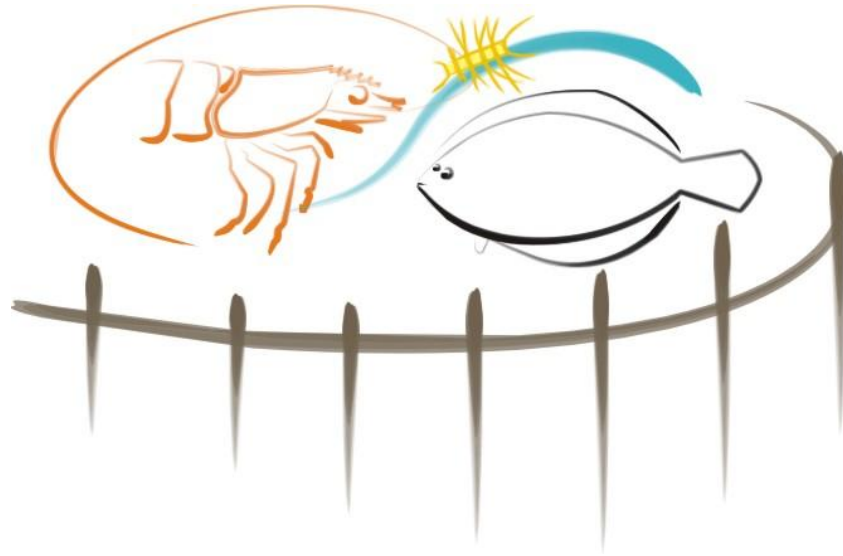


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE**

**INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA**



**O Efeito do Hidróxido de Cálcio, do Carbonato e Bicarbonato de Sódio na Qualidade de Água e no Desempenho Zootécnico do Camarão *Litopenaeus vannamei* Cultivado com Tecnologia de Bioflocos (BFT).**

**PLÍNIO SCHMIDT FURTADO**

**FURG**

**Rio Grande / RS**

**2011**

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

**O Efeito do Hidróxido de Cálcio, do Carbonato e do Bicarbonato de Sódio na Qualidade de Água e no Desempenho Zootécnico do Camarão *Litopenaeus vannamei* Cultivado com Tecnologia de Bioflocos (BFT).**

**PLÍNIO SCHMIDT FURTADO**

**Orientador:** Prof. Dr. Wilson Wasielesky Jr.

**Co-Orientador:** Prof. Dr. Luis Poersch

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Aquicultura pelo Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal do Rio Grande.

**Rio Grande - RS - Brasil**

**Fevereiro, 2011**

# Índice

	Pg.
<b>Dedicatória</b> .....	V
<b>Agradecimentos</b> .....	Vi
<b>Resumo</b> .....	Vii
<b>Abstract</b> .....	Viii
<b>1. Introdução</b> .....	01
<b>2. Objetivos</b> .....	05
2.1. Objetivo geral.....	05
2.2. Objetivos específicos.....	05
<b>3. Material e métodos</b> .....	05
3.1. Local e instalações.....	05
3.2. Material biológico e delineamento experimental.....	06
3.3. Correção da alcalinidade e pH.....	07
3.4. Fertilização orgânica.....	09
3.5. Parâmetros físicos e químicos da água.....	09
3.6. Parâmetros indicadores de desempenho zootécnico.....	10
3.7. Análises estatísticas.....	11
<b>4. Resultados</b> .....	11
4.1. Parâmetros físicos e químicos da água.....	11
4.2. Correção da alcalinidade e pH.....	17
4.3. Parâmetros indicadores de desempenho zootécnico.....	18
<b>5. Discussão</b> .....	21
<b>6. Conclusão</b> .....	30
<b>7. Referências bibliográficas</b> .....	31
<b>8. Anexo</b> .....	39

## Lista de tabelas

	Pg.
<b>Tabela 1.</b> Dados sobre os compostos químicos empregados na correção do pH e alcalinidade da água do cultivo de <i>L. vannamei</i> nos tratamentos com correção de pH ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), alcalinidade ( $\text{NaHCO}_3$ ) e ambos ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).	08
<b>Tabela 2.</b> Valores mínimos, máximos e médios dos parâmetros físicos e químicos de qualidade da água no cultivo de <i>L. vannamei</i> nos diferentes tratamentos experimentais (T1- $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , T2- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , T3- $\text{NaHCO}_3$ , T4-Controle).	12
<b>Tabela 3.</b> Dados referentes às quantidades e os custos de aplicação dos produtos utilizados ao longo do experimento para a correção de pH ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), de pH e alcalinidade ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), e da alcalinidade ( $\text{NaHCO}_3$ ).	18
<b>Tabela 4.</b> Parâmetros de desempenho zootécnico dos juvenis de <i>L. vannamei</i> cultivados nos tratamentos com correção de pH (T1- $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), de pH e alcalinidade (T2- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), da alcalinidade (T3- $\text{NaHCO}_3$ ), e sem correção de pH e alcalinidade (T4-Controle).	19

## Lista de figuras

	Pg.
<b>Figura 1.</b> Concentrações médias do N-AT (nitrogênio amoniacal total) (A), $\text{N-NO}_2$ (nitrito) (B) e $\text{N-NO}_3$ (nitrato) (C) na água de cultivo dos juvenis de <i>Litopenaeus vannamei</i> nas diferentes condições experimentais (T1- $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , T2- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , T3- $\text{NaHCO}_3$ , T4-Controle) durante 60 dias.	14
<b>Figura 2.</b> Concentrações médias do ortofosfato $\text{P-PO}_4^{-3}$ (ortofosfato) (A) e do volume de flocos microbianos (B) na água de cultivo dos juvenis de <i>Litopenaeus vannamei</i> nas diferentes condições experimentais (T1- $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , T2- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , T3- $\text{NaHCO}_3$ , T4-Controle) durante 60 dias.	15
<b>Figura 3.</b> Concentrações médias da alcalinidade (A), do pH (B) e do $\text{CO}_2$ (dióxido de carbono dissolvido) (C) na água de cultivo dos juvenis de <i>Litopenaeus vannamei</i> nas diferentes condições experimentais (T1- $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , T2- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , T3- $\text{NaHCO}_3$ , T4-Controle) durante 60 dias.	17
<b>Figura 4.</b> Ganho de peso semanal (g/semana) (A), conversão alimentar aparente (CAA) (B) e produtividade ( $\text{kg/m}^3$ ) (C) dos juvenis de <i>Litopenaeus vannamei</i> cultivados nas diferentes condições experimentais (T1- $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , T2- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , T3-	21

NaHCO<sub>3</sub>, T4-Controle). As barras de erro representam um desvio padrão em torno da média e as letras diferentes sobre as colunas indicam uma diferença significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Ademir e Nilva.*

*As minhas irmãs, Ariane e Ariadne.*

*Ao meu avô Antônio Plínio, "In memoriam".*

*Ao meu avô Herbert Schmidt, "In memoriam".*

*A minha noiva, Clarissa.*

*A todos os meus amigos.*

## AGRADECIMENTOS

*Ao Prof. Dr. Wilson Wasielesky Jr. “Mano” e ao Prof. Dr. Luis Poersch “Mineiro” pela orientação, paciência e por conceder a infra-estrutura e materiais da Estação Marinha de Aquicultura - EMA para a realização do trabalho.*

*A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura que contribuíram para minha formação.*

*Ao doutorando Diogo por me explicar pacientemente como fazer as análises estatísticas deste trabalho.*

*Ao Sandro pelo auxílio nas análises químicas da água de cultivo.*

*Aos Doutorandos Charles Fróes e Geraldo Foes, a Mestre Sabrina Suita e ao Mestre Manoel Valenzuela pelas sugestões pertinentes a montagem e desenvolvimento do estudo.*

*Aos colegas do programa de pós-graduação pelos ótimos momentos de discussão e descontração.*

*Aos moradores do alojamento da EMA, Diego, William, Shayene, Manoel, Paula, Luciano, Cauê e Viviana pelo apoio e amizade.*

*Enfim, a toda minha família, por todo apoio e compreensão durante as horas compartilhadas e ausentes.*

## Resumo

O camarão *Litopenaeus vannamei* é o mais cultivado em sistemas super-intensivos em meio a flocos microbianos (BFT) e sem renovação de água. Nestes sistemas de bioflocos a tendência natural é que ocorra a diminuição do material carbonático ao longo do cultivo, devido aos processos de nitrificação que reduzem a alcalinidade na forma de carbonatos e bicarbonatos. Além disso, o pH pode diminuir devido a redução da alcalinidade e ao acúmulo de dióxido de carbono dissolvido, proveniente da respiração. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da aplicação de hidróxido de cálcio, carbonato e bicarbonato de sódio na qualidade de água do cultivo do *L. vannamei* em sistema BFT. Para tal, 600 juvenis (6g) foram estocados em 12 tanques com 150L de volume útil ( $\rho=333/m^3$ ). Os camarões foram alimentados duas vezes por dia, com ração comercial (Guabi<sup>®</sup>) seguindo tabela de alimentação por 60 dias de experimento. Foram avaliados quatro tratamentos com três repetições cada: T1-  $Na_2CO_3$  (correção do pH acima de 7,5); T2-  $Ca(OH)_2$  (correção da alcalinidade acima de 100mg/L de  $CaCO_3$  e pH acima de 7,5); T3-  $NaHCO_3$  (correção da alcalinidade acima de 100 mg/L de  $CaCO_3$ ); e T4- Controle (sem correção do pH e alcalinidade). Para correção de pH, alcalinidade e ambos, foi utilizado carbonato de sódio 0,06 g/L, bicarbonato de sódio 0,20 g/L e cal hidratada 0,15 g/L, respectivamente. Os resultados dos parâmetros físicos, químicos, biológicos apresentaram diferença significativa ( $p<0,05$ ) entre os tratamentos. Os animais do controle mostraram desempenho zootécnico inferior ( $p<0,05$ ) aos demais tratamentos. As aplicações de carbonato de sódio ( $Na_2CO_3$ ) e bicarbonato de sódio ( $NaHCO_3$ ) resultaram em condições favoráveis de qualidade de água para o crescimento dos bioflocos e dos camarões cultivados, no entanto os custos destes compostos os tornam pouco atrativos para aplicação em escala comercial. Já a cal hidratada apresentou a melhor relação custo-benefício. Por fim, este estudo torna claro que os níveis de alcalinidade e pH decrescem ao longo do cultivo e que os níveis de  $CO_2$  dissolvido se incrementam em sistemas super-intensivos, com bioflocos, sem renovação de água. Além disso, a qualidade da água de cultivo e o desempenho zootécnico dos camarões são afetados negativamente quando os níveis de alcalinidade permanecem por longos períodos abaixo de 100 mg  $CaCO_3/L$  e o pH abaixo de 7. Portanto, é necessária a correção da alcalinidade e do pH através da aplicação de materiais carbonáticos ou hidróxido de cálcio.

**Palavras chave:** *Litopenaeus vannamei*, pH, alcalinidade, bioflocos.



## Abstract

The white shrimp *Litopenaeus vannamei* is the most reared in super-intensive biofloc systems (BFT) and without water renewal. In BFT systems there is a natural tendency to decrease of carbonate material (carbonates and bicarbonates) along the rearing due to nitrification that consumes alkalinity. In addition, the pH may be decreased due to reduction of alkalinity and increase of dissolved carbon dioxide. This study was to evaluate the influence of pH and alkalinity in the rearing of *L. vannamei* without water renewal. The experiment was carried out using 600 juveniles (6 g) stocked in 12 tanks of 150L, for a final stocking density of 333 m<sup>-3</sup>. Shrimp were fed twice daily with commercial feed (Guabi ®) following feeding table for 60 days of experiment. There were four treatments with three replicates each: T1 – Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (pH correction above 7.5), T2 – Ca(OH)<sub>2</sub> (pH correction above 7.5 and alkalinity above 100 mg / L CaCO<sub>3</sub>), T3- NaHCO<sub>3</sub> (correction of the alkalinity above 100 mg / L CaCO<sub>3</sub>) and T4 - Control (without correction of pH and alkalinity). For pH correction, alkalinity and both, it was used sodium carbonate 0.06 g / L, sodium bicarbonate 0.20 g / L hydrated lime and 0.15 g / L, respectively. It were detected significant differences (p <0.05) of the physical, chemical, biological among treatments. In the Control shrimps showed lower growth performance (p <0.05) than shrimps of other treatments. The applications of sodium carbonate (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) and sodium bicarbonate (NaHCO<sub>3</sub>) improve water quality for development of bioflocs and performance shrimps. However, costs of these compounds make them unattractive for commercial scale application. Since hydrated lime (Ca(OH)<sub>2</sub>) showed the most cost-effective. Finally, this study clarify that the results obtained in the treatment control levels of alkalinity and pH decrease during the rearing, and that CO<sub>2</sub> levels would be increased in super-intensive systems, with bioflocs without water renewal. In addition, water quality and growth performance of shrimp are adversely affected when the levels of alkalinity remain for long periods under 100 mg CaCO<sub>3</sub>/L and pH below 7. Therefore, it is necessary to correct the alkalinity and pH through the application of carbonate materials or calcium hydroxide.

