referências utilizados para todas as análises laboratoriais, foram os mesmos utilizados no capítulo anterior (Tabela 8 – Cap.3).

As amostras para a determinação da dureza total e da concentração dos íons majoritários na água, foram coletadas em frascos de plástico e deixadas em repouso por um breve período, até a total sedimentação dos flocos e o volume de água sobrenadante foi armazenado em garrafas plásticas de 250 mL. As coletas de água foram realizadas no início, meio e fim do período experimental e as amostras armazenadas em geladeira a 4°C, até a realização das análises ao final do experimento.

Os ajustes de alcalinidade total foram realizados sempre que necessário para manter as concentrações próximas ao designado para o tratamento, com os respectivos alcalinizantes (cal hidratada e NaHCO_3^-), sendo diluídos em água doce ao serem aportados nos tanques. As concentrações limites de SST foram de 500 mg L⁻¹, sendo mantidas com o uso de um tanque sedimentador de pequeno porte (Gaona et al., 2011).

2.7 Manejo alimentar

Os camarões foram alimentados duas vezes ao dia (08:30 – 16:30h), após a leitura dos parâmetros de qualidade de água. Durante as duas primeiras semanas de experimento, os animais foram alimentados com uma ração comercial em pó (40PL, Guabi®), seguida de uma ração com granulometria variada indicada para camarões juvenis (40J, Guabi®), ambas com 40% de proteína bruta. A composição mineral (g Kg⁻¹) da ração descrita no rótulo do fabricante está a seguir: cinzas: 140,0, Ca²⁺: 12,0-30,0, fósforo:14,5, Na⁺: 1,8 e K⁺: 8,0. O alimento foi distribuído em partes iguais na superfície do tanque e em bandejas de avaliação do consumo dos animais. Os ajustes das quantidades de ração foram baseados no peso médio dos animais de cada tratamento, determinado em biometrias semanais, assim o número de indivíduos estimado pelo consumo de ração e pela observação de mortalidade. O percentual da biomassa dos animais para a oferta de ração diária, foi determinado através de tabela alimentar descrita em Jory et al. (2001).

2.8 Avaliação do desempenho zootécnico

As biometrias semanais foram realizadas através da pesagem de 10% da população de cada tanque, onde os animais foram pesados individualmente em uma balança digital de precisão (d= 0,001g). Ao final do experimento, todos os animais das unidades experimentais foram pesados e contabilizados para a determinação do peso médio final (Pmf) e sobrevivência (S%). O desempenho dos animais às condições experimentais foi avaliado através dos parâmetros:

- *Sobrevivência (%) = (população final / população inicial) * 100*
- *Incremento na biomassa (g) = biomassa final (g) – biomassa inicial (g)*
- *Produtividade (Kg m⁻³) = incremento na biomassa / volume do tanque (L)*
- *GPS⁶ (g semana⁻¹) = (peso médio final – peso médio inicial) / n^o semanas*
- *TCE⁷ (% dia⁻¹) = (ln Pmf – ln Pmi) / tempo de cultivo em dias) * 100*

2.9 Análises estatísticas

A precisão das análises de composição iônica foi verificada através da determinação do erro de distribuição das cargas, a diferença máxima aceitável para o presente trabalho foi de 15%, sendo descartadas do processamento dos dados as amostras que superavam esse valor (Boyd, 2002), para isto foi utilizada a expressão do erro prático (EP%), definida por Custodio & LLamas, 1983.

Previamente às comparações estatísticas os pressupostos de normalidade e homocedasticidade foram testados para as variáveis abióticas e zootécnicas através dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Se atendidos, foram aplicadas as análises de ANOVA seguidas dos testes post-hoc de Tukey. Caso contrário foram realizados os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis para detecção de diferenças e de Dunn para múltiplas comparações entre os tratamentos ($\alpha=0,05$). Os valores expressos em percentual (sobrevivência e taxa de crescimento específica) foram convertidos a arco-seno da raiz quadrada antes de serem analisados (Zar, 2010). O software estatístico utilizado para as análises foi o Past v.3.25 (Hammer et al., 2001).

3. RESULTADOS

Os parâmetros de qualidade de água como oxigênio dissolvido, temperatura e SST não diferiram entre os tratamentos durante o período experimental (Tabela 13). A salinidade da água nas diferentes concentrações de cal hidratada testadas (Ca), diferiram entre si, onde o aumento das concentrações do alcalinizante foi diretamente proporcional a salinidade. Nos tratamentos onde foram aplicados o NaHCO₃ (Na), a salinidade da maior concentração testada (Na300) foi superior as demais concentrações (Na75 e Na150), não diferindo entre si, nem entre as mesmas concentrações do outro alcalinizante

⁶ Ganho de peso semanal

⁷ Taxa de crescimento específico

testado (Ca75 e Ca150). A salinidade no tratamento Na300, foi estatisticamente superior aos demais tratamentos. A condutividade elétrica, foi superior nas duas maiores concentrações que utilizaram NaHCO_3^- como alcalinizante (Na150 e Na300), ambas diferiram estatisticamente dos demais tratamentos, não diferindo entre si (Tabela 13).

O pH foi estatisticamente superior no tratamento Na300, seguido do tratamento Ca300, que por sua vez foi superior aos tratamentos Na75, Na150 e Ca150 que não diferiram entre si. O menor pH foi encontrado no tratamento Ca75. A alcalinidade total, foi mantida dentro do estipulado para cada tratamento não diferindo entre os tipos de alcalinizantes em mesma concentração nominal, apenas entre as diferentes concentrações.

A dureza total no tratamento Ca300 foi superior a todos os demais tratamentos. Não foram evidenciadas diferenças estatísticas quanto a dureza total entre os tratamentos “Na” e o tratamento Ca150, nem entre as duas menores alcalinidades em ambos os alcalinizantes testados. A dureza de cálcio em todos os tratamentos, salvo Na150, não diferiram entre si. O tratamento Na150 não diferiu estatisticamente do Na300 quanto a este parâmetro. A dureza de magnésio no tratamento Ca300 foi superior aos tratamentos “Na” e o Ca150, que não diferiram entre si e o tratamento Ca75 não diferiu estatisticamente do Ca300 quanto a este parâmetro.

Tabela 13 - Médias \pm desvios padrão dos parâmetros de qualidade da água durante o período de 40 dias de cultivo de *L. vannamei* na fase de berçário em diferentes alcalinidades através da aplicação de cal hidratada ou bicarbonato de sódio em águas com a CIBS.

Parâmetros	Tratamentos					
	Ca			Na		
	75	150	300	75	150	300
Salinidade	2,09 \pm 0,05 ^d	2,17 \pm 0,05 ^c	2,26 \pm 0,08 ^b	2,14 \pm 0,08 ^{cd}	2,17 \pm 0,06 ^{cd}	2,34 \pm 0,11 ^a
O ₂ D (mg L ⁻¹)	7,85 \pm 0,64	7,80 \pm 0,66	7,74 \pm 0,70	7,84 \pm 0,97	7,81 \pm 0,70	7,81 \pm 0,77
Temperatura (°C)	27,53 \pm 1,41	27,56 \pm 1,38	27,60 \pm 1,38	27,51 \pm 1,39	27,57 \pm 1,42	27,51 \pm 1,40
pH	8,15 \pm 0,28 ^d	8,27 \pm 0,20 ^c	8,48 \pm 0,21 ^b	8,29 \pm 0,21 ^c	8,32 \pm 0,14 ^c	8,57 \pm 0,15 ^a
AT (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	85,69 \pm 18,71 ^c	149,98 \pm 24,02 ^b	290,27 \pm 33,77 ^a	83,44 \pm 21,71 ^c	152,96 \pm 32,69 ^b	296,27 \pm 31,25 ^a
DT (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	762,75 \pm 58,82 ^b	724,56 \pm 39,24 ^{bc}	839,14 \pm 81,97 ^a	693,10 \pm 47,16 ^{bc}	695,35 \pm 28,09 ^{bc}	666,14 \pm 14,40 ^c
DCa (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	155,02 \pm 18,58 ^a	135,92 \pm 18,78 ^a	164,01 \pm 26,16 ^a	141,54 \pm 27,95 ^a	101,10 \pm 34,10 ^b	132,55 \pm 5,50 ^{ab}
DMg (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	607,73 \pm 47,93 ^{ab}	588,63 \pm 43,19 ^b	675,13 \pm 63,29 ^a	551,56 \pm 60,20 ^b	594,25 \pm 58,67 ^b	533,59 \pm 13,08 ^b
CE (mS cm ⁻¹)	4,18 \pm 0,19 ^b	4,34 \pm 0,22 ^b	4,50 \pm 0,27 ^b	4,28 \pm 0,22 ^b	4,35 \pm 0,23 ^a	4,66 \pm 0,28 ^a
N-AT (mg L ⁻¹)	0,11 \pm 0,04 ^b	0,13 \pm 0,05 ^{ab}	0,15 \pm 0,10 ^{ab}	0,12 \pm 0,05 ^{ab}	0,12 \pm 0,06 ^{ab}	0,12 \pm 0,06 ^a
N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,18 \pm 0,09 ^b	0,19 \pm 0,09 ^b	0,35 \pm 0,30 ^a	0,19 \pm 0,10 ^b	0,20 \pm 0,09 ^b	0,22 \pm 0,13 ^b
N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	9,67 \pm 8,38	10,35 \pm 9,86	12,66 \pm 14,39	12,65 \pm 12,54	12,72 \pm 11,89	12,54 \pm 13,55
P-PO ₄ ⁻³ (mg L ⁻¹)	1,06 \pm 0,32 ^a	0,98 \pm 0,18 ^b	0,77 \pm 0,55 ^b	0,95 \pm 0,25 ^b	1,09 \pm 0,41 ^a	1,07 \pm 0,49 ^a
SST (mg L ⁻¹)	124,78 \pm 121,45	137,11 \pm 116,97	244,94 \pm 222,21	115,56 \pm 84,02	140,00 \pm 119,64	156,11 \pm 148,55

Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos após ANOVA de uma via seguida do Teste de Tukey. O₂D: oxigênio dissolvido, AT: alcalinidade total, DT: dureza total, DCa: dureza de cálcio, DMg: dureza de magnésio, CE: condutividade elétrica, N-AT: nitrogênio amoniacal total, N-NO₂⁻: nitrogênio do nitrito, N-NO₃⁻: nitrogênio do nitrato, P-PO₄⁻³: fósforo do ortofosfato, SST: sólidos suspensos totais. Ca – cal hidratada, Na- bicarbonato de sódio. Os números 75, 150 e 300 abaixo das siglas “Ca” e “Na” significam as concentrações dos alcalinizantes em 75, 150 e 300 mg de CaCO₃ L⁻¹.

As únicas diferenças encontradas quanto as concentrações de N-AT, foram entre os tratamentos Ca75 e Na150. A maior concentração de N-AT durante todo o período experimental foi 0,40 mg L⁻¹. A média das concentrações de N-NO₂⁻, foi estatisticamente superior no tratamento Ca300 em relação aos demais, que não diferiram entre si. A concentração máxima de N-NO₂⁻ encontrada no experimento foi de 1,38 mg L⁻¹. As médias das concentrações de N-NO₃⁻ ao longo do período experimental não diferiram estatisticamente, conforme o exposto na Tabela 13.

No fim do período, as concentrações de N-NO₃⁻ nos respectivos tratamentos foram: Ca75 (22,00 ± 4,58), Ca150 (27,33 ± 1,15), Ca300 (38,00 ± 3,00), Na75 (33,67 ± 1,53), Na150 (32,00 ± 2,65) e Na300 (36,33 ± 5,69). As concentrações médias de P-PO₄³⁻ foram superiores nos tratamentos Ca75, Na150 e Na300, em relação aos demais tratamentos, que não diferiram entre si (Tabela 13). Na Figura 11, é possível observar o aumento da condutividade elétrica ao longo do período experimental, com os maiores valores encontrados no tratamento Na300.

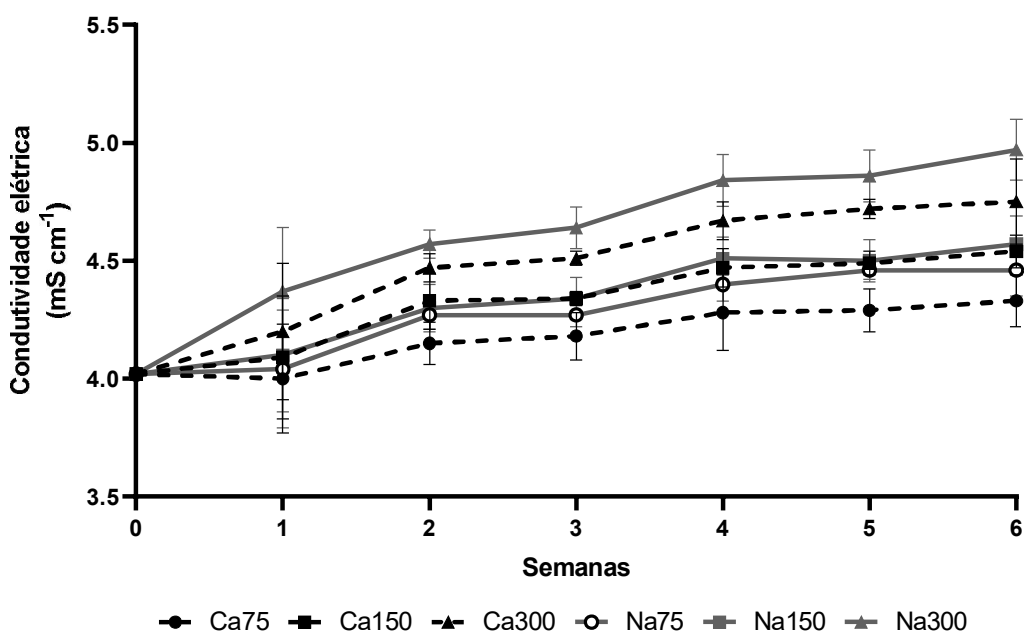


Figura 11 – Condutividade elétrica da água (mS cm⁻¹) durante 40 dias de cultivo de *L. vannamei* na fase de berçário em águas com a CIBS em diferentes alcalinidades utilizando cal hidratada ou bicarbonato de sódio como alcalinizantes.

Na Figura 12, podemos observar as concentrações da alcalinidade ao longo do período experimental. Antes da adição dos alcalinizantes avaliados (semana 0) a alcalinidade do inóculo estava em 110 mg CaCO₃ L⁻¹, e a partir da primeira semana, quando as concentrações foram alcançadas, os valores se mantiveram próximos aos estabelecidos, não diferindo entre as mesmas concentrações estipuladas para cada tratamento durante todo o período.

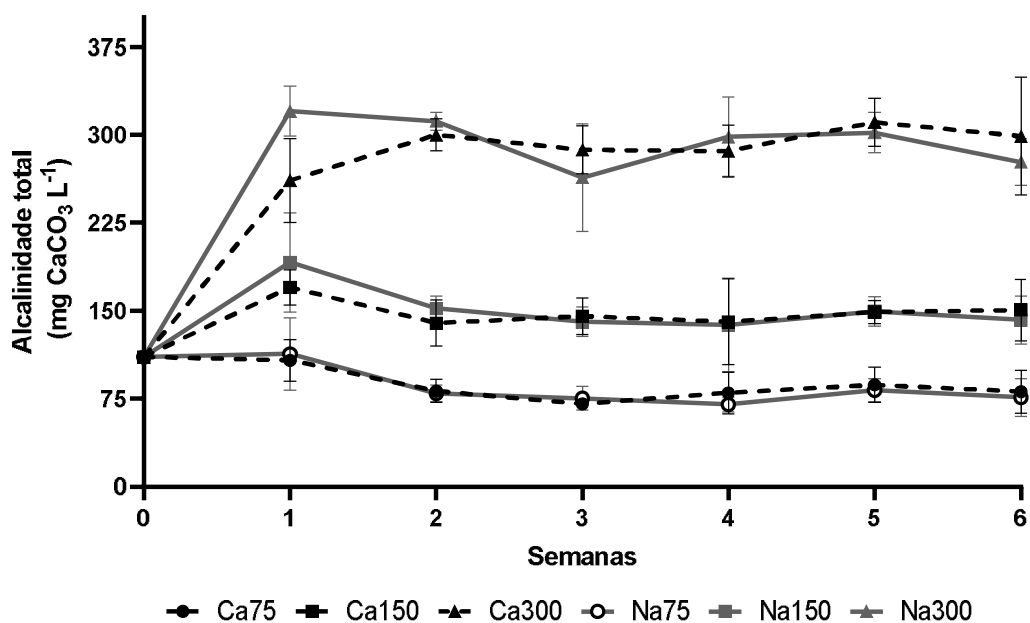


Figura 12 – Alcalinidade total da água (mg CaCO₃ L⁻¹) durante 40 dias de cultivo de *L. vannamei* na fase de berçário em águas oligohalinas com a CIBS em diferentes alcalinidades utilizando cal hidratada ou bicarbonato de sódio como alcalinizantes.

As concentrações dos íons majoritários e as relações iônicas dos tratamentos no início e no fim do experimento, estão apresentadas nas Tabelas 14 e 15, respectivamente.

Tabela 14 - Concentrações dos íons majoritários (mg L⁻¹) e relações iônicas das águas oligohalinas, antes do início do cultivo de *L. vannamei* na fase berçário em diferentes alcalinidades utilizando cal hidratada e bicarbonato de sódio como alcalinizantes.

