



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
MARINHAS TROPICAIS

LEANDRO FONSECA CASTRO

ESTUDO DA DENSIDADE DE ESTOCAGEM DO
CAMARÃO BRANCO DO PACÍFICO,
Litopenaeus vannamei, EM CULTIVO
HETEROTRÓFICO E AUTOTRÓFICO

FORTALEZA – CE
Julho / 2010

LEANDRO FONSECA CASTRO

ESTUDO DA DENSIDADE DE ESTOCAGEM DO
CAMARÃO BRANCO DO PACÍFICO.
Litopenaeus vannamei, EM CULTIVO
HETEROTRÓFICO E AUTOTRÓFICO

Dissertação submetida á Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, outorgado pela Universidade Federal do Ceará

Orientador: Alberto Jorge Pinto Nunes, Ph.D.

FORTALEZA – CE
Julho / 2010

Castro, Leandro Fonseca

Estudo da densidade de estocagem do camarão branco do pacífico. *Litopenaeus vannamei*, em cultivo heterotrófico e autotrófico/Leandro Fonseca Castro; orientador: Alberto Jorge Pinto Nunes. Fortaleza – 2010.

61 f.; Il. color. enc.

Dissertação – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, 2010.

1. Aquicultura. 2. Nutrição animal. 3. Densidade. 4. Heterotrófico I. Nunes, Alberto Jorge Pinto (Orient.) II. Título

LEANDRO FONSECA CASTRO

ESTUDO DA DENSIDADE DE ESTOCAGEM DO
CAMARÃO BRANCO DO PACÍFICO.
Litopenaeus vannamei, EM CULTIVO
HETEROTRÓFICO E AUTOTRÓFICO

Dissertação submetida á Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, outorgado pela Universidade Federal do Ceará

Aprovada em ____/____/2010

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alberto Jorge Pinto Nunes (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Eudes de Souza Correia
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Dr. Thales Passos de Andrade
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha esposa Anita.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele nada disso poderia ter acontecido.

Ao Professor Alberto Nunes pela orientação e apoio intelectual dedicado a mim.

À minha esposa Anita pela paciência e apoio durante a execução do trabalho.

A todos os meus familiares. Aos meus pais, Mirtes e Ivan, aos meus irmãos Gabriella, Wesley, Ingrid e Yuri e ao meu sobrinho Felipe.

A todos do Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (LANOA) pela ajuda e pelos momentos de descontração, em especial ao Hassan Sabry, Otávio Castro, Sandra, Antônio Carlos, José Fernandes, Aderson, Saulo e Pedro.

A FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) pelos recursos financeiros aportados neste estudo através da RECARCINE (Rede de Pesquisa de Carcinicultura do Nordeste).

A FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de Mestrado.

“Para muitos o chão é o fim, para nós apenas o início”
Desconhecido

RESUMO

O sistema heterotrófico tem sido apontado como uma alternativa ao cultivo intensivo convencional de engorda de camarões. Estudos anteriormente realizados indicaram que a produção de flocos microbianos em sistemas heterotróficos provem nutrientes suficientes para operar com alta densidade de camarões, mesmo quando são empregadas rações com baixo teor protéico, utilizando-se pouca ou nenhuma renovação de água. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da densidade de estocagem do camarão *Litopenaeus vannamei*, cultivado em condições heterotróficas e autotróficas, sobre o desempenho produtivo dos animais cultivados. O estudo foi realizado em quatro etapas distintas, conduzidas de forma consecutiva. Na primeira etapa do estudo foram empregados 12 tanques de cultivo de 1.000 L (área de 1,02 m²) de volume individual com densidades de 50, 100, 200, 300, 400 e 500 camarões/m². Foi designada uma réplica por tratamento. Os camarões foram povoados com peso corporal de 13,31 ± 3,04 g e despescados após de 15 dias de cultivo. Nas etapas subsequentes, foram empregados 30 tanques de cultivo e designadas cinco repetições para cada tratamento. Para as etapas 2 e 3, os camarões foram cultivados nas densidades de 100, 150 e 200 cam./m² sob um regime de cultivo heterotrófico e autotrófico. Na etapa 4, as densidades foram reduzidas para 50, 75 e 100 cam./m². Os animais foram cultivados durante 48, 51 e 72 dias nas etapas 2, 3 e 4 de cultivo, respectivamente. Na primeira etapa do estudo, os tratamentos com 50 cam./m², 100 cam./m² e 200 cam./m² obtiveram médias de sobrevivência de 98,0 ± < 0,001%, 91,0 ± 4,24% e 90,5 ± 2,83%, respectivamente. Estes tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas entre si, contudo diferenciam-se em relação aos demais tratamentos com densidades de camarão igual ou superior a 300 animais/m². A sobrevivência final dos camarões nos tratamentos acima de 300 cam./m² caiu substancialmente, em particular quando se adotou densidades acima de 400 cam./m². Em alta densidade, houve retardo na taxa de crescimento semanal, com queda diretamente proporcional ao aumento na densidade. Nesta condição, também ocorreu aumento na mortalidade quando se operou com mais de 150 cam./m². Em médias densidades, alcançaram-se maiores taxas de crescimento semanal, sobrevivência e produtividade na condição heterotrófica de cultivo. Em geral, os resultados indicaram que houve menor risco de colapso do cultivo e um melhor desempenho zootécnico quando o sistema heterotrófico foi operado com densidade de estocagem máxima de 150 camarões/m².

Palavras chave: aquicultura, nutrição animal, densidade, heterotrófico

ABSTRACT

The heterotrophic system has been implicated as an alternative to conventional intensive culture of marine shrimp. Previous studies have indicated that the production of microbial flocs under heterotrophic conditions can provide sufficient nutrients to operate under high shrimp density, even when low protein diets are used under little or no water exchange. This study aimed at evaluating the effect of *Litopeneus vannamei* stocking density on growth performance when farmed under autotrophic and heterotrophic experimental rearing conditions. The study was carried out over four consecutive phases. In the first study phase, 12 circular tanks of 1,000 L (bottom area of 1.02 m²) were used with of 50, 100, 200, 300, 400 and 500 shrimp/m². Shrimp were stocked with a body weight of 13.31 ± 3.04 g and harvested after 15 days of rearing. In subsequent phases, 30 tanks were used allowing five replicates for each treatment. For phases 2 and 3, shrimp were farmed at 100, 150 and 200 animals/m² under both heterotrophic and autotrophic conditions. In phase 4, stocking densities were reduced to 50, 75 and 100 shrimp/m². Animals were farmed for 48, 51 and 72 days in study phases 2, 3 and 4, respectively. In the first stage of the study, treatments under 50 shrimp/m², 100 shrimp/m² and 200 shrimp/m² achieved a mean survival of 98.0 ± <0.001%, 91.0 ± 4.24% and 90,5 ± 2.83%, respectively. These treatments showed no statistical differences, although they differed from remaining treatments stocking densities equal to or greater than 300 animals/m². Survival under treatments above 300 shrimp/m² fell substantially, particularly when it exceeded 400 shrimp/m². Under high stocking density, shrimp growth was reduced, with a drop in direct proportion to an increase in density. Under this condition, it also led to an increase in shrimp mortality when more than 150 shrimp/m² was used. Under moderate shrimp stocking densities, higher growth rates, survival and yields were achieved under the heterotrophic condition. Overall, results have indicated that an heterotrophic culture condition under a stocking density of up to 150 shrimp/m² provided a lower risk of system collapse and the best shrimp growth performance.

Key words: aquaculture, animal nutrition, density, heterotrophic

LISTA DE FIGURAS

		Página
FIGURA 1.	<p>A, esquema superior de um tanque de cultivo com disposição do sistema de aeração e <i>airlifts</i>. B, detalhamento das partes do <i>airlift</i> flutuante.....</p>	10
FIGURA 2.	<p>A, tanques utilizados no estudo com <i>airlifts</i> e sistema de aeração em funcionamento, juntamente com tela na parte superior para contenção dos camarões. B, <i>airlift</i> flutuante construído para operar nos tanques de cultivo.....</p>	12
FIGURA 3.	<p>A, floco microbiano em processo de decantação. B, bancada com cones de Imhoff após decantação de flocos microbianos....</p>	19
FIGURA 4.	<p>Variações nas concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) e temperatura (°C) da água de cultivo do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> em função do sistema de cultivo (heterotrófico e autotrófico) em três etapas do estudo. Cada coluna representa a média ± erro padrão de cinco tanques de cultivo. Valor de <i>P</i> de acordo com análise de variância Univariada (ANOVA). Etapas 2 e 3: A100, autotrófico com 100 cam/m²; A150, autotrófico com 150 cam/m²; A200, autotrófico com 200 cam/m²; H100, heterotrófico com 100 cam/m²; H150, heterotrófico com 150 cam/m²; H200, heterotrófico com 200 cam/m². Etapa 4: A50, autotrófico com 50 cam/m²; A75, autotrófico com 75 cam/m²; A100, autotrófico com 100 cam/m²; H50, heterotrófico com 50 cam/m²; H75, heterotrófico com 75 cam/m²; H100, heterotrófico com 100 cam/m².....</p>	24

FIGURA 5. Variações nas concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) e temperatura (°C) da água de cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* em função do horário de medição em três etapas de cultivo sob regime heterotrófico e autotrófico. Cada coluna representa a média \pm erro padrão de trinta tanques de cultivo. Coluna com letras em comum indicam diferença estatística não significativa segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).....

26

FIGURA 6. pH da água de cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* em função do sistema de cultivo (heterotrófico e autotrófico) e densidade de estocagem. Cada coluna representa a média \pm erro padrão de cinco tanques de cultivo. Valor de *P* de acordo com análise de variância Univariada (ANOVA). Coluna com letras em comum indicam diferença estatística não significativa segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). Etapas 2 e 3: **A100**, autotrófico com 100 cam/m²; **A150**, autotrófico com 150 cam/m²; **A200**, autotrófico com 200 cam/m²; **H100**, heterotrófico com 100 cam/m²; **H150**, heterotrófico com 150 cam/m²; **H200**, heterotrófico com 200 cam/m². Etapa 4: **A50**, autotrófico com 50 cam/m²; **A75**, autotrófico com 75 cam/m²; **A100**, autotrófico com 100 cam/m²; **H50**, heterotrófico com 50 cam/m²; **H75**, heterotrófico com 75 cam/m²; **H100**, heterotrófico com 100 cam/m².....

27

FIGURA 7. Dinâmica do pH diário ao longo do cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* em sistema heterotrófico e autotrófico em três etapas do estudo. Cada ponto representa a leitura da água de cinco tanques de cultivo. Etapas 2 e 3: **A100**, autotrófico com 100 cam/m²; **A150**, autotrófico com 150 cam/m²; **A200**, autotrófico com 200 cam/m²; **H100**, heterotrófico com 100 cam/m²; **H150**, heterotrófico com 150 cam/m²; **H200**, heterotrófico com 200 cam/m². Etapa 4: **A50**, autotrófico com 50 cam/m²; **A75**, autotrófico com 75 cam/m²; **A100**, autotrófico com 100 cam/m²; **H50**, heterotrófico com 50

cam/m²; **H75**, heterotrófico com 75 cam/m²; **H100**, heterotrófico com 100 cam/m²..... 29

FIGURA 8. Formação de flocos microbianos mensurados em cones de Imhoof ao longo do cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* em sistema heterotrófico e autotrófico na quarta etapa do estudo. Cada ponto representa a leitura da água de cinco tanques de cultivo (sub-amostra de 200 mL x 5 tanques). **A50**, autotrófico com 50 cam/m²; **A75**, autotrófico com 75 cam/m²; **A100**, autotrófico com 100 cam/m²; **H50**, heterotrófico com 50 cam/m²; **H75**, heterotrófico com 75 cam/m²; **H100**, heterotrófico com 100 cam/m²..... 33

FIGURA 9. Sobrevivência (%) de juvenis camarões de *Litopenaeus vannamei* (13,31 ± 3,04 g) ao longo de 15 dias de cultivo mantidos sob diferentes densidades de estocagem em tanques circulares de 1.000 L em regime de cultivo heterotrófico. Cada coluna representa a média ± erro padrão de dois tanques. Coluna com letras em comum indicam diferença estatística não significativa segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$)..... 36

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Características operacionais das diferentes etapas do estudo comparando as densidades de estocagem do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> , cultivado em regime heterotrófico e autotrófico. Peso corporal apresentado como média \pm desvio padrão. Dias de cultivo refere-se a dia de início da alimentação dos camarões em regime de cultivo heterotrófico e autotrófico, após os procedimentos de preparação da água.....	13
TABELA 2. Perfil bromatológico (g/kg de peso seco) dos insumos empregados no estudo. Cálculo do carbono total feito por estimativa.....	15
TABELA 3. Ingredientes (g/kg de matéria natural) e composição bromatológica (g/kg de peso seco) da dieta experimental empregada no sistema heterotrófico nas etapas 3 e 4 de cultivo.....	21
TABELA 4. Variação nos níveis de silicato e compostos nitrogenados (nitrito, nitrato e amônia não-ionizada) analisados na quarta etapa do estudo em três períodos de cultivo. Os valores são apresentados como média \pm desvio padrão de um total de 30 tanques com uma repetição. Linhas com letras iguais indicam diferença estatística não significativa entre dias de cultivo ao nível de $\alpha = 0,05$ segundo o teste <i>a posteriori</i> de Tukey HSD.....	32
TABELA 5. Variação nos níveis de ortofosfato dissolvido (P-PO ₄ ³⁻) na água de cultivo da quarta etapa do estudo em três períodos, no sistema heterotrófico e autotrófico. Os valores são apresentados como média \pm desvio padrão de um total de 30 tanques com uma repetição. Colunas com letras iguais indicam diferença estatística não significativa entre tratamentos ao nível de $\alpha = 0,05$ segundo o teste <i>a posteriori</i> de Tukey HSD.....	34

TABELA 6.	Peso corporal (média \pm desvio padrão), crescimento semanal (g) e produtividade (g/m^2) do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> cultivado em condições heterotróficas durante 15 dias. Letras em comum indicam diferença estatística não significativa segundo o teste <i>a posteriori</i> de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).....	37
TABELA 7.	Desempenho zootécnico (peso corporal úmido inicial e final, crescimento semanal, sobrevivência e produtividade) do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> em dois regimes de cultivo, heterotrófico e autotrófico, em 30 tanques circulares de 1.000 L, mantidos em três densidades de estocagem nas etapas 1 e 2 (100, 150 e 200 cam./ m^2) e etapa 3 (50, 75 e 100 cam./ m^2). Valores apresentados como média \pm desvio padrão. Valor de <i>P</i> de acordo com análise de variância Univariada (ANOVA). Letras em comum indicam diferença estatística não significativa segundo o teste <i>a posteriori</i> de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).....	38
TABELA 8.	Análise fatorial (três densidades x dois sistemas de cultivo) do peso corporal final, crescimento semanal, sobrevivência e produtividade do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> na segunda etapa do estudo. Na etapa 2, os animais foram submetidos a três densidades de estocagem (100, 150 e 200 cam./ m^2) em dois sistemas de cultivo, autotrófico e heterotrófico, e cultivados por um período de 48 dias. Colunas com letras iguais indicam diferença estatística não significativa entre densidades de estocagem de camarão ao nível de $\alpha = 0,05$ segundo o teste <i>a posteriori</i> de Tukey HSD. Valores apresentados como média \pm desvio padrão....	39
TABELA 9.	Análise fatorial (três densidades x dois sistemas de cultivo) do peso corporal final, crescimento semanal, sobrevivência e produtividade do camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> na terceira etapa do estudo. Na etapa 3, os animais foram	

Página

submetidos a três densidades de estocagem (100, 150 e 200 cam./m²) em dois sistemas de cultivo, autotrófico e heterotrófico, e cultivados por um período de 51 dias. Colunas com letras iguais indicam diferença estatística não significativa entre densidades de estocagem de camarão ao nível de $\alpha = 0,05$ segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD. Valores apresentados como média \pm desvio padrão.... 42

TABELA 10. Análise fatorial (três densidades x dois sistemas de cultivo) do peso corporal final, crescimento semanal, sobrevivência e produtividade do camarão *Litopenaeus vannamei* na segunda etapa do estudo. Na etapa 4, os animais foram submetidos a três densidades de estocagem (50, 75 e 100 cam./m²) em dois sistemas de cultivo, autotrófico e heterotrófico, e cultivados por um período de 72 dias. Colunas com letras iguais indicam diferença estatística não significativa entre densidades de estocagem de camarão ao nível de $\alpha = 0,05$ segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD. Valores apresentados como média \pm desvio padrão.... 43

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Conceito do Sistema Heterotrófico.....	4
2.2. Flocos Microbianos e a Relação C:N.....	5
2.3. Função das Bactérias e o Ciclo do Nitrogênio.....	6
2.4. Fatores que Afetam o Desenvolvimento dos Bioflocos.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1. Local de Estudo.....	9
3.2. Montagem do Sistema de Cultivo.....	9
3.3. Delineamento Experimental.....	11
3.4. Metodologia de Cultivo.....	14
3.4.1. Relação Carbono:Nitrogênio (C:N).....	14
3.4.2. Preparação da Água de Cultivo.....	16
3.5. Monitoramento da água de cultivo.....	17
3.5.1. Análises Espectrofotométricas.....	17
3.5.2. Medições de volume de floco microbiano.....	18
3.6. Manejo alimentar e Balanceamento da Relação C:N.....	20
3.7. Parâmetros de Desempenho Zootécnico.....	22
3.8. Análises Estatísticas	22
4. RESULTADOS	23
4.1. Variações nos Parâmetros de Qualidade da Água.....	23
4.2. Avaliações Preliminares da Biomassa Sustentável.....	35
4.3. Desempenho Zootécnico em Sistema Autotrófico e Heterotrófico....	35
5. DISCUSSÃO	46
5.1. Efeito da Densidade de Estocagem e Sistema de Cultivo sobre a Qualidade da Água.....	46
5.2. Efeito da Densidade de Estocagem sobre o Desempenho Biológico	

dos Camarões.....	51
5.3. Efeito do Sistema de Cultivo sobre o Desempenho Biológico dos Camarões.....	52
6. CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de camarão em condição intensiva (> 35 camarões/m²) com uso de aeração mecânica foi o sistema de produção que prevaleceu na carcinicultura brasileira, desde sua reemergência em 1999 até a deflagração e propagação do Vírus da Mionecrose Infecciosa (IMNV) em 2003 (NUNES *et al.*, 2004; NUNES, 2005). No país, o processo de intensificação ocorreu em resposta à elevada demanda de camarão no mercado internacional e as condições de infra-estrutura e tecnologias favoráveis a este sistema de produção.

A intensificação do cultivo de camarão geralmente ocorre através de um aumento no aporte de recursos capitais, como pós-larvas, ração, aeração mecânica, renovação de água e mão-de-obra especializada (HEMPEL *et al.*, 2002). Porém este processo não considera a capacidade do meio e dos ecossistemas receptores de efluentes quanto à assimilação de nutrientes e mineralização de resíduos orgânicos. Como resultado, a intensificação geralmente culmina com o colapso do sistema produtivo, refletido em surtos epidêmicos de ordem viral e bacteriana (MENASVETA, 2002) e o acúmulo desacelerado de material orgânico nos viveiros de cultivo (JACKSON *et al.*, 2003; BURFORD, 2004).

Apesar disto, dado as peculiaridades do Brasil, o cultivo de camarões sob alta densidade é provavelmente o sistema de produção mais vantajoso em termos econômicos e sociais, pois leva a uma maior rentabilidade por área cultivada e a uma maior demanda por mão-de-obra. O novo cenário mundial da carcinicultura, no entanto, impõe restrições no uso de rações com elevados níveis de farinha de peixe (NAYLOR *et al.*, 2000) e no volume e estado dos efluentes advindos da produção de camarões (TILLEY *et al.*, 2002; JACKSON *et al.*, 2003), aspectos intrínsecos para operar sob alta densidade.