**Keywords:** *Litopenaeus vannamei*, pH, alkalinity, bioflocs.

## 1. Introdução

Conforme as estatísticas da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a captura mundial de pescados vem se mantendo estável (em torno de 90 milhões de toneladas/ano) nos últimos anos e não há indícios de que possa aumentar em curto ou médio prazo. Entretanto a aquicultura é a atividade do setor de produção animal com maior taxa de crescimento anual no mundo (8,3% ao ano) (FAO, 2010). A Carcinocultura possui grande importância comercial, representando um grupo de espécies cultivadas de alto valor de mercado (FAO, 2010), e no Brasil é a atividade mais expressiva da maricultura (IBAMA, 2007).

No Brasil a Carcinocultura marinha teve início na década de 70, mas somente em meados da década de 90 tomou caráter empresarial, quando os produtores investiram mais recursos no cultivo do camarão-branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). As características zootécnicas de rápido crescimento, eficiente conversão alimentar, rusticidade, alta taxa de sobrevivência e o pacote tecnológico previamente estabelecido foram imprescindíveis para a consolidação de *L. vannamei* como espécie predominante na Carcinocultura marinha nacional (Ostrensky, 2002). Desde 1998 a atividade passou a crescer cerca de 60% ao ano até 2003, quando a produção atingiu 90.196 t. A partir de 2004, com o advento da sobre taxa imposta pelos Estados Unidos contra o camarão brasileiro, o surgimento de doenças (IMNV e WSSV) e a forte desvalorização do dólar americano, a atividade perdeu competitividade nas exportações, tendo como resultado uma redução significativa na produção (IBAMA, 2007). O maior número de fazendas de camarões marinhos está concentrado na região Nordeste do Brasil, embora cultivos também ocorram nas regiões Sudeste e Sul (IBAMA 2007).

Com a expansão da atividade aquícola, surgiram alguns impactos aos ambientes costeiros como a destruição de ecossistemas adjacentes, a descarga de efluentes ricos em compostos nitrogenados e matéria orgânica dissolvida, a invasão de espécies exóticas, disseminação de patógenos e grande dependência de farinha de pescado como fonte de proteína (Naylor et al., 2000; Boyd, 2003). Com base nos possíveis impactos gerados pela atividade, órgãos ambientais fiscalizadores aumentaram a pressão sobre os carcinocultores para o desenvolvimento de cultivos ambientalmente mais amigáveis.

Assim, o conceito de uma nova aquicultura responsável, de mínimo impacto ambiental, salienta o importante papel da produtividade natural dos corpos aquáticos na qualidade de água, na alimentação, na redução dos custos de produção, na biossegurança e no bem estar animal.

Os cultivos de organismos aquáticos sem renovação de água utilizando altas densidades de estocagem, forte aeração e biota predominantemente aeróbia e heterotrófica, formadora de agregados ou flocos microbianos (bactérias, protozoários, metazoários, rotíferos e microalgas, além de fezes e restos de organismos mortos, entre outros), são conhecidos como ZEAH (Zero Exchange Aerobic Heterotrophic culture systems) ou mais recentemente chamados de tecnologia de bioflocos (BFT) (Avnimelech, 2007; Schryver et al., 2008). Estes sistemas são considerados ambientalmente amigáveis por utilizarem menos água que os cultivos tradicionais, por reduzir o risco de introdução e disseminação de patógenos, bem como por otimizar o uso da área cultivável e a possibilidade de ocupar áreas afastadas de zonas costeiras de proteção ambiental (McIntosh et al., 2000; Bratvold et al., 2000; Moss et al., 2001; Samocha et al., 2001 ; Weirich et al., 2002; Burford et al., 2003).

Além disso, nestes sistemas é possível elevar a produtividade dos cultivos para cerca de 70 toneladas de camarão/ha/ciclo, conforme resultados atingidos por Browdy et al. (2005) trabalhando em raceways estocados inicialmente com 400 camarões/m<sup>2</sup>. Parte desse alavanco em produtividade se deve ao fato de que a dieta é incrementada através da produtividade natural presente na água, tornando possível a utilização de rações com menores níveis protéicos e conseqüentemente reduzindo o montante de farinha de peixe empregada na formulação de rações para peixes e camarões (Samocha et al., 2004; Ballester et al., 2010). Burford et al. (2004) reportam que cerca de 30% do alimento ingerido pelo *L. vannamei* cultivado em sistema BFT pode ser proveniente dos bioflocos.

Segundo Samocha et al. (2007), a adição de fontes de carbono orgânico, como o melaço de cana de açúcar, pode ser empregada na prevenção ao aumento das concentrações de nitrogênio amoniacal total e de nitrito durante o cultivo de *L. vannamei* em sistemas BFT. O balanço de carbono e nitrogênio (C:N) na proporção de aproximadamente 20:1 favorece a assimilação destes compostos pelas bactérias que possuem capacidade de síntese protéica a partir de carbono orgânico e amônia

(Avnimelech, 1999; Chamberlain et al., 2001). Wasielesky et al. (2006a) concluíram que o material particulado suspenso em sistemas de cultivo de *L. vannamei* com tecnologia BFT pode melhorar significativamente a conversão alimentar, reduzindo custos de produção.

Como neste sistema não há renovação de água, a tendência natural é que ocorra a diminuição do material carbonático ao longo do cultivo. Conforme Ebeling et al. (2006) para cada grama de nitrogênio amoniacal convertida em biomassa microbiana heterotrófica, são consumidas 4,71g de oxigênio dissolvido, 3,57g de alcalinidade e 15,17g de carboidratos, e são produzidos 8,07g de biomassa microbiana e 9,65g de dióxido de carbono. Nos bioflocos estão presentes ainda bactérias nitrificantes que ao oxidar a amônia a nitrato reduzem os níveis de alcalinidade na forma de carbonatos e bicarbonatos (Chen et al., 2006). A alcalinidade da água se refere à concentração total de bases tituláveis da água capazes de neutralizar cátions de hidrogênio, sendo os íons bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) as principais bases responsáveis pela alcalinidade total da água, e é expressa em equivalentes de carbonato de cálcio ( $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ ). Já a alcalinidade total é a capacidade de tamponamento da mesma, ou seja, a capacidade da água manter o equilíbrio acidobásico, como segue na equação:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \leftrightarrow 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$  (Vinatea, 1997; Barbieri & Ostrenski, 2002).

Segundo Van Wyk & Scarpa (1999) o *L. vannamei* necessita valores de alcalinidade superiores a 100  $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$  para o seu bom desenvolvimento. Os mesmos autores afirmam que a alcalinidade elevada atenua a oscilação dos valores de pH resultantes dos processos respiratórios, e respectiva liberação de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) no meio. Boyd et al. (2002) verificaram em cultivos sem renovação de água que a alcalinidade total diminuiu para cerca de 15  $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$  ao longo do cultivo e que para suprir a perda de alcalinidade, calcário dolomítico foi periodicamente aplicado no tanque de cultivo, com o objetivo de manter a alcalinidade acima de 80  $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ . Já Vinatea et al. (2010) trabalhando com *L. vannamei* em sistema BFT com densidade de 610 camarões/ $\text{m}^2$  aplicaram bicarbonato de sódio puro a uma taxa de 0,12  $\text{g/L}$  com o intuito de elevar a alcalinidade quando a mesma reduzia abaixo dos 60  $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ . Vários outros estudos relatam o declínio dos níveis de alcalinidade ao longo do cultivo em sistemas BFT (McIntosh, 2001, Silva, 2009, Ray et al., 2010).

Em sistemas de cultivo, os camarões marinhos apresentam seu melhor desenvolvimento em águas com pH na faixa de 7,0 a 9,0 (Van Wyk & Scarpa, 1999). O pH é definido como o logaritmo negativo da concentração do íon  $H^+$  a partir do qual se expressa o grau de acidez (<7), neutralidade (7) ou alcalinidade (7-14) de um ambiente (Ville, 1967). O pH influencia em quase todas as reações ou fenômenos químicos que acontecem na água e até mesmo sobre as condições fisiológicas do camarão (Lemonnier et al., 2004). Em ambiente com pH inferior a 6,5 e com pH superior a 9,5 podem reduzir as taxas de crescimento dos peneídeos, além disso o pH na faixa de 7 a 9 favorece o desenvolvimento de bactérias nitrificantes responsáveis pelo processo de oxidação da amônia ( $NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$ ) (Van Wyk & Scarpa, 1999; Chen et al., 2006). Wickins (1984) ao estudar os efeitos da hipercapnia, ou seja, alto nível de  $CO_2$  na hemolinfa, verificou a retardação da muda e diminuição do crescimento de peneídeos cultivados em água com pH inferior a 7,3.

Já Boyd & Tucker (1998) reportaram alguns dos problemas que os organismos cultivados em águas com baixo pH desenvolvem, os quais são: aumento da produção de muco e danos nas estruturas branquiais, reduzindo a capacidade respiratória; problemas com a manutenção do balanço iônico interno; acidose do sangue e conseqüente diminuição da afinidade dos pigmentos respiratórios. Enquanto McIntosh (2001) relata que ao se aumentar a densidade de estocagem ocorreu um incremento na taxa respiratória reduzindo o pH da água de cultivo para um intervalo de 6,8-7,3, no entanto *L. vannamei* cultivado na Belize Aquaculture Ltda (BAL) não reagiram negativamente a esta faixa de pH. Por outro lado Wasielesky et al. (2006b), trabalhando com sistema BFT demonstraram que a redução do pH abaixo de 7 afeta o crescimento do *L. vannamei*.

Por tanto, com o intuito de aprimorar as técnicas de cultivo de camarões em sistemas super-intensivos sem renovação de água, é de grande relevância a realização de experimentos que avaliem os efeitos de diferentes produtos químicos alcalinizantes na qualidade da água de cultivo e no desempenho zootécnico do *Litopenaeus vannamei* em sistemas com tecnologia de bioflocos.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo geral**

Contribuir para a otimização da produção comercial do camarão-branco do Pacífico *L. vannamei*, cultivado em sistema super-intensivo em meio a flocos microbianos, sem renovação de água.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Verificar o efeito do hidróxido de cálcio, do carbonato e bicarbonato de sódio na qualidade de água de cultivo em sistema BFT;
- Determinar o efeito do hidróxido de cálcio, do carbonato e bicarbonato de sódio no desempenho zootécnico de juvenis de *L. vannamei* cultivados em sistemas BFT.

## **3. Material e Métodos**

### *3.1. Local e instalações*

O estudo foi conduzido no período de Fevereiro a Maio de 2009 na Estação Marinha de Aquicultura Prof. Marcos Alberto Marchiori (EMA), do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande, localizada na praia do Cassino, Rio Grande, RS.

### 3.2. Material biológico e delineamento experimental

O material biológico utilizado no presente estudo foi adquirido do laboratório Aquatec Ltda, localizado no município de Canguaretama – Rio Grande do Norte. Após a chegada dos náuplios de *L. vannamei* nas instalações da EMA, estes foram mantidos no setor de larvicultura de camarões marinhos e cultivados segundo metodologia adaptada de Marchiori (1996). Posteriormente, os mesmos foram estocados em um berçário (1500/m<sup>2</sup>) em sistema BFT e cultivados até o peso médio de 1 grama, quando foram despescados e estocados sob densidade de 300 camarões/m<sup>2</sup> até o peso médio de aproximadamente 6g. Apartir deste momento os camarões foram transferidos para as unidades experimentais cujo volume útil foi de 150 litros, sendo colocados 50 camarões em cada tanque (área de fundo de 0,36 m<sup>2</sup>), resultando numa densidade de 1 camarão/3 litros, correspondente a 333 camarões/m<sup>3</sup>.

O delineamento experimental foi de quatro tratamentos com três repetições cada (4x3): o primeiro tratamento (T1) foi denominado carbonato (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), no qual os níveis de pH foram mantidos acima de 7,5 através da aplicação de carbonato de sódio, enquanto a alcalinidade não foi corrigida diretamente ao longo do experimento; o segundo tratamento (T2) foi denominado hidróxido (Ca(OH)<sub>2</sub>) onde os níveis de pH foram mantidos acima de 7,5 e os de alcalinidade acima de 100 mg CaCO<sub>3</sub>/L através de aplicações do hidróxido de cálcio; o terceiro tratamento (T3) foi chamado de bicarbonato (NaHCO<sub>3</sub>), neste os níveis de alcalinidade foram mantidos superiores a 100 mg CaCO<sub>3</sub>/L através de aplicações de bicarbonato de sódio, enquanto o pH não foi corrigido diretamente no decorrer do experimento; o quarto tratamento (T4) foi o controle, no qual não foram corrigidos pH e a alcalinidade no decorrer dos 60 dias experimentais.

Durante a realização do experimento os animais foram alimentados com ração comercial com 38% de proteína bruta na formulação (Guabi/38 Active), com auxílio de bandejas, duas vezes ao dia (07:00 e 17:00 h), durante 60 dias. Inicialmente a taxa de alimentação foi estabelecida seguindo Jory et al. (2001), sendo este valor ajustado posteriormente de acordo com o consumo observado a cada intervalo de 24 horas. O percentual de lixiviação da matéria seca da ração foi verificado para posterior quantificação do consumo alimentar dos camarões. Assim, uma quantidade conhecida

de ração foi colocada nas bandejas de alimentação e depositada nos tanques, em duplicata, sob as mesmas condições experimentais utilizadas, porém sem a presença dos camarões. Após 24h, a ração foi recolhida das bandejas, seca em estufa à 105°C até peso constante e o percentual de lixiviação calculado pela diferença de peso antes e após a permanência nos tanques.