Íons	Tratamentos					
	Ca			Na		
	75	150	300	75	150	300
Cl ⁻	1.538,2	1.470,9	1.461,3	1.518,9	1.528,6	1.557,4
Na ⁺	893,3	882,4	882,4	882,4	969,8	1.057,1
SO ₄ ²⁻	219,5	221,6	220,6	223,7	238,3	248,8
Mg ²⁺	155,4	147,2	150,5	137,4	142,3	127,6
Ca ²⁺	67,4	48,5	59,3	51,2	45,8	53,9
K ⁺	50,2	49,1	49,1	53,4	53,4	53,4
HCO ₃ ⁻	112,7	187,0	263,9	97,4	192,2	366,4
Soma	3.036,7	3.006,7	3.087,0	2.964,4	3.170,4	3.464,6
Na ⁺ :K ⁺	17,81	17,98	17,98	16,52	18,16	19,80
Mg ²⁺ :Ca ²⁺	2,31	3,03	2,54	2,68	3,11	2,37
K ⁺ :Ca ²⁺	0,74	1,01	0,83	1,04	1,17	0,99

Ca - cal hidratada, Na - bicarbonato de sódio. Os números 75, 150 e 300 abaixo das siglas “Ca” e “Na” significam as concentrações dos alcalinizantes em 75, 150 e 300 mg de CaCO₃ L⁻¹.

Dentre os íons analisados no fim do experimento, apenas os ânions Cl⁻ e SO₄²⁻ não difeririam estatisticamente entre os tratamentos testados. As concentrações de HCO₃⁻, diferiram estatisticamente entre as três concentrações (75, 150 e 300 mg CaCO₃ L⁻¹) testadas do mesmo alcalinizante em ambos os casos (Ca e Na). Entre os diferentes alcalinizantes nos tratamentos de igual alcalinidade esperada, diferenças foram evidenciadas apenas entre os tratamentos Ca150 e Na150.

Quanto aos cátions analisados, a concentração de Na⁺ foi maior no tratamento Na300, diferindo de todos os demais tratamentos, no qual não diferiram entre si. A maior média de concentração de Mg²⁺ ao final do experimento, foi encontrada no tratamento Ca300, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, que não diferiram entre si (Tabela 15). As maiores concentrações do íon Ca²⁺, foram encontradas em todos os tratamentos que utilizaram a cal hidratada como alcalinizante e nos tratamentos Na75 e Na300, os quais não diferiram entre si. O tratamento Na300 não diferiu do Na150, quanto

as concentrações de Ca^{2+} , no entanto, diferiu de todos os demais tratamentos. Nos tratamentos “Ca”, a maior concentração de K^+ foi encontrada no de maior alcalinidade (Ca300), diferindo das alcalinidades inferiores (Ca75 e 150). Os tratamentos Ca75 e Ca150, não diferiram entre si, bem como dos tratamentos que utilizaram o NaHCO_3^- como alcalinizante. Entre os dois tipos de alcalinizantes, diferenças estatísticas foram encontradas entre Ca300 e Na75.

Em relação a soma dos íons majoritários, as maiores concentrações foram obtidas em ambos os tratamentos de maior alcalinidade (Ca300 e Na300), sem diferença estatística si. Os demais tratamentos testados, também não diferiram entre si (Tabela 15).

Os valores médios das relações iônicas $\text{Na}^+:\text{K}^+$, $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$ e $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$ no final do experimento estão apresentados na Tabela 16. A relação $\text{Na}^+:\text{K}^+$ nos tratamentos “Na”, não diferiram entre si, sendo estes estatisticamente superiores aos tratamentos Ca75 e Ca300, aos quais não diferiram entre si. O tratamento Ca150 diferiu estatisticamente apenas do Ca300, quanto a relação $\text{Na}^+:\text{K}^+$. A menor média da relação $\text{Na}^+:\text{K}^+$ (13,57), foi encontrada no tratamento Ca300 (Tabela 16, Figura 13).

A relação $\text{Mg}^{2+}:\text{Ca}^{2+}$, foi superior no tratamento Na150, os demais tratamentos não diferiram entre si. As maiores relações $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}$, foram encontradas nos tratamentos Na150 e Na300, que não diferiram entre si (Tabela 16). Na Figura 13, estão demonstradas as concentrações de Na^+ , K^+ e da relação $\text{Na}^+:\text{K}^+$ no começo, meio e fim do período experimental de 40 dias de cultivo de *L. vannamei*.

Tabela 15 - Médias \pm desvios padrão e intervalos (em parênteses) das concentrações dos íons majoritários (mg L^{-1}) ao fim de 40 dias de cultivo de *L. vannamei* na fase de berçário em águas oligohalinas em diferentes alcalinidades utilizando cal hidratada ou bicarbonato de sódio.

Íons	Tratamentos					
	Ca			Na		
	75	150	300	75	150	300
Cl ⁻	1.377,9 \pm 77,7 (1.288,2-1.422,8)	1.361,9 \pm 20,0 (1.345,9-1.384,4)	1.454,8 \pm 5,6 (1.451,6-1.461,3)	1.429,2 \pm 94,8 (1.365,1-1.538,2)	1.390,8 \pm 97,2 (1.278,6-1.451,6)	1.406,8 \pm 72,2 (1.336,3-1.480,5)
Na ⁺	853,3 \pm 55,0 ^b (795,0-904,2)	878,8 \pm 27,5 ^b (849,6-904,2)	915,2 \pm 50,0 ^b (871,5-969,8)	904,2 \pm 54,6 ^b (849,6-958,8)	915,2 \pm 54,6 ^b (860,6-969,8)	1.024,4 \pm 21,8 ^a (1.002,5-1046,2)
SO ₄ ²⁻	230,3 \pm 22,0 (205,9-248,8)	232,1 \pm 2,8 (230,0-235,2)	255,4 \pm 17,7 (240,4-275,0)	229,6 \pm 16,0 (212,2-243,6)	234,8 \pm 16,9 (219,5-253,0)	257,2 \pm 24,5 (228,9-272,9)
Mg ²⁺	139,6 \pm 12,3 ^b (132,5-153,8)	138,5 \pm 14,8 ^b (124,3-153,8)	177,2 \pm 7,4 ^a (170,1-184,9)	130,3 \pm 22,3 ^b (112,9-155,4)	146,1 \pm 22,3 ^b (121,1-163,6)	131,4 \pm 3,8 ^b (129,24-135,78)
Ca ²⁺	56,6 \pm 7,1 ^a (51,2-64,7)	60,2 \pm 6,2 ^a (56,6-67,4)	71,9 \pm 12,4 ^a (64,7-86,3)	62,0 \pm 15,0 ^a (48,5-78,2)	35,0 \pm 19,4 ^b (18,8-56,6)	52,1 \pm 3,1 ^{ab} (48,5-53,9)
K ⁺	61,0 \pm 1,1 ^b (59,9-62,0)	59,9 \pm 1,1 ^b (58,8-61,0)	67,4 \pm 3,9 ^a (63,1-70,7)	60,2 \pm 4,4 ^b (57,7-65,3)	61,7 \pm 3,5 ^{ab} (57,7-64,2)	67,1 \pm 2,2 ^{ab} (65,3-69,6)
HCO ₃ ⁻	71,7 \pm 2,6 ^d (69,2-74,3)	161,4 \pm 5,1 ^b (156,3-166,5)	321,1 \pm 20,6 ^a (299,8-340,8)	70,0 \pm 12,9 ^d (56,4-82,0)	136,6 \pm 1,5 ^c (135,8-138,4)	326,2 \pm 3,9 ^a (322,8-330,5)
Soma	2790,5 \pm 147,9 ^b (2.620,6-2.890,8)	2.892,8 \pm 55,4 ^b (2.856,4-2.956,4)	3.263,1 \pm 56,0 ^a (3.199,1-3.303,1)	2.885,7 \pm 168,2 ^b (2.728,6-3.063,1)	2.920,3 \pm 165,3 ^b (2.729,8-3.026,3)	3.265,2 \pm 108,6 ^a (3.158,0-3.375,2)

Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos. Ca – cal hidratada, Na - bicarbonato de sódio. Os números 75, 150 e 300 abaixo das siglas “Ca” e “Na” significam as concentrações dos alcalinizantes em 75, 150 e 300 mg de CaCO₃ L⁻¹.

Tabela 16 - Médias \pm desvios padrão e intervalos (em parênteses) das relações iônicas ao fim de 40 dias de cultivo de *L. vannamei* na fase de berçário em águas oligohalinas em diferentes alcalinidades utilizando cal hidratada ou bicarbonato de sódio como alcalinizantes.