Nos últimos anos, o sistema heterotrófico tem sido apontado como uma alternativa ao sistema intensivo convencional de engorda de camarões (AVNIMELECH, 1999; MCNEIL, 2000; McINTOSH, 2001; CHAMBERLAIN *et al.*, 2001). O sistema heterotrófico trabalha em condições super-intensivas, com viveiros pequenos com fundo recoberto com manta de PVC, altas taxas de aeração (> 25 cv/ha), rações com baixo teor protéico ($< 30\%$ de proteína bruta), elevadas densidades de estocagem de camarões (> 120 camarões/m²), pouca ou nenhuma renovação d'água e camarões livres de patógenos específicos (BOYD & CLAY, 2002). BOYD & CLAY (2002) em sua investigação sobre as características operacionais do sistema super-

intensivo de cultivo de camarões da fazenda Belize Aquaculture Ltd., concluiu que o sistema heterotrófico ou uma modificação do mesmo deverá ser o sistema aquícola do futuro.

O conceito dos sistemas heterotróficos reside na manutenção do equilíbrio da relação carbono e nitrogênio (C:N) da água de cultivo para evitar o acúmulo de nitrogênio no sistema de produção (AVNIMELECH, 1999). O forte uso de aeração mecânica é essencial (BOYD & CLAY, 2002) para compensar a demanda adicional por oxigênio favorecido pelo aumento da comunidade bacteriana e das taxas de nitrificação (conversão de amônia em nitrato). A aeração intensa também permite que a matéria orgânica (fezes, restos não consumidos de ração e fertilizantes) seja mineralizada ainda na coluna d'água, sem que ocorra sua sedimentação no ambiente de cultivo (CHAMBERLAIN *et al.*, 2001; McINTOSH, 2001). Caso seja alcançado o equilíbrio da relação C:N, as reações de nitrificação ocorrem sob uma velocidade tal que não há efeito deletério para os camarões, mesmo quando submetidos a altas densidades de estocagem e taxas elevadas de oferta de alimento, entre 500 a 600 kg/ha (McINTOSH, 2001). Em um sistema convencional de cultivo (autotrófico) não há o controle da relação C/N dentro do sistema. Dessa forma, há uma restrição na capacidade que o sistema suportará para o desenvolvimento do cultivo em altas densidades e sem troca de água.

Na teoria, de acordo com AVNIMELECH (1999), o controle do nitrogênio inorgânico em viveiros de cultivo de camarão baseia-se no metabolismo e nos processos microbianos de imobilização de nitrogênio. Bactérias e outros microorganismos utilizam-se de fontes de carboidratos (amido, celulose, açúcares) como alimento para gerar energia para seu crescimento, produzindo proteína e novas células. A produção bacteriana resultante deste processo pode ser utilizada como fonte alimentar, contribuindo com até 29% de todo nitrogênio retido pelos camarões cultivados (BUFORD *et al.*, 2004). Portanto, a adição de fontes de carbono na água de cultivo, como melão, farelo de trigo, milho, dentre outros, é empregada como estratégia produtiva para reduzir as concentrações de nitrogênio com base nos aportes diários de nitrogênio (N) e na eficiência de retenção pelos camarões do N aportado (AVNIMELECH, 1999).

CHAMBERLAIN *et al.* (2001) relata as seguintes fases no processo produtivo de viveiros heterotróficos da fazenda Belize Aquaculture Ltd.: (1) água clara; (2) floração de algas; (3) aparecimento de grande quantidade de espuma na superfície do viveiro devido ao acúmulo de material orgânico dissolvido e uma comunidade

bacteriana inadequada, e; (4) mudança na coloração da água para amarronzada, desaparecimento de espuma e aparecimento de massas de células bacterianas floculadas, detrito orgânico e colóide absorvidos. Na medida em que as condições heterotróficas desenvolvem-se, a partir da sétima ou oitava semana de cultivo, há uma queda no pH e na alcalinidade da água, necessitando a aplicação de cal hidratada para manter a alcalinidade entre 75 e 90 mg/L (McINTOSH, 2001). Nos viveiros de Belize Aquaculture Ltd. a média da produtividade de camarões em 63 despesas alcançou 11.231 kg/ha/ciclo, com períodos de cultivo de 139 dias, crescimento semanal de 0,95 g e fator de conversão alimentar (FCA) de 2.0 (BOYD & CLAY, 2002). Estes dados são superiores aos reportados pela ABCC (2004) quando o Brasil alcançou o recorde na produtividade mundial de camarões de 6.084 kg/ha/ano.

Apesar de resultados experimentais otimistas, vários aspectos operacionais ainda precisam ser mais bem investigados para consolidar o cultivo heterotrófico de camarões como um sistema economicamente e tecnicamente viável. O presente estudo teve como objetivo investigar o efeito da densidade de estocagem do camarão *Litopenaeus vannamei* em sistema autotrófico e heterotrófico, com baixa troca d água.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Conceito do Sistema Heterotrófico

Com a intensificação da atividade de cultivo de organismos aquáticos vários problemas surgiram, entre estes a deterioração da qualidade da água causada pela alta concentração de metabólitos e a dependência de grandes trocas d'água (AVNIMELECH, 2007). A descarga d'água proveniente da aquicultura em um ambiente natural contém nutrientes, compostos orgânicos e inorgânicos como amônia, fósforo, carbono orgânico dissolvido e matéria orgânica (PIEDRAHITA, 2003; SUGIURA *et al.*, 2006). Recentemente diversos estudos estão sendo desenvolvidos com o objetivo de operar sistemas aquáticos de cultivo em regime de baixa ou zero troca d'água (AZIM & LITTLE, 2008; AVNIMELECH, 2007). Esse tipo de cultivo é conhecido como BFT (do inglês, *biofloc technology*), AST (*activated suspension technique*), ASP (*active suspension pond*), sistema heterotrófico, sopa verde, entre outros termos (AZIM & LITTLE, 2008; AVNIMELECH, 2007).

O cultivo em sistema heterotrófico é realizado mediante o desenvolvimento e o controle da densidade de flocos microbianos na coluna da água através da adição de fontes de carboidratos (CRAB *et al.*, 2009). O cultivo heterotrófico baseia-se no sistema de tratamento de efluentes domésticos, ajustado para uso na aquicultura (DE SCHRYVER *et al.*, 2008). A tecnologia do biofloc (BFT) também é uma forma de controlar os parâmetros de qualidade da água em cultivos de organismos aquáticos (CARB *et al.*, 2007). Isso porque muitas espécies aquáticas requerem rações com alto teor protéico, o que favorece o acúmulo de amônia nos viveiros pelas excretas dos animais e degradação de ração não consumida (AVNIMELECH, 1999). A manutenção da relação carbono:nitrogênio (C:N) na água de cultivo favorece o desenvolvimento de bactérias heterotróficas que incorporaram o nitrogênio disponível e o transformam em proteína celular (AVNIMELECH, 1999). A incorporação destes elementos nitrogenados dissolvidos na água pelas bactérias, a qualidade de água aumenta em relação à diminuição desses metabólitos. Com o desenvolvimento bacteriano, estas tendem a se agregar a diversos outros componentes existentes na água de cultivo para formarem o biofloc, semelhante ao que ocorre em ambientes naturais (CRAB *et al.* 2007).

Outro fator importante ao cultivar organismos aquáticos em sistema heterotrófico é a possibilidade dos animais consumirem o floco como fonte de alimento. AVNIMELECH (2007) em um estudo com tilápia concluiu que os microorganismos desenvolvidos no biofloc podem ser uma fonte potencial para a alimentação desses

peixes, e possivelmente de outros. Esses agregados microbianos (bioflocos) oferecem a possibilidade de simultaneamente manter uma boa qualidade de água em um sistema de cultivo e produzir alimento adicional aos animais cultivados (DE SCHRYVER *et al.*, 2008).

2.2. Flocos Microbianos e a Relação C:N

Os flocos são formados basicamente por microorganismos (*i.e.*, bactérias filamentosas, microalgas, floco formadores, cianobactérias, protozoários, pequenos metazoários, formas larvais de invertebrados, entre outros), polímeros orgânicos (fezes e exoesqueleto), cátions e restos de organismos mortos (JORAND *et al.*, 1995; WASIELESKY, 2006). Segundo Boyd & Clay (2002), a combinação de restos da ração e matéria orgânica favorece um crescimento de bactérias heterotróficas, promovendo uma coloração escura na água característica do sistema. Azim & Little (2008) determinaram a composição taxonômica do biofoco, identificando três grupos de organismos: protozoários, rotíferos e oligoquetas.

Em cultivos heterotróficos as bactérias devem desenvolver-se para realizar o seu devido papel, através de condições específicas. Dentre as diversas outras condições, a relação de C:N no meio pode ser apontada como a principal. Essa relação favorece o acúmulo de poli- β -hidroxibutirato ou PHB. Sua ocorrência está ligada a fatores como o nitrogênio e a presença de grande quantidade de carbono (SALEHIZADEH & VAN LOOSDRECHT, 2004). O poli- β -hidroxibutirato é um polímero intracelular biodegradável, relacionado ao carbono bacteriano e a estocagem de energia (DEFOIRDT *et al.*, 2007).

A prevenção do acúmulo de nitrogênio no sistema de cultivo é realizada com os flocos bacterianos através da manutenção de uma relação de C:N, o que induz a incorporação da amônia pela comunidade heterotrófica (AVNIMELECH *et al.*, 1994; MCINTOSH, 2000). Wasielesky (2006) demonstrou que a relação de C:N ideal para a formação do floco microbiano deve estar entre 14:1 e 30:1. As bactérias metabolizam carboidratos, absorvem o nitrogênio inorgânico dissolvido e produzem proteínas (AVINIMELECH, 2007). Além de ocorrer um crescimento dos flocos através da recirculação de matéria orgânica decomposta, os microorganismos acabam servindo de fonte de proteína para os organismos cultivados. (AVNIMELECH *et al.*, 1989; TACON *et al.*, 2002; BURFORD *et al.*, 2004). A utilização de flocos microbianos como alimento pode contribuir com 29% do alimento consumido pelo camarão *Litopenaeus*

vannamei (BURFORD *et al.*, 2004) e aproximadamente 25% da proteína das rações alimentada para tilápias (AVNIMELECH & KOCHBA, 2009). Avnimelech (1999) diz que a utilização de flocos microbianos como alimento pode aumentar a eficiência da conversão de proteína pelos organismos cultivados. Do ponto de vista nutricional, Azim & Little (2008) concluíram que o biofloco contém 38% de proteína, 3% de lipídios, 6% de fibra, 12% de cinzas e 19 kJ/g de energia bruta. Os autores reportam ainda que os bioflocos podem ser utilizados na alimentação de tilápias exceto em casos com baixos níveis de lipídios. Portanto, o manejo da qualidade de água em sistemas de cultivo em regime heterotrófico baseia-se no desenvolvimento e no controle da comunidade microbiana existente na água (AVINIMELECH, 2007), tornando o ambiente propício ao cultivo de animais.

2.3. Função das Bactérias e o Ciclo do Nitrogênio

As rações de organismos aquáticos são extremamente protéicas. Nas fazendas de engorda do camarão *Litopenaeus vannamei* utilizam-se rações entre 35 e 40% de proteína bruta. A proteína é composta principalmente de aminoácidos e peptídeos, que por sua vez tem o nitrogênio (N) como principal componente na sua estrutura. Ao consumir as rações, os animais aquáticos cultivados degradam a proteína e, parte dela é absorvida, sendo o restante excretado na forma de amônia (WALSH & WRIGHT, 1995). Esse composto é o principal elemento na composição das excretas desses animais, podendo ocorrer em altos níveis no sistema de cultivo, tornando-se tóxicas para os animais cultivados. No meio aquático, a amônia é instável, sendo rapidamente convertida por hidratação em amônia ionizada (NH_4^+) ou íon amônio (ESTEVEVES, 1988).

Em um sistema de cultivo convencional, o nitrogênio pode ser convertido naturalmente por três caminhos: fitoplâncton, bactérias heterotróficas ou bactérias quimioautotróficas. Estas últimas são também conhecidas como bactérias nitrificadoras ou nitrificantes. Tais microorganismos são os únicos que podem obter energia para crescimento por meio da oxidação da amônia em nitrato. As bactérias nitrificantes são pertencentes à família Nitrobacteraceae formada por dois gêneros diferentes: *Nitrossomonas* e *Nitrobacter*. As primeiras são responsáveis pela oxidação do íon amônio em nitrito ($\text{NH}_4^+ + 1 \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$) e as segundas oxidam nitrito em nitrato ($\text{NO}_2^- + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$) (ESTEVEVES, 1988). Pelo fato das rações para organismos aquáticos conterem uma grande quantidade de nitrogênio, a amônia total

pode se elevar a concentrações tóxicas em sistemas fechados com altas densidades de estocagem (BOYD & CLAY, 2002). Segundo Crab *et al.* (2009) o nitrogênio dentro de um viveiro de cultivo pode ser removido de duas formas: (1) removido da unidade de cultivo por meio de trocas d'água; ou (2) neutralizado dentro da própria unidade de cultivo através de bactérias heterotróficas.

O sistema heterotrófico é um sistema híbrido onde o fitoplâncton, bactérias heterotróficas e quimiotróficas também estão presentes. Porém, com o controle da relação C:N, as bactérias heterotróficas se beneficiam e o seu desenvolvimento torna-se mais acentuado. Quando a relação de C:N é mantida em níveis ideais, as bactérias heterotróficas se desenvolvem incorporando compostos nitrogenados dissolvidos (AVNIMELECH, 1999). Hargreaves (2006) reportou que o nitrogênio é absorvido pelas bactérias heterotróficas mais rápido do que as bactérias que fazem o processo de nitrificação. Isso porque a taxa de crescimento da biomassa microbiana por unidade de substrato heterotrófico possui um fator dez vezes mais elevado do que das bactérias nitrificantes.

2.4. Fatores que Afetam o Desenvolvimento dos Bioflocos

Segundo DE SCHRYVER *et al.* (2008) o desenvolvimento do floco pode ser afetado pela intensidade da mistura da água, por diferentes fontes de carbonos utilizados, pelo oxigênio dissolvido, temperatura e pH da água de cultivo. Em cultivos heterotróficos a água é constantemente revolvida para que elementos pesados dissolvidos na água (*e.g.*, matéria orgânica em decomposição) não sofram o processo de decantação e se acumulem no fundo. Isto provocaria uma anoxicidade na região onde organismos cultivados bentônicos, como os camarões, habitam e se desenvolvem. Para que isso não ocorra, é comum utilizar meios para o revolvimento da água de cultivo a fim de alcançar uma distribuição uniforme dos compostos. Geralmente, em sistemas sob altas densidades de estocagem, a própria aeração desenvolve esse papel, contudo, recirculadores podem também auxiliar no processo. A intensidade dessa mistura determina o tamanho do floco, além do equilíbrio entre a taxa de agregação do floco e a taxa de ruptura (SPICER & PRATSINIS, 1996; CHAIGNON *et al.*, 2002). O tamanho e densidade do biofloco são dois fatores que mais influenciam na sua efetividade (CHUG & LEE, 2003).

O desenvolvimento das bactérias heterotróficas e por sua consequência sua agregação em flocos, pode ser obtida por uma determinada relação de C:N na água de

cultivo (AVNIMELECH, 1999). O tipo de fonte de carbono utilizado determina diferentes composições de bioflocos (HOLLENDER *et al.*, 2002; OEHMEN *et al.*, 2004). Diversas fontes de carbono podem ser utilizadas para tal atividade adicionando-as no sistema, ou pelo incremento dessas fontes na composição da ração (AVNIMELECH, 1999). Quando há a utilização de uma fonte de carbono externa para o desenvolvimento de microorganismos, deve-se prover oxigenação adequada no sistema devido à maior demanda de oxigênio dissolvido (OD) após a introdução de um carbonáceo na água. A diminuição de OD na água ocorre em função do metabolismo microbiano (DE SCHRYVER *et al.*, 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de Estudo

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Nutrição de Organismos Aquáticos (LANOA) do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará (UFC), situado no município de Eusébio, Ceará. O laboratório está localizado no entorno do Estuário do Rio Pacoti, nas coordenadas 35°00'0,25'' S e 38°25'22,57'' W.

3.2. Montagem do Sistema de Cultivo

O estudo foi realizado no sistema externo (sistema *outdoor*) de cultivo de camarões do LANOA. O sistema é composto por 84 tanques circulares de polipropileno de cor azul (Plastsan Plásticos do Nordeste Ltda., Caucaia, CE), com volume individual de 1.000 L e área interna de 1,02 m. Os tanques de cultivo estão posicionados em seis fileiras de 14 tanques, sendo alimentados com aeração constante através de três compressores radiais (Ibram Indústria Brasileira de Máquinas e Equipamentos, São Paulo, SP), equipados com supressores de ruído e com motores trifásicos de 7,5 cv de potência. Um grupo gerador a diesel de potência contínua com 1.800 rpm (modelo D229-4, MWM Motores Diesel Ltda., São Paulo, SP) e 55-kvA (Kilo Volt Amperes ou 44 kW) ou 60 cv de potência foi empregado como fonte emergencial de energia. Os tanques de cultivo foram abastecidos individualmente através de gravidade por dois reservatórios de 20.000 L. Os reservatórios são supridos com água salobra, captada as margens do estuário do Rio Pacoti, por meio de bombeamento mecânico realizado sempre nas marés altas.

O presente estudo utilizou um total de 30 circulares tanques de 1.000 L. Para realização do trabalho, o sistema de tanques foi modificado para operar sob uma biomassa estocada de camarão mais elevada do que aquela comumente empregada no laboratório ($< 800 \text{ g/m}^2$; NUNES *et al.*, 2004). O sistema de aeração foi incrementado de duas pedras porosas por tanque para um total de quatro (FIGURAS 1 e 2). As pedras porosas foram posicionadas a 15 cm do fundo do tanque, equidistantes uma da outra e instaladas em forma de quadrante.