### *3.3. Correção da alcalinidade e pH*

Os materiais empregados para corrigir os valores de pH e/ ou de alcalinidade foram previamente testados no laboratório de química da EMA-FURG, quanto as suas propriedades químicas e sua eficiência em elevar os níveis de pH e alcalinidade da água marinha com flocos microbianos e sem camarões. Os testes foram realizados em recipientes plásticos com 2L de volume útil e uma pedra porosa por recipiente para prover aeração, com duas repetições. Verificações de pH e alcalinidade foram realizadas antes da aplicação dos compostos químicos (pH 7,0 e alcalinidade 100 mg CaCO<sub>3</sub>/L), uma hora e 24 horas após a aplicação. Os compostos químicos testados, bem como sua dosagem, finalidade e níveis de elevação do pH e da alcalinidade estão apresentados na tabela 1.

O carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) é um composto químico de peso molecular 106g, hidrossolúvel, amplamente utilizado na indústria química como emulsificante, o poder de neutralização (PN) é de 94%, a taxa de reatividade (RE) de 96% e o poder relativo de neutralização total (PRNT) de 95%.

O bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) é um composto de peso molecular 84g, hidrossolúvel, com poder neutralizante de 56%, reatividade de 97% e PRNT de 55%. É muito eficiente para elevar a alcalinidade da água, mantendo o pH estável (Loyless & Malone, 1997).

O hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) é um composto químico de peso molecular 74g, solúvel em água, com elevado poder neutralizante (132%), reatividade de 62% e PRNT de 81%. Serve eficazmente como alcalinizante, no entanto eleva o pH bruscamente de acordo com a dosagem aplicada (Whangchai et al., 2004).



**Tabela 1.** Dados sobre os compostos químicos empregados na correção do pH e alcalinidade da água do cultivo de *L. vannamei* nos tratamentos com correção de pH ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), alcalinidade ( $\text{NaHCO}_3$ ) e ambos ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

Correção	Composto químico	Concentração (g/L)	Elevação	
			pH	Alcalinidade (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )
pH	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,06	$0,7 \pm 0,1$	$20 \pm 10$
pH e Alcalinidade	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	0,15	$0,8 \pm 0,15$	$110 \pm 10$
Alcalinidade	$\text{NaHCO}_3$	0,20	$0,25 \pm 0,05$	$100 \pm 10$

Os dados são correspondentes a média de 2 repetições  $\pm$  desvio padrão.

Para efetuar a correção dos níveis de pH e alcalinidade, foram calculadas as quantidades de cada composto químico, de acordo com as equações abaixo:

$$(1) K = Nf - Ni$$

Onde, K = nível a ser elevado (pH ou mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ); Nf = nível desejado (pH ou mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ); Ni = nível atual (pH ou mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )

$$(2) Y = (W * K) / Z$$

Onde, Y = concentração do composto químico a ser aplicado (g/L); W = concentração usada no teste (g/L); Z = capacidade de W elevar o parâmetro (pH ou alcalinidade).

$$(3) Q = Y * V$$

Onde, Q = quantidade do composto a ser usado para efetuar a correção (g); Y = concentração do composto (g/L); V = volume útil do tanque (L).

Para avaliar os custos básicos com a correção da alcalinidade e do pH ao longo do estudo foram pesquisados na região os valores comerciais dos diferentes materiais empregados para a correção. Com os valores médios adquiridos foram calculados os custos para se determinar qual modelo de correção apresenta melhor relação custo/benefício.

### *3.4. Fertilização orgânica*

Os flocos microbianos foram inoculados a partir do sistema de cultivo de origem dos camarões a uma taxa de 30% do volume útil dos tanques experimentais, e ao longo do experimento não houve renovação de água, sendo necessária a fertilização orgânica para ajustar a relação C:N. Para adição de uma fonte de carbono foi utilizado como base os trabalhos de Ebeling et al. (2006) e Avnimelech (1999), onde se determina que são necessários 6g de carbono para converter 1g de nitrogênio amoniacal total (N-AT) em biomassa bacteriana, favorecendo uma relação nominal (em peso) de carbono/nitrogênio (C/N) de aproximadamente 15:1, sendo essa relação mensurada e balanceada de acordo com a composição proximal de cada ingrediente.

### *3.5. Parâmetros físicos e químicos da água*

O fotoperíodo adotado foi de 12h claras: 12h escuras com iluminação artificial de intensidade de 50 Lux (Zangh et al., 2006). A temperatura da água foi controlada com uso de aquecedores (Visi-therm, Marineland, Itália) distribuídos nos tanques. A aeração intensa foi provida por meio de mangueira e 5 pedras porosas alocadas em cada tanque, com o intuito de promover a oxigenação da água e a suspensão do material particulado na coluna d'água. A salinidade foi mantida em torno de 33‰ realizando-se, quando houve perda de água por evaporação, a mistura de água doce previamente aerada para a retirada do cloro, com a água marinha.

As determinações de temperatura, pH e oxigênio foram realizados diariamente pela manhã e pela tarde, com auxílio de pH-metro (modelo WTW pH-315i) e oxímetro (modelo WTW OXI-315i), respectivamente. A salinidade foi verificada a cada três dias com refratômetro óptico (Atago, modelo 103, Tóquio, Japão). As concentrações de amônia total (N-AT) ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) e nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ), foram mensuradas três vezes por semana, conforme metodologias preconizadas pela UNESCO (1983) e Bendschneider & Robinson (1952), respectivamente. O dióxido de carbono dissolvido ( $\text{CO}_2$ ) foi estimado através das constantes de Piedrahita et al. (1995) empregadas no software  $\text{CO}_2$

Analysis Salt®. A alcalinidade foi analisada três vezes por semana, seguindo a metodologia proposta por APHA (1998); o ortofosfato (P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) e o nitrato (N-NO<sub>3</sub>) foram mensurados a cada sete dias conforme Aminot & Chaussepied (1983). As amostras foram enviadas para análise no Laboratório de Química da EMA- FURG.

Os sólidos suspensos totais (mg/L) foram determinados a cada sete dias por gravimetria mediante filtragem de alíquotas de 20 mL de água em filtros de fibra de vidro GF 50-A (Strickland & Parsons, 1972). Os filtros foram colocados previamente para secar em estufa a 60°C até peso constante, retirados da estufa e pesados. Após a filtragem, recolocados na estufa por 24 horas e pesados em balança analítica de precisão (Sartorius MC1, analytic AC 210S) até atingir peso constante para determinação de peso final. O valor dos sólidos foi estimado pela diferença entre o peso inicial e final de cada filtro (AOAC, 2000). O volume total dos flocos (ml/L) foi obtido com uso de cones Imhoff, para tal amostras individuais de um litro de água, de cada unidade experimental, foram colocadas em cones plásticos por vinte minutos. Posteriormente foi observado o conteúdo de flocos (Avnimelech, 2007).

### *3.6. Parâmetros indicadores de desempenho zootécnico*

No início e a cada sete dias de experimento uma amostra aleatória de 10 camarões de cada tanque foi pesada em balança de precisão de 0,01g e posteriormente devolvida para o seu tanque de origem. Por fim, aos 60 dias, todos os camarões vivos em cada unidade experimental foram contados e pesados para avaliação do crescimento e sobrevivência nos diferentes tratamentos. Os seguintes parâmetros foram determinados: Sobrevivência:  $[(n^{\circ} \text{ inicial camarões} - n^{\circ} \text{ camarões mortos}) / n^{\circ} \text{ inicial de camarões}] \times 100$ ; Peso médio final (g) =  $\Sigma$  do peso final de todos camarões vivos / total da camarões; Ganho em peso (g) =  $\text{Peso médio Final (g)} - \text{Peso médio Inicial (g)}$ ; Ganho em peso semanal (g/s) =  $(\text{GP} / n^{\circ} \text{ semanas de cultivo})$ ; Biomassa final (g) =  $\Sigma$  do peso final de todos camarões vivos; Conversão alimentar aparente (CAA) =  $\text{Ração consumida} / \text{ganho em peso}$ ; Produtividade (kg/m<sup>3</sup>) =  $(\text{Biomassa final} - \text{Biomassa inicial}) \times 6,66$ .

### 3.7. Análises estatísticas

Para a análise estatística dos dados experimentais foi utilizado o software STATISTICA 7.0 ®. Depois de verificada a homocedasticidade e normalidade dos dados, foi realizada uma análise de variância de uma via (ANOVA), para verificar se existe diferença significativa entre os dados obtidos. Quando detectada diferença significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ), o teste de Tukey (Sokal & Rohlf, 1969) de comparação de médias foi utilizado. Os valores percentuais foram transformados (arco-seno da raiz quadrada) antes de analisados (Zar, 1996).

## 4. Resultados

### 4.1. Parâmetros físicos e químicos da água

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos da água monitorados ao longo do período experimental estão apresentados na Tabela 2. Os valores médios de nitrogênio amoniacal total (N-AT) e nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) foram significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) no tratamento controle quando comparado aos demais tratamentos. Para o volume de flocos microbianos (VF) foram detectados valores médios significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) para os tratamentos  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  e  $\text{Ca(OH)}_2$ , quando comparados ao tratamento controle. A concentração média de ortofosfato ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ) foi significativamente maior ( $p < 0,05$ ) no tratamento controle, seguido dos tratamentos  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  e  $\text{Ca(OH)}_2$ , este último teve os menores valores de ortofosfato ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ) no decorrer do estudo. As progressões das concentrações médias dos compostos nitrogenados, ortofosfato e do volume dos flocos registrados durante o experimento podem ser visualizadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

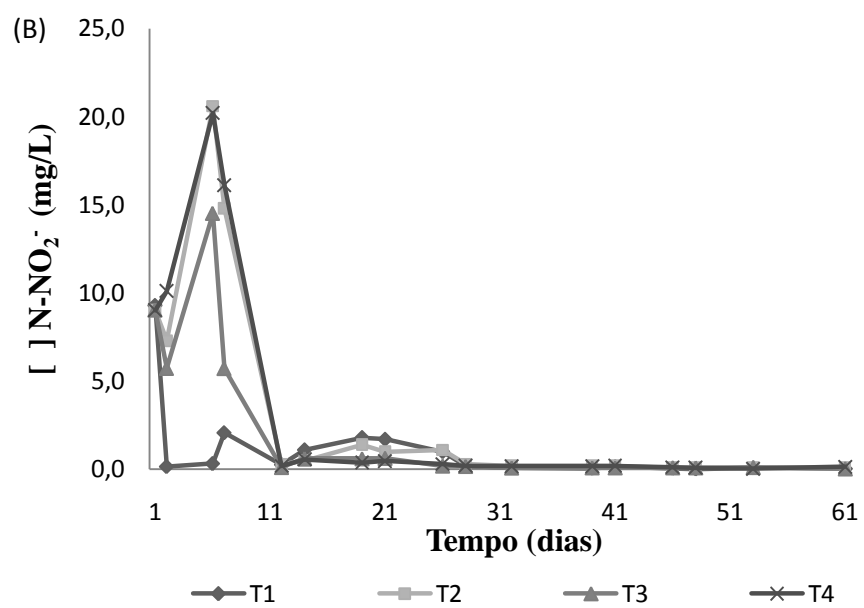
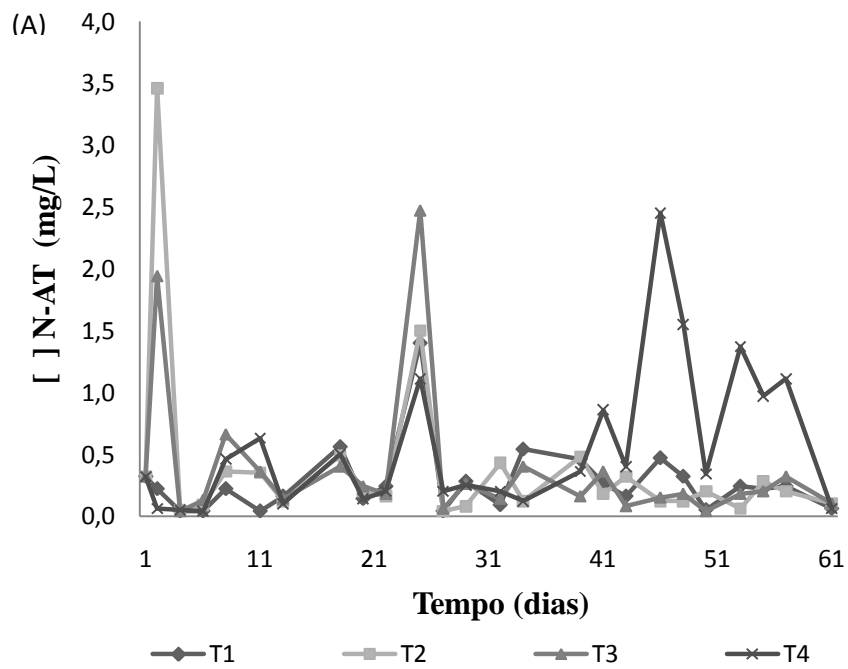
Os valores de alcalinidade, pH e  $\text{CO}_2$  estão apresentados na Tabela 2. Os valores médios de pH apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos, sendo a maior média encontrada no tratamento  $\text{Ca(OH)}_2$ , seguida das médias dos tratamentos  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  e controle. A alcalinidade mensurada ao longo do