Relações iônicas	Tratamentos					
	Ca			Na		
	75	150	300	75	150	300
Na ⁺ :K ⁺	13,99 \pm 0,66 ^{bc} (13,28-14,57)	14,67 \pm 0,20 ^{ab} (14,45-14,83)	13,57 \pm 0,33 ^c (13,19-13,81)	15,02 \pm 0,56 ^a (14,69-15,67)	14,84 \pm 0,31 ^a (14,50-15,10)	15,27 \pm 0,36 ^a (15,03-15,69)
Mg ²⁺ :Ca ²⁺	2,50 \pm 0,41 ^b (2,05-2,85)	2,32 \pm 0,35 ^b (2,04-2,72)	2,51 \pm 0,42 ^b (2,05-2,86)	2,22 \pm 0,86 ^b (1,57-3,20)	5,33 \pm 3,27 ^a (2,14-8,67)	2,53 \pm 0,13 ^b (2,40-2,66)
K ⁺ :Ca ²⁺	1,09 \pm 0,15 ^b (0,93-1,21)	1,00 \pm 0,11 ^b (0,87-1,08)	0,95 \pm 0,15 ^b (0,79-1,09)	1,00 \pm 0,18 ^b (0,84-1,19)	2,18 \pm 1,19 ^a (1,02-3,40)	1,29 \pm 0,06 ^{ab} (1,23-1,35)

Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos. Ca – cal hidratada, Na - bicarbonato de sódio. Os números 75, 150 e 300 abaixo das siglas “Ca” e “Na” significam as concentrações dos alcalinizantes em 75, 150 e 300 mg de CaCO₃ L⁻¹. No ambiente marinho as relações iônicas Na⁺:K⁺, Mg²⁺:Ca²⁺ e K⁺:Ca²⁺ equivalem a 27,6, 3,4 e 1,0 respectivamente.

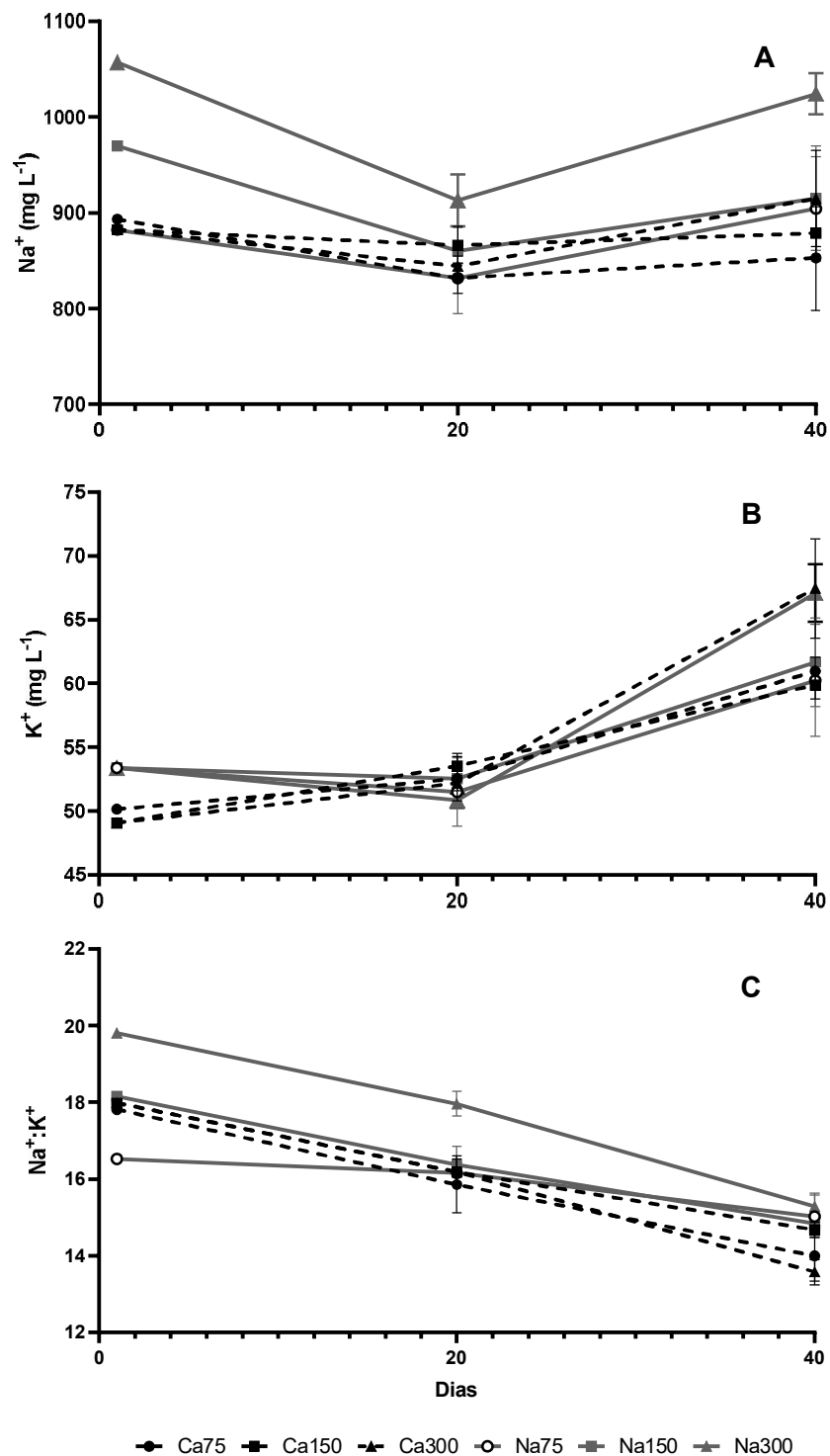


Figura 13 – Concentrações de Na⁺ (A) e K⁺ (B) e a relação entre eles (C) durante o período de 40 dias de cultivo de *L. vannamei* na fase de berçário em águas oligohalinas com a CIBS com diferentes alcalinidades ajustadas com cal hidratada ou bicarbonato de sódio.

As concentrações de Na^+ , reduziram no meio do experimento (dia 20) em todos os tratamentos (Figura 13 – A). Menores variações quanto as concentrações de Na^+ durante o período experimental, foram evidenciadas nos tratamentos “Ca”, com destaque para o tratamento Ca150, que permaneceu com uma concentração média de Na^+ de $875,8 \pm 18,4 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 13 – A). As concentrações de K^+ nos tratamentos “Na”, foram mais elevadas no início do experimento, do que os tratamentos “Ca” (Figura 13 – B). No dia 20, considerado a metade do período experimental, foi observado um decréscimo nas concentrações de K^+ em relação ao início do experimento nos tratamentos “Na”, diferentemente do ocorrido nos tratamentos “Ca”, que incrementaram as concentrações de K^+ durante o período experimental. Mesmo assim, todas as concentrações na metade do período experimental (dia 20) em ambos os alcalinizantes, não diferiram entre si. As maiores médias das concentrações do íon K^+ , foram encontradas nos tratamentos de maior alcalinidade, independente do alcalinizante testado. Quanto a relação $\text{Na}^+:\text{K}^+$, no início do experimento, a maior e a menor concentração foram de 19,8 e 16,5, nos tratamentos Na300 e Na75, respectivamente, enquanto os demais tratamentos estavam com valores próximos a 18,0 (Figura 13 – C). Independente do tratamento testado, todas as relações $\text{Na}^+:\text{K}^+$ decresceram ao longo do período experimental.

Os resultados de desempenho zootécnico das pós-larvas de *L. vannamei* ao final do período experimental de 40 dias, estão apresentados na Tabela 17. Não houveram diferenças entre os tratamentos testados nos parâmetros de taxa de crescimento específico (TCE) e no ganho de peso semanal (GPS). Quanto ao peso médio final dos animais, as únicas diferenças encontradas foram entre os tratamentos Ca75 e os tratamentos Ca300 e Na150, que não diferiram entre si e obtiveram os maiores pesos médios do experimento. Os demais tratamentos Ca150, 300, Na75, 150 e 300 não apresentaram diferenças significativas. A sobrevivência foi superior no tratamento Ca300, diferindo estatisticamente dos demais (Tabela 17). Diferenças estatísticas quanto ao peso médio final, foram encontradas apenas entre o tratamento Ca75 e os tratamentos Ca300 e Na150, que não diferiram entre si. A produtividade no tratamento Ca300 foi superior a todos os demais, que não diferiram entre si.

Tabela 17 - Médias \pm desvios padrão dos parâmetros de desempenho zootécnico de *L. vannamei* ao fim do período de 40 dias de cultivo na fase de berçário em águas oligohalinas em diferentes alcalinidades utilizando cal hidratada ou bicarbonato de sódio como alcalinizantes.