Para movimentação vertical e contínua da água de cultivo, dois “airlifts” flutuantes foram instalados em cada tanque (FIGURAS 1 e 2). Cada *airlift* foi construído com PVC, isopor e chumbo. O aparato consistiu de três partes distintas: (1)

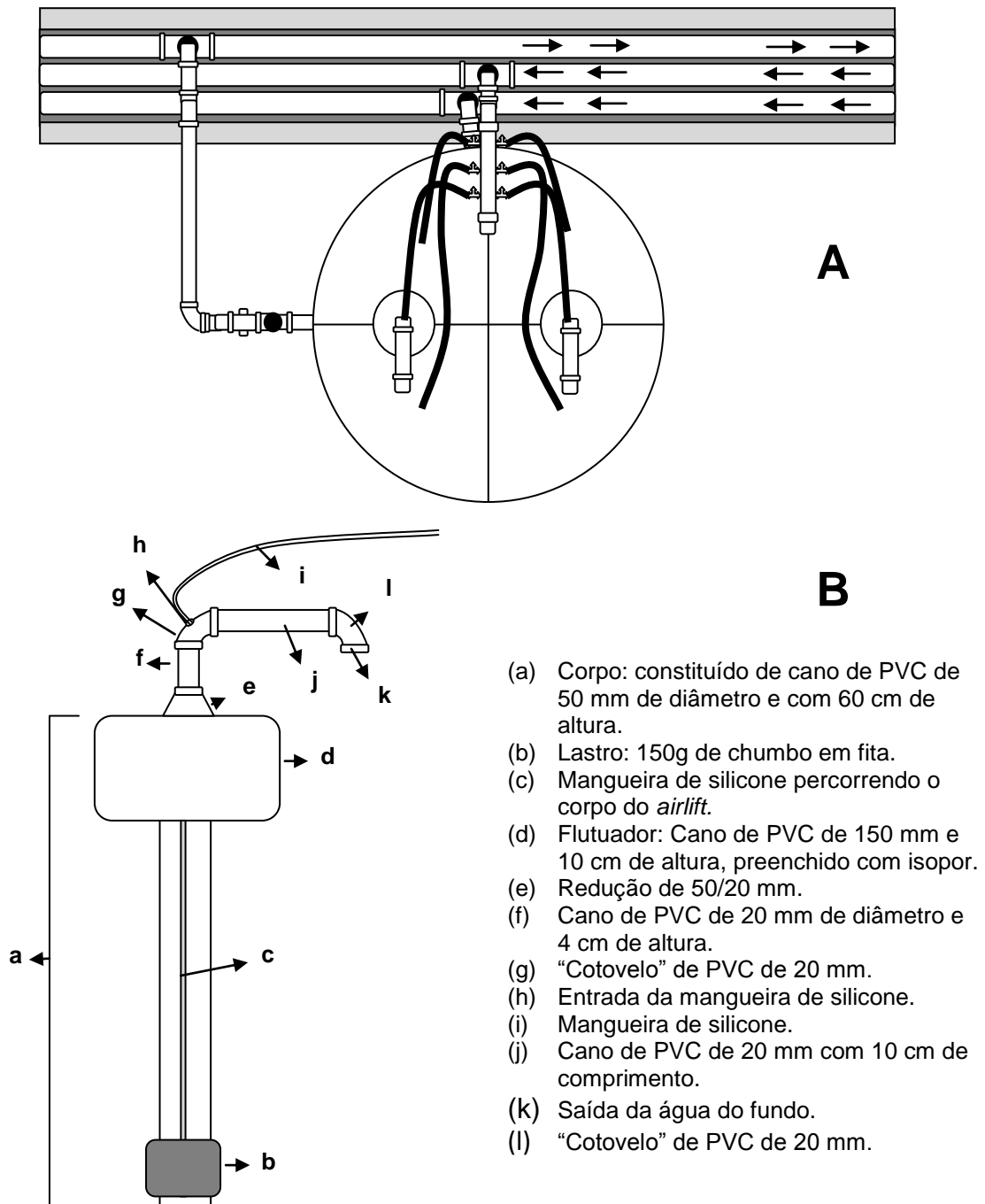


FIGURA 1. A, esquema superior de um tanque de cultivo com disposição do sistema de aeração e *airlifts*. B, detalhamento das partes do *airlift* flutuante.

um corpo, feito com tubos de PVC de 60 mm Ø (diâmetro) por 60 cm de altura, equipado com um lastro de 150 g de chumbo na sua parte inferior; (2) um flutuador, construído com um cano de PVC de 150 mm de diâmetro por 10 cm de altura, preenchido no seu interior com isopor; (3) uma cabeça, localizada na parte superior feita com uma redução de PVC de 50 para 20 mm Ø, conectada a um cano de PVC de 20 mm Ø por 4 cm de comprimento que se ligava a um cotovelo de 90° de 20 mm Ø. No cotovelo foi feito um orifício na parte superior para entrada de uma mangueira de silicone que se prolongava até o final do corpo.

Os tanques de cultivo foram mantidos abertos na sua parte superior, mas cobertos com uma tela escura com abertura de malha de 0,5 cm como forma de prevenir a fuga e perda de camarões durante o estudo (FIGURA 2).

3.3. Delineamento Experimental

O estudo foi realizado em quatro etapas distintas, conduzidas de forma consecutiva (TABELA 1). A primeira etapa do trabalho teve como objetivo definir a capacidade de sustentação dos tanques heterotróficos. Para isto foram empregados 12 tanques de cultivo com densidades de camarão de 50, 100, 200, 300, 400 e 500 camarões/m². Foi designada uma réplica por tratamento. Os camarões da espécie *Litopenaeus vannamei* oriundo de outro estudo, foram povoados com peso corporal de $13,31 \pm 3,04$ g (média \pm desvio padrão; $n = 180$). Os animais foram cultivados por um período de 15 dias quando então foram despescados, contados e pesados.

A segunda etapa do trabalho consistiu em comparar o desempenho do camarão *L. vannamei* cultivado em densidades de 100, 150 e 200 camarões/m² em condição heterotrófica (**H100**, **H150** e **H200**) e autotrófica (**A100**, **A150** e **A200**). O cultivo foi realizado em 30 tanques de cultivo durante 48 dias, sendo designadas cinco repetições (*i.e.*, tanques) para cada tratamento. Os tratamentos foram distribuídos de forma inteiramente casualizada. Para início do cultivo, camarões juvenis com $4,68 \pm 0,86$ g ($n = 300$) de peso corporal foram utilizados.

A terceira etapa do estudo foi desenvolvida com as mesmas densidades aplicadas na segunda etapa. Porém, essa se diferenciou pelo fato de utilizar uma dieta experimental desenvolvida em laboratório (L2). Na terceira etapa do estudo, o cultivo iniciou-se com camarões de $2,49 \pm 0,72$ g ($n = 290$) em 30 tanques durante um período de 51 dias. A quarta etapa foi semelhante à terceira etapa, porém iniciou-se com camarões de $3,53 \pm 0,77$ g ($n = 300$) cultivado sob densidades de estocagem de 50, 75 e

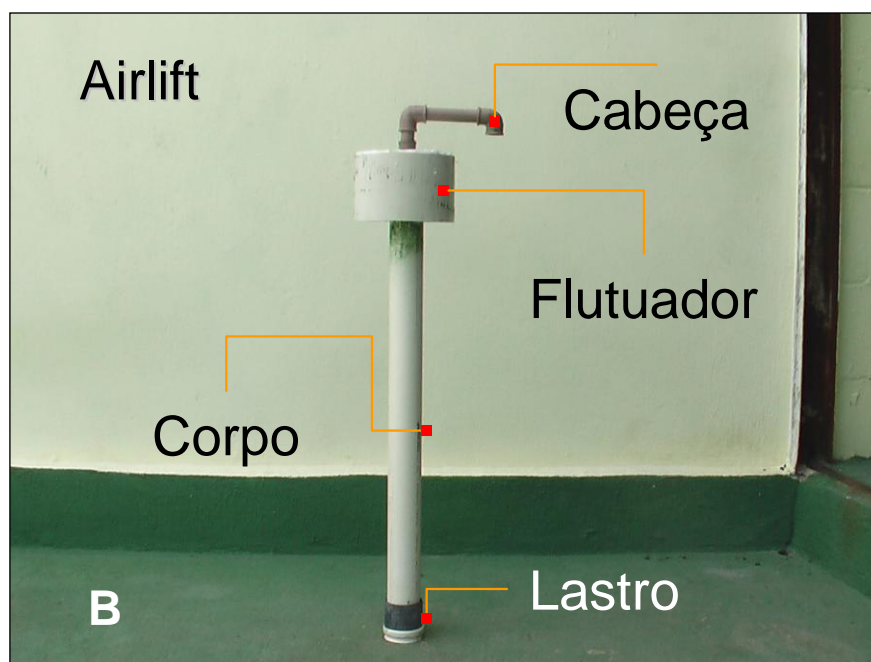


FIGURA 2. **A**, tanques utilizados no estudo com *airlifts* e sistema de aeração em funcionamento, juntamente com tela na parte superior para contenção dos camarões. **B**, *airlift* flutuante construído para operar nos tanques de cultivo.

TABELA 1. Características operacionais das diferentes etapas do estudo comparando as densidades de estocagem do camarão *Litopenaeus vannamei*, cultivado em regime heterotrófico e autotrófico. Peso corporal apresentado como média \pm desvio padrão. Dias de cultivo refere-se a dia de início da alimentação dos camarões em regime de cultivo heterotrófico e autotrófico, após os procedimentos de preparação da água.

Etapa	Densidade (camarões/m²)	Número de tanques	Peso Corporal Inicial (g)	Dias de Cultivo	Alimento
1	50, 100, 200, 300, 400 e 500	12	13,31 \pm 3,04 (n = 180)	15	Ração comercial
2	100, 150 e 200	30	4,68 \pm 0,86 (n = 300)	48	Ração comercial
3	100, 150 e 200	30	2,49 \pm 0,72 (n = 290)	51	Dieta experimental
4	50, 75 e 100	30	3,53 \pm 0,86 (n = 300)	72	Dieta experimental

100 camarões/m² durante 72 dias em regime heterotrófico (**H50**, **H75** e **H100**) e autotrófica (**A50**, **A75** e **A100**).

3.4. Metodologia de Cultivo

A metodologia de cultivo baseou-se em informações apresentadas por Avnimelech (1999) sobre o sistema heterotrófico e protocolos desenvolvidos no LANOA.

3.4.1. Relação Carbono:Nitrogênio (C:N)

Inicialmente para determinar a melhor relação C:N (carbono: nitrogênio) foram realizados estudos preliminares com uso de melaço em pó, uma ração desintegrada para frangos com baixo teor protéico e baixo teor de fibras (RBG; Linha Natural Aves em Crescimento, Evalis do Brasil Nutrição Animal Ltda., Paulínia, SP) e uma ração peletizada para engorda de camarões (RC; Camaronina 32, Evalis do Brasil Nutrição Animal Ltda., Paulínia, SP).

A avaliação foi realizada em seis tanques de 1.000 L, preenchidos com água salgada, mas sem camarões. A água de cada tanque foi inicialmente fertilizada com 130,0 g de nitrato de sódio (NaNO_3), 30,0 g de silicato de sódio ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) e 75,5 g de fosfato monoamônio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) de forma a alcançar uma relação de N:P de 6:1. A aplicação dos fertilizantes foi conduzida ao longo de três dias consecutivos com aplicações de 45, 35 e 20% do total calculado para cada produto. Uma vez adquirida uma coloração esverdeada da água, iniciou-se a aplicação de melaço em pó (Indumel, Sertãozinho, SP) RBG e RC.

Para determinar a quantidade de aplicação de cada insumo, o carbono total foi estimado após análise bromatológica (TABELA 1). Os insumos utilizados para a fabricação da dieta experimental (L2) foi ração comercial de camarão (RC), ração desintegrada para frangos (RBG) e melaço em pó. Nos cálculos, foi considerado que proteína bruta, extrato etéreo, fibra e carboidrato aportam, respectivamente, 46%, 70%, 40% e 40% de carbono total. O carbono total resultante de cada insumo é o somatório que cada nutriente provém de carbono.

Seis tanques foram utilizados para avaliar as relações de C:N de 25:1, 20:1 e 15:1 durante 7 dias, sendo designados dois tanques para cada relação. O aporte de RC e RBG manteve-se constante em 10 e 5 g/m^3 de água ao dia, respectivamente, sendo distribuídos duas vezes ao dia, as 07:00 e 16:00 h. A quantidade de melaço aplicado por m^3 foi calculado com base no somatório total de nitrogênio e carbono aportado na água (Apt) pela RC e RBG e na relação (Raz) de C:N a ser alcançada. Para os cálculos, foi

TABELA 2. Perfil bromatológico (g/kg de peso seco) dos insumos empregados no estudo. Cálculo do carbono total feito por estimativa.

Nutriente	Perfil Bromatológico (g/kg, peso seco)		
	Melaço ¹	RBG ²	RC ³
Proteína bruta	56,7	157,0	337,4
Extrato etéreo	40,2	83,2	104,0
Matéria mineral	203,2	68,4	91,7
Matéria fibrosa	0,5	58,6	24,9
Umidade	23,3	84,4	81,1
Carbono total	405,9	373,3	382,3

¹Melaço em pó (Indumel, Sertãozinho, SP).

²RBG, ração desintegrada a base de grãos, Linha Natural Aves em Crescimento (Evalis do Brasil Nutrição Animal Ltda., Paulínia, SP).

³RC, ração peletizada para engorda de camarões marinhos, Camaronina 32 (Evalis do Brasil Nutrição Animal Ltda., Paulínia, SP).

considerada uma absorção teórica de N (Abs) pelos camarões da ordem de 40% para RC e de 10% para RBG. Sendo assim, aplicou-se a seguinte equação:

$$QtdMel = \left[\left(\sum AptN - AbsN \right) \times RazCN \right] - \sum AptC, \text{ onde:} \quad (1)$$

QtdMel = quantidade de melão (g/dia) a ser aplicado na água de cultivo;

AptN: aporte diário (g/dia) de nitrogênio na água de cultivo;

RazCN: relação C:N a ser alcançada na água de cultivo;

AbsN: absorção teórica de N (g/dia) dos insumos RC e RBG;

AptC: aporte diário (g/dia) de carbono na água de cultivo.

3.4.2. Preparação da Água de Cultivo

Durante todos os cultivos foi empregada água salobra do Estuário do Rio Pacoti, município do Eusébio, captada de um ponto situado a cerca de 350 m dos tanques de cultivo. A água captada foi armazenada em dois tanques com volume individual de 20.000 L precedendo o abastecimento dos tanques de cultivo. Toda água de cultivo foi utilizada sem sofrer nenhum tratamento físico, químico ou biológico.

Após o enchimento dos tanques teve início a fertilização inorgânica da água com nitrato de sódio (NaNO_3), silicato de sódio ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) e fosfato monoamônio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) nas quantidades e taxas de aplicação informadas na TABELA 2. Após três dias da fertilização da água, foi realizado o povoamento dos camarões nos tanques de cultivo. Nos tanques heterotróficos, um probiótico comercial (Sanolife[®] PRO-W, INVE do Brasil Ltda., Fortaleza, CE) foi aplicado a uma taxa diária de 2 g/m^3 (5×10^{10} UFC/g de concentração de bactérias, segundo o rótulo) durante sete dias consecutivos. Neste mesmo período, nos tanques heterotróficos, iniciou-se a aplicação de melão em pó em combinação com uma ração desintegrada para frangos com baixo teor protéico e baixo teor de fibras (RBG). A taxa de aplicação seguiu os cálculos da equação (1). A adição desses insumos nos tanques heterotróficos teve como objetivo a promoção da comunidade bacteriana. No período de aplicação do probiótico, todos os animais, inclusive os estocados nos tanques autotróficos, foram alimentados com uma mesma ração peletizada para engorda de camarões (RC).

Durante todo cultivo, a renovação de água foi parcialmente eliminada, restrita unicamente para executar procedimentos de reposição de água dos tanques devido à evaporação e a elevação da salinidade.

3.5. Monitoramento da Água de Cultivo

Diariamente foi realizado o acompanhamento dos parâmetros físico-químicos da água (*i.e.*, oxigênio dissolvido, temperatura, pH e salinidade). A salinidade e o pH da água foram medidos sempre no período da tarde às 1600 h com um refratômetro com calibração automática para temperatura (modelo RTS-101ATC, Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda., São Paulo, SP) e um pHmetro portátil (modelo PH-1700 Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda., São Paulo, SP), respectivamente. A temperatura e o oxigênio dissolvido foram monitorados três vezes ao dia às 1600 h, 2300 h e 0300 h com um oxímetro digital (YSI 550A DO Instrument, YSI Incorporated, Yellow Springs, EUA).

3.5.1. Análises Espectrofotométricas

Análises de seis parâmetros de qualidade da água foram realizadas na terceira e quarta etapas de cultivo por meio de um espectrofotômetro visível (DR 2800 Spectrophotometer, Hach Company, Loveland, EUA). Os níveis de ortofosfato dissolvido (P-PO_4^{3-}), silicato (Si), nitrito dissolvido (N-NO_2^-), nitrato dissolvido (N-NO_3^-) e a amônia não ionizada dissolvida (N-NH_3) foram analisados em três fases de cultivo (dia 1 (inicial), dia 32 (intermediária) e dia 70 (final)). Em cada tanque de cada tratamento foi coletado 200 mL de água para formação de um *pool* com 1 L de água (5 tanques por tratamento). As análises foram realizadas em duplicata para obtenção de uma média.

Para análise de ortofosfato dissolvido (P-PO_4^{3-}) utilizou-se o método do molibdovanadato na faixa de medição entre 1,0 a 100,0 mg/L P-PO_4^{3-} . Esta análise foi realizada em tubos (Phosphorus Test'N Tube™, Hach Company, Loveland, EUA) colocando-se inicialmente 5 mL do *pool* da amostra da água coletada dentro de um tubo contendo um reagente. O tubo foi então lacrado e invertido para que a amostra fosse misturada ao reagente, aguardando um tempo mínimo de 7 min. até início da medição.

O silicato (Si) foi mensurado seguindo o método do silicomolibdato na faixa de medição de 1 a 100 mg/L. A metodologia de medição iniciou-se com a adição de 10 mL do *pool* da amostra dentro de uma cubeta de vidro onde se introduzia também um sachê de reagente de molibdato. A cubeta foi agitada até que toda amostra se dissolvesse por completo, adicionando-se em seguida um sachê de ácido reagente. A cubeta foi novamente agitada, mantendo a amostra em repouso por 10 min. até o procedimento

seguinte. Por último, um sachê de ácido cítrico foi colocado dentro da cubeta com amostra e então agitado para sua dissolução aguardando 2 min. antes da leitura.

Para o nitrato dissolvido (N-NO_3^-) utilizou-se o método do ácido cromatrópico com faixa de medição de 0,2 a 30,0 mg/L de N-NO_3^- . Para esta análise, primeiramente adicionava-se 1 mL do *pool* da amostra coletada em um tubo. Em seguida, invertia-se esse tubo por 10 vezes para que a amostra entrasse em contato com o reagente contido dentro do tubo. Após este processo, adicionava-se um sachê de NitraVer® Reagente B (Hach Company, Loveland, EUA), sendo o tubo invertido por mais 10 vezes permitindo um tempo adicional de 5 min. até a medição.

O nitrito dissolvido (N-NO_2^-) foi determinado através do método da diazotização com faixa de medição entre 0,003 e 0,5 mg/L de N-NO_2^- . Para o início do teste, coletou-se 5 mL do *pool* de amostra de água, sendo adicionado em um tubo fornecido para a medição desse parâmetro. Logo em seguida, o tubo foi tampado e agitado para que a amostra reagisse com o reagente. Uma tonalidade rosada na amostra indicava a presença de nitrito. Para mensuração, aguardava-se por 20 min.

A amônia não ionizada dissolvida (N-NH_3) foi determinada através do método do salicilato em uma faixa de medição entre 0,02 a 2,5 mg/L de N-NH_3 . Uma amostra de 2 mL da água de cultivo foi inicialmente colocada dentro de um tubo contendo um sachê do reagente de salicilato e agitada até a completa dissolução. Após a verificação da dissolução do reagente, um sachê de cianureto foi adicionado, agitando-se o tubo, mantendo em seguida a amostra em repouso por 20 min. até a leitura.

3.5.2. Medições do Volume de Floco Microbiano

Durante a quarta etapa de cultivo foi medido o volume de flocos microbianos na água de cultivo de todos os tratamentos, incluindo dos tanques em regime autotrófico. A medição do volume dos flocos foi realizada por meio de cones de Imhoff (J. Porlab Indústria e Comércio de Produtos para Laboratório Ltda., São José dos Pinhais, Paraná) com volume individual de 1.000 mL. Para cada tratamento em análise, foi coletada uma amostra de água a 15 cm da superfície, contendo um volume total de 1 L oriundo dos cinco tanques em replicata referente a cada tratamento em estudo (*i.e.*, 5 tanques x 200 mL de água de cada tanque). A leitura era realizada após o repouso da água por 15 min. para permitir a completa decantação do floco. Caso fosse prolongado o tempo de

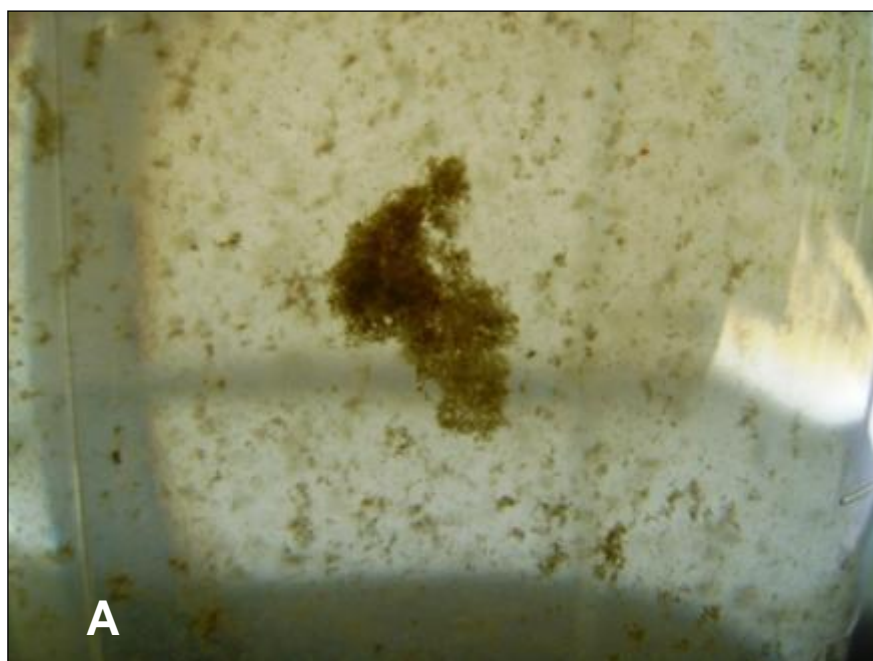


FIGURA 3. A, floco microbiano em processo de decantação. B, bancada com cones de Imhoff após decantação de flocos microbianos.

repouso, os flocos começariam a flutuar devido à presença de moléculas de gases agregadas aos flocos.