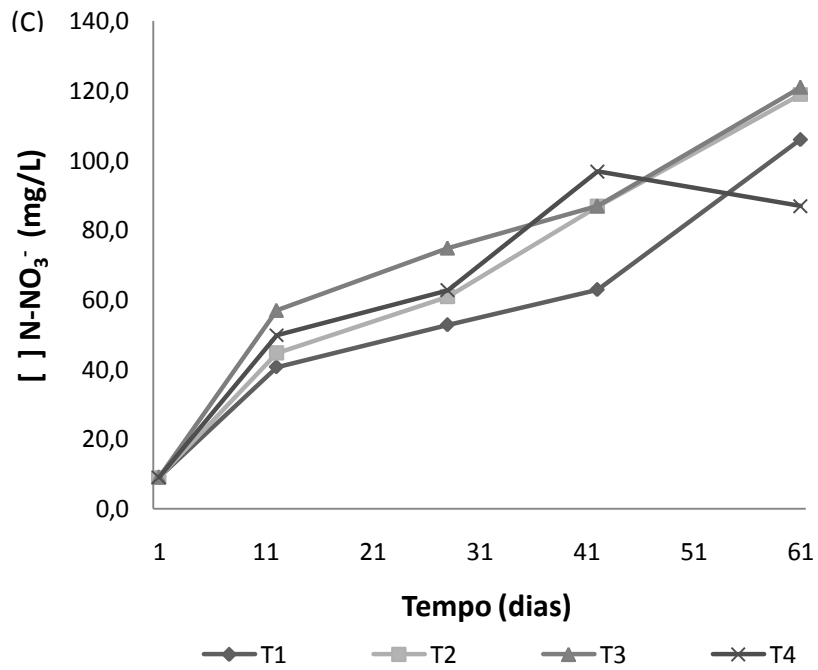
experimento demonstrou diferença significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ) sendo a maior média registrada no tratamento  $\text{Ca(OH)}_2$ , seguido dos tratamentos  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e controle. O tratamento controle apresentou as mais elevadas concentrações de  $\text{CO}_2$  dissolvido, seguido do tratamento  $\text{NaHCO}_3$ , marcando diferenças estatística significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ), sendo os tratamentos  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e  $\text{Ca(OH)}_2$  aqueles com menores níveis de  $\text{CO}_2$ . A progressão dos valores de alcalinidade, pH e  $\text{CO}_2$  podem ser visualizados na Figura 3.

**Tabela 2.** Valores mínimos, máximos e médios  $\pm$  desvio padrão dos parâmetros físicos e químicos de qualidade da água no cultivo de *L. vannamei* nos diferentes tratamentos experimentais<sup>1</sup>.

Parâmetro	T1-Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	T2-Ca(OH) <sub>2</sub>	T3-NaHCO <sub>3</sub>	T4-Controle
Temperatura (°C)	27,05 $\pm$ 2,3 (23,9-31,0)	27,25 $\pm$ 2,2 (23,9-30,9)	27,12 $\pm$ 2,1 (24,0-31,0)	27,0 $\pm$ 2,0 (23,7-30,6)
Salinidade (‰)	33,50 $\pm$ 1,5 (32-35)	33,50 $\pm$ 1,5 (32,0-35)	33,5 $\pm$ 1,0 (32,0-35)	33,0 $\pm$ 1,5 (32-35)
O <sub>2</sub> D. (mg/L)	5,0 $\pm$ 0,3 (4,3-6,3)	4,9 $\pm$ 0,4 (4,2-6,2)	5,1 $\pm$ 0,3 (4,1-6,3)	5,1 $\pm$ 0,3 (4,0-6,2)
CO <sub>2</sub> dissolvido (mg/L)	1,06 $\pm$ 0,4 <sup>A</sup> (0,4 -1,81)	1,37 $\pm$ 0,3 <sup>A</sup> (0,8-1,8)	5,38 $\pm$ 6,6 <sup>B</sup> (0,7-19,61)	12,81 $\pm$ 16,1 <sup>C</sup> (0,8-48,0)
pH	7,77 $\pm$ 0,5 <sup>AB</sup> (7,4-8,25)	7,90 $\pm$ 0,5 <sup>A</sup> (7,25-8,6)	7,5 $\pm$ 0,46 <sup>B</sup> (6,6-8,2)	6,86 $\pm$ 0,9 <sup>C</sup> (5,55-8,15)
VF (ml/L)	108,47 $\pm$ 87,6 <sup>B</sup> (3,0-300)	112,22 $\pm$ 112,5 <sup>B</sup> (3,0-400)	121,72 $\pm$ 95,9 <sup>B</sup> (3,0-330)	67,37 $\pm$ 56,1 <sup>A</sup> (3,0-180)
SST (mg/L)	850 $\pm$ 470 (160-1800)	890 $\pm$ 628 (170-2100)	860 $\pm$ 450 (160-1700)	870 $\pm$ 462 (160-1630)
N-AT (mg/L)	0,3 $\pm$ 0,4 <sup>A</sup> (0,06-2,6)	0,4 $\pm$ 0,7 <sup>A</sup> (0,04-3,7)	0,4 $\pm$ 0,5 <sup>A</sup> (0,07-2,5)	0,6 $\pm$ 0,7 <sup>B</sup> (0,02-2,5)
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	3,1 $\pm$ 5,5 (0,06-18,6)	3,5 $\pm$ 5,9 (0,08-20,6)	4,0 $\pm$ 6,5 (0,05-18,4)	4,3 $\pm$ 7,0 (0,04-20,4)
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	57,5 $\pm$ 33,9 <sup>B</sup> (9,0-111,0)	59,5 $\pm$ 33,9 <sup>B</sup> (9,0-119,0)	60,53 $\pm$ 35,5 <sup>B</sup> (9,0-130,9)	54,5 $\pm$ 34,5 <sup>A</sup> (9,0-96,8)
P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/L)	6,68 $\pm$ 3,4 <sup>B</sup> (1,2-13,6)	5,0 $\pm$ 2,3 <sup>A</sup> (1,3-11,3)	6,11 $\pm$ 2,8 <sup>AB</sup> (1,2-10,6)	8,2 $\pm$ 4,3 <sup>C</sup> (1,4-14,9)

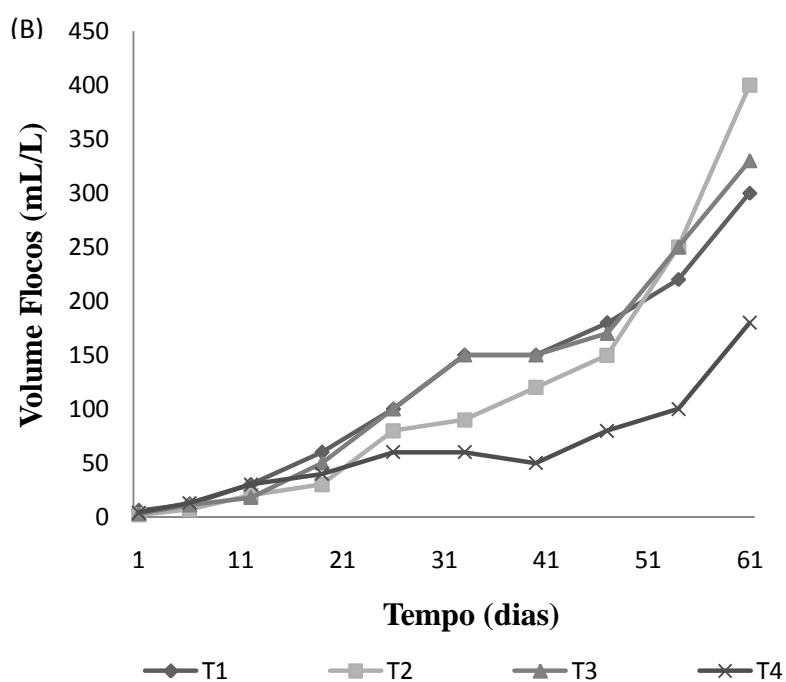
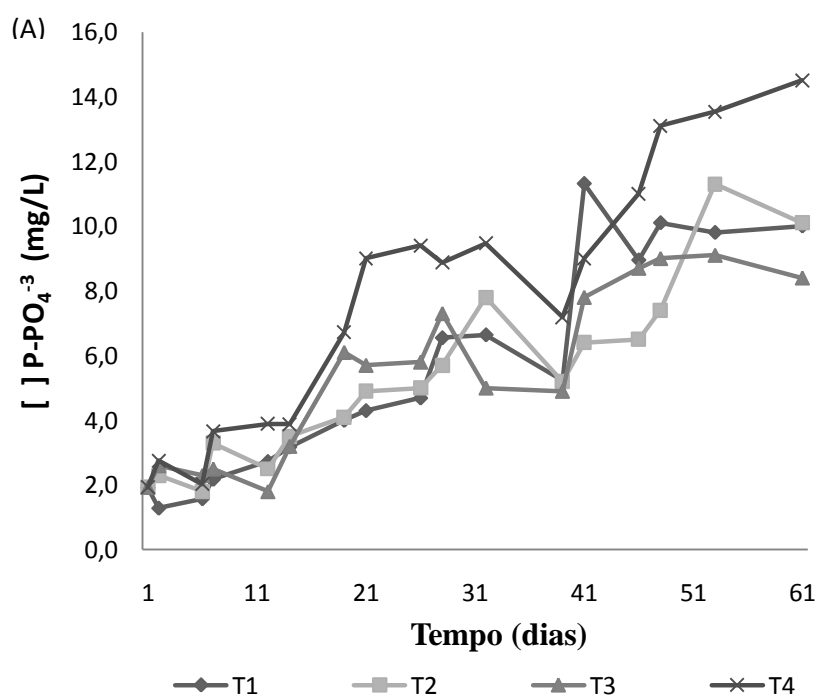
<sup>1</sup>Os dados são correspondentes a média de 3 repetições  $\pm$  desvio padrão e entre parênteses constam os valores mínimos e máximos. Letras diferentes na mesma linha indicam que as médias diferem significativamente ( $p < 0,05$ ). Oxigênio dissolvido (O<sub>2</sub> D.), Dióxido de carbono dissolvido (CO<sub>2</sub>), volume de flocos microbianos (VF), sólidos totais em suspensão (SST), nitrogênio amoniacal total (N-AT), nitrito (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Ortofosfato (P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>).



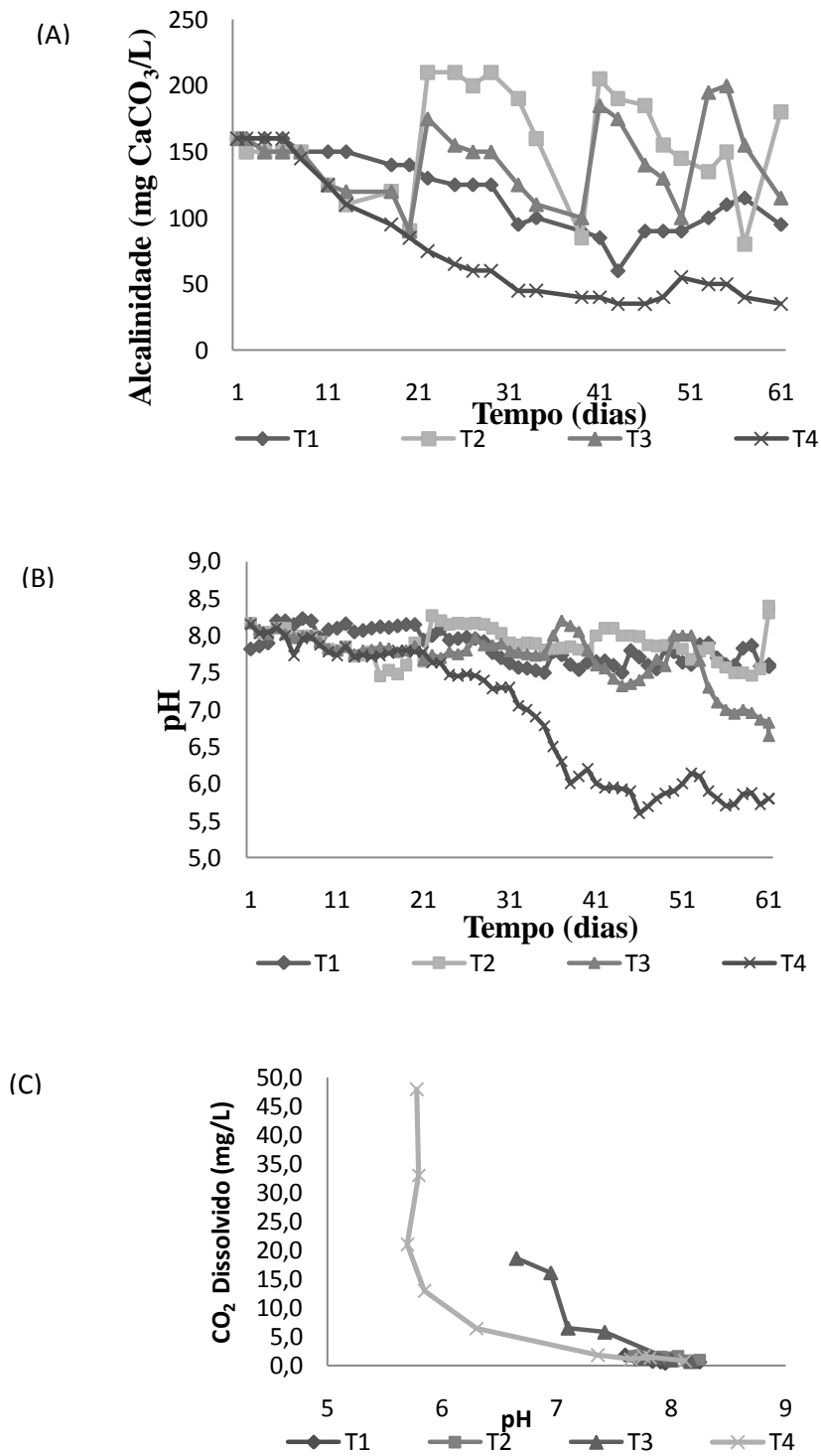


**Fig. 1.** Concentrações médias do N-AT (amônia) (A), N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (nitrito) (B) e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitrato) (C) na água de cultivo dos juvenis de *Litopenaeus vannamei* nas diferentes condições experimentais (T1-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, T2-Ca(OH)<sub>2</sub>, T3-NaHCO<sub>3</sub>, T4-Controle) durante 60 dias.