Parâmetros zootécnicos	Tratamentos					
	Ca			Na		
	75	150	300	75	150	300
PMF (g)	0,69 \pm 0,22 ^b	0,73 \pm 0,03 ^{ab}	0,97 \pm 0,08 ^a	0,69 \pm 0,06 ^{ab}	0,94 \pm 0,48 ^a	0,78 \pm 0,24 ^{ab}
Sob. (%)	15,56 \pm 7,52 ^{bc}	31,67 \pm 7,64 ^b	71,11 \pm 12,95 ^a	26,11 \pm 1,92 ^b	24,44 \pm 4,19 ^b	7,22 \pm 4,19 ^c
TCE (% dia ⁻¹)	8,75 \pm 0,92	8,98 \pm 0,11	9,71 \pm 0,20	8,85 \pm 0,22	9,43 \pm 1,24	9,07 \pm 0,84
GPS (g sem. ⁻¹)	0,12 \pm 0,04	0,12 \pm 0,01	0,17 \pm 0,01	0,12 \pm 0,01	0,16 \pm 0,08	0,13 \pm 0,04
Prod. (kg m ⁻³)	0,11 \pm 0,09 ^b	0,25 \pm 0,07 ^b	0,81 \pm 0,21 ^a	0,19 \pm 0,03 ^b	0,24 \pm 0,09 ^b	0,07 \pm 0,03 ^b

Letras diferentes na mesma linha representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos. PMF: peso médio final, Sob.: sobrevivência, TCE: taxa de crescimento específico, GPS: ganho de peso semanal, Prod.: produtividade. Ca – cal hidratada, Na - bicarbonato de sódio. Os números 75, 150 e 300 abaixo das siglas “Ca” e “Na” significam as concentrações dos alcalinizantes em 75, 150 e 300 mg de CaCO₃ L⁻¹.

4. DISCUSSÃO

Dentre as amostras de água analisadas, o único erro padrão calculado que superou a diferença máxima de 15% entre cátions e ânions, foi encontrado na salmoura utilizada no experimento (72,32%). Isso se deve ao fato, de que para a realização dos cálculos foram consideradas apenas as concentrações dos íons majoritários mensurados (Boyd, 2002), dispensando as concentrações dos outros constituintes principais da salinidade, como o brometo (Br^-), fluoreto (F^-), estrôncio (Sr^{2+}) e os íons derivados do ácido bórico (H_3BO_3). Além disso, na concentração da salmoura obtida, sais como CaCO_3 , $\text{Fe}_2(\text{OH})_3$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e parte do NaCl , possivelmente já haviam precipitado devido a cristalização fracionada, modificando as concentrações relativas dos íons na água marinha e elevando a participação dos elementos menores na salinidade (Calliari & Castello, 2015). Elementos traço, quando encontrados em altas concentrações como em águas poluídas, podem ser tóxicos aos animais cultivados (Boyd, 2015). No entanto, devido a diluição empregada, as concentrações desses elementos foram reduzidas a concentrações que possivelmente não atribuiriam efeitos depreciativos nos animais, mesmo assim, maiores avaliações devem ser realizadas para investigar o uso de salmouras e os efeitos diretos desses elementos em camarões cultivados.

Os valores de oxigênio e temperatura, permaneceram durante todo o período experimental dentro da faixa considerada ideal para o cultivo de *L. vannamei* (Boyd, 2015). A alcalinidade total e dureza de cálcio da água, permaneceram acima do mínimo indicado em águas oligohalinas para a produção da espécie (Boyd & Thunjai, 2003).

A utilização de 100% do inóculo previamente desenvolvido com a adição de NH_4Cl , demonstrou ser eficaz, por manter as concentrações de N-AT sempre abaixo de $1,45 \text{ mg L}^{-1}$, considerado seguro para a espécie em salinidade 3 (Valencia-Castañeda et al., 2019). As médias das concentrações de N-NO_2^- , permaneceram abaixo de $0,45 \text{ mg L}^{-1}$ em todos os tratamentos, dentro dos níveis seguros para a salinidade de 2 (Gross et al., 2004). Segundo os mesmos autores, uma exposição de dois dias a uma concentração de 4 mg L^{-1} , reduziria apenas o crescimento sem afetar a sobrevivência das pós larvas, ainda assim, a maior concentração no presente estudo foi de $1,38 \text{ mg L}^{-1}$ no tratamento Ca300. Essa estabilidade quanto aos compostos nitrogenados, se deve ao fato de ser utilizada uma água colonizada por bactérias nitrificantes, que oxidaram durante todo o período esses compostos nitrogenados a sua fase mais oxidada, o NO_3^- , no qual tendeu ao acúmulo,

conforme o evidenciado pelas concentrações médias finais de N-NO_3^- . Essas concentrações em todos os tratamentos, alcançaram valores acima do considerado seguro para pós larvas ($21,5 \text{ mg L}^{-1}$) e abaixo do considerado seguro para juvenis de $3,3 \text{g}$ ($45,0 \text{ mg L}^{-1}$) da espécie em salinidade 3 (Valencia-Castañeda et al., 2019, 2018). As concentrações finais de N-NO_3^- , foram um dos principais fatores associados a mortalidade dos animais no experimento, já que a toxicidade de composto nitrogenado é inversamente proporcional a salinidade da água, mais precisamente as concentrações do íon Cl^- (Romano & Zeng, 2013).

O íon Cl^- é o principal componente da salinidade, sendo este parâmetro estreitamente associado a condutividade elétrica da água (Marandi et al., 2013). Baseando-se na baixa ou ausente diferenciação dos resultados de condutividade elétrica, concentrações de Cl^- e na soma dos íons majoritários entre os tratamentos, é possível observar que foi mínima a influência da salinidade no desempenho zootécnico dos animais, podendo os resultados estarem associados a outros parâmetros analisados, com maiores diferenciações entre os tratamentos. Dos três ânions analisados (Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^-), apenas foram evidenciadas diferenças estatísticas entre os tratamentos quanto as concentrações do HCO_3^- .

Ainda que ambos os alcalinizantes testados sejam eficazes para a correção da alcalinidade em sistema BFT (Furtado et al., 2011), e a manutenção desse parâmetro em $300 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ com a utilização de NaHCO_3^- ofereça condições adequadas para o cultivo de *L. vannamei* em água do mar diluída a 26 g L^{-1} de salinidade (Furtado et al., 2015), nas condições do presente experimento, a utilização do NaHCO_3^- ocasionou outros efeitos, como a elevação do pH da água, principalmente na maior concentração testada (Na300), que foi superior a todos os demais tratamentos. Além disso, nesse mesmo tratamento foram encontradas as piores sobrevivências dos animais, contrariando os resultados dos autores supracitados. Porém, esses resultados se devem à menor reserva de Ca^{2+} da água formulada e ao fato do NaHCO_3^- elevar a alcalinidade sem elevar a dureza da água e consequentemente as concentrações de Ca^{2+} necessárias em sistemas de baixa salinidade, ocasionando a mortalidade dos animais. Essa afirmativa é reforçada pelo fato de serem encontradas as únicas sobrevivências acima de 70%, e estatisticamente superiores no tratamento Ca300, onde a dureza total da água também foi estatisticamente superior aos demais tratamentos. Durante a contabilização dos sobreviventes, foi

evidenciada uma mortalidade recente (7 animais), em uma das repetições do tratamento Ca300, indicando que as concentrações de N-NO₃ neste tratamento, também já haviam alcançado concentrações limite para a sobrevivência dos animais.

Mesmo com a maior salinidade e condutividade elétrica, o tratamento Na300 obteve o pior desempenho zootécnico, indicando novamente que nas condições experimentais, a salinidade foi fator secundário para o desempenho dos animais. O íon Na⁺, foi o segundo mais abundante nas amostras de água analisadas, sendo assim, sua concentração, responsável por grande parte da salinidade e da condutividade elétrica, explicando a maior elevação desses parâmetros nos tratamentos “Na”. O único efeito benéfico da utilização do NaHCO₃⁻ como alcalinizante nas condições testadas, foi o aporte indireto de Na⁺ junto com o íon responsável pela alcalinidade, o HCO₃⁻. O maior incremento da concentração de Na⁺ nos tratamentos que utilizaram o NaHCO₃⁻ como alcalinizante, juntamente com o incremento em todos os tratamentos das concentrações de K⁺, resultaram nas relações médias de Na⁺:K⁺ superiores em todos os tratamentos “Na”. Mesmo combatendo a redução natural da relação Na⁺:K⁺, os tratamentos “Na” não desenvolveram resultados satisfatórios no presente estudo.

O incremento nas concentrações de K⁺ em todos os tratamentos, independente da alcalinidade, está diretamente associada a alimentação dos animais, já que a ração foi o único insumo além dos alcalinizantes aportados aos tanques de cultivo. Baseando-se nas concentrações de Na⁺ e K⁺ descritas pelo fabricante, a ração utilizada possuía uma relação Na⁺:K⁺ de 0,23, demonstrando que o alimento não consumido e lixiviado aportaria concentrações de K⁺ excessivas em relação ao Na⁺. As concentrações de K⁺ foram estatisticamente superiores nos tratamentos Ca300, Na150 e 300, onde foram ofertadas as maiores quantidades de ração aos animais.