3.6. Manejo Alimentar e Balanceamento da Relação C:N

A fim de reduzir a perda e estimar a quantidade de ração consumida, todo alimento foi ofertado exclusivamente em bandejas de alimentação medindo 14,3 cm de diâmetro e bordas com 3,5 cm de altura. As bandejas foram instaladas numa densidade de uma unidade por tanque.

Os camarões foram alimentados diariamente (inclusive aos Domingos) as 0700 e 1530 h. A cada alimentação, as bandejas foram inspecionadas para detectar a presença de alimento não consumido, o qual quando observado, foi coletado para pesagem e descarte. Os camarões foram alimentados até a saciedade, permitindo realizar mudanças na quantidade de alimento ofertado em relação a cada oferta de ração e em função do apetite alimentar dos animais.

Os ajustes nas refeições foram realizados a cada horário de alimentação (*i.e.*, sobras de alimento das 0700 h empregado para ajuste da refeição das 1530 h). Um protocolo de ajuste alimentar foi usado para alterar as refeições 25% acima ou abaixo das refeições originalmente calculadas. O alimento não consumido foi contabilizado diariamente em cada alimentação.

Nas etapas 1 e 2 de cultivo, para os tanques em regime de cultivo heterotrófico, a ração peletizada para engorda de camarões (RC) foi ofertada concomitantemente à ração desintegrada para frangos com baixo teor protéico e baixo teor de fibras (RBG). Contudo, a RBG foi distribuída a lanço sobre a superfície da água de cultivo, enquanto a RC foi ofertada exclusivamente em bandejas. Durante todo cultivo, foi empregada uma proporção de RC:RBG de 1,5:1. No sistema heterotrófico a manutenção dos flocos microbianos ocorreu através da relação teórica de C:N de 20:1. O melaço foi empregado em adição a RBG de forma a complementar os aportes de carbono e assim permitir alcançar a relação desejável de C:N.

Nas etapas 3 e 4 de cultivo, foi formulada uma dieta experimental contendo 23,52% de proteína bruta e uma relação de C:N de 12,3:1. A dieta experimental empregada unicamente em cultivo heterotrófico foi composta por melaço (5,00% de inclusão), RBG (54,03%) e RC (46,73%). Neste caso, o melaço em pós foi adicionado a água de cultivo uma única vez ao dia para atender a relação de C:N de 20:1. A dieta

TABELA 3. Ingredientes (g/kg de matéria natural) e composição bromatológica (g/kg de peso seco) da dieta experimental empregada no sistema heterotrófico nas etapas 3 e 4 de cultivo.

Ingredientes (g/kg, matéria natural)	Composição
Ração desintegrada a base de grãos ¹	540,3
Ração peletizada para engorda de camarões marinhos ²	407,3
Melaço em pó ³	50,0
Aglutinante sintético ⁴	2,4
Composição nutricional¹⁹ (g/kg, peso seco)	
Umidade	79,9
Proteína bruta	235,2
Matéria mineral	87,8
Matéria fibrosa	43,8
Extrato etéreo	42,5

¹RBG, Linha Natural Aves em Crescimento (Evalis do Brasil Nutrição Animal Ltda., Paulínia, SP).

²RC, ração peletizada para engorda de camarões marinhos, Camaronina 32 (Evalis do Brasil Nutrição Animal Ltda., Paulínia, SP).

³Melaço em pó (Indumel, Sertãozinho, SP).

⁴Pegabind™, Bentoli Agrinutrition, Inc. (Elgin, Texas, EUA). Aglutinante sintético a base de uréia formaldeído.

experimental foi formulada e preparada de acordo com metodologia descrita por Nunes *et al.* (no prelo). No sistema autotrófico, foi utilizada unicamente a ração comercial para camarões (RC), moída e repeletizada com equipamentos laboratoriais.

3.7. Parâmetros de Desempenho Zootécnico

Ao final do período experimental foram avaliados os índices zootécnicos, peso médio final (g), crescimento semanal (g), sobrevivência (%) e produtividade (g/m^2). O peso úmido corporal dos camarões foi determinado em recipiente plástico cheio de água dos respectivos tanques de coleta dos animais (previamente tarado) como forma de minimizar o estresse causado pelo procedimento utilizando uma balança de precisão (Ohaus Adventurer, Toledo do Brasil, São Paulo, SP). Na despesca, todos os animais vivos foram contados e pesados individualmente.

3.8. Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com o programa Statistical Package for Social Sciences, versão 15.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois, EUA). A Análise de Variância Univariada (ANOVA) foi aplicada para determinar as diferenças estatísticas entre os tratamentos. O teste *a posteriori* de Tukey HSD foi utilizado para examinar as diferenças estatísticas individuais entre tratamentos, quando observadas diferenças estatísticas ao nível de significância de 0,05. Na segunda, terceira e quarta etapas do estudo, a análise em modelo fatorial foi utilizada para verificar o efeito da densidade de estocagem dos camarões e do sistema de cultivo (heterotrófico e autotrófico) e suas possíveis interações sobre os fatores do desempenho zootécnico dos animais cultivados.

4. RESULTADOS

4.1. Variações nos Parâmetros de Qualidade da Água

Na segunda e quarta etapas do estudo, o oxigênio dissolvido (OD) e a temperatura da água de cultivo não apresentaram diferença estatística entre o sistema heterotrófico e autotrófico ($P > 0,05$, ANOVA; FIGURA 4). Apenas na terceira etapa do estudo, foi detectada uma diferença estatística para o OD entre os sistemas de cultivo ($P < 0,05$, Tukey HSD), porém a temperatura manteve-se estável entre os sistemas ($P > 0,05$, ANOVA). Na segunda etapa do estudo, o OD e a temperatura da água alcançaram uma média de $5,45 \pm 0,58$ mg/L ($n = 1.339$) e $28,9 \pm 1,54^{\circ}\text{C}$ ($n = 1.339$), respectivamente. Na quarta etapa de cultivo, a concentração média de OD foi mais baixa do que na segunda etapa ($3,87 \pm 0,80$ mg/L; $n = 2.877$), enquanto a temperatura mais elevada ($29,4 \pm 1,86^{\circ}\text{C}$; $n = 2.877$). Na terceira etapa de cultivo, a temperatura da água alcançou $28,7 \pm 1,84^{\circ}\text{C}$ ($n = 1.823$). Nesta mesma etapa, OD não apresentou diferença nas diferentes densidades de estocagem avaliadas no sistema autotrófico (*i.e.*, **A100**, **A150** e **A200**), mas estas se diferenciaram estatisticamente das concentrações de OD observadas no sistema heterotrófico, em particular nas densidades de **H150** e **H200** ($P < 0,05$, Tukey HSD).

O oxigênio dissolvido (OD) e a temperatura da água sofreram variações significativas entre os horários de medição ($P < 0,05$, ANOVA; FIGURA 5). Em geral, as concentrações mais baixas de OD coincidiram com valores mais elevados da temperatura da água de cultivo. O horário das 1600 h foi o que apresentou a menor concentração de OD e a maior temperatura da água em relação aos horários das 2300 e 0300 h ($P < 0,05$, Tukey HSD). As temperaturas mais baixas foram sempre observadas no horário das 0300 h.

A salinidade da água de cultivo não variou estatisticamente entre os sistemas de cultivo ou densidades de estocagem avaliadas ($P > 0,05$, ANOVA). Nas etapas 2, 3, e 4 foi observada uma salinidade média (\pm desvio padrão; mínimo e máximo) de $35 \pm 3,3\%$ ($27 - 45\%$, $n = 676$), $40 \pm 3,0\%$ ($31 - 47\%$, $n = 1.062$) e $36 \pm 2,6\%$ ($22 - 43 \%$, $n = 1.341$), respectivamente. Por outro lado, o pH da água variou estatisticamente em função do tratamento adotado ($P < 0,05$, ANOVA). De uma forma em geral, as densidades mais elevadas de camarão apresentaram um pH mais baixo quando comparado com as densidades mais reduzidas (FIGURA 6). O pH da água de cultivo também caiu progressivamente ao longo do cultivo para ambos os sistemas, independente da densidade de estocagem (FIGURA 7). A acidificação da água com o

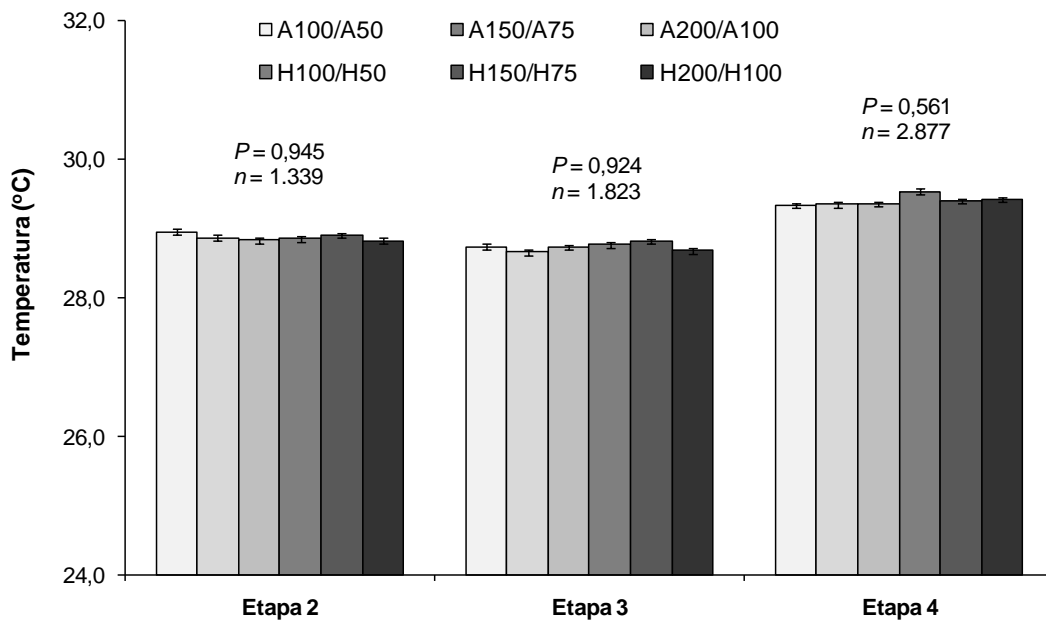
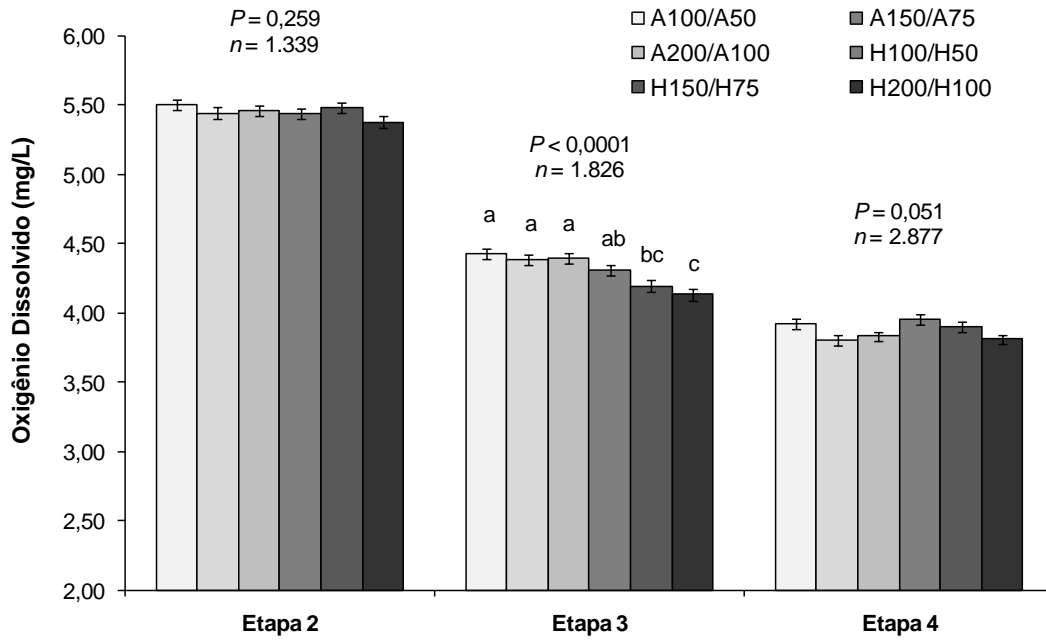


FIGURA 4. Variações nas concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) e temperatura (°C) da água de cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* em função do sistema de cultivo (heterotrófico e autotrófico) em três etapas do estudo. Cada coluna representa a média \pm erro padrão de cinco tanques de cultivo. Valor de *P* de acordo com análise de variância Univariada (ANOVA). Etapas 2 e 3: **A100**, autotrófico com 100 cam/m²; **A150**, autotrófico com 150 cam/m²; **A200**, autotrófico com 200 cam/m²; **H100**, heterotrófico com 100 cam/m²; **H150**, heterotrófico com 150 cam/m²; **H200**, heterotrófico com 200 cam/m². Etapa 4: **A50**, autotrófico com 50 cam/m²; **A75**, autotrófico com 75 cam/m²; **A100**, autotrófico com 100 cam/m²; **H50**, heterotrófico com 50 cam/m²; **H75**, heterotrófico com 75 cam/m²; **H100**, heterotrófico com 100 cam/m².

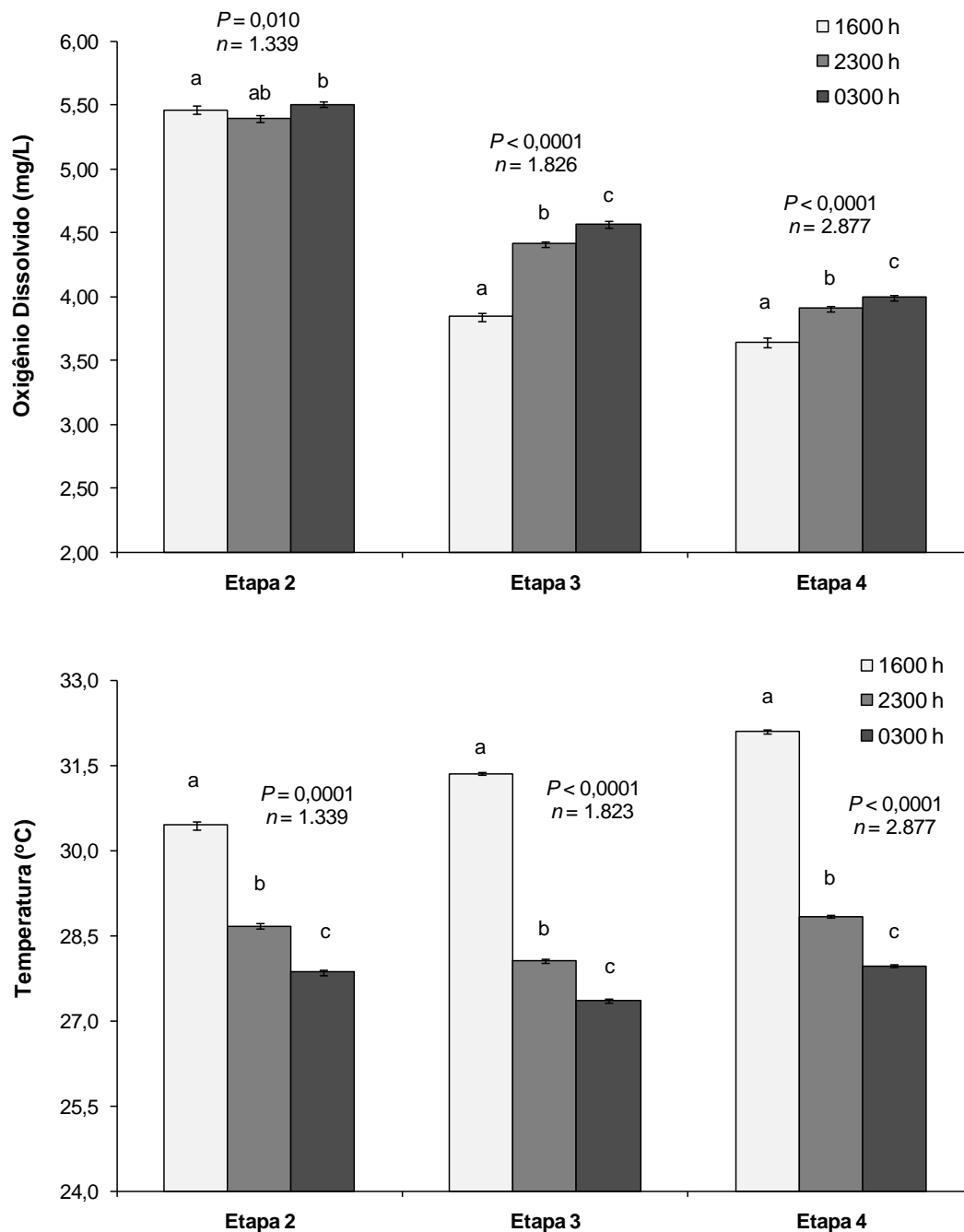


FIGURA 5. Variações nas concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) e temperatura (°C) da água de cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* em função do horário de medição em três etapas de cultivo sob regime heterotrófico e autotrófico. Cada coluna representa a média \pm erro padrão de trinta tanques de cultivo. Coluna com letras em comum indicam diferença estatística não significativa segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

