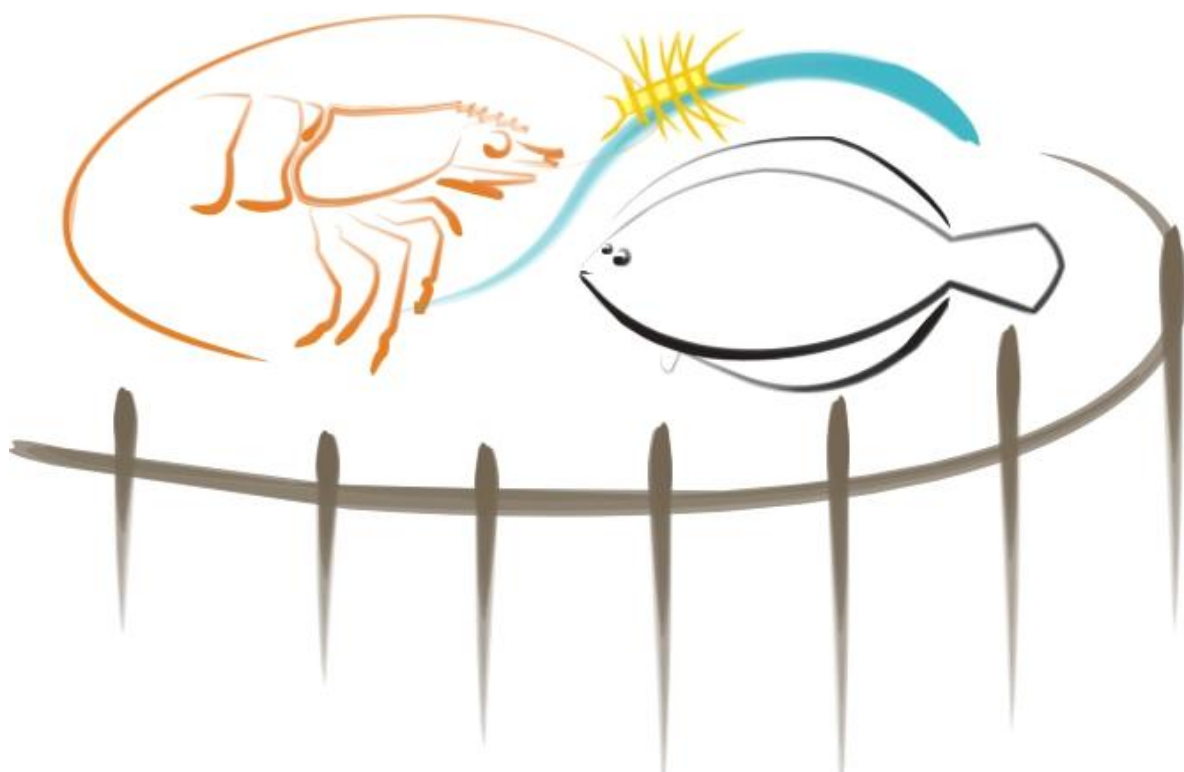




UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA



**EFEITO DA REMOÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS E
DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DO CAMARÃO *Litopenaeus*
vannamei EM SISTEMA SUPERINTENSIVO COM BIOFLOCOS**

CARLOS AUGUSTO PRATA GAONA

Rio Grande – RS

Fevereiro de 2011

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

**EFEITO DA REMOÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS E
DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DO CAMARÃO *Litopenaeus*
vannamei EM SISTEMA SUPERINTENSIVO COM BIOFLOCOS**

Carlos Augusto Prata Gaona

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Aquicultura como parte dos
requisitos para obtenção do título
de Mestre em Aquicultura.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Wasielesky Jr.

Co-orientador: Prof. Dr. Luís Henrique S. Poersch

RIO GRANDE – RS

Fevereiro de 2011

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FIGURAS	iv
DEDICATÓRIA	vi
AGRADECIMENTOS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
OBJETIVOS	5
Objetivos Específicos.....	5
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	6
ARTIGO CIENTÍFICO	11
Resumo	12
Abstract	13
Introdução.....	14
Materiais e Métodos	16
Resultados	20
Discussão.....	28
Conclusão	33
Agradecimentos	33
Referências Bibliográficas	34

Lista de tabelas

Tabela 1. Valores dos parâmetros monitorados durante o período de aplicação do clarificador, com média \pm desvio padrão dos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas. 23

*Tabela 2. Comparativo de desempenho zootécnico de *L. vannamei* entre os tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC) do experimento. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas.* 26

Lista de figuras

Introdução geral

Figura 1. Ilustração referente a decantação de partículas durante o processo de clarificação, com acúmulo de material sedimentado no fundo da caixa de sedimentação...... 4

Artigo científico

Figura 1. Clarificador montado em uma caixa de 1000 L no lado externo da estufa.... 17

Figura 2. Desenho esquemático referente ao clarificador desenvolvido e instalado no lado externo da estufa. As setas indicam o fluxo de água mantido durante a clarificação, por uma bomba submersa de 4500 L/h...... 18

Figura 3. Variações de temperatura ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo...... 20

Figura 4. Variações de alcalinidade ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo...... 21

Figura 5. Variações de amônia (a), nitrito (b) e nitrato (c) ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo...... 22

Figura 6. Variações de fosfato ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo...... 23

Figura 7. Variações das concentrações de sólidos suspensos totais (SST) ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo. 24