A relação Na⁺:K⁺ convencionalizada por ideal para cultivos de *L. vannamei* e a encontrada no ambiente marinho, é de aproximadamente 28:1. Estudos avaliando diferentes relações Na⁺:K⁺ em águas de salinidade 4 g L⁻¹, obtiveram os melhores resultados de desenvolvimento de *L. vannamei* nas menores relações testadas, mais próximas a encontrada no mar e acima de 20 (Liu et al., 2016; Perez-Velazquez et al., 2012; Roy et al., 2007). No entanto, relações inferiores às testadas nas pesquisas supracitadas, são encontradas com frequência em cultivos de *L. vannamei* em águas

interiores doces e oligohalinas⁸ pela grande variabilidade de ambientes (Jaime-Ceballos et al., 2012; Pessoa et al., 2016; Valenzuela-Madrigal et al., 2017), necessitando de maiores investigações científicas quanto a aclimação dos animais à essas relações.

No presente experimento, o tratamento mais produtivo foi o de maior alcalinidade mantida com a cal hidratada (Ca300), onde as concentrações de Mg^{2+} foram superiores a todos os demais tratamentos. Esse resultado corrobora com os encontrados por Roy et al. (2007), onde as maiores concentrações de Mg^{2+} em águas com salinidade 4 g L^{-1} , resultaram na maior sobrevivência de juvenis de *L. vannamei* e menores taxas respiratórias indicando um menor estresse dos animais.

Mesmo sem diferir da maioria dos tratamentos, a menor concentração de Ca^{2+} no tratamento Ca300 ($64,70\text{ mg L}^{-1}$), era maior que a média das concentrações desse íon nos demais tratamentos. Presumivelmente, as concentrações desses dois íons (Ca^{2+} e Mg^{2+}), foram os principais fatores para o bom desenvolvimento dos animais no tratamento Ca300. Em estudo desenvolvido com pós-larvas de *L. vannamei* aclimatadas a água doce, Mendes et al. (2006) observaram que o aumento da concentração de cal hidratada na água, melhorou significativamente o desempenho zootécnico da espécie.

A utilização da cal hidratada como alcalinizante, favoreceu o aporte de Ca^{2+} necessário em águas de baixa salinidade para a sobrevivência dos camarões (McGraw & Scarpa, 2003). Essa afirmativa, é reforçada pelo fato de não serem identificadas diferenças estatísticas quanto a concentração de Ca^{2+} nos tratamentos “Ca” entre as diferentes concentrações de cal hidratada utilizadas, indicando a assimilação do Ca^{2+} pelo organismo dos animais. Isso se deve ao fato, dos animais necessitarem constantemente do Ca^{2+} dissolvido na água para formação da carapaça composta principalmente por $CaCO_3$ (Withers, 1992). O mesmo não aconteceu com as concentrações de Mg^{2+} , que foram superiores no tratamento Ca300 em relação a todos os demais, indicando o acúmulo desse íon com o aporte da cal hidratada, composta de hidróxido de cálcio [$Ca(OH)_2$] e hidróxido de magnésio [$Mg(OH)_2$] em proporções não indicadas no rótulo do fabricante.

Camarões peneídeos, necessitam da absorção direta do Ca^{2+} da água para mineralização cuticular, podendo dobrar a concentração desse íon na hemolinfa pouco antes da ecdise em relação a encontrada na intermuda, e diminuir na pós-muda, essas

⁸ Capítulo II – Produção do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em águas continentais no Nordeste do Brasil: avaliação da composição iônica da água como ferramenta para o desenvolvimento sustentável da atividade

alterações evidenciam a mobilização do Ca^{2+} da água, músculo, glândula do intestino médio e exoesqueleto antigo para o recém formado (Vijayan & Diwan, 1996). Em águas oligohalinas, a suplementação mineral de rações com Na^+ e K^+ melhoram o desempenho zootécnico de *L. vannamei* (Liu et al., 2014; Zhou et al., 2014). O mesmo não acontece com o Ca^{2+} , podendo até atribuir efeitos depreciativos por inibir a absorção de outros nutrientes como o fósforo (P), sugerindo que a concentração de Ca^{2+} em rações comerciais poderiam ser reduzidas (Cheng et al., 2006). O presente estudo, sugere que a análise da concentração da dureza da água é tão importante quanto a alcalinidade em sistemas fechados de cultivo de *L. vannamei*, principalmente dos realizados em águas oligohalinas, pela pequena reserva de Ca^{2+} somada a alta demanda desse íon na água pelos animais. Mais estudos devem ser desenvolvidos com o objetivo de desenvolver aportes periódicos de Ca^{2+} com outras fontes desse íon ao sistema BFT em águas oligohalinas, mantendo as concentrações suficientes para o bom desenvolvimento do *L. vannamei*.

5. CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que em meio aquático oligohalino dominado por bioflocos, a manutenção da alcalinidade em 300 mg de $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ utilizando cal hidratada, atribui melhores produtividades no cultivo de *L. vannamei* na fase de berçário. Esses efeitos estão relacionados aos incrementos de HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} , causados pelo alcalinizante que junto a alcalinidade, elevou a dureza total da água, protegendo os animais das altas concentrações de N-NO_3^- e compensando a remoção do Ca^{2+} da água pelos camarões durante o processo de muda.

6. AGRADECIMENTOS

Aos órgãos de fomento CAPES, CNPq, FAPERGS e FINEP pela concessão dos recursos que financiam a ciência brasileira. E as empresas privadas que apoiam com seus produtos as atividades do Projeto Camarão: Guabi, Trevisan, AllAqua, Inve e Aquatec.

7. REFERÊNCIAS

- Avnimelech, Y., 1999. Carbon / nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176, 227–235.
- Balbi, F., Rosas, J., Velásquez, A., Cabrera, T.R., Maneiro, C., 2005. Aclimatación de postlarvas de diferentes edades y criaderos del camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) a baja salinidad. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 40, 109–115. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572005000200003>
- Barbosa, J.E.L., Medeiros, E.S.F., Brasil, J., Cordeiro, R.S., Crispim, M.C.B., Silva, G.H.G., 2012. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnol. Bras.* 24, 103–118. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000030>
- Boyd, C.E., 2002. Anion-cation balance, cross-check for reliability of ion analyses. *Glob. Aquac. Advocate.* 74–75.
- Boyd, C.E., 2015. *Water Quality - An Introduction*, 2 ed., Springer International Publishing. Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4>
- Boyd, C.E., Thunjai, T., 2003. Concentrations of major ions in waters of inland shrimp farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States. *J. World Aquac. Soc.* 34, 524–532. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2003.tb00092.x>
- Boyd, C.E., Tucker, C.S., Somridhivej, B., 2016. Alkalinity and hardness: critical but elusive concepts in aquaculture. *J. World Aquac. Soc.* 47, 6–41. <https://doi.org/10.1111/jwas.12241>
- Braaten, R.O., Flaherty, M., 2001. Salt balances of inland shrimp ponds in Thailand : implications for land and water salinization. *Environ. Conserv.* 28, 357–367. <https://doi.org/10.1017/S0376892901000388>
- Calliari, L.J. & Castello, X., 2015. Recursos marinhos não-vivos, in: Castello, J.P. & Krug, L.C. (Ed.), *Introdução às ciências do mar, Textos*, Pelotas, pp. 446-499.
- Chen, S., Ling, J., Blancheton, J.P., 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquac. Eng.* 34, 179–197. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.004>

- Cheng, K.M., Hu, C.Q., Liu, Y.N., Zheng, S.X., Qi, X.J., 2006. Effects of dietary calcium, phosphorus and calcium/phosphorus ratio on the growth and tissue mineralization of *Litopenaeus vannamei* reared in low-salinity water. *Aquaculture* 251, 472–483. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.06.022>
- Custodio, E., Llamas, M.R., 1983. Hidrologia Subterránea., in: Editora Omega. Barcelona, Espanha, pp. 174–213.
- Davis, D.A., Saoud, I.P., McGraw, W.J., Rouse, D.B., 2002. Considerations for *Litopenaeus vannamei* reared in inland low salinity waters. In: Cruz-Suarez, E., Rique-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola, G., Simoes, N. (Eds.), *Avances en Nutrición Acuícola: Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, pp. 73–94. 3 al 6 de septiembre del 2002.
- Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic control of ammonia-nitrogen in aquaculture production systems. *Aquaculture* 257, 346–358.
- Furtado, P.S., Gaona, C.A.P., Poersch, L.H.S., Wasielesky Jr., W., 2014. Application of different doses of calcium hydroxide in the farming shrimp *Litopenaeus vannamei* with the biofloc technology (BFT). *Aquac. Int.* 22, 1009–1023. <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9723-9>
- Furtado, P.S., Poersch, L.H. S., Wasielesky Jr., W., 2015. The effect of different alkalinity levels on *Litopenaeus vannamei* reared with biofloc technology (BFT). *Aquac. Int.* 23, 345–358. <https://doi.org/10.1007/s10499-014-9819-x>
- Furtado, P.S., Poersch, L.H., Wasielesky Jr., W., 2011. Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bioflocs technology (BFT) systems. *Aquaculture* 321(1–2), 130–135.
- Gaona, C.A.P., Krummenauer, D., Freitas, A., Miranda, M.H.C., Poersch, L., Wasielesky Jr., W., 2014. Ammonia addition enhances microbial flocs in nursery phase for Pacific White Shrimp. *Glob. Aquac. Advocate* 66–68.