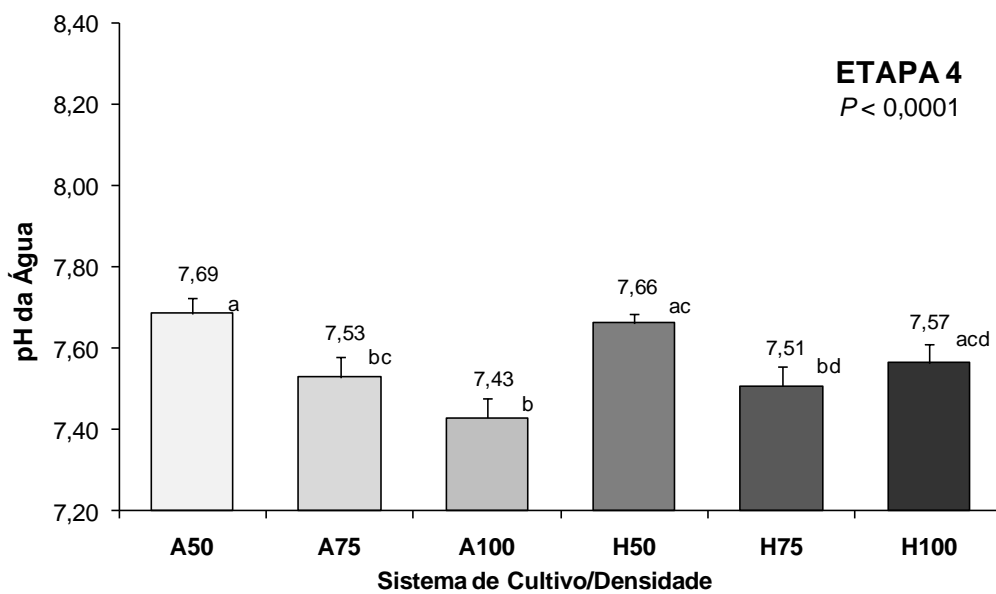
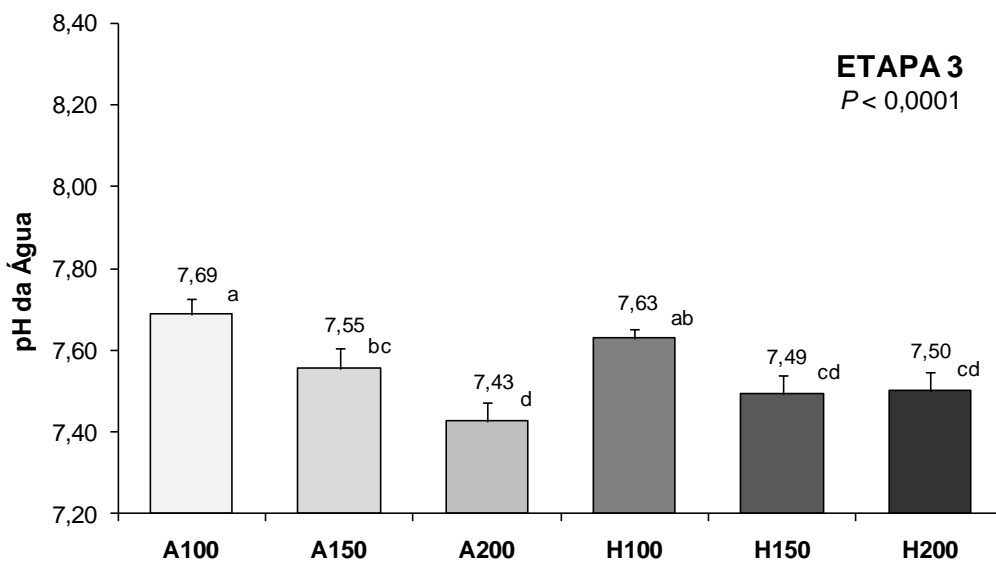
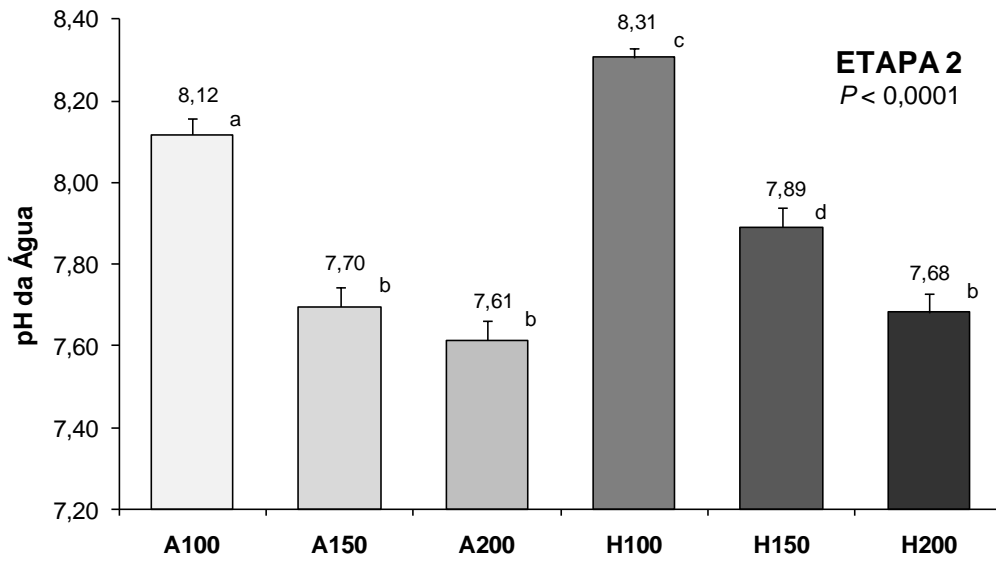


FIGURA 6. pH da água de cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* em função do sistema de cultivo (heterotrófico e autotrófico) e densidade de estocagem. Cada coluna representa a média \pm erro padrão de cinco tanques de cultivo. Valor de *P* de acordo com análise de variância Univariada (ANOVA). Coluna com letras em comum indicam diferença estatística não significativa segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). Etapas 2 e 3: **A100**, autotrófico com 100 cam/m²; **A150**, autotrófico com 150 cam/m²; **A200**, autotrófico com 200 cam/m²; **H100**, heterotrófico com 100 cam/m²; **H150**, heterotrófico com 150 cam/m²; **H200**, heterotrófico com 200 cam/m². Etapa 4: **A50**, autotrófico com 50 cam/m²; **A75**, autotrófico com 75 cam/m²; **A100**, autotrófico com 100 cam/m²; **H50**, heterotrófico com 50 cam/m²; **H75**, heterotrófico com 75 cam/m²; **H100**, heterotrófico com 100 cam/m².

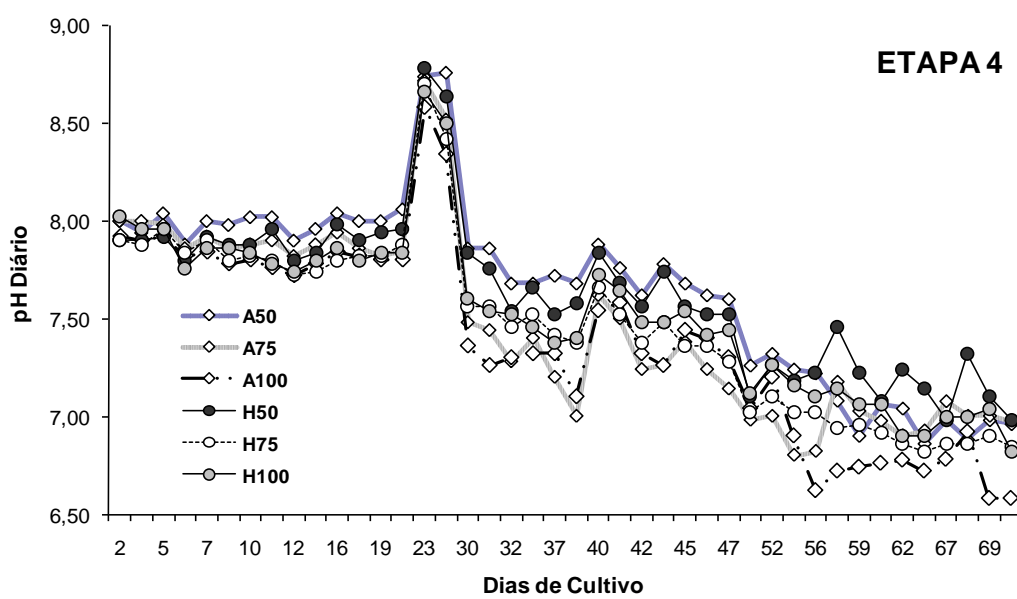
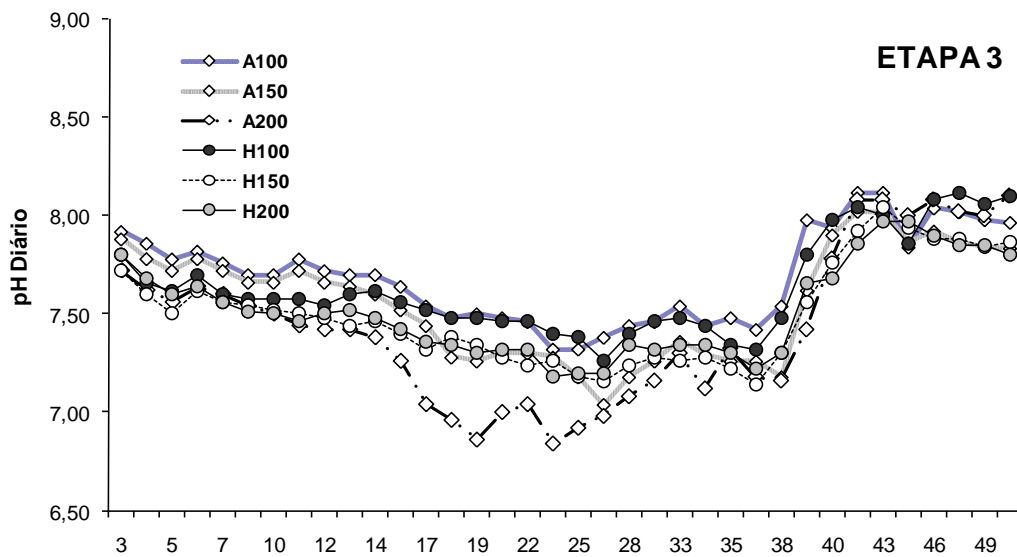
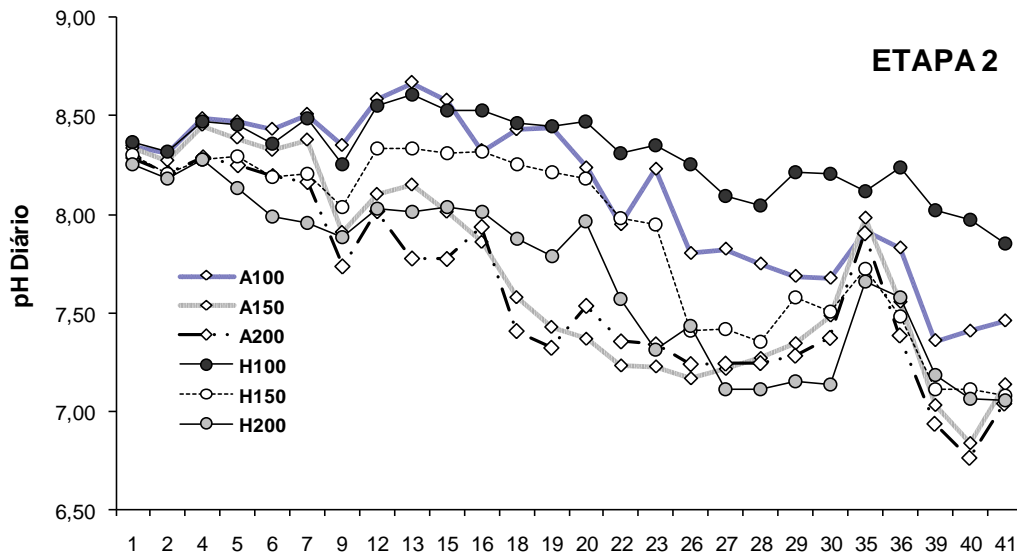


FIGURA 7. Dinâmica do pH diário ao longo do cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* em sistema heterotrófico e autotrófico em três etapas do estudo. Cada ponto representa a leitura da água de cinco tanques de cultivo. Etapas 2 e 3: **A100**, autotrófico com 100 cam/m²; **A150**, autotrófico com 150 cam/m²; **A200**, autotrófico com 200 cam/m²; **H100**, heterotrófico com 100 cam/m²; **H150**, heterotrófico com 150 cam/m²; **H200**, heterotrófico com 200 cam/m². Etapa 4: **A50**, autotrófico com 50 cam/m²; **A75**, autotrófico com 75 cam/m²; **A100**, autotrófico com 100 cam/m²; **H50**, heterotrófico com 50 cam/m²; **H75**, heterotrófico com 75 cam/m²; **H100**, heterotrófico com 100 cam/m².

tempo de cultivo foi observada em todas as etapas do estudo, com exceção da etapa 3 onde houve uma intervenção através de uma troca de água para minimizar a queda no pH. O aumento da biomassa estocada de camarões combinado com um maior aporte de insumos nitrogenados deve ter promovido conjuntamente uma redução no pH.

Na quarta etapa do estudo, os níveis de silicato, nitrito, nitrato e amônia não-ionizada avaliada em três fases do cultivo (1º, 26º e 71º dias) não apresentaram diferença estatisticamente entre os sistemas de cultivo ($P > 0,05$, ANOVA). Porém, foi observada uma variação significativa nestes parâmetros ao longo do cultivo ($P < 0,05$, Tukey HSD; TABELA 4). Com exceção do nitrato, ocorreu um aumento progressivo nestes parâmetros com o tempo de cultivo, o que condiz com uma redução nos níveis de pH também observados para a quarta etapa do estudo (FIGURA 7).

Os níveis de ortofosfato dissolvido ($P-PO_4^{3-}$) apresentaram diferença entre os tratamentos estudados, ($P < 0,05$, ANOVA), exibindo também uma tendência de aumento com o tempo de cultivo, semelhante aos demais parâmetros (TABELA 5). As diferenças nos níveis de ortofosfato entre os tratamentos foram detectadas somente a partir do 26º dia, prolongando-se até um dia antes da despesca dos camarões. Com exceção da densidade de 50 cam./m², as demais densidades (*i.e.*, 75 e 100 cam./m²) apresentaram diferença estatística para os níveis de ortofosfato no 26º dia de cultivo ($P < 0,05$, Tukey HSD). Ao término do cultivo, os níveis de ortofosfato tornaram-se mais consistentes entre densidades de estocagem semelhantes dos dois sistemas, em particular para as densidades de 50 e 75 cam./m² ($P > 0,05$, Tukey HSD). O tratamento **H75** ($44,9 \pm 0,21$ mg/L) foi o que apresentou a menor concentração de ortofosfato ao término do cultivo, enquanto o **A100** foi o que exibiu o mais valor ($95,6 \pm 2,0$ mg/L) entre todos os demais tratamentos. Em geral, tanto a densidade de estocagem de camarões, o tempo como o sistema de cultivo foram fatores preponderantes para as variações nos níveis de ortofosfato da água.

Na quarta etapa do estudo, foi observado um crescimento contínuo dos flocos microbianos apresentaram um crescimento contínuo ao longo do cultivo do camarão *L. vannamei* (FIGURA 8). Porém, um volume mais elevado de flocos microbianos foi observado nos tratamentos do sistema heterotrófico (**H50**, **H75** e **H100**) em comparação com os do sistema autotrófico (**A50**, **A75** e **A100**). Uma queda no volume de flocos foi detectada no **H50** no 46º dia de cultivo. A partir de então, os tratamentos **H75** e **H100** mantiveram uma maior formação de flocos comparado com os demais tratamentos em estudo.

TABELA 4. Variação nos níveis de silicato e compostos nitrogenados (nitrito, nitrato e amônia não-ionizada) analisados na quarta etapa do estudo em três períodos de cultivo. Os valores são apresentados como média \pm desvio padrão de um total de 30 tanques com uma repetição. Linhas com letras iguais indicam diferença estatística não significativa entre dias de cultivo ao nível de $\alpha = 0,05$ segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD.

Parâmetros ¹	Dias/Qualidade de Água (mg/L)			Valor de P ²
	1º	26º	71º	
Sílica	36,7 \pm 6,16a	49,3 \pm 12,9a	104,4 \pm 24,2b	< 0,0001
Nitrito	2,2 \pm 0,41a	3,06 \pm 0,62a	7,8 \pm 2,73b	< 0,0001
Nitrato	0,69 \pm 0,08a	0,94 \pm 0,17b	0,37 \pm 0,16c	< 0,0001
Amônia	0,29 \pm 0,06a	0,92 \pm 0,39b	0,99 \pm 0,33b	< 0,0001

¹Si, silicato; N-NO₂⁻, nitrito; N-NO₃⁻, nitrato; N-NH₃, amônia não-ionizada

²Análise de Variância Univariada (ANOVA)

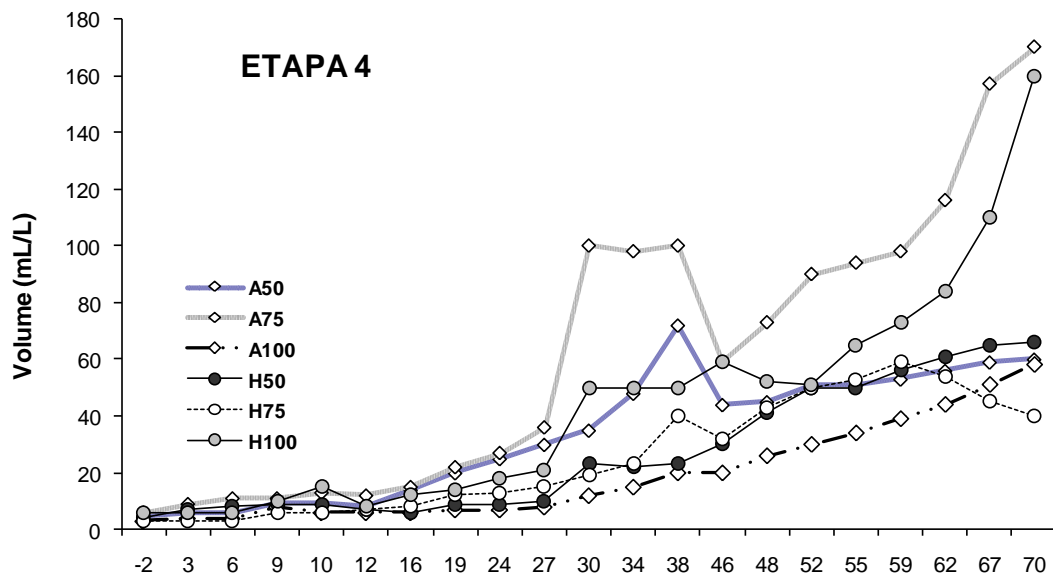


FIGURA 8. Formação de flocos microbianos mensurados em cones de Imhoff ao longo do cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* em sistema heterotrófico e autotrófico na quarta etapa do estudo. Cada ponto representa a leitura da água de cinco tanques de cultivo (sub-amostra de 200 mL x 5 tanques). **A50**, autotrófico com 50 cam/m²; **A75**, autotrófico com 75 cam/m²; **A100**, autotrófico com 100 cam/m²; **H50**, heterotrófico com 50 cam/m²; **H75**, heterotrófico com 75 cam/m²; **H100**, heterotrófico com 100 cam/m².

TABELA 5. Variação nos níveis de ortofosfato dissolvido (P-PO₄³⁻) na água de cultivo da quarta etapa do estudo em três períodos, no sistema heterotrófico e autotrófico. Os valores são apresentados como média ± desvio padrão de um total de 30 tanques com uma repetição. Colunas com letras iguais indicam diferença estatística não significativa entre tratamentos ao nível de $\alpha = 0,05$ segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD.

Tratamento	Dias/Ortofosfato (mg/L)		
	1 ^o	26 ^o	71 ^o
A50	43,9 ± 9,12	45,5 ± 0,85a	57,7 ± 3,25a
A75	32,2 ± 3,47	57,0 ± 0,35b	66,9 ± 3,25ab
A100	57,8 ± 6,65	69,3 ± 0,28c	95,6 ± 2,0c
H50	36,0 ± 3,47	46,6 ± 1,34a	44,9 ± 0,21d
H75	53,1 ± 17,0	53,7 ± 0,14d	66,2 ± 3,74ae
H100	74,4 ± 27,0	61,2 ± 0,14e	76,0 ± 4,6be
Valor de P^2	0,148	< 0,0001	< 0,0001

¹**A50**, autotrófico com 50 cam/m²; **A75**, autotrófico com 75 cam/m²; **A100**, autotrófico com 100 cam/m²; **H50**, heterotrófico com 50 cam/m²; **H75**, heterotrófico com 75 cam/m²; **H100**, heterotrófico com 100 cam/m².

²Análise de Variância Univariada (ANOVA)

4.2. Avaliações Preliminares da Biomassa Sustentável

Na primeira etapa do estudo, camarões com peso médio corporal de $13,31 \pm 3,04$ g foram cultivados por 15 dias em regime de cultivo heterotrófico. Na despesca, os tratamentos com 50 cam./m², 100 cam./m² e 200 cam./m² obtiveram médias de sobrevivência de $98,0 \pm < 0,001\%$, $91,0 \pm 4,24\%$ e $90,5 \pm 2,83\%$, respectivamente (FIGURA 9). Estes tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas entre si ($P > 0,05$, Tukey HSD), contudo diferenciam-se em relação aos demais tratamentos com densidades de camarão igual ou superior a 300 animais/m² ($P < 0,05$, Tukey HSD). A sobrevivência final dos camarões nos tratamentos acima de 300 cam./m² caiu substancialmente, em particular quando se adotou densidades acima de 400 cam./m². Nas densidades de 400 cam./m² e 500 cam./m² a sobrevivência manteve-se abaixo dos 10% e não se diferenciou estatisticamente entre si ($P > 0,05$, Tukey HSD)

Nesta etapa do estudo, o ganho de peso do *L. vannamei* foi compatível com as densidades de estocagem empregadas e seus pesos corporais (TABELA 6). Em camarões acima de 12 g de peso médio, ocorreu uma tendência de queda no crescimento semanal, em especial quando se adotou densidades acima de 300 cam./m². Entre 50 e 200 cam./m², o crescimento semanal variou entre $0,46 \pm 0,52$ g e $0,65 \pm 0,24$ g. Semelhante à sobrevivência, foi observada uma queda no crescimento e na produtividade do *L. vannamei* quando se utilizou densidades acima de 300 cam./m². A produtividade de camarão foi mais elevada no tratamento com 200 cam./m² ($P < 0,05$; ANOVA) caindo de forma proporcional frente a densidades mais altas.