Figura 8. Variações da turbidez ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo..... 24

Figura 9. Variações das concentrações de clorofila a ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo..... 25

Figura 10. Variações das concentrações de oxigênio dissolvido durante o experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo..... 25

Figura 11. Variações de pH ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo. 26

*Figura 12. Crescimento durante o estudo (a), conversão alimentar aparente (b), sobrevivência (c) e produção (d) de *L. vannamei*, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo. 27*

DEDICATÓRIA

**Aos meus pais Antonio e Eloísa
e irmãos Paulo e Antonio.
Aos meus sogros José e Ana.
A minha esposa Ana Paula
e filhos Pedro e Júlia.**

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Wilson Wasielesky Jr. (Mano) pelas consistentes contribuições a minha dissertação e por acreditar.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Luis Poersch (Mineiro) pelas sugestões durante o experimento.

Ao Prof. Dr. Kleber Miranda Filho (Pai Kleber), pela amizade e ajuda no início desta nova fase.

Aos amigos Dariano (Cabelinho), Geraldo (Leãozinho) e Gabi, pelas relevantes opiniões e sugestões.

Ao Prof. Dr. Marcelo Tesser, por esclarecimentos e amizade consolidada a tempos.

Ao Prof. Dr. Eduardo Ballester, pelas sugestões neste estudo e ensinamentos de larvicultura.

Ao Prof. Dr. Paulo César Abreu, pela atenção dedicada a esse trabalho, contribuindo com sugestões e esclarecimentos relevantes.

Aos amigos Luciano, Marcos, Fabiane Serra e Carol, pelas inestimáveis ajudas durante o experimento.

Aos amigos da EMA, Charles, Diogo, André, Mércia, Sabrina, Cíntia, Fábio, Paula, Ricardo, Okamoto, Shei, Plínio, William e Alessandro.

Aos colegas da pós-graduação.

Ao Sandro, pelas análises químicas do meu experimento.

Aos vigilantes Nero, Lúcio, Fabiano e José, e colaboradores Seu Hermes, Dona Lina, Ana Paula e Marcelo Cornetet, pelo apoio operacional da EMA.

Ao Seu João, Dona Maria Alice e Miguel Dib pelo apoio em minha vida acadêmica.

A minha família que sempre me apoiou nas decisões da minha vida.

RESUMO

A carcinicultura destaca-se pela crescente demanda da atividade, além do alto valor de mercado dos crustáceos. Em função do atrativo comercial, a carcinicultura passou a ser uma alternativa de produção frente a exploração dos recursos naturais. No Brasil, a carcinicultura se intensificou na década de 90 com a espécie *Litopenaeus vannamei*. Ações tomadas em função da redução de efluentes ricos em nutrientes e de preocupações ambientais, proporcionaram a implantação de um sistema com mínima ou nenhuma renovação de água, onde a produtividade natural incrementa a dieta dos camarões, acarretando em maior produção do cultivo. Porém em sistema fechado a rápida eutrofização por nutrientes e excesso de sólidos suspensos torna-se um problema para o cultivo. Para isso a clarificação passa a ser uma alternativa para o controle de matéria orgânica particulada em suspensão, podendo refletir na melhora dos parâmetros de qualidade de água de cultivo superintensivo de *Litopenaeus vannamei* em sistema de bioflocos.

ABSTRACT

The shrimp culture is characterized by the ever-increasing demand of activity, besides the high market value of shellfish. Due to the attractive commercial importance shrimp farming has become an alternative compared to the exploitation of natural resources. Shrimp farming in Brazil has intensified in the 90s with the use of the species *Litopenaeus vannamei*. Actions taken to afford reduction of effluents and environmental issues, provided the deployment of a system with minimal or no water renewal, where productivity increases the natural diet of prawns, resulting in higher crop production. However, in a closed system to rapid eutrophication by excess of nutrients and suspended solids becomes a problem for culture. Therefore, the clarification becomes an alternative for the control of particulate organic matter in suspension, possibly generating on improvement of water quality parameters in super-intensive culture of *Litopenaeus vannamei* in bioflocs system.

INTRODUÇÃO GERAL

A aquicultura corresponde ao setor de produção animal com maior taxa de crescimento, sendo a carcinicultura um dos destaques do setor, já que os crustáceos apresentam alto valor de mercado (FAO, 2008), uma vez que o camarão é um dos mais importantes produtos da pesca comercializados internacionalmente, com um valor de US\$ 10 bilhões, ou em termos de proporções, 16% das exportações do pescado mundial (FAO, 2009). Porém a importância econômica deve ser conciliada com os impactos ambientais da pesca de camarão. Em função do atrativo comercial, a carcinicultura passou a ser uma alternativa de produção frente à exploração dos recursos naturais.

No Brasil, essa atividade teve início em 1973, no Rio Grande do Norte. No entanto, devido a problemas nas áreas de reprodução, produtividade e resistência a doenças, a carcinicultura brasileira buscou soluções com a introdução da espécie exótica *Litopenaeus vannamei* ainda na década de 80, sendo consolidada na década de 90 (Borghetti et al., 2003) devido a sua adaptação às mais variadas condições ambientais. O desenvolvimento obtido com a introdução desta espécie, contribuiu muito com o sucesso das fazendas de camarão marinho, tornando-as um processo comercialmente produtivo, resultando numa estrutura nova no setor de ração industrial, laboratórios de