- Gaona, C.A.P., Poersch, L.H., Krummenauer, D., Foes, G.K., Wasielesky Jr., W., 2011. The effect of solids removal on water quality, growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc technology culture system. *Int. J. Recirc. Aquac.* 11,54–73.
- Gross, A., Abutbul, S., Zilberg, D., 2004. Acute and chronic effects of nitrite on white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, cultured in low-salinity brackish water. *J. World Aquac. Soc.* 35, 315–321. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2004.tb00095.x>
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4, 1-9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Jaime-Ceballos, B.J., Cabrera-Machado, J.E., Vega-Villasante, F., 2012. Cultivo tierra adentro de camarón marino *Litopenaeus vannamei*: Evaluación del agua de dos granjas acuícolas en Cuba. *Rev. Electron. Vet.* 13, 1–17.
- Jory, D.E., Cabrera, T.R., Dugger, D.M., Fegan, D., Lee, P.G., Lawrence, A.L., Jackson, C.J., McIntosh, R.P., Castañeda, J., 2001. A global review of shrimp feed management: status and perspectives. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture2001*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, p 104–152.
- Krummenauer, D., Samocha, T.M., Poersch, L.H.S., Lara, G.R., Wasielesky Jr., W., 2014. The reuse of water on the culture of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in BFT system. *J. World Aquac. Soc.* 45, 3–14. <https://doi.org/10.1111/jwas.12093>
- Liu, H., Tan, B., Yang, J., Chi, S., Dong, X., Yang, Q., 2016. Effects of aqueous Na/K and dietary K on growth and physiological characters of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low-salt well water. *Aquac. Res.* 47, 540–553. <https://doi.org/10.1111/are.12513>
- Liu, H., Zhang, X., Tan, B., Lin, Y., Chi, S., Dong, X., Yang, Q., 2014. Effect of dietary potassium on growth, nitrogen metabolism, osmoregulation and immunity of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared in low salinity seawater. *J. Ocean Univ. China.* 13, 311–320. <https://doi.org/10.1007/s11802-014-2118-3>

- Maicá, P.F., Furtado, P.S., Martins, Á.C.S., Miranda Filho, K.C., Wasielesky Jr., W., 2018. Effect of alkalinity on food consumption of juvenile Pacific white shrimp reared in clear water and biofloc system. *Bol. do Inst. Pesca* 44, 1-9. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2018.222>
- Marandi, A., Polikarpus, M., Jöeleht, A., 2013. A new approach for describing the relationship between electrical conductivity and major anion concentration in natural waters. *Appl. Geochemistry* 38, 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.09.003>
- McGraw, W.J., Davis, D.A., Teichert-Coddington, D., Rouse, D.B., 2002. Acclimation of *Litopenaeus vannamei* post-larvae to low salinity: influence of age, salinity endpoint, and rate of salinity reduction. *J. World Aquac. Soc.* 33, 78–84. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00481.x>
- McGraw, W.J., Scarpa, J., 2003. Minimum environmental potassium for survival of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in freshwater. *J. Shellfish Res.* 22, 263–267.
- McGraw, W.J., Scarpa, J., 2004. Mortality of freshwater-acclimated *Litopenaeus vannamei* associated with acclimation rate, habituation period, and ionic challenge. *Aquaculture* 236, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.01.037>
- Mendes, P.P., Albuquerque, M.L.L.T., Queiroz, D.M., Santos, B.L.S., Lima, A.C., Lopes, Y.V.A., 2006. Aclimação do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) à água doce com diferentes estratégias de alimentação e calagem. *Acta Sci. Anim. Sci.* 28, 89–95.
- Miranda, I., Valles, J.L., Sánchez, R., Álvarez, Z., 2010. Cultivo del camarón marino *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) en agua dulce. *Rev. Científ.* 20, 339–346.
- Perez-Velazquez, M., Davis, D.A., Roy, L.A., González-Félix, M.L., 2012. Effects of water temperature and Na⁺: K⁺ ratio on physiological and production parameters of *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity water. *Aquaculture* 342–343, 13–17. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.02.008>

- Pessôa, M.N.C., Vidal, J.M.A., Silva, U.L., Mendes, P.P., 2016. Marine shrimp cultivated at different densities and feeding regimens in oligohaline waters. *Rev. Caatinga* 29, 700–708.
- Piérri, V., Severino, D.V., Oliveira, K.G., Santo, C.M.E., Vieira, F.N., Seiffert, W.Q., 2014. Cultivation of marine shrimp in biofloc technology (BFT) system under different water alkalinities. *Brazilian J. Biol.* 75, 1–7. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.16213>
- Romano, N., Zeng, C., 2013. Toxic effects of ammonia, nitrite, and nitrate to decapod crustaceans: A review on factors influencing their toxicity, physiological consequences, and coping mechanisms. *Rev. Fish. Sci.* 21, 1–21. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10641262.2012.753404>
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P., Boyd, C.A., Pine, H.J., Boyd, C.E., 2010. Shrimp culture in inland low salinity waters. *Rev. Aquac.* 2, 191–208. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01036.x>
- Roy, L.A., Davis, D.A., Saoud, I.P., Henry, R.P., 2007. Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth, and respiration of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. *Aquaculture* 262, 461–469. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.011>
- Valencia-Castañeda, G., Frías-Espéricueta, M.G., Vanegas-Pérez, R.C., Chávez-Sánchez, M.C., Páez-Osuna, F., 2019. Toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to *Litopenaeus vannamei* juveniles in low-salinity water in single and ternary exposure experiments and their environmental implications. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 70. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.05.002>
- Valencia-Castañeda, G., Frías-Espéricueta, M.G., Vanegas-Pérez, R.C., Pérez-Ramírez, J.A., Chávez-Sánchez, M.C., Páez-Osuna, F., 2018. Acute toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to shrimp *Litopenaeus vannamei* postlarvae in low-salinity water. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 101, 229–234. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2355-z>

- Valenzuela-Madrigal, I.E., Valenzuela-Quiñónez, W., Esparza-Leal, H.M., Rodríguez-Quiroz, G., Aragón-Noriega, E.A., 2017. Effects of ionic composition on growth and survival of white shrimp *Litopenaeus vannamei* culture at low-salinity well water. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 52, 103–112. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572017000100008>
- Van Wyk, P.M., 1999. Receiving and acclimation of postlarvae. In: Van Wyk, P.M., Davis-Hodgkins, M., Laramore, C.R., Main, K.L., Mountain, J., Scarpa, J. (Ed.), *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee, pp. 115–124.
- Vijayan, K.K., Diwan, A.D., 1996. Fluctuations in Ca, Mg and P levels in the hemolymph, muscle, midgut gland and exoskeleton during the moult cycle of the Indian white prawn, *Penaeus indicus* (Decapoda: Penaeidae). *Comp. Biochem. Physiol. - A Physiol.* 114, 91–97. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(95\)02096-9](https://doi.org/10.1016/0300-9629(95)02096-9)
- Withers, P.C., 1992. Aquatic Environments, in: *Comparative Animal Physiology*. pp. 791–797.
- Zar, J.H., 2010. *Biostatistical Analysis*, 5th ed, Prentice Hall. New Jersey.
- Zhou, X.-X., Zhang, J.-Y., Liu, S.-L., Ding, Y.-T., 2014. Supplementation of sodium chloride in diets to improve the meat quality of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low-salinity water. *Aquac. Res.* 45, 1187–1195. <https://doi.org/10.1111/are.12062>

CONCLUSÕES GERAIS

Com o levantamento bibliográfico, foi observado que a expansão das áreas de produção de *L. vannamei* em águas oligohalinas interiores, foi mais rápida que o conhecimento científico produzido, sendo necessário o desenvolvimento de manejos de produção e a aplicação de análises de água dedicadas à realidade desses cultivos, para garantir o crescimento da atividade de forma regular. Sistemas de cultivo fechados, são favoráveis a carcinocultura em regiões semiáridas, por serem baseados em reuso de água, o que garante o controle da produção reduzindo os riscos ambientais.

A determinação da salinidade através da condutividade elétrica, somada às análises de composição iônica, são ferramentas imprescindíveis para a correta classificação salina da água, adequação dos usos desse recurso, seleção de áreas para a carcinocultura e o lançamento dos efluentes. Águas interiores com salinidade superior a 0,5, são mais favoráveis para a atividade, por possuírem maiores concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} e HCO_3^- , e conseqüentemente alcalinidades e durezas totais superiores a águas doces, garantindo maiores produtividades os cultivos. Além disso, legalmente águas doces, em situação de escassez, possuem uso prioritário para consumo humano e dessedentação animal, devendo serem reservadas para esses fins em regiões semiáridas.