**Fig. 2.** Concentrações médias do ortofosfato  $P-PO_4^{3-}$  (A) e do volume de flocos microbianos (B) na água de cultivo dos juvenis de *Litopenaeus vannamei* nas diferentes condições experimentais (T1- $Na_2CO_3$ , T2- $Ca(OH)_2$ , T3- $NaHCO_3$ , T4-Controle) durante 60 dias.



**Fig. 3.** Concentrações médias da alcalinidade (A), do pH (B) e do CO<sub>2</sub> dissolvido (C) na água de cultivo dos juvenis de *Litopenaeus vannamei* nas diferentes condições experimentais (T1-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, T2-Ca(OH)<sub>2</sub>, T3-NaHCO<sub>3</sub>, T4-Controle) durante 60 dias.

#### 4.2. Correção da alcalinidade e pH

As correções dos níveis de alcalinidade e pH foram realizadas quando estes apresentaram valores de 100 mg CaCO<sub>3</sub>/L e ≤ 7,5, respectivamente. O tratamento Ca(OH)<sub>2</sub> teve os níveis de pH e alcalinidade corrigidos em média 3 vezes, sendo a 1<sup>a</sup> realizada no 20<sup>o</sup> dia de experimento, e as seguintes nos dias 39<sup>o</sup> e 56<sup>o</sup> (figura 3A). O tratamento NaHCO<sub>3</sub> teve a alcalinidade corrigida em média 3 vezes, sendo a 1<sup>a</sup> no 20<sup>o</sup> dia, a 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> nos dias 37<sup>o</sup> e 50<sup>o</sup>, respectivamente (Figura 3A). Para o tratamento Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> foram realizadas em média 5 correções de pH, sendo a 1<sup>a</sup> efetuada após o 27<sup>o</sup> dia de experimento e as seguintes num intervalo de aproximadamente 8 dias (figura 3B). O tratamento controle não sofreu qualquer tipo de correção de pH e alcalinidade durante os 60 dias de estudo, resultando na redução dos dois níveis (figura 3A e 3B).

Quanto ao custo total para a correção de pH e/ou alcalinidade ao longo do experimento nos diferentes tratamentos, verificou-se que a cal hidratada resultou no menor custo, seguido do carbonato de sódio e do bicarbonato de sódio, este último apresentou o valor mais elevado, cerca de 12 e 1,7 vezes maior do que o custo de aplicação da cal hidratada e carbonato de sódio, respectivamente. Os dados referentes às quantidades e os custos de aplicação dos produtos utilizados ao longo do experimento para a correção de pH (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), de pH e alcalinidade (Ca(OH)<sub>2</sub>), e da alcalinidade (NaHCO<sub>3</sub>) são apresentados na tabela 3.

**Tabela 3.** Dados referentes às quantidades e os custos de aplicação dos produtos utilizados ao longo do experimento (60 dias) para a correção de pH (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), de pH e alcalinidade (Ca(OH)<sub>2</sub>), e da alcalinidade (NaHCO<sub>3</sub>).

Produto	Valor (US\$/kg)	Nº Aplicações	Aplicação (g/150L)	Total aplicado (g/150L)	Custo Total (US\$/m <sup>3</sup> )
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	US\$ 2,30	5	9,77	48,8	US\$ 0,74
Ca(OH) <sub>2</sub>	US\$ 0,19	3	26,0	78,0	US\$ 0,10
NaHCO <sub>3</sub>	US\$ 2,04	3	30,4	91,2	US\$ 1,24

A cotação do dólar em relação ao real considerada foi do dia 05/11/2010 do Banco Central (US\$1: R\$1,69).

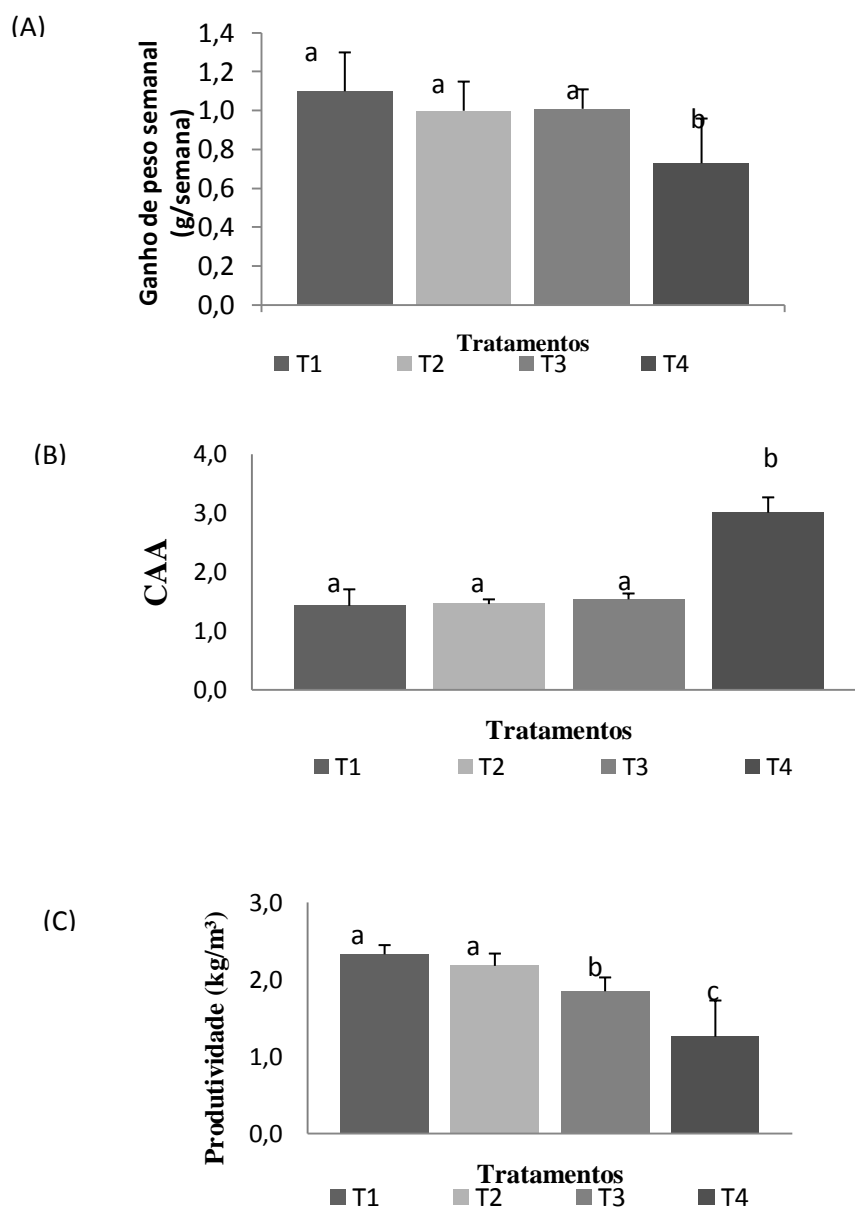
#### 4.3. Parâmetros indicadores de desempenho zootécnico

Os resultados de desempenho zootécnico dos juvenis de *L. vannamei* ao final dos 60 dias experimentais encontram-se na Tabela 4. Os valores médios de peso inicial e sobrevivência foram estatisticamente iguais entre os tratamentos, sendo a sobrevivência superior a 80 % ( $p>0,05$ ). O peso final e ganho em peso no tratamento  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  foram significativamente maior ( $p<0,05$ ) do que nos demais tratamentos, sendo o tratamento controle aquele que apresentou os menores valores ( $p<0,05$ ). A biomassa final foi significativamente maior ( $p<0,05$ ) nos tratamentos  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  quando comparados aos demais tratamentos. Já o ganho de peso semanal e a conversão alimentar aparente foram significativamente melhores para os tratamentos  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e  $\text{NaHCO}_3$ , enquanto o tratamento controle resultou nas menores taxas de crescimento ( $p<0,05$ ). A produtividade encontrada nesse experimento foi significativamente maior ( $p<0,05$ ) nos tratamentos  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , seguidos do tratamento  $\text{NaHCO}_3$  e por último o tratamento controle. O ganho de peso semanal (g/semana), conversão alimentar aparente (CAA) e a produtividade podem ser visualizadas na figura 4.

**Tabela 4.** Parâmetros de desempenho zootécnico dos juvenis de *L. vannamei* cultivados nos tratamentos com correção de pH (T1- $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), correção de pH e alcalinidade (T2- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), correção da alcalinidade (T3- $\text{NaHCO}_3$ ) e sem correção de pH e alcalinidade (T4-controle).

Parâmetros	T1- $\text{Na}_2\text{CO}_3$	T2- $\text{Ca}(\text{OH})_2$	T3- $\text{NaHCO}_3$	T4-Controle
Sobrevivência (%)	83,3 ± 3,0	85,0 ± 7,0	80,0 ± 2,7	80,0 ± 2,8
Peso inicial (g)	5,6 ± 0,9	5,8 ± 0,9	5,6 ± 0,7	5,8 ± 1,1
Peso final (g)	15,0 ± 1,3 <sup>A</sup>	14,3 ± 1,4 <sup>B</sup>	14,2 ± 1,6 <sup>B</sup>	12,0 ± 1,5 <sup>C</sup>
Ganho peso (g)	9,3 ± 1,2 <sup>A</sup>	8,4 ± 1,5 <sup>AB</sup>	8,5 ± 0,1 <sup>B</sup>	6,2 ± 0,2 <sup>C</sup>
Biomassa final (g)	630,0 ± 61,1 <sup>A</sup>	615,7 ± 9,3 <sup>A</sup>	570,8 ± 7,2 <sup>B</sup>	480,0 ± 17,8 <sup>C</sup>
Ganho Peso Semanal (g/semana)	1,1 ± 0,2 <sup>A</sup>	1,0 ± 0,1 <sup>A</sup>	1,0 ± 0,1 <sup>A</sup>	0,7 ± 0,1 <sup>B</sup>
Conversão Alimentar Aparente	1,4 ± 0,2 <sup>A</sup>	1,4 ± 0,1 <sup>A</sup>	1,5 ± 0,1 <sup>A</sup>	3,0 ± 0,3 <sup>B</sup>
Produtividade (kg/m <sup>3</sup> )	2,3 ± 0,1 <sup>A</sup>	2,2 ± 0,1 <sup>A</sup>	1,8 ± 0,1 <sup>B</sup>	1,3 ± 0,5 <sup>C</sup>

Os dados são correspondentes a média de 3 repetições ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam que as médias diferem significativamente ( $p<0,05$ ).



**Fig. 4.** Ganho de peso semanal (g/semana) (A), conversão alimentar aparente (CAA) (B) e produtividade (kg/m<sup>3</sup>) (C) dos juvenis de *Litopenaeus vannamei* cultivados nas diferentes condições experimentais (T1-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, T2-Ca(OH)<sub>2</sub>, T3-NaHCO<sub>3</sub>, T4-Controle). As barras de erro representam um desvio padrão em torno da média e as letras diferentes sobre as colunas indicam uma diferença significativa entre os tratamentos (p<0,05).