4.3. Desempenho Zootécnico em Sistema Autotrófico e Heterotrófico

Os camarões cresceram de forma contínua ao longo das três etapas do estudo, indiferente do sistema de cultivo (heterotrófico versus autotrófico) e densidade de estocagem empregada (TABELA 7). Contudo, foram observadas diferenças estatísticas no peso corporal final em função do tratamento adotado ($P < 0,05$, ANOVA) em todas as etapas do estudo. Na etapa 2, um maior peso corporal foi alcançado para os camarões cultivados na condição **H100** ($13,84 \pm 2,44$ g), seguido do **A100** ($13,42 \pm 2,04$ g), **A150** ($11,23 \pm 1,87$), e **H150** ($11,12 \pm 1,79$) e finalmente **A200** ($10,58 \pm 1,72$) e **H200** ($10,29 \pm 1,71$; $P < 0,05$, Tukey HSD). Uma tendência semelhante foi também encontrada nas etapas 3 e 4 do estudo. Com estes resultados, levantou-se a hipótese de ter ocorrido uma tendência a maiores pesos corporais com menores densidades de estocagem.

Nas etapas 3 e 4, os camarões também exibiram um menor peso corporal final

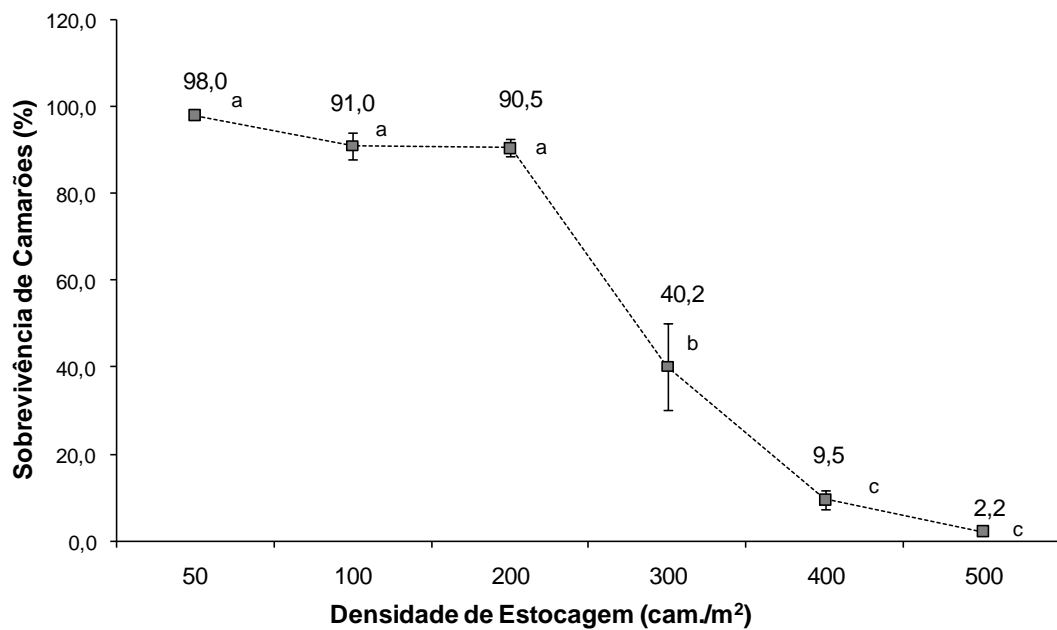


FIGURA 9. Sobrevivência (%) de juvenis de *Litopenaeus vannamei* ($13,31 \pm 3,04$ g) ao longo de 15 dias de cultivo mantidos sob diferentes densidades de estocagem em tanques circulares de 1.000 L em regime de cultivo heterotrófico. Cada coluna representa a média \pm erro padrão de dois tanques. Coluna com letras em comum indicam diferença estatística não significativa segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

TABELA 6. Peso corporal (média \pm desvio padrão), crescimento semanal (g) e produtividade (g/m^2) do camarão *Litopenaeus vannamei* cultivado em condições heterotróficas durante 15 dias. Letras em comum indicam diferença estatística não significativa segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

Densidade (cam./m ²)	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Ganho Semanal (g)	Produtividade (g/m ²)
50	13,56 \pm 3,04ab	14,95 \pm 3,02a	0,65 \pm 0,24	721 \pm 43ac
100	13,75 \pm 3,96ab	14,72 \pm 3,21b	0,46 \pm 0,52	1.314 \pm 25a
200	12,19 \pm 2,78a	13,31 \pm 2,94c	0,52 \pm 0,49	2.362 \pm 76b
300	11,85 \pm 2,45a	11,45 \pm 2,32d	- 1,00 \pm 0,45	1.352 \pm 551a
400	13,30 \pm 1,83ab	11,27 \pm 2,10a	- 1,04 \pm 0,35	420 \pm 170ac
500	15,19 \pm 2,76b	12,95 \pm 2,38a	- 0,11 \pm 0,79	139 \pm 36c
Valor de <i>P</i> *	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05

*Análise de Variância Univariada (ANOVA).

TABELA 7. Desempenho zootécnico (peso corporal úmido inicial e final, crescimento semanal, sobrevivência e produtividade) do camarão *Litopenaeus vannamei* em dois regimes de cultivo, heterotrófico e autotrófico, em 30 tanques circulares de 1.000 L, mantidos em três densidades de estocagem nas etapas 1 e 2 (100, 150 e 200 cam./m²) e etapa 3 (50, 75 e 100 cam./m²). Valores apresentados como média \pm desvio padrão. Valor de *P* de acordo com análise de variância Univariada (ANOVA). Letras em comum indicam diferença estatística não significativa segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

Etapa	Sistema	Den. (cam./m ²)	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Cresc. (g/sem.)	Sobrevivência (%)	Produtividade (g/m ²)
2	A	100	4,65 ± 0,76	13,42 ± 2,04a	0,83 ± 0,01a	78,6 ± 8,22ab	1.091 ± 258ab
		150	4,63 ± 0,84	11,23 ± 1,87b	0,63 ± 0,02b	84,7 ± 6,67a	1.264 ± 237a
		200	4,74 ± 0,69	10,58 ± 1,72c	0,58 ± 0,03b	70,3 ± 10,8ab	978 ± 452ab
	H	100	4,74 ± 0,69	13,84 ± 2,44d	0,88 ± 0,06a	80,6 ± 7,54ab	1.236 ± 344a
		150	4,53 ± 0,94	11,12 ± 1,79b	0,64 ± 0,03b	62,2 ± 13,11bc	627 ± 501ab
		200	4,66 ± 0,94	10,29 ± 1,71c	0,55 ± 0,03b	44,3 ± 12,6c	214 ± 216b
Valor de P*			0,413	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,018
3	A	100	2,89 ± 0,78a	9,96 ± 1,72a	0,96 ± 0,09a	79,3 ± 5,2a	966 ± 59ab
		150	2,19 ± 0,55b	9,12 ± 1,85b	0,94 ± 0,13a	89,5 ± 2,2a	1.571 ± 175a
		200	2,62 ± 0,63ac	7,88 ± 1,65c	0,69 ± 0,14b	37,0 ± 31,5b	104 ± 926b
	H	100	2,70 ± 0,69ac	9,56 ± 1,87d	0,92 ± 0,09ac	82,0 ± 3,6a	991 ± 105ab
		150	2,48 ± 0,70bc	8,90 ± 1,69b	0,87 ± 0,08ab	90,1 ± 2,9a	1.457 ± 90a
		200	2,53 ± 0,81ab	7,87 ± 1,60c	0,85 ± 0,14bc	74,0 ± 23,2a	1.150 ± 741ab
Valor de P*			< 0,0001	< 0,0001	0,001	< 0,0001	0,001
4	A	50	3,99 ± 0,35	21,22 ± 1,10a	1,68 ± 0,12a	92,8 ± 7,6	771 ± 116
		75	3,28 ± 0,22	18,57 ± 1,26c	1,49 ± 0,11ab	72,7 ± 10,7	751 ± 158
		100	3,58 ± 0,14	17,27 ± 1,29c	1,33 ± 0,12b	67,2 ± 21,7	766 ± 308
	H	50	3,70 ± 0,36	20,22 ± 0,43b	1,61 ± 0,04ac	81,6 ± 15,6	629 ± 167
		75	3,26 ± 0,75	17,99 ± 1,67c	1,33 ± 0,05bc	85,1 ± 10,4	883 ± 152
		100	3,31 ± 0,25	16,95 ± 0,35c	1,48 ± 0,16b	80,0 ± 15,7	1.002 ± 225
Valor de P*			< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,136	0,111

quando cultivados no sistema heterotrófico quando comparado ao sistema autotrófico ($P < 0,05$, Tukey HSD; TABELA 7).

Análise fatorial revelou que nas três etapas do estudo a densidade de estocagem de camarões foi o principal fator que influenciou no peso corporal final dos animais ($P < 0,05$, MANOVA; TABELAS 8, 9 e 10). Com exceção da etapa 2 do estudo, nas etapas 3 e 4, também houve uma influência significativa do sistema de cultivo (*i.e.*, heterotrófico e autotrófico) sobre o peso final dos camarões ($P < 0,05$, MANOVA). Uma interação significativa entre densidade de estocagem e sistema de cultivo foi detectado em todas as etapas do estudo ($P < 0,05$, MANOVA; TABELAS 8, 9 e 10).

Os camarões cultivados no sistema heterotrófico alcançaram um menor peso corporal comparado àqueles cultivados em sistema autotrófico ($P < 0,05$, MANOVA TABELAS 9 e 10). Nas etapas 3 e 4, os camarões no sistema heterotrófico foram despescados com $8,67 \pm 1,83$ g e $18,00 \pm 2,94$ g, respectivamente, comparado com $9,06 \pm 1,92$ g e $18,67 \pm 3,17$ g, respectivamente, no sistema autotrófico. Apenas na segunda etapa do estudo, não houve diferença estatística no peso corporal final dos camarões entre os dois sistemas de cultivo ($P > 0,05$, MANOVA TABELA 8).

O crescimento semanal dos camarões variou em função da etapa do estudo, sendo observados crescimentos médios acima de 1,0 g na quarta etapa do estudo (TABELA 7). A densidade de estocagem também exerceu uma influência significativa sobre o crescimento dos animais ($P < 0,05$, MANOVA; TABELAS 8, 9 e 10). Porém o sistema de cultivo não exibiu influência sobre o crescimento dos camarões ou uma interação significativa entre a densidade de estocagem de camarões e o sistema de cultivo ($P > 0,05$, MANOVA; TABELAS 8, 9 e 10). Na etapa 4 do estudo, crescimentos semanais acima de 1,5 g foram alcançados para os tratamentos com 50 cam./m², tanto aqueles cultivados em condição heterotrófica (**H50**) como autotrófica (**A50**). Nas demais etapas (2 e 3), quando se operou com mais de 100 cam./m², o efeito da densidade de estocagem sobre o crescimento do *L. vannamei* foi mais evidente (TABELAS 7, 8 e 9). Na etapa 2, os camarões alcançaram um crescimento abaixo de 0,7 g/semana sob 150 e 200 cam./m² comparado com $0,86 \pm 0,09$ g a 100 cam./m². Na etapa 3, o crescimento semanal alcançou $0,71 \pm 0,10$ g para 200 cam./m² comparado com $0,90 \pm 0,11$ g e $0,94 \pm 0,08$ g nas densidades de 100 e 150 cam./m².

A sobrevivência final do camarão *L. vannamei* respondeu negativamente a maiores densidades de estocagem, e de forma menos consistente, ao sistema de cultivo utilizado. Sempre que se utilizou a densidade de 200 cam./m², a sobrevivência final

TABELA 8. Análise fatorial (três densidades x dois sistemas de cultivo) do peso corporal final, crescimento semanal, sobrevivência e produtividade do camarão *Litopenaeus vannamei* na segunda etapa do estudo. Na etapa 2, os animais foram submetidos a três densidades de estocagem (100, 150 e 200 cam./m²) em dois sistemas de cultivo, autotrófico e heterotrófico, e cultivados por um período de 48 dias. Colunas com letras iguais indicam diferença estatística não significativa entre densidades de estocagem de camarão ao nível de $\alpha = 0,05$ segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD. Valores apresentados como média \pm desvio padrão.

Fator		Peso Final (g)	Crescimento (g/semana)	Sobrevivência (%)	Produtividade (g/m ²)
Densidade (cam./m ²)	100	11,63 \pm 2,26a	0,86 \pm 0,09a	79,5 \pm 7,5a	1.164 \pm 297
	150	11,18 \pm 1,83b	0,64 \pm 0,05b	73,4 \pm 15,4a	946 \pm 497
	200	10,47 \pm 1,72b	0,56 \pm 0,06b	57,3 \pm 17,6b	723 \pm 536
ANOVA P*		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,029
Sistema	Auto	11,62 \pm 2,21	0,69 \pm 0,12	77,9 \pm 9,9	1.110 \pm 318
	Hete	11,90 \pm 2,56	0,70 \pm 0,17	63,7 \pm 18,6	829 \pm 549
ANOVA P*		0,960	0,796	0,001	0,014
Valor de P (D x S)**		< 0,0001	0,484	0,013	0,040

*Valor de P de acordo com a Análise de Variância Bifatorial (Two-Way ANOVA).

**Valor de P para a interação dos fatores.

TABELA 9. Análise fatorial (três densidades x dois sistemas de cultivo) do peso corporal final, crescimento semanal, sobrevivência e produtividade do camarão *Litopenaeus vannamei* na terceira etapa do estudo. Na etapa 3, os animais foram submetidos a três densidades de estocagem (100, 150 e 200 cam./m²) em dois sistemas de cultivo, autotrófico e heterotrófico, e cultivados por um período de 51 dias. Colunas com letras iguais indicam diferença estatística não significativa entre densidades de estocagem de camarão ao nível de $\alpha = 0,05$ segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD. Valores apresentados como média \pm desvio padrão.

Fator		Peso Final (g)	Crescimento (g/semana)	Sobrevivência (%)	Produtividade (g/m ²)
Densidade (cam./m ²)	100	9,76 \pm 1,81a	0,94 \pm 0,08a	80,6 \pm 4,4a	978 \pm 82ab
	150	9,01 \pm 1,77b	0,90 \pm 0,11a	89,8 \pm 2,4a	1.514 \pm 145a
	200	7,87 \pm 1,61c	0,71 \pm 0,10b	53,4 \pm 32,8b	569 \pm 969b
ANOVA P*		< 0,0001	<0,001	< 0,0001	0,002
Sistema	Auto	9,06 \pm 1,92	0,86 \pm 0,17	68,6 \pm 29,1	880 \pm 802
	Hete	8,67 \pm 1,83	0,84 \pm 0,11	82,6 \pm 13,3	1.202 \pm 419
ANOVA P*		0,001	0,535	0,032	0,088
Valor de P (D x S)**		0,048	0,543	0,037	0,031

*Valor de P de acordo com a Análise de Variância Bifatorial (Two-Way ANOVA).

**Valor de P para a interação dos fatores.

TABELA 10. Análise fatorial (três densidades x dois sistemas de cultivo) do peso corporal final, crescimento semanal, sobrevivência e produtividade do camarão *Litopenaeus vannamei* na segunda etapa do estudo. Na etapa 4, os animais foram submetidos a três densidades de estocagem (50, 75 e 100 cam./m²) em dois sistemas de cultivo, autotrófico e heterotrófico, e cultivados por um período de 72 dias. Colunas com letras iguais indicam diferença estatística não significativa entre densidades de estocagem de camarão ao nível de $\alpha = 0,05$ segundo o teste *a posteriori* de Tukey HSD. Valores apresentados como média \pm desvio padrão.

Fator		Peso Final (g)	Crescimento (g/semana)	Sobrevivência (%)	Produtividade (g/m ²)
Densidade (cam./m ²)	50	20,79 \pm 2,92a	1,64 \pm 0,10a	87,2 \pm 13,0	700 \pm 155
	75	18,20 \pm 2,87b	1,46 \pm 0,12b	79,6 \pm 11,8	825 \pm 160
	100	16,93 \pm 2,29c	1,33 \pm 0,09c	73,6 \pm 19,1	884 \pm 283
ANOVA P*		< 0,0001	< 0,0001	0,131	0,135
Sistema	Auto	18,67 \pm 3,17	1,50 \pm 0,19	77,9 \pm 18,1	764 \pm 198
	Hete	18,00 \pm 2,94	1,46 \pm 0,14	82,2 \pm 13,3	838 \pm 234
ANOVA P*		< 0,0001	0,273	0,398	0,322
Valor de P (D x S)**		0,009	0,764	0,134	0,114

*Valor de P de acordo com a Análise de Variância Bifatorial (Two-Way ANOVA).

**Valor de P para a interação dos fatores.

sofreu uma queda significativa em relação às densidades de 100 e 150 cam./m² ($P < 0,05$, MANOVA; TABELAS 7, 8 e 9), tanto no sistema heterotrófico ($44,3 \pm 12,6\%$, **H200**, etapa 3) como no autotrófico ($37,0 \pm 31,5\%$, **A200**, etapa 4). Na etapa 4, quando se empregou densidades inferiores a 100 cam./m², todas as sobrevivências ficaram acima de 70%, com exceção do tratamento **A100** que alcançou $67,2 \pm 21,7\%$ (TABELA 7). Em todas as etapas do estudo analisadas, a densidade de estocagem teve um efeito significativo sobre a sobrevivência dos camarões ($P < 0,05$, MANOVA; TABELAS 8, 9 e 10), apresentando também uma interação significativa com o sistema de cultivo ($P < 0,05$, MANOVA). Os camarões cultivados em condição heterotrófica somente alcançaram uma menor sobrevivência em relação ao sistema autotrófico na etapa 2 do estudo (TABELAS 8 e 9). Nas etapa 3, a sobrevivência foi estatisticamente superior no sistema heterotrófico comparado ao sistema autotrófico ($P < 0,05$, MANOVA), enquanto na etapa 4 não houve diferença significativa ($P > 0,05$, MANOVA). Nas etapa 3 e 4 do estudo, foi possível alcançar uma sobrevivência final superior a 80% no sistema heterotrófico.

A produtividade teve uma forte relação com a densidade de estocagem inicial de camarões, mas também com o peso corporal e a sobrevivência final dos animais (TABELA 7). Um efeito mais forte da densidade de estocagem sobre a produtividade de camarões foi encontrado quando se tentou operar com 200 cam./m². Neste caso, houve uma perda de produtividade, tanto na etapa 2 como na etapa 3 do estudo (TABELAS 8 e 9). As produtividades mais elevadas, acima de 1,2 kg/m², foram alcançadas com densidades de estocagem de até 150 cam./m², tanto no sistema de cultivo heterotrófico como autotrófico (TABELAS 7, 9 e 10).

A densidade de estocagem de camarões se mostrou com um fator de maior influência sobre a produtividade do que o sistema de cultivo. Contudo, para a produtividade de camarões foi detectada uma interação significativa entre densidade de estocagem e sistema de cultivo ($P < 0,05$, MANOVA, TABELAS 8, 9 e 10). Quando avaliadas as densidades de 100, 150 e 200 cam./m², os maiores valores de produtividade foram alcançados quando se operou com 150 cam./m², tanto em sistema autotrófico (1.110 ± 318 g/m², TABELA 8) como heterotrófico (1.202 ± 419 g/m², TABELA 9). Na etapa 4, quando se avaliou as densidades de 50, 75 e 100 cam./m², não foi encontrado interação significativa entre os dois parâmetros ($P < 0,05$, MANOVA; TABELA 10), havendo apenas uma influência significativa da densidade de estocagem sobre a produtividade ($P < 0,05$, MANOVA). Neste caso as produtividades aumentaram de

forma progressiva na medida em que se aumentou a densidade de estocagem, de 50 cam./m² (700 ± 155 g/m²) para 100 cam./m² (884 ± 283 g/m²).