A inoculação de 3% de água do mar em águas com salinidade entre 0,5 e 1,0 g.L⁻¹, com composição iônica similar à encontrada em carcinoculturas no Nordeste brasileiro, são suficientes para elevar as concentrações de Na^+ , Mg^{2+} e K^+ e aproximar as relações iônicas às encontradas no ambiente marinho, atribuindo melhorias ao desenvolvimento de pós-larvas de *L. vannamei* em sistema BFT em águas oligohalinas. A manutenção da alcalinidade em 300 mg de CaCO_3 L⁻¹ utilizando cal hidratada, também gerou melhores resultados, sendo atribuídos a elevação de HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} , e conseqüentemente da alcalinidade e dureza da água, o que protegeu os animais da toxicidade do N-NO_3^- e compensou a remoção do Ca^{2+} da água pelos camarões durante o processo de muda.

As metodologias citadas para correção iônica e manejo de nitrogenados, demonstraram elevada eficiência nas condições testadas e por serem utilizados manejos simples e de custo reduzido, essas metodologias podem ser facilmente aplicadas às condições da produção comercial da espécie. No entanto, mais pesquisas devem ser realizadas durante a fase de engorda e com o controle das concentrações de N-NO_3^- , antes de uma maior intensificação da atividade nas condições testadas.

ANEXOS

MEMORIAL FOTOGRÁFICO



Figura 14 – Água subterrânea armazenada no canal de abastecimento de fazenda de produção de *L. vannamei* em águas oligohalinas na cidade de Limoeiro do Norte - CE.



Figura 15 – Estrutura de pré-berçário utilizando águas oligohalinas dominadas por bioflocos em fazenda de produção de *L. vannamei* na cidade de Jaguaruana – CE.



Figura 16 – Viveiro de produção de *L. vannamei* em águas oligohalinas, revestido com geomembrana de PEAD, abastecido com água de rio em Ceará Mirim – RN.



Figura 17 – Aspecto do solo e vegetação da Caatinga em fazenda de produção de *L. vannamei*, utilizando água subterrânea mesohalina em Tangará-RN.



Figura 18 – Precipitados de ferro e manganês indicados pela coloração avermelhada da amostra de água durante a filtração, antes das análises no LABOMAR em Fortaleza -CE.



Figura 19 – Procedimento para a determinação da dureza total e das concentrações de cálcio e magnésio da água nas análises realizadas no IFCE de Morada Nova - CE.

Tabela 18 – Concentrações letais médias e níveis seguros de exposição de *L. vannamei* a compostos nitrogenados em baixas salinidades.

	Salinidade	Fonte de água	Peso médio (g)	Tempo de exposição	LC ₅₀ (mg.L ⁻¹)	Nível seguro (mg.L ⁻¹)	Referência
N-AT	1,0	Marinha	PL ₂₀	96 h	10,80	0,54	(Valencia-Castañeda et al., 2018)
	3,0	Marinha	0,69	96 h	9,33	0,47*	(Li et al., 2007)
	3,0	Marinha	PL ₂₀	96 h	16,30	0,81	(Valencia-Castañeda et al., 2018)
	3,0	Marinha	3,30	96 h	29,00	1,45	(Valencia-Castañeda et al., 2019)
	10,0	Salga artificial	PL ₂₈	48 h	39,72	3,97*	(Schuler et al., 2010)
N-NO ₂ ⁻	0,6	Marinha	4,40	96 h	5,70	0,28	(Ramirez-Rochin et al., 2016)
	1,0	Marinha	PL ₂₀	96 h	3,30	0,17	(Valencia-Castañeda et al., 2018)
	1,0	Marinha	4,40	96 h	7,00	0,35	(Ramirez-Rochin et al., 2016)
	2,0	Subterrânea	0,08	96 h	9,60	0,48	(Gross et al., 2004)
	2,0	Subterrânea	0,21	96 h	8,90	0,45	(Gross et al., 2004)
	2,0	Salga artificial	0,71	96 h	8,40	0,42*	(Sowers et al., 2004)
	2,0	Marinha	4,40	96 h	12,40	0,62	(Ramirez-Rochin et al., 2016)
	3,0	Marinha	PL ₂₀	96 h	4,90	0,25	(Valencia-Castañeda et al., 2018)
	3,0	Marinha	0,11	96 h	15,20	0,76*	(Wang et al., 2006)
	3,0	Marinha	3,30	96 h	10,60	0,53	(Valencia-Castañeda et al., 2019)
	8,0	Marinha	4,20	30 dias	-	< 2,50	(Furtado et al., 2016)
	10,0	Salga artificial	PL ₃₉	48 h	153,75	15,37*	(Schuler et al., 2010)
N-NO ₃ ⁻	1,0	Marinha	PL ₂₀	96 h	112,80	5,64	(Valencia-Castañeda et al., 2018)
	3,0	Marinha	PL ₂₀	96 h	430,00	21,50	(Valencia-Castañeda et al., 2018)
	3,0	Marinha	3,30	96 h	900,00	45,00	(Valencia-Castañeda et al., 2019)
	5,0	Marinha	1,80	96 h	600,51	60,05	(Alves Neto et al., 2019)
	10,0	Marinha	1,80	96 h	1276,09	127,61	(Alves Neto et al., 2019)
	11,0	Salga artificial	<2,50	42 dias	-	< 220	(Kuhn et al., 2010)

LC₅₀ – concentração letal média; asteriscos (*) representam valores calculados para a tabela usando os fatores de aplicação de 0,05 e 0,10. Tabela disponível em Moura (2020) – Aprimoramento do cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em águas oligohalinas dominadas por bioflocos (PPGAq/FURG)

REFERÊNCIAS

- Alves Neto, I., Brandão, H., Furtado, P.S., Wasielesky Jr., W., 2019. Acute toxicity of nitrate in *Litopenaeus vannamei* juveniles at low salinity levels. *C. Rural* 49, 1–9.
- Furtado, P.S., Valenzuela, M.A.J., Rodriguez-Fuentes, G., Campos, B.R., Wasielesky Jr., W., Gaxiola, G., 2016. Chronic effect of nitrite on the rearing of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* in two salinities. *Mar. Fresh. Behav. Physiol.* 49, 201–211.
- Gross, A., Abutbul, S., Zilberg, D., 2004. Acute and chronic effects of nitrite on white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, cultured in low-salinity brackish water. *J. World Aquac. Soc.* 35, 315–321.
- Kuhn, D.D., Smith, S.A., Boardman, G.D., Angier, M.W., Marsh, L., Flick Jr, G.J., 2010. Chronic toxicity of nitrate to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: Impacts on survival, growth, antennae length, and pathology. *Aquaculture* 309, 109–114.
- Li, E., Chen, L., Zeng, C., Chen, X., Yu, N., Lai, Q., Qin, J.G., 2007. Growth, body composition, respiration and ambient ammonia nitrogen tolerance of the juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different salinities. *Aquaculture* 265, 385–390.
- Ramirez-Rochin, J., Frías-Espericueta, M.G., Fierro-Sanudo, J.F., Alarcon-Silvas, S.G., Fregoso-Lopez, M.G., Paez-Osuna, F., 2016. Acute toxicity of nitrite on white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles in low-salinity water. *Aquac. Res.* 48, 1–7.
- Schuler, D.J., Boardman, G.D., Kuhn, D.D., Flick Jr, G.J., 2010. Acute toxicity of ammonia and nitrite to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at low salinities. *J. Therm. Biol.* 41, 438–446.
- Sowers, A., Young, S.P., Isely, J.J., Browdy, C.L., Tomasso, J.R., 2004. Nitrite toxicity of *Litopenaeus vannamei* in water containing low concentrations of sea salt or mixed salts. *J. World Aquac. Soc.* 35, 445–451.
- Valencia-Castañeda, G., Frías-Espericueta, M.G., Vanegas-Pérez, R.C., Chávez-Sánchez, M.C., Páez-Osuna, F., 2019. Toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to *Litopenaeus vannamei* juveniles in low-salinity water in single and ternary exposure experiments and their environmental implications. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 70, 103193.
- Valencia-Castañeda, G., Frías-Espericueta, M.G., Vanegas-Pérez, R.C., Pérez-Ramírez, J.A., Chávez-Sánchez, M.C., Páez-Osuna, F., 2018. Acute toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to shrimp *Litopenaeus vannamei* postlarvae in low-salinity water. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 101, 229–234.
- Wang, W.N., Wang, A.L., Zhang, Y.J., 2006. Effect of dietary higher level of selenium and nitrite concentration on the cellular defense response of *Penaeus vannamei*. *Aquaculture* 256, 558–563.