## 5. Discussão

A manutenção dos parâmetros de qualidade da água em níveis ótimos para a espécie é importante, já que os fatores físicos e químicos da água podem interferir diretamente no desempenho dos organismos aquáticos (Vinatea, 1997; Barbieri & Ostrenski, 2002). A temperatura é um dos fatores mais importantes que controlam o crescimento dos camarões marinhos. Wyban et al. (1995) relataram que juvenis de *L. vannamei* tiveram o crescimento reduzido em 23°C, comparado aos juvenis cultivados em 27 e 30°C. No presente estudo, a temperatura mínima foi superior a 23,6°C e a média foi de aproximadamente 27°C, ficando dentro da faixa indicada de temperatura para o melhor crescimento e sobrevivência dos juvenis desta espécie (Ponce-Palafox et al., 1997). Conforme Decamp (2003) a maior produtividade num cultivo de *L. vannamei* foi adquirida em salinidade 36‰, e Ponce-Palafox et al. (1997) obtiveram os melhores resultados de sobrevivência e crescimento de juvenis de *L. vannamei* em salinidades entre 33 e 40 ‰. Ao longo do experimento a média de salinidade obtida em cada um dos tratamentos foi de aproximadamente 33,5‰, se enquadrando na faixa considerada ideal. Quanto aos níveis mínimos de oxigênio dissolvido detectados nos diferentes tratamentos foram superiores a 4,0 mg/l. Segundo Van Wyk & Scarpa (1999) as concentrações ideais de oxigênio dissolvido são aquelas superiores a 5,0 mg/L, apesar das concentrações de oxigênio dissolvido terem sido um pouco inferior a faixa ideal, não acredita-se que tenha sido o suficiente para comprometer o crescimento dos camarões cultivados.

Os compostos nitrogenados de importância nos cultivos de organismos aquáticos são amônia total (N-AT), nitrito (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) e o nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). A amônia total proveniente da excreção e da decomposição da matéria orgânica quando em concentrações superiores a 3,95 mg/L, pode afetar negativamente o desempenho dos organismos cultivados em salinidade 35, podendo gerar mortalidades (Li & Chen, 2001). A conversão biológica da amônia em nitrito é desenvolvida por bactérias que oxidam a amônia, como as bactérias do gênero *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, e *Nitrosovibrio*. O nitrito é um composto cumulativo no meio de cultivo e o nível de segurança para o cultivo em salinidade 35 é de 25,7 mg/L, acima desta concentração pode reduzir o crescimento dos camarões, aumentar o consumo de oxigênio e gerar altas taxas de mortalidade no cultivo (Li & Chen, 2003). Quanto ao

nitrito, produto final da nitrificação da amônia, é o composto nitrogenado menos nocivo aos peixes, já que para apresentar algum efeito deletério precisa estar em concentrações superiores a 60 mg/L (Van Wyk & Scarpa, 1999).

Os principais fatores que influenciam na taxa de nitrificação e no metabolismo das bactérias heterotróficas são as concentrações de amônia e nitrito, a relação carbono/nitrogênio, o oxigênio dissolvido, o pH, a temperatura, salinidade e a alcalinidade (Ebeling et al., 2006). De acordo com Chen et al. (2006) para cada grama de N-AT oxidada para N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> são consumidos aproximadamente 4,18g de oxigênio e 7,07g de alcalinidade (reduzindo pH) e são produzidos 0,17g de biomassa bacteriana. Conforme Ebeling et al. (2006) para cada grama de nitrogênio amoniacal convertida em biomassa microbiana, são consumidas 4,71g de oxigênio dissolvido, 3,57g de alcalinidade e 15,17g de carboidratos, e são produzidos 8,07g de biomassa microbiana e 9,65g de dióxido de carbono. Ao compararmos o desempenho das bactérias nitrificantes e das heterotróficas verificamos que as nitrificantes consomem mais alcalinidade e produzem muito menos biomassa microbiana, enquanto as bactérias heterotróficas consomem cerca da metade da alcalinidade e produzem muito mais biomassa com aproximadamente o mesmo nível de oxigênio dissolvido consumido. No entanto, as bactérias heterotróficas liberam muito dióxido de carbono que em sistemas sem renovação de água acumulam, podendo causar danos aos organismos cultivados, bem como a redução dos níveis de pH (Ebeling et al., 2006).

No presente estudo, os valores médios de N-AT ficaram na faixa considerada adequada para o cultivo destes juvenis (Li & Chen, 2001), no entanto houve diferença significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ), uma vez que o tratamento T4-controle teve as maiores concentrações de N-AT ao longo do estudo. No decorrer do experimento pode ser observada uma grande flutuação nos valores de N-AT no T4-controle surgindo a necessidade de se realizar um maior número de fertilizações orgânicas. As fertilizações orgânicas foram realizadas utilizando como base os trabalhos de Ebeling et al. (2006) e Avnimelech (1999).

As concentrações de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> se mantiveram dentro dos níveis aceitáveis (25,7 mg/L em 35‰) para o cultivo dos juvenis de *L. vannamei* (Li & Chen, 2003), não havendo diferenças entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ). Os valores iniciais de nitrito (10 mg/L) foram elevados devido a concentração de nitrito do inoculo utilizado, bem como a sua cadeia microbiana já estruturada. Mesmo no T4-controle onde os níveis de pH estiveram abaixo da faixa adequada para o melhor desempenho de bactérias nitrificantes

(7 a 9) (Chen et al., 2006), não foi verificado desequilíbrio na oxidação do nitrito para o nitrato.

De acordo com Ganguly et al. (1999) aplicações de 0,1 a 0,2 g/L de hidróxido de cálcio são bactericidas, inicialmente, devido ao estresse da elevação do pH e grande mudança no sistema de equilíbrio  $\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-\text{-CO}_3^{2-}$ . Os mesmos autores encontraram uma relação inversa entre o pH e diferentes grupos de bactérias presentes no sistema, sugerindo que a elevação do pH tenha sido responsável pela inibição de alguns grupos de bactérias. No T2- $\text{Ca(OH)}_2$  foram aplicadas doses de até 0,16 g/L de hidróxido de cálcio ao longo do estudo, no entanto não foi verificada a inibição ou descontrole dos grupos de bactérias nitrificantes presentes no sistema, de modo que a nitrificação ocorreu de forma semelhante no T1- $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e T3- $\text{NaHCO}_3$ . No presente estudo não foram empregados substratos artificiais, no entanto segundo Moss & Moss (2004) e Ballester et al. (2007) a adição de substratos artificiais nos tanques de cultivo favorece a formação de biofilme natural, promovendo melhorias na capacidade de nitrificação do sistema e tornando possível a elevação da densidade de estocagem no cultivo.

Quanto ao  $\text{N-NO}_3^-$ , houve um acúmulo ao longo do experimento em todos os tratamentos, de modo que os valores médios se mantiveram inferiores aos 60 mg/L, no entanto todos os tratamentos apresentaram valores máximos superiores a 60 mg/L. Vinatea et al. (2010) registraram concentrações máximas de 113,2 mg  $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$  e não verificaram efeito negativo sobre o desempenho de crescimento dos camarões cultivados. Kuhn et al. (2010) ao avaliarem o efeito crônico do nitrato, reportaram que o mesmo tem impacto negativo sobre a sobrevivência e crescimento do *L. vannamei*, quando em concentrações maiores que 220 mg/L em baixas salinidades (11‰). No T4-controle houve um decréscimo dos níveis de nitrato nos últimos 20 dias de experimento, podendo ser resultado de um processo de desnitrificação, no qual bactérias anaeróbicas convertem o nitrato a gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) (Van Wyk & Scarpa, 1999).

A concentração de ortofosfato aumentou no decorrer do estudo em todos os tratamentos, sendo o T4-controle com maior concentração de fosfato. As concentrações de fosfato do presente estudo foram inferiores as 40 mg/L obtidas por Ray et al. (2010), no entanto superiores quando comparadas a outros trabalhos realizados em meio heterotrófico (McIntoshi et al., 2000, Casillas-Hernández et al., 2007). Estima-se que apenas 23% do fósforo disponível na ração sejam incorporados em biomassa de camarões *L. vannamei* (Velasco et al., 1998). Assim, a decomposição do alimento não ingerido e das excretas dos animais contribui para o incremento das concentrações de



fósforo do meio, favorecendo a eutrofização do ambiente de cultivo (Peñaflorida, 1999). O acúmulo de fósforo no sistema não afeta o desenvolvimento dos camarões diretamente, porém pode gerar condições favoráveis para a proliferação de cianobactérias filamentosas, as quais podem obstruir as brânquias dos camarões e ainda produzir toxinas prejudiciais aos peneídeos (Tucker, 2000, Alonso-Rodriguez & Paez-Osuna, 2003). Silva (2009) ao avaliar a dinâmica do nitrogênio e do fósforo no cultivo de *L. vannamei* e *Farfantepenaeus paulensis* em sistema BFT, afirma que em função do acúmulo de fósforo dissolvido e da incapacidade dos agregados de reter maior quantidade deste elemento, é necessário a utilização de estratégias para a remoção do excesso do fósforo do sistema.

A concentração de sólidos suspensos totais (SST) foi crescente ao longo do período experimental em todos os tratamentos, os valores médios obtidos nos diferentes tratamentos foram semelhantes aos 989 mg/L registrados por Decamp et al. (2003) e superiores aos 643 mg/L reportados por Avnimelech (2007). Tal qual o SST foi à progressão do volume dos bioflocos que ultrapassaram a média de 100 mL/L, com exceção do T4-controle que teve um valor médio de 67 mL/L diferindo estatisticamente dos demais tratamentos ( $p < 0,05$ ). O pH abaixo de 7 e a alcalinidade abaixo de 100 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  provavelmente contribuíram para o menor desenvolvimento dos flocos microbianos encontrados no T4-controle. Estes valores são bastante elevados uma vez que Samocha et al. (2007) recomendam níveis de até 500 mg/L e 10 mL/L de SST e volume de flocos microbianos, respectivamente.

Conforme Vinatea et al. (2010) há uma relação inversa entre a quantidade de matéria particulada em suspensão e a fotossíntese, de modo que turbidez elevada reduz a penetração da luz e conseqüentemente a fotossíntese. O material particulado em suspensão serve de substrato para fixação de bactérias e outros microorganismos, configurando uma relação direta entre a respiração da coluna d'água e a turbidez (Vinatea et al., 2010). Esta evolução dos flocos microbianos pode ter sido influenciada pela baixa intensidade luminosa da sala experimental (50 lux), já que ao contrário das microalgas, populações microbianas são mais estáveis e pouco dependentes das condições luminosas (Avnimelech, 2006). No presente estudo é possível que as altas concentrações de sólidos suspensos e o volume excessivo de bioflocos tenham influenciado negativamente no desempenho zootécnico dos organismos cultivados, através da obstrução das brânquias o que eleva o nível de estresse dos organismos cultivados.

Quando o volume de bioflocos e sólidos totais em suspensão ultrapassarem os valores recomendados por Samocha et al. (2007), como os dados obtidos neste estudo são, devem-se tomar medidas mitigatórias para reduzir o volume dos flocos, pois esse volume elevado de bioflocos podem aumentar a concentração de  $\text{CO}_2$  dissolvido na água de cultivo, acarretando na redução dos níveis de pH da água e da hemolinfa dos camarões. Ray et al. (2010) verificaram que os tanques onde foi feita a remoção dos sólidos suspensos houve uma redução de 59% de SST, 60% de nitrato, 61% de fosfato e 33% de incremento na alcalinidade. Por tanto, para redução dos SST, nitrato e fosfato podem ser instalados sistemas de remoção de sólidos com filtros de areia, hidrociclones, fracionadores e clarificadores.

O dióxido de carbono dissolvido ( $\text{CO}_2$ ) tem sido pouco estudado em sistema de bioflocos, no entanto em sistemas de recirculação para cultivo de peixes ele já tem sido investigado por vários pesquisadores (Summerfelt et al. 2000, Moran et al. 2010). O  $\text{CO}_2$  se torna tóxico aos organismos aquáticos por reduzir a capacidade da hemolinfa em transportar o oxigênio, acidificando a hemolinfa e gerando um estresse metabólico. Segundo Good et al. (2010) ao avaliarem o efeito crônico do dióxido de carbono em sistemas comerciais de cultivo de trutas, concluíram que concentrações médias de 24 mg/L  $\text{CO}_2$  não afeta o crescimento destes animais. Para Van Wyk & Scarpa (1999) níveis inferiores a 5 mg/L são ideais, já 20 mg/L  $\text{CO}_2$  na água são considerados aceitáveis para peneídeos, enquanto concentrações entre 20 e 60 mg/L  $\text{CO}_2$  não são letais mas causam interferências na troca de  $\text{CO}_2$  nas brânquias e em concentrações superiores a 60 mg/L podem ser fatais. O acúmulo de  $\text{CO}_2$  em sistemas BFT é maximizado pelo incremento de biomassa viva (camarões + bioflocos) respirando no tanque de cultivo e principalmente pela não renovação da água. Com o incremento da temperatura e da salinidade os níveis de  $\text{CO}_2$  tendem a ser reduzidos, no entanto com o incremento da alcalinidade e redução dos níveis de pH as concentrações se elevam.