5. DISCUSSÃO

5.1. Efeito da Densidade de Estocagem e Sistema de Cultivo sobre a Qualidade da Água

DECAMP *et al.* (2003) compararam dados de oxigênio em três tratamentos com salinidade diferentes 9, 18 e 36‰, sendo alcançado níveis de oxigênio dissolvido (OD) entre 5,57 e 8,30 mg/L pela manhã e entre 5,27 e 7,6 mg/L no período da tarde. Semelhante ao estudo de DECAMP *et al.* (2003) na segunda etapa do presente estudo, também foi observado menores concentrações de OD às 1600h comparado aos demais horários. Ocorreu também semelhança nos dados obtidos em relação à temperatura da água de cultivo. As temperaturas da água mensuradas no horário da tarde foram maiores do que as médias de temperaturas medidas em outros horários. Ainda no mesmo trabalho realizado por DECAMP *et al.* (2003), os autores relatam que a diferença de OD pode ser influenciada pela concentração de salinidade, devido ao decréscimo da solubilidade de oxigênio na água. Como no presente estudo, a salinidade não apresentou diferença estatística em todas as etapas do estudo analisadas, provavelmente essa diferença de OD foi ocasionada pela temperatura da água.

No presente estudo pode ser observado uma relação inversa entre a temperatura e o oxigênio dissolvido (OD) da água. Este foi um comportamento normal para OD, pois há uma relação inversa entre a solubilidade do oxigênio na água e a temperatura (BOYD, 1990). Este comportamento também pode ser verificado em um estudo feito por WYBAN *et al.* (1995). Os autores testaram o efeito da temperatura da água no crescimento, na taxa de alimentação e na conversão alimentar de juvenis do camarão *Litopenaeus vannamei*. Três classes de tamanho de camarão foram testadas em três temperaturas diferentes (23, 27 e 30°C), sendo observadas as seguintes concentrações de OD foram $6,5 \pm 0,02$, $6,1 \pm 0,2$ e $6,0 \pm 0,02$ mg/L, respectivamente.

No presente trabalho, outro fator que pode ter contribuído para diminuição de OD na água de cultivo foi à adição de carboidratos no sistema. Enquanto na etapa 2 fontes de carboidratos não foram adicionadas diariamente ao sistema, nas etapas 3 e 4, carboidratos foram fornecidos a cada alimentação nos tanques do sistema heterotrófico. Em sistema de cultivo em alta densidade é essencial a manutenção de altos níveis de OD devido à alta biomassa estocada e a elevada taxa de decomposição aeróbica da matéria orgânica (BOYD & CLAY, 2002).

No presente estudo, não foram observadas variações significativas de salinidade na água de cultivo dos diferentes tratamentos, sendo observadas concentrações consideradas ideais para o crescimento e a sobrevivência dos camarões. PONCE-PALAFIX (1997) determinaram o efeito da salinidade e da temperatura para juvenis do camarão *Litopenaeus vannamei*. Para isso, os autores fizeram uma combinação de quatro temperaturas (20, 25, 30 e 35 °C) em cinco salinidades diferentes (20, 30, 35, 40 e 50‰). Os autores concluíram que, tanto para a sobrevivência quanto para o crescimento, a temperatura e a salinidade da água devem estar entre 28 e 30°C e 33 a 40‰, respectivamente.

No presente estudo, o pH da água variou conforme a densidade de estocagem empregada e o período de cultivo. Os tratamentos com maiores densidades de estocagem tenderam a apresentar valores de pH mais baixos do que os tratamentos com menores densidades de estocagem. Também ocorreu uma diminuição do pH da água em todos os tratamentos durante o cultivo. AZIM *et al.* (2008) atribuíram esse tipo de comportamento ao desenvolvimento de microorganismos dentro do sistema de cultivo. Através do processo de respiração os microorganismos aumentam a concentração de CO₂ na água, acidificando o meio e assim diminuindo os valores de pH. No presente estudo, na terceira etapa de cultivo, ocorreu uma troca parcial de água para o controle do pH, pois este estava apresentando uma redução contínua, podendo alcançar níveis prejudiciais aos animais. Na quarta e última etapa de cultivo, um aumento brusco de pH em todos os tratamentos pode ser identificado por volta do 23º dia de cultivo. Esse pico ocorreu devido a um nível elevado de chuvas ocorrido nesse período pontual. De modo geral, nas etapas 2, 3 e 4, os valores de pH tiveram uma tendência de diminuição ao longo do cultivo (exceto em casos pontuais). Essa diminuição pode ser atribuída ao acúmulo de compostos nitrogenados dentro do sistema. Resultados semelhantes foram obtidos por BUFORD *et al.* (2003) que, apesar de ter mensurado ANT (amônia nitrogenada total), atribuiu o decréscimo de pH a forma não-ionizada da amônia.

No presente estudo, as medições feitas de amônia não-ionizada, nitrito e nitrato mostraram que não houve diferença entre as densidades de estocagem de camarão e sistema de cultivo empregado. Porém todos esses compostos apresentaram uma tendência de acúmulo durante o cultivo. AZIM & LITTLE (2008) fizeram a medição de ANT (amônia nitrogenada total), nitrito e nitrato em um cultivo de tilápia *Oreochromis niloticus* em três tratamentos diferentes. Um cultivo convencional utilizando rações com 35% de proteína bruta (PB, controle), um cultivo em sistema heterotrófico com 35% de

PB (BFT35) e outro em sistema heterotrófico utilizando rações com baixo nível de PB 24% (BFT24). Os autores observaram que os valores de ANT, nitrito e nitrato variaram de acordo com o tratamento. Através dos resultados, os autores concluíram que a concentração destes compostos foi significativamente maior nos tanques alimentados com altos níveis de proteína, acompanhados dos tanques com baixos níveis de proteína e tanques controle. Apesar dos autores reportarem que a concentração de proteína na ração favorece o acúmulo de compostos nitrogenados, no presente estudo não foi verificado essa diferença. No presente trabalho, o acúmulo de compostos nitrogenados ao longo do cultivo pode ser atribuído ao aumento do aporte de nitrogênio feito por meio do fornecimento de rações.

Ainda no presente estudo, a amônia não-ionizada obtida na primeira medição foi de $0,29 \pm 0,06$ mg/L, tendo um salto para $0,92 \pm 0,39$ mg/L na segunda medição (26° dia de cultivo). Contudo, na terceira e última medições, a amônia alcançou uma média entre todos os tratamentos de $0,99 \pm 0,33$ mg/L sendo estatisticamente igual à segunda medição. Apesar do aumento significativo da primeira para segunda medição desse parâmetro, foi observado que ele se estabilizou até o final do cultivo. Provavelmente essa estabilidade ocorreu devido ao controle feito pelos microorganismos que incorporavam esse composto nitrogenado. No presente estudo, a densidade de estocagem e o sistema utilizado (com diferentes níveis de proteína na dieta) não tiveram diferença estatisticamente significativa entre si. Em contraste, HARI *et al.* (2006) reportam em seu trabalho que a adição de carboidrato em um sistema de cultivo reduz os níveis de amônia nitrogenada total e de nitrito. Os autores relataram também que o nível de proteína na dieta e a adição de carboidrato não influenciaram nas médias de nitrato na coluna d'água, como demonstrado no presente trabalho. Porém, no trabalho feito por HARI *et al.* (2006) as análises desses parâmetros ao longo do cultivo foi três vezes mais elevado do que no presente estudo. Com isso, os autores puderam traçar um comportamento mais delineado desses parâmetros.

O níveis de nitrito (N-NO_2^-) obtidos no presente estudo apresentou aumento desde o início do cultivo, apresentando valores médios de 2,2, 3,06 e 7,8 mg/L na primeira, segunda e terceira medições, respectivamente. Os níveis recomendados de nitrito-N por Lin & Chen (2003) para o cultivo do *Litopenaeus vannamei* é de 6,1 mg/L, porém esse valor é para salinidades de 15‰.

O nitrato é o produto final da nitrificação, ou seja, se há grandes níveis dissolvidos na água o nitrogênio está sendo mineralizado pelas bactérias nitrificantes

(HARI *et al.*, 2006). No presente estudo, o nitrato apresentou resultado diferente dos demais compostos nitrogenados, sendo o único dos compostos nitrogenados mensurados que não se acumulou, tendo um decréscimo da segunda para a terceira medição. Isso provavelmente ocorreu devido à incorporação do nitrogênio pelas bactérias heterotróficas. Sendo o sistema de cultivo heterotrófico um híbrido de microorganismos, o sistema só terá efeito se as bactérias heterotróficas se sobrepuserem as demais. Buford *et al.* (2003) em seu trabalho observou esse comportamento. Houve uma flutuabilidade entre os organismos heterotróficos e autotróficos, ou seja, ocorreu períodos em que a dominância foi modificada ao longo do cultivo. Isto ocorreu ao contrário do observado no estudo de AVNIMELECH (1999) em que o controle da relação C:N promoveu um decréscimo dos organismos autotróficos e um incremento dos heterotróficos.

Em cultivos aquáticos sob altas densidades de estocagem é comum o uso de mantas (*lining*) nos fundos dos tanques para a prevenção do contato direto da água com o substrato. Porém, o *lining* impede a absorção do fósforo pelo substrato propiciando o acúmulo desse elemento no sistema de cultivo. Buford *et al.* (2003) utilizaram dessa técnica no cultivo de *L. vannamei* mantido sob altas densidades (120 animais/m²) e sem troca de água. Semelhante ao presente estudo, o trabalho de Buford *et al.* (2003) também se caracterizou pelo acúmulo de fósforo na água. Em outro trabalho feito por Velasco *et al.* (1998) os autores avaliaram diferentes níveis de fósforo na ração (0,4, 0,8 e 1,2%). Foi verificado que o nível de fósforo reativo na água também teve uma tendência de acúmulo nos tratamentos em que os animais forma alimentados com maiores níveis de fósforo. No estudo de Velasco *et al.* (1998), os autores obtiveram níveis de fósforo reativo na água de 0,19 mg/L (ração com 0,4%), 0,94 mg/L (ração com 0,8%) e 0,67 mg/L (ração com 1,2%). Apesar do acúmulo de fósforo, esses valores foram bem menores do que os mensurados em no presente trabalho. Isto pode ser explicado pelo fato de VELASCO *et al.* (1998) ter empregado pós-larvas e não juvenis de camarão por um período de cultivo bem menor (20 dias) ao presente trabalho. Em cultivos comerciais de camarão onde não há o uso de *lining*, grande parte do fósforo é absorvido pelo substrato.

O presente estudo foi desenvolvido em tanques de polietileno sem substrato. Isso pode explicar os altos níveis de ortofosfato em todos os tratamentos analisados. A água do ponto de captação que abastece o sistema de cultivo apresenta em média 0,4 mg/L de PO₄³⁻. Ao ser analisado as concentrações de ortofosfato durante todo o ciclo de cultivo e

os níveis observados na captação de água, pode ser concluído que a ausência de substrato propicia esse acúmulo. Ao se comparar também os dados de todos os tratamentos em todas as medições, pode ser observado que desde a primeira medição, todos os tratamentos apresentaram valores bem mais elevados quando comparado com o valor observado na captação da água. Provavelmente isso foi propiciado pela ração dada no período de adaptação e pela fertilização com fosfato monoamônia. Além desse fator inicial, outros fatores também contribuíram para os elevados níveis finais de ortofosfato na água de cultivo, como a falta de trocas d'água e a degradação da ração não consumida dentro do sistema.

Em relação ao volume do bioflocos mensurado durante um dos ciclos de cultivo do estudo, pode-se verificar que nos tanques cultivados em sistema heterotrófico o volume foi maior do que nos tanques cultivados em sistema autotrófico. Essa diferença deve-se principalmente ao controle da relação C:N realizado dentro dos tanques cultivados em sistema heterotrófico. AVNIMELECH (1999) mostrou que quando há o controle dessa relação através da adição de uma fonte de carboidrato há uma incorporação de compostos nitrogenados pelas bactérias para a produção de proteína celular. Assim, esses microorganismos incorporam nitrogênio disponível no meio diminuindo a quantidade de nitrogênio inorgânico dissolvido na água, contribuindo para formação de flocos microbianos. Como os bioflocos são formados principalmente de bactérias, colóides, polímeros orgânicos e células mortas (JORAND *et al.*, 1995), em cultivos que proporcionam o desenvolvimento de bactérias pelo controle da relação C:N o volume de floco desenvolve-se mais do que em cultivos sem o controle dessa relação. Portanto, é de se esperar essa nas quantidades de volume de bioflocos entre os sistemas de cultivo utilizados nesse trabalho.

Os tanques de cultivo com densidades de estocagem de 75 e 100 camarões/m² em sistema heterotrófico foram os tratamentos com maiores quantidades de bioflocos. Quando comparado ao outro tratamento cultivado no mesmo sistema com 50 cam./m², foi verificado que este não obteve um resultado tão diferente aos tratamentos cultivados em sistema autotrófico. Assim, pode-se atribuir o desempenho de produção de bioflocos dos tratamentos com maiores densidades no sistema heterotrófico não somente ao sistema utilizado como também as elevadas densidades de camarão adotadas. O alto volume de bioflocos foi extremamente importante para manter as altas densidades de estocagem de camarão com o uso de uma ração com baixo teor protéico. Diversos estudos reportam que o bioflocos pode ser utilizado como fonte alimentar para os

organismos aquáticos cultivados dentro de um sistema heterotrófico de cultivo (AVNIMELECH, 1999, DE SCHRYVER *et al.*, 2008). Avnimelech (2007) identificou que em uma leitura relativamente baixa de 5 mL/L de biofloco é capaz de produzir um equivalente a 700 kg de matéria seca por ha, tornando-se uma importante fonte de alimento dentro deste sistema de cultivo.

5.2. Efeito da Densidade de Estocagem sobre o Desempenho Biológico dos Camarões

Os resultados do presente estudo são suportados por observações de cultivos heterotróficos comerciais, nos quais as densidades de estocagem de camarão não excedem 200 animais/m² e produtividades médias de 11.231 kg/ha/ciclo (BOYD & CLAY, 2002). Densidades de estocagem de camarão mais elevadas que 200 animais/m² são factíveis desde que os camarões sejam despescados menores, refletindo em uma menor biomassa final.

ARNOLD *et al.* (2006) relataram ter alcançado sobrevivência de $79.5 \pm 2.7\%$ com o *Penaeus monodon* em densidades de 1.000 a 2.000 camarões/m³ utilizando substratos artificiais. No estudo, os autores relataram que os animais foram povoados como PL15 (pós-larva com 15 dias de vida) e despescados com $0,64 \pm 0,06$ g (2.000 camarões/m³) a $1,17 \pm 0,01$ g (1.000 camarões/m³). Estes dados são bem inferiores aos pesos corporais obtidos na despesca do presente estudo, quando foram observados pesos médios entre $11,27 \pm 2,10$ g e $14,95 \pm 3,02$ g.

Da mesma forma, WASIELESKY *et al.* (2006) trabalhando com um sistema super-intensivo com uso de flocos microbianos relataram uma sobrevivência acima de 99,09% para uma biomassa de estocagem de camarão de 1.621,8 g/m² na despesca. Os autores adotaram uma densidade de 300 cam./m² com peso inicial de $1,82 \pm 0,71$ g e final de $5,43 \pm 0,36$ g. A biomassa alcançada por Wasielesky *et al.* (2006) foi semelhante à obtida no presente estudo quando também se utilizou 300 cam./m².

Concluiu-se que o sistema heterotrófico da forma como foi concebido no LABOMAR consegue suportar uma biomassa estocada de até $2,4 \pm 0,76$ kg de camarão por m². Biomassas mais elevadas resultaram em um colapso do sistema de cultivo evidenciado por uma baixa sobrevivência de camarões. Provavelmente a queda de sobrevivência em densidades mais elevadas está relacionada a um aumento substancial de compostos nitrogenados não mineralizados no sistema de cultivo, já que a possibilidade de canibalismo ou de um estresse físico pode ser parcialmente descartada.

NGA *et al.* (2005) avaliando o efeito de altas densidades (50 e 100 cam./L) sob o crescimento e a sobrevivência do *Penaeus monodon*, concluíram que a interferência física do estresse e do canibalismo não foram os fatores causais para um menor crescimento e sobrevivência da espécie, mas sim aspectos químicos da água. Dentre os parâmetros analisados, a toxicidade amoniacal foi o fator mais provável para um menor desempenho do camarão.

5.3. Efeito do Sistema de Cultivo sobre o Desempenho Biológico dos Camarões

No presente estudo ocorreu uma relação inversamente proporcional entre densidade de cultivo e peso final dos camarões. Além desse fator, nas duas últimas etapas de cultivo houve uma diferença também entre o peso final e o sistema de cultivo empregado. Em alguns casos, os animais cultivados em sistema heterotrófico apresentaram peso final menor do que os animais cultivados em sistema autotrófico. Isso foi caracterizado na segunda etapa na densidade de 100 camarões/m² e na terceira etapa na densidade de 50 camarões/m². As demais densidades das etapas 2 e 3 não apresentaram esse comportamento.

No presente trabalho, o peso final dos camarões em todas as etapas de cultivo foi influenciado pelos dois fatores densidade de estocagem e sistema de cultivo. Foi observado que em menores densidades de estocagem os animais tendem a crescer mais do que os animais cultivados em densidades maiores. Ou seja, nas etapas 2 e 3, o peso final dos animais foi maior na densidade de 100 camarões/m², enquanto na quarta etapa, a densidade de 50 camarões/m² apresentou maiores valores quando comparado com as demais densidades. Em relação ao sistema empregado, os camarões cultivados em sistema heterotrófico tiveram peso final maior somente na segunda etapa. Nas etapas subsequentes, o sistema autotrófico beneficiou o peso final dos animais. Isso deve ter ocorrido devido ao fato de que todos os animais da segunda etapa foram alimentados com rações com mesmo nível protéico. Os animais das etapas 3 e 4 foram alimentados com diferentes níveis de proteína bruta na ração onde, no sistema autotrófico continha maior quantidade de proteína do que no sistema heterotrófico.

Algo semelhante ocorreu em um trabalho feito por WASIELESKY *et al.* (2006). Os autores realizaram o cultivo do *Litopenaeus vanamei* em três diferentes tratamentos. Cada tratamento se diferenciava pela origem da água onde os animais foram cultivados. As origens foram água de *receways* (água de sistema heterotrófico), água mista (contendo metade de *raceways* e metade água clara) e água clara. Em cada tratamento

os animais foram alimentados com diferentes níveis de proteína bruta na ração (25% ou 35%) ou foram cultivados sem alimentação. Os autores reportaram que os animais tiveram um maior peso final quando foram alimentados com rações com maior nível de proteína apesar do sistema empregado. Ou seja, apesar dos animais serem cultivados com alguma fonte alternativa de alimento na água, o nível nutricional na dieta influenciou o peso final dos animais. Em um estudo por McIntosh *et al.* (2000) o camarão *L. vannamei* foi cultivado em baixa densidade (40 camarões/m²) sem troca de água e com rações com baixo teor protéico (21% de PB). Os autores concluíram que a suplementação na alimentação do *L. vannamei* com bactérias não promoveu o crescimento maior dos animais quando comparado aos alimentados sem essa suplementação, apesar do baixo nível protéico na dieta. Contudo, esses autores fizeram unicamente a adição de bactérias à ração, não tendo realizado o controle da relação C:N no sistema de cultivo.

No presente estudo, o crescimento semanal dos camarões também apresentou diferença entre as densidades de cultivo em todas as etapas. Na segunda etapa, os animais que foram cultivados na densidade de 100 camarões/m² apresentaram um crescimento igual tanto para o sistema autotrófico quanto para o heterotrófico. As demais densidades (150 e 200 camarões/m²) apresentaram dados estatisticamente iguais para os dois sistemas de cultivo diferenciando-se apenas da menor densidade. As médias de crescimento semanal na última etapa foram maiores do que as etapas anteriores. Isto demonstrou que o crescimento semanal dos camarões também foi influenciado pela densidade de cultivo.