No presente estudo verificou-se maior acúmulo de  $\text{CO}_2$  dissolvido (48 mg/L) no T4-controle onde os níveis de alcalinidade foram baixos (<75) e o pH se tornou mais ácido (<6,4), as concentrações máximas obtidas neste tratamento podem ter afetado o desenvolvimento dos camarões, uma vez que os níveis de  $\text{CO}_2$  se mantiveram numa faixa considerada prejudicial para a espécie (Van Wyk & Scarpa, 1999). No T3- $\text{NaHCO}_3$  onde as condições de pH foram próximas a neutralidade porém com elevada alcalinidade, os níveis de dióxido de carbono dissolvido se elevaram ficando no intervalo considerado aceitável para a espécie (Van Wyk & Scarpa, 1999). Enquanto

T1-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e T2-Ca(OH)<sub>2</sub> apresentaram os menores valores de CO<sub>2</sub> e provavelmente não tiveram os parâmetros zootécnicos afetados negativamente. Para reduzir os níveis de dióxido de carbono dissolvido existem modelos de colunas de desgaseificação testados em sistemas de recirculação para peixes (Moran et al. 2010), renovações de água e o método de deslocamento químico do sistema de equilíbrio ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \leftrightarrow 2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ ) onde são aplicados compostos químicos (bases) na água de cultivo que vão deslocar o dióxido de carbono para bicarbonatos e bicarbonatos para carbonatos. O processo de remoção de sólidos totais em suspensão, chamado de clarificação pode auxiliar na redução dos níveis de CO<sub>2</sub>, pois reduz o volume de bioflocos e conseqüentemente a taxa de respiração da coluna d'água, melhorando ainda os níveis de oxigênio dissolvido na água de cultivo.

Segundo Van Wyk & Scarpa (1999) o *L. vannamei* necessita valores de alcalinidade superiores a 100 mg CaCO<sub>3</sub>/L para o seu bom desenvolvimento. Para Boyd & Tucker (1998) a alcalinidade ideal é superior a 75 mg CaCO<sub>3</sub>/L, enquanto para Ebeling et al. (2006), em sistemas com limitada troca de água, a alcalinidade deve estar entre 100-150 mg CaCO<sub>3</sub>/L, podendo ocorrer queda de pH e o desempenho dos organismos pode ser prejudicado. No presente trabalho os níveis de alcalinidade mensurados em todos os tratamentos apresentaram declínio nos níveis de alcalinidade, no T4-controle a alcalinidade declinou de 160 para 35 mg CaCO<sub>3</sub>/L em 60 dias, e no T1-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> onde também não foi realizada a correção direta da alcalinidade observou-se a concentração mínima de 55 mg CaCO<sub>3</sub>/L. Neste tratamento os níveis de alcalinidade foram superiores aos do tratamento controle já que o material carbonático aplicado para elevar o pH também elevou, em aproximadamente 20 mg CaCO<sub>3</sub>/L, a alcalinidade. Estes dados corroboram os de McIntosh (2001), o qual cita que os níveis de alcalinidade podem diminuir para menos de 20 mg CaCO<sub>3</sub>/L, se não houver uma suplementação de materiais carbonáticos nos tanques de cultivo. Em outro trabalho, Suita (2009) constatou a queda dos níveis de alcalinidade a partir da 3ª semana de estudo, chegando a níveis inferiores a 100 mg CaCO<sub>3</sub>/L. Surtindo efeito nos índices de pH, os quais caíram no mesmo período, porém permaneceram dentro da faixa ideal para o cultivo desta espécie (Van Wyk & Scarpa, 1999).

Para Wangchai et al. (2004) o carbonato de cálcio aplicado não foi efetivo para suplementação da alcalinidade, já o bicarbonato de sódio de alta pureza e o hidróxido de cálcio apresentaram eficácia no controle da alcalinidade da água de viveiros de camarão

tratadas com ozônio. Os dados obtidos através da correção da alcalinidade com uso de hidróxido de cálcio e de bicarbonato de sódio mostram a efetividade destes materiais para a suplementação da alcalinidade em cultivos BFT, enquanto o carbonato de sódio não se mostrou eficiente para suplementar a perda de alcalinidade.

Em sistemas de cultivo, os camarões marinhos apresentam seu melhor desenvolvimento em pH na faixa de 7,0 a 9,0 (Van Wyk & Scarpa, 1999). Decamp et al. (2007) observaram que o aumento da densidade de estocagem (50, 75 e 100 camarões/m<sup>2</sup>) refletiu na queda do pH ao longo do cultivo (8,11; 7,97 e 7,79 respectivamente) de *L. vannamei* devido a maior entrada de alimento associada ao rápido acúmulo de sólidos em suspensão e metabólitos dentro do sistema. A queda dos níveis de alcalinidade no T4-controle afetaram negativamente os níveis de pH os quais permaneceram os últimos 28 dias experimentais abaixo dos níveis considerados ideais para o cultivo (Van Wyk & Scarpa, 1999), este fato influenciou negativamente no desempenho dos animais cultivados. Enquanto no T1-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> os níveis de alcalinidade declinaram abaixo dos níveis adequados para a espécie (Ebeling et al., 2006), mas não afetaram negativamente os níveis de pH, pois estes foram corrigidos com carbonato de sódio, ficando dentro da faixa ideal para a espécie (Van Wyk & Scarpa, 1999). Desta forma verificou-se a eficiência do carbonato de sódio em elevar os níveis de pH e auxiliar na suplementação da alcalinidade.

O T3-NaHCO<sub>3</sub> e T2-Ca(OH)<sub>2</sub> não apresentaram níveis de alcalinidade abaixo dos considerados adequados para o bom desenvolvimento da espécie (Van Wyk & Scarpa, 1999). Enquanto os níveis de pH mensurados no T3-NaHCO<sub>3</sub> apresentaram valores abaixo de 7 nos últimos 8 dias experimentais e os níveis de pH do T2-Ca(OH)<sub>2</sub> sempre estiveram dentro da faixa ideal para o melhor crescimento dos juvenis de *L. vannamei*. O comportamento natural do pH em meio heterotrófico é declinar ao longo do cultivo, como foi claramente demonstrado no T4-controle. Vinatea et al. (2010) observaram a redução dos níveis de pH, conforme o incremento da respiração da coluna d'água em sistemas BFT. Essa afirmação corrobora os dados obtidos neste estudo e nos estudos de Wasielesky et al. (2006b).

Vários trabalhos desenvolvidos com juvenis do camarão-branco do Pacífico em sistemas BFT obtiveram elevados percentuais de sobrevivência (Wasielesky et al., 2006a; Kuhn et al., 2008). As sobrevivências obtidas foram em média superiores a 80%, não havendo diferença significativa entre os tratamentos. Resultados semelhantes a este

foram obtidos por Krummenauer (2008), no entanto Ray et al. (2010) trabalhando com juvenis de *L. vannamei* com peso inicial médio de 1,31g, estocados em uma densidade inicial de 460 camarões/m<sup>3</sup> obtiveram valores de sobrevivência médio de 71± 8%.

Quanto ao peso final e ganho em peso Wasielesky et al. (2006a) verificaram que o peso final e ganho em peso dos animais cultivados em meio aos flocos microbianos aumenta devido aos benefícios nutricionais gerados pela acentuada produtividade natural presente nestes sistemas BFT. No presente trabalho foram obtidos peso médio final e ganho em peso de 15 g e 9,38 g, respectivamente, no T1-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, sendo estes os melhores resultados dentre os demais tratamentos. Nos tratamentos T2-Ca(OH)<sub>2</sub> e T3-NaHCO<sub>3</sub> os resultados obtidos não apresentaram diferença significativa entre si, no entanto foram melhores do que o T4-controle. Neste último foram obtidos os resultados de desempenho de crescimento menos satisfatórios em nível de laboratório e comercial.

Em termos de ganho de peso semanal houve diferença significativa (p<0,05), em T1-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, T2-Ca(OH)<sub>2</sub> e T3-NaHCO<sub>3</sub> foram 1.1, 1.0 e 1.01 gramas, respectivamente, quando comparados ao T4-controle (0.73 g/semana). Estes valores são superiores as 0.65, 0.62 e 0,89g/semana encontradas por Krummenauer (2008) trabalhando com 300 camarões/m<sup>2</sup> no extremo sul do Brasil, Silva (2009) e Ray et al. (2010) trabalhando com sistemas de remoção de sólidos totais em suspensão e densidades de 460 camarões/m<sup>3</sup>, respectivamente, porém são inferiores aos resultados de Wasielesky et al. (2006a) (300/m<sup>2</sup>), que obtiveram um ganho de peso semanal de 1,25 g com juvenis de *L. vannamei* cultivados em sistema BFT. A conversão alimentar aparente encontrada nos tratamentos onde houve aplicação de compostos alcalinizantes foi semelhante às obtidas por Krummenauer (2008), Silva (2009) e Otoshi et al. (2007) que verificaram taxas de conversão alimentar de 1.27, 1.66 e 1.49, respectivamente. No entanto a conversão alimentar aparente obtida no T4-controle, foi cerca de duas vezes maior do que as obtidas pelos autores citados anteriormente. Sendo este valor de conversão alimentar aparente inadequado para o cultivo comercial de *L. vannamei* em sistemas BFT.

Quanto a biomassa final (g) e produtividade (kg/m<sup>3</sup>) foram verificados os resultados mais satisfatórios no T1-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e T2-Ca(OH)<sub>2</sub>, seguidos do T3-NaHCO<sub>3</sub> e por último T4-controle. Os valores de produtividade no presente estudo foram inferiores aos obtidos por Krummenauer (2008) e Silva (2009), ambos os autores trabalharam com densidades de 300 camarões/m<sup>2</sup>. Na literatura resultados de produtividade muito bons

são encontrados como 7,5 kg/m<sup>3</sup> e 10,3 kg/m<sup>2</sup> (Otoshi et al., 2007, 2008), porém para se obter tais níveis de produtividade são necessários o emprego de mais recursos tecnológicos, como injeção de oxigênio líquido como fonte suplementar, uso de probióticos, utilização de substratos artificiais, filtros externos para remoção e controle dos sólidos em suspensão, rações balanceadas especialmente para sistemas BFT, camarões selecionados geneticamente com maior potencial de crescimento “Speed line” e livres de patógenos “SPF”.

No T1-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e T2-Ca(OH)<sub>2</sub> foram verificados os melhores resultados de desempenho zootécnico, seguidos do T3- NaHCO<sub>3</sub> e por fim, o T4-controle se destacou com menor desempenho em todos os parâmetros zootécnicos analisados, marcando a importância da correção dos níveis de alcalinidade e pH, utilizando-se carbonato de sódio, bicarbonato de sódio e hidróxido de cálcio.

## 6. Conclusão

As aplicações de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) desenvolveram condições favoráveis de qualidade de água para o crescimento dos bioflocos e dos camarões cultivados, no entanto o custo destes compostos tornam seu uso em larga escala pouco atrativo para os produtores. Enquanto o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) resultou na melhor relação custo-benefício, já que proporcionou condições físicas e químicas da qualidade da água favoráveis para o desenvolvimento dos bioflocos e crescimento dos juvenis de *Litopenaeus vannamei*, apresentando menor custo de correção da alcalinidade e pH.

Por fim, este estudo torna claro pelos resultados obtidos no tratamento controle que os níveis de alcalinidade e pH decrescem ao longo do cultivo e que os níveis de  $\text{CO}_2$  se incrementam em sistemas super-intensivos, com bioflocos, sem renovação de água e aplicação de produtos alcalinizantes. Além disso, a qualidade da água de cultivo e o desempenho zootécnico dos camarões são afetados negativamente quando os níveis de alcalinidade permanecem por longos períodos abaixo de  $100 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$  e o pH abaixo de 7. Portanto, é necessário suplementar os níveis de alcalinidade e pH através da aplicação de produtos alcalinizantes em sistemas de cultivo com tecnologia de bioflocos (BFT).

Adicionalmente, recomenda-se a realização de novos estudos para investigar os efeitos de diferentes concentrações de  $\text{CO}_2$  dissolvido no cultivo de *L. vannamei* em sistemas BFT e definir a melhor dosagem de hidróxido de cálcio a ser aplicada para a manutenção dos níveis de alcalinidade e pH da água de cultivo.

## 7. Referências

- Alonso-Rodriguez, Paez- Osuna, 2003. Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: a review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture* 219, 317-336.
- Aminot A., Chaussepied, M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Brest, CNEXO, 395p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2000. Official Methods of Analysis of AOAC, 16th edition. Patricia Cunniff (editora), Washington, DC.
- APHA (American Public Health Association), 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th edition. Washington, DC. 1193p.
- Avnimelech, Y., 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176, 227-235.
- Avnimelech, Y., 2006. Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquacult. Eng.* 34, 172–178.
- Avnimelech, Y., 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture* 264, 140–147.
- Ballester, E.L.C., Wasielesky, W., Cavalli, R.O., Abreu, P.C., 2007. Nursery of the pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* in cages with artificial substrates: Biofilm composition and shrimp performance. *Aquaculture* 269, 355-362.
- Ballester, E.L.C., Abreu, P.C., Cavalli, R., Emerenciano, M.M., Abreu, L.L., & Wasielesky Jr, W., 2010. Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. *Aquaculture Nutrition* 16(2), 163-172.
- Barbieri, R.C.J., Ostrensky, A., 2002. Camarões Marinhos - Engorda. Viçosa. 370p.
- Bendschneider, K., Robinson, R.J., 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.* 11, 87-96.



- Boyd, C., Tucker, C., 1998. Pond Aquaculture: Water Quality Management. Boston: Kluwer Academic Publishers. 700p.
- Boyd, C.E., Clay, J.W., 2002. "Evaluation of Belize Aquaculture, Ltd: A Superintensive Shrimp Aquaculture System". Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Work in Progress for Public Discussion. Published by the Consortium. 17 p.
- Boyd, C.E., 2003. Guidelines for aquaculture effluents management at the farm-level. *Aquaculture* 226, 101-112.
- Boyd, C.E., 2007. Nitrification important process in aquaculture. *Global Aquacult. Advoc.* May/June, 64-66.
- Bratvold, D., Browdy, C.L., 2000. Effects of sand sediment and vertical surfaces (AquaMats<sup>TM</sup>) on production, water quality, and microbial ecology in an intensive *Litopenaeus vannamei* culture system. *Aquaculture* 195, 81-94.
- Browdy, C.L., Moss, S.M., 2005. Shrimp culture in urban, superintensive closed systems. In: Costa Pierce, BA (Ed.), *Urban Aquaculture*. Blackwell Science, Oxford UK, 173-186.
- Burford, M.A., Thompson, P.J., Bauman, R.H., Pearson, D.C., 2003. Nutrient and microbial dynamics in high-intensive, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture* 219, 393-411.
- Burford, M.A., Thompson, P.J., Bauman, R.H., Pearson, D.C., 2004. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensive, zero-exchange system. *Aquaculture* 232, 525-537.
- Casillas-hernandez, R., Nolasco-soria, H., Garcia-Galano, T., Carrillo-Farnes, O., Paez-Osuna, F., 2007. Water quality, chemical fluxes and production in semi-intensive Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture ponds utilizing two different feeding strategies. *Aquacult. Eng.* 36, 105-114.

- Chamberlain, G., Avnimelech, Y., McIntosh, R.P., Velasco, M., 2001. Advantages of aerated microbial reuse systems with balanced C:N composition and nutritional value of organic detritus. *Global Aquacult. Advoc.* June, 22-24.
- Chen, S., Ling, J., Blancheton, J.P., 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacult. Eng.* 34, 179–197.
- 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.
- Decamp, O.E., Cody, J., Conquest, L., Delanoy, G., Tacon, A.G.J., 2003. Effect of salinity on natural community and production of *Litopenaeus vannamei* (Boone) within experimental zero-water Exchange culture systems. *Aquacult. Res.* 34, 345-355.
- Decamp, O.E., Conquest, L., Cody, J., Forster, I., 2007. Effect of shrimp stocking density on size-fractionated phytoplankton and ecological groups of ciliated protozoa within zero-water exchange shrimp culture systems. *J. World Aquacult. Soc.* 38, 395-406.
- 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.
- FAO, 2010. The state of World Fisheries and Aquaculture. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em 20/02/2011.
- Ganguly, S., Chatterjee, J., Jana, B.B., 1999. Biogeochemical cycling bacterial activity in response to lime and fertilizer applications in pond systems. *Aquacult. Int.* 7, 413–432.
- Good, C., Davidson, J., Welsh, C., Snekvik, K., Summerfelt, S., 2010. The effects of carbon dioxide on performance and histopathology of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in water recirculation aquaculture systems. *Aquacult. Eng.* 42, 51–56.

- IBAMA, 2007. Estatística da Pesca e aquicultura: grandes regiões e unidades da federação. Brasília. 147p.
- Jory, D.E., Cabrerias, R.T., Durwood, M.D., Fegan, D., Lee, G.P., Lawrence, A.L., Jackson, J.C., McIntosh, P.R., Castañeda, A.J., 2001. A global review of shrimp feed management: status and perspectives. Aquaculture the World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA USA.
- Krummenauer, D., 2008. Estratégias para o cultivo de *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) no extremo sul do Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Rio Grande. Rio Grande do Sul, Brasil. 60p.
- Kuhn, D.D., Boardman, G.D., Craig, S.R., Flick, G.J., Mclean, E., 2008. Use of Microbial Flocs Generated from Tilapia Effluent as a Nutritional supplement for Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in Recirculating Aquaculture Systems. J. World Aquacult. Soc. 39, 72-82.
- Kuhn, D. D., Smith, S. A., Boardman, G. D., Angier, M. W., Marsh, L. F.J., George J., 2010. Chronic toxicity of nitrate to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: Impacts on survival, growth, antennae length, and pathology. Aquaculture, doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.09.014.
- Lemonnier, H., Bernard, E., Boglio, E., Goarant, C., Cochard, J., 2004. Influence of sediment characteristics on shrimp physiology: pH as principal effect. Aquaculture 240, 297-312.
- Lin, Y.C., Chen, J.C., 2001. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. J. Exp. Mar. Biol. 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.
- Loyless, C.L., Malone, R.F., 1997. A sodium bicarbonate dosing methodology for pH management in freshwater-recirculating aquaculture systems. Prog. Fish Cult. 59, 198-205.

- Marchiori, M.A., 1996. Guia ilustrado de maturação e larvicultura do camarão-rosa *Penaeus paulensis* Pérez- Farfante, 1967. Universidade Federal de Rio Grande, Brasil, 79p.
- Mcintosh, B.J., Samocha, T.M., Jones, E.R., Lawrence, A.L., Mckee, D.A., Horowitz, S., Horowitz, A., 2000. The effect of a bacterial supplement on the high-density culturing of *Litopenaeus vannamei* with low-protein diet on outdoor tank system and no water exchange. *Aquacult. Eng.* 21, 215-227.
- Mcintosh, B.J., 2001. Changing paradigms in shrimp farming: establishment of heterotrophic bacterial communities. *Global Aquacult. Advoc.* February, 53-58.
- Moran, D., 2010. Carbon dioxide degassing in fresh and saline water. I. Degassing performance of a cascade column. *Aquacult. Eng.* 43, 29–36.
- Moss, S.M., Argue, B.J., Otoshi, C.A., Calderon, F.R.O., Tacon, A.G.J., 2001. Greening of the blue revolution: Efforts toward environmentally responsible shrimp culture. 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, USA, pp. 1-19.
- Moss, K.K., Moss, S.M., 2004. Effects of artificial substrate and stocking density on the nursery production of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *J. World Aquacult. Soc.* 35, 536-542.
- Naylor, R.L., Goldberg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., Troell, M., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405, 1017-1024.
- Ostrensky, A.N., 2002. Aquicultura brasileira e sua sustentabilidade. XII Simpósio Brasileiro de Aquicultura. *Anais.* pp. 4-10.
- Otoshi, C.A., Scott, M.S., Naguwa, F.C., Moss, S.M., 2007. Shrimp Behavior May Affect Culture Performance at Super-Intensive Stocking densities. *Global Aquacult. Advoc.* Março/abril, 67-69.
- Otoshi, C.A., Naguwa, S.S., Falesch, F.C., Mccrorey, E.A., Hanson, T.R., Moss, S.M., 2008. Comercial-scale production of pacific white shrimp *Penaeus*

- Litopenaeus vannamei* in a biosecure, super-intensive, recirculating aquaculture system. In: Abstracts of Aquaculture America 2008. Lake Buena Vista Florida, USA, pp. 9-12.
- Penafiorida, V.D., 1999. Interaction between dietary levels of calcium and phosphorus on growth of juvenile shrimp, *Penaeus monodon*. Aquaculture 172, 281–289.
- Piedrahita, R.H., Seland, A., 1995. Calculation of pH in fresh and sea water aquaculture systems. Aquacult. Eng. 14, 331-346.
- 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.
- Ray, J.A., Lewis, B.L., Browdy, C.L., Leffler, J.W., 2010. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. Aquaculture 299, 89-98.
- Samocha, T.M., Lawrence, A., 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: 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, USA, pp. 64-75.
- Samocha, T.M., Patnaik, S., Gandy, R.L., 2004. Heterotrophic intensification of pond shrimp production. Book of abstract of Fifth International Conference on Recirculating Aquaculture. Roanoke, Virginia, USA, pp. 22-25.
- Samocha, T.M., Patnaik, S., Speed, M., Ali, A.M., Burger, J.M., Almeida, R.V., Ayub, Z., Harisanto, M., Horowitz, A., Brook, D.L., 2007. Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. Aquacult. Eng. 36, 184-191.
- Silva, K.R., 2009. Dinâmica do nitrogênio e do fósforo no cultivo superintensivo dos camarões *Litopenaeus vannamei* e *Farfantepenaeus paulensis* sem

- renovação de água. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Rio Grande. Rio Grande do Sul, Brasil. 68p.
- Silva, A.F., 2009. Influência da densidade de estocagem sobre o desempenho do camarão branco *Litopenaeus vannamei* durante a fase final de engorda em sistema superintensivo. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Rio Grande. Rio Grande do Sul, Brasil. 45p.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J., 1969. Biometry. Principle and practices of statistics in biological research. W. H. Freeman & Company. 776p.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1972. A practical handbook of seawater analysis. Ottawa: Fishery Research Board Canada, 310p.
- Suita, S.M., 2009. O uso da Dextrose como fonte de carbono no desenvolvimento de bio-flocos e desempenho do camarão-branco (*Litopenaeus vannamei*) cultivado em sistema sem renovação de água. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Rio Grande. Rio Grande do Sul, Brasil. 44p.
- Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., Piedrahita, R.H., 2000. Oxygenation and carbon dioxide control in water reuse systems. *Aquacult. Eng.* 22, 87–108.
- Tucker, C.S., 2000. Off-flavor problems in aquaculture. *Review in fisheries science* 8, 45-88.
- UNESCO, 1983. Chemical methods for use in marine environmental monitoring. Manual and Guides 12, Intergovernmental Oceanographic Commission. Paris, France.
- Van Wyk, P., Scarpa, J., 1999. Water quality and management. In: Van Wyk, P. et al. (Eds.). *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*. Florida department of agriculture and consumer services, Tallahassee, pp. 128-138.
- Velasco, M., Lawrence, A.L., Neill, W.H., 1998. Effects of dietary phosphorus level and inorganic source on survival and growth of *Penaeus vannamei* postlarvae in zero-water exchange culture tanks. *Aquat. Living Resour.* 11, 29-33.
- Ville, C., 1967. *Biología*. Editorial Interamericana S.A. México.

- Vinatea, L., 1997. Princípios químicos da qualidade da água em aquíicultura. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 166p.
- Vinatea L, Galvez, A.O., Browdy, C.L., Stokes, A., Venero, J., Haveman, J., Lewis, B.L., Lawson, A., Shuler, A., Leffler, J.W., 2010. Photosynthesis, water respiration and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a super-intensive raceway culture with zero water exchange: Interaction of water quality variables. *Aquacult. Eng.* 42, 17–24.
- Zar, J.H., 1996. *Biostatistical Analysis*. Third Edition New Jersey: Prentice Hall, 662p.
- Zhang, P., Zhang, X., Li, J., Huang, G., 2006. The effects of body weight, temperature, salinity, pH, light intensity and feeding condition on lethal DO levels of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture* 256, 579–587.
- Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A., Browdy, C.L., 2006a. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258, 396-408.
- Wasielesky, W., Atwood, H., Kegl, R., Bruce, J., Stokes, A., Browdy, C.L., 2006b. Efeito do ph na sobrevivência e crescimento do camarão branco *Litopenaeus vannamei* em cultivos superintensivos. *Aquaciência 2006. Anais do congresso*.
- Weirich, C.R., Browdy, C.L., Bratvold, D., Mcabee, B.J., Stokes, A.D., 2002. Preliminary characterization of a prototype minimal exchange super-intensive shrimp production system. In *Proceedings of the IVTh International Conference on Recirculating Aquaculture*, pp. 255-270. Virginia Tech University, Blacksburg, Virginia, USA.
- Whangchai, N., Veronica, P., Migo, P., Alfafara, C.G., Young, K.H., Nomura, N., Matsumura, M., 2004. Strategies for alkalinity and pH control for ozonated shrimp pond water. *Aquacult. Eng.* 30, 1–13.
- Wickins, J.F., 1984. The effect of reduced pH on carapace calcium, strontium and

magnesium levels in rapidly growing prawns (*Penaeus monodon*). Aquaculture 41, 49–60.

Wyban, J., Walsh, W.A., Godim, D.M., 1995. Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). Aquaculture 138, 267-279.

## 8. Anexo

Compostos alcalinizantes para elevação da alcalinidade e/ ou pH				Elevação	
Nome do composto Português	Nome do composto Inglês	Fórmula química	Concentração (g/L)	pH	Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
Carbonato de sódio ou pH <sup>+</sup>	Sodium carbonate or Soda ash	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,06	0,7 ± 0,1	20 ± 10
Hidróxido de cálcio ou Cal hidratada	Hydrated lime or Slaked lime	Ca(OH) <sub>2</sub>	0,15	0,8 ± 0,15	110 ± 10
Bicarbonato de sódio ou Alcalin	Sodium bicarbonate or Baking soda	NaHCO <sub>3</sub>	0,20	0,25 ± 0,05	100 ± 10
Carbonato de cálcio ou calcário calcítico	Calcium carbonate or agricultural lime	CaCO <sub>3</sub>	-	-	-
Carbonato de Cálcio e Magnésio ou Calcário dolomítico	Calcium Magnesium Carbonate or Dolomitic lime	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	-	-	-