Análises estatísticas demonstraram que no presente estudo o crescimento semanal dos camarões foi afetado exclusivamente pela densidade, ou seja, o sistema empregado não causou efeito positivo e nem negativo para esse parâmetro. Nas etapas 2 e 3, que operaram com densidades de cultivo iguais, 100, 150 e 200 camarões/m², o crescimento semanal foi diferenciado. O crescimento semanal dos camarões na etapa 2, alcançou resultados abaixo dos esperados quando comparados com o crescimento observado na etapa 3. O uso diário de carboidrato diário deve ter influenciado positivamente nesse parâmetro devido ao desenvolvimento das bactérias através da adição de melão. Buford *et al.* (2004) reportaram que aproximadamente 29% do alimento diariamente ingerido pelo *L. vannamei* pode originalmente dos organismos existente nos flocos do sistema heterotrófico. Porém, o uso de bioflocos só é apropriado para espécies que consomem o floco diretamente (AZIM & LITTLE, 2008).

Outra diferença entre essas as etapas 2 e 3 do presente estudo foi o uso de rações com baixo teor protéico no sistema heterotrófico. Um caso a parte foi o da quarta etapa, onde os animais tiveram um crescimento semanal maior do que os animais das etapas 2 e 3. Isto se deve primordialmente a adoção de menores densidades de estocagem de camarão na quarta etapa (50, 75 e 100 camarões/m²) comparado com as etapas 2 e 3 (100, 150 e 200 camarões/m²). Isto mais uma vez reforça que a densidade influencia no crescimento dos camarões. Contudo, em alguns trabalhos é evidenciado que os parâmetros de crescimento podem ser contribuídos pelo nível de proteína na ração e pela produção natural na coluna d'água (WASIELESKY *et al.*, 2006).

Em relação à sobrevivência e produtividade dos camarões, a quarta etapa não apresentou diferença entre o sistema e a densidade de cultivo. Nas etapas 2 e 3 de cultivo, não houve diferença entre as densidades de estocagem empregadas. Na 2ª etapa de cultivo, os animais cultivados em sistema heterotrófico apresentaram sobrevivência e produtividade menores do que no sistema convencional nas duas maiores densidades de cultivo (150 e 200 camarões/m²). Em contraste a esses resultados, na etapa seguinte a menor sobrevivência e produtividade ocorreram na densidade de 200 camarões/m² no sistema autotrófico. Provavelmente isso ocorreu devido o aporte diário de carboidrato na etapa 3. Com isso os bioflocos puderam encontrar um ambiente propício ao seu desenvolvimento promovendo uma melhor ambiente de cultivo para o crescimento dos animais. Apesar de não ter sido feita análise de compostos nitrogenados nas etapas 2 e 3, provavelmente essa diferença na frequência de aporte de carboidrato dado nas duas etapas influenciariam no acúmulo desses compostos.

No presente trabalho, na quarta etapa do estudo, a sobrevivência dos camarões não sofreu influência da densidade de estocagem ou do sistema de cultivo empregado. Ao contrário, a sobrevivência foi diferente nas etapas 2 e 3 influenciadas tanto pela densidade quanto pelo sistema. Na etapa 3 o sistema heterotrófico influenciou positivamente em relação à sobrevivência dos animais em contraste com a etapa 2 em que esse sistema afetou negativamente. Além disso, a sobrevivência dos animais na etapa 3 foi maior do que na etapa 2. Esses diferentes comportamentos de sobrevivência ocorreram provavelmente devido ao desenvolvimento das bactérias heterotróficas através da adição diária de melão na etapa 3. A falta de controle da relação de C:N prejudicou a sobrevivência do camarões na segunda etapa de cultivo. O cultivo de camarões em sistema heterotrófico sem troca de água não causa efeito negativo na sobrevivência, peso final, fator de conversão alimentar, promovendo uma boa qualidade

da água de cultivo proporcionando o cultivo em longas durações (McINTOSH *et al.*, 2000). WASIELESKY *et al.* (2006) obtiveram sobrevivência de 98% quando cultivaram o camarão *L. vannamei* com densidade de 300 animais/m², sendo este um resultado bem superior ao presente estudo. Os autores chegaram à conclusão de que os camarões dessa espécie são bem resistentes para serem cultivados em altas densidades. Apesar dos autores terem realizado um cultivo com densidades elevadas, estes empreenderam um cultivo com animais menores ($1,82 \pm 0,71$ g) por um período mais curto (20 dias) do que o presente estudo. Outro fator diferente do presente estudo foi à taxa de renovação de água em todos os tratamentos utilizados na ordem de 50 trocas/dia. Esses fatores com certeza contribuíram para que o ambiente de cultivo não oferecesse qualquer risco que pudesse influenciar na sobrevivência dos camarões cultivados.

No presente estudo, a produtividade (g/m²) de camarões na quarta etapa foi outro fator que não sofreu influência da densidade estocagem e do sistema de cultivo empregado. Na etapa 3 a produtividade só foi influenciada pela densidade onde, as densidades de 100 e 150 camarões/m² obtiveram os maiores resultados. Em contrapartida, na segunda etapa, o sistema autotrófico influenciou positivamente no cultivo dos animais. Ao ser avaliada a produtividade nas etapas 3 e 4, pode ser observado que os animais do sistema heterotrófico tiveram uma produção maior que os animais do sistema autotrófico, apesar de ambas as etapas não terem sofrido influência estatística no sistema. SAMOCHA *et al.* (2007) verificaram que o uso de melão não comprometeu o desempenho do *L. vannamei* na fase inicial do cultivo em sistema heterotrófico.

Na terceira etapa do presente estudo, a produtividade no sistema heterotrófico foi de 1.202 g/m², ou seja, 12.020 kg/ha. BOYD & CLAY (2002) avaliaram a produção em Belize chegando a uma produtividade anual em 2002 de 11.200 kg/ha. Quando se extrapola a produtividade da terceira etapa do estudo, foi verificado um maior valor comparado com dados reais de um cultivo em sistema heterotrófico relatado por BOYD & CLAY (2002). As densidades utilizadas na etapa 3 foi de 100, 150 e 200 camarões/m² com o sistema heterotrófico diferenciado por receber melão diariamente e rações com baixo teor protéico. HOPKINS *et al.* (1995) mostraram que a proteína bruta da dieta dos camarões pode ser reduzida de 40% para 22% sob altas densidades de estocagem e mesmo limitando a troca d'água, pode ser alcançado resultados aceitáveis de produtividade.

Na etapa 4 do presente estudo, a produtividade do sistema heterotrófico foi maior do que no sistema autotrófico, porém os dados foram bem inferiores quando comparados com a etapa anterior. Assim, cultivar camarões em sistema heterotrófico em baixas densidades faz com que os resultados de produtividades sejam menores, porém resulta em animais com crescimento individual mais elevado.

6. CONCLUSÕES

O oxigênio dissolvido mensurado em três horários diferentes apresentou dados diferenciados em cada horário. Sendo o horário do período da tarde com menores valores de OD. Como a salinidade não foi estatisticamente diferente entre os tratamentos, outros fatores podem ter influenciado como a temperatura da água e a adição de carboidrato em algumas etapas. Além disso, o OD foi menor nas etapas em que foi utilizada adição de melão diariamente.

A salinidade foi um parâmetro que não teve diferença estatística significativa entre os tratamentos em teste. Apresentando dados que não influenciaram no crescimento dos animais nem em outros aspectos de qualidade de água.

Em todas as etapas o pH decresceu de acordo com o tempo de cultivo devido ao aumento da biomassa de animais cultivados e de microorganismos. Esses organismos consumiam oxigênio e liberavam CO₂ para o meio e, por consequência ocorria diminuição de pH acidificando o meio.

Os compostos nitrogenados não tiveram influência na densidade e nem no sistema cultivado. Demonstraram uma tendência de acúmulo durante o cultivo provavelmente devido ao aporte de nitrogênio proveniente das rações ofertadas. Alguns resultados podem nos mostrar o desenvolvimento de bactérias heterotróficas como o controle da manutenção da amônia nitrogenada entre as duas últimas medições e, a diminuição de nitrato no decorrer do cultivo. O nitrato é o produto final de bactérias quimioautotróficas (*nitrobacter*), portanto, a diminuição desse composto pode demonstrar que a ciclagem no nitrogênio está sendo feita pelas bactérias heterotróficas. Estas incorporam compostos nitrogenados prejudicando as outras “vias” do ciclo natural do nitrogênio.

O fósforo reativo também se acumulou dentro dos tanques no decorrer do cultivo. Esse acúmulo pode ser atribuído a falta de renovação de água e o cultivo sem o contato direto da água com algum tipo de substrato (solo). Em viveiros de cultivo o solo tem um papel preponderante na absorção de fósforo da água de cultivo. Ou seja, se um cultivo for feito impedindo esse contato, o fósforo reativo dissolvido na água tenderá a um acúmulo.

A adição de melão promoveu o desenvolvimento do floco. Ou seja, o controle da relação C/N feita através da adição de uma fonte de carboidrato pode promover o desenvolvimento do floco sem causar efeito prejudicial aos animais. Vale ressaltar que é necessário o uso de aerações contínuas.

O peso final, crescimento semanal e produtividade dos animais são influenciados pela densidade de cultivo. Os animais cultivados em maiores densidades tendem a serem menores do que os cultivados em menores densidades. O sistema empregado pode ter influenciado negativamente no peso final dos animais. Provavelmente pelo fato do sistema heterotrófico utilizar rações com baixo teor protéico. Contudo, a produtividade observada nesse estudo nos sistema heterotrófico (quando utilizado melaço diário) é maior do que o sistema autotrófico. Essa produtividade é equiparada à produtividades praticadas em fazendas comerciais que utilizam este sistema. Em sistema de baixas densidades a produtividade é menor porém apresenta indivíduos maiores.

A falta de controle de C/N pode prejudicar na sobrevivência dos animais devido ao acúmulo de compostos nocivos as animais cultivados. Em geral, houve um aumento na mortalidade quando se operou com densidades acima de 150 camarões/m².

O controle da relação C/N é essencial para a manutenção de níveis ideais de crescimento do *L. vannamei* em sistema heterotrófico. O cultivo em sistema heterotrófico pode ser empregado com diminuição do nível de proteína e sem haver troca de água no sistema. Os resultados indicaram que houve uma melhor manutenção do cultivo de *Litopenaeus vannamei* em sistema heterotrófico, em densidades de até 150 camarões/m².

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVNIMELECH, Y., MOKADY, S., SCHROEDER, G.L., 1989. Circulated ponds as efficient bioreactors for single-cell protein production. **Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh**, 41 (2), 58–66.

AVNIMELECH, Y., KOCHVA, M., DIAB, S., 1994. Development of controlled intensive aquaculture systems with a limited water exchange and adjusted carbon to nitrogen ratio. **Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh**, 46 (3), 119–131.

AVNIMELECH, Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**, 176, 227–235, 1999.

AVNIMELECH, Y. **Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds**. *Aquaculture*. 264. 140-147. 2007.

AVNIMELECH, Y., KOCHBA, M. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using ¹⁵N tracing. **Aquaculture**, 287, 163–168, 2009.

AZIM, M.E., LITTLE, D.C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, 283, 29–35, 2008.

AZIM, M.E., LITTLE, D.C., BRON, J.E. Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. **Bioresource Technology**, 99, 3590–3599, 2008

BOYD, C.E. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Auburn University, Auburn, AL, EUA, 482 pp, 1990.

BOYD, C.E., CLAY, J. Evaluation of Belize Aquaculture Ltd.: s superintensive shrimp aquaculture system. Shrimp Farming and the Environment. Report prepared under the **World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment**, 17 pp., 2002.

BURFORD, M.A., THOMPSON, P.J., MCINTOSH, B.R.P., BAUMANB, R.H., PEARSON, D.C. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. **Aquaculture**, 219, 393–411, 2003.

BURFORD, M.A., THOMPSON, P.J., MCINTOSH, R.P., BAUMAN, R.H., PEARSON, D.C. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. **Aquaculture**, 232, 525–537, 2004.

CHAIGNON, V., LARTIGES, B.S., EL SAMRANI, A., MUSTIN, C. Evolution of size distribution and transfer of mineral particles between flocs in activated sludges: an insight into floc exchange dynamics. **Water Res.**, 36, 676–684, 2002

CHEN, S., LING, J., BLANCHETON, J.P. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. **Aquac. Eng.**, 34, 179–197, 2006.

CHUNG, H.Y., LEE, D.J. Porosity and interior structure of flocculated activated sludge floc. **J. Colloid Interface Sci.**, 267, 136–143, 2003.

CRAB, R., AVNIMELECH, Y., DEFOIRDT, T., BOSSIER, P., VERSTRAETE, W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, 270, 1–14, 2007.

CRAB, R., KOCHVA, M., VERSTRAETE, W., AVNIMELECH, Y. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. **Aquacultural Engineering**, 40 105–112, 2009.

CHAMBERLAIN, G., AVNIMELECH, Y., MCINTOSH, R.P., VELASCO, M.. Advantages of aerated microbial reuse systems with balanced C:N. **Global Aquaculture Advocate**, 53-56, 2001.

DE SCHRYVER, P., CRAB, R., DEFOIRDT, T., BOON, N., VERSTRAETE, W. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. **Aquaculture**, 277, 25-137. 2008.

DECAMP, O., CODY, J., CONQUEST, L., DELANOY, G., TACON, A.G.J. Effect of salinity in natural community and production of *Litopenaeus vannamei* (Boone), within experimental zero-water exchange culture system. **Aquaculture Research**, 34, 345-355, 2003.

DEFOIRDT, T., HALET, D., VERVAEREN, H., BOON, N., VAN DE WIELE, T., SORGELOOS, P., BOSSIER, P., VERSTRAETE, W. The bacterial storage compound poly- β -hydroxybutyrate protects *Artemia franciscana* from pathogenic *Vibrio campbellii*. **Environ. Microbiol.**, 9, 445–452, 2007.

ESTEVEZ, F.A. Fundamentos da Liminologia. Rio de Janeiro, Editora Interciência, FINEP, pg. 210, 1988.

JORAND, F., ZARTARIAN, F., THOMAS, F., BLOCK, J.C., BOTTERO J.Y., VILLEMIM, G., URBAIN, V., MANEM, J. Chemical and structural (2d) linkage between bacteria within activated-sludge flocs. **Water Res.**, 29, 1639–1647. 1995.

HARGREAVES, J.A. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. **Aquac. Eng.**, 34, 344–363, 2006.

HARI, B., KURUP, B.M., VARGHESE, J.T., SCHRAMA, J.W., VERDEGEM, M.C.J. The effect of carbohydrate addition on water quality and the nitrogen budget in extensive shrimp culture systems. **Aquaculture**, 252, 248–263, 2006.

HOLLENDER, J., VAN DER KROL, D., KORNBERGER, L., GIERDEN, E., DOTT, W. Effect of different carbon sources on the enhanced biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor. **World J. Microbiol. Biotechnol.**, 18 (4), 355–360, 2002.

HOPKINS, J.S., SANDIFER, P.A., BROWDY, C.L. A review of water management regimes which abate the environmental impact of shrimp farming. In: C.L., Browdy,

J.S., Hopkins (Eds.), Swimming through troubled water. **World Aquaculture Society**, Baton Rouge, Louisiana, EUA, pp. 13–22, 1995.

HEMPEL, E., WINTHER, U., HAMBREY, J.. Shrimp Farming and the Environment: Can shrimp farming be undertaken by a developing country profitably and sustainably? **World Bank/NACA/FAO/WWF Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment**, 2002.

JACKSON, C., PETERSON, N., THOMPSON, P.J., BURFORD, M.. Nitrogen budget and effluent nitrogen components at an intensive shrimp farm. **Aquaculture**, 218: 397–411, 2003.

LIN, Y.C., CHEN, J.C.. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. **Aquaculture**, 224, 193–201, 2003.

MCINTOSH, R.; Changing Paradigms in Shrimp Farming. IV: Low protein feeds and feeding strategies. **Global Aquaculture Alliance**, April, 2000.

MCINTOSH, D., SAMOCHA, T.M., JONES, E.R., LAWRENCEA, A.L., MCKEE, D.A., HOROWITZ, S., HOROWITZ, A. The effect of a commercial bacterial supplement on the high-density culturing of *Litopenaeus vannamei* with a low-protein diet in an outdoor tank system and no water exchange **Aquac. Eng.**, 21, 215–227, 2000.

MCINTOSH, R.P.. Changing paradigms in shrimp farming: V. establishment of heterotrophic bacterial communities. **Global Aquaculture Advocate**, 52–54, 2001.

MCNEIL, R.. Zero exchange, aerobic, heterotrophic systems: key considerations. **The Global Aquaculture Advocate**, 3:72–76, 2000.

MENASVETA, P.. Improved shrimp grow-out systems for disease prevention and environmental sustainability in Asia. **Reviews in Fisheries Science**, 10: 391–402, 2002.

NGA, B.T., LÜRLING, M., T. PEETERS, E.T.H.M., ROIJACKERS, R., SCHEFFER, M, NGHIA, T.T.. Chemical and physical effects of crowding on growth and survival of *Penaeus monodon* Fabricius post-larvae. **Aquaculture**, 246: 455–465, 2005.

NUNES, A.J.P., MARTINS, P.C.C., GESTEIRA, T.C.V.. Vírus da Mionecrose Infeciosa (IMNV) no cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei* no Brasil. **Panorama da Aqüicultura**, 14: 37–51, 2004.

NUNES, A.J.P.. Um ano de mudanças, perdas e ganhos. **Panorama da Aqüicultura**, 92: 26–33, 2005.

OEHMEN, A., YUAN, Z., BLACKALL, L.L., KELLER, J. Short-term effects of carbon source on the competition of polyphosphate accumulating organisms and glycogen accumulating organisms. **Water Sci. Technol.** 50 (10), 139–144, 2004.

PIEDRAHITA, R.H. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. **Aquaculture**, 226 (1–4), 35–44, 2003.

SALEHIZADEH, H., VAN LOOSDRECHT, M.C.M. Production of polyhydroxyalkanoates by mixed culture: recent trends and biotechnological importance. **Biotechnol. Adv.**, 22 (3), 261–279, 2004.

SAMOCHA, T.M., PATNAIK, S., SPEED, M., ALI, A-M., BURGER, J.M., RODRIGO ALMEIDA, V., AYUB, Z., HARISANTO, M., HOROWITZ, A., BROCK, D.L. Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. **Aquac. Eng.**, 36, 184–191, 2007.

SUGIURA, S.H., MARCHANT, D.D., WIGINS, T., FERRARIS, R.P. Effluent profile of commercially used low-phosphorus fish feeds. **Environ. Pollut.**, 140, 95–101, 2006.

SPICER, P.T., PRATSINIS, S.E. Shear-induced flocculation: the evolution of floc structure and the shape of the size distribution at steady state. **Water Res.**, 30 (5), 049–1056, 1996.

TACON A.G.J., CODY J.J., CONQUEST L.D., DIVAKARAN S., FORSTER, I.P., DECAMP, O.E. Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific whiteshrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. **Aquaculture Nutrition**, 2002.

TILLEY, D.R., BADRINARAYANAH, H., ROSATI, R., SON, J.. CONSTRUCTED wetlands as recirculation filters in large-scale shrimp aquaculture. **Aquacultural Engineering**, 26: 81-109, 2002.

VELASCO, M., LAWRENCE, A., L., NEIL, W.H. Effects of dietary phosphorus level and inorganic source on survival and growth of *Penaeus vannamei* postlarvae in zero-water exchange culture tanks. **Aquat. Living Resou.**, 11, 29-33 I, 1998.

WALSH, P.J., WRIGHT, P.A. Nitrogen Metabolism and Excretion. **CRC Press**, Florida, EUA. 352 pp., 1995.

WASIELESKY JR., ATWOOD, W., STOKES, H., BROWDY, C. 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, 2006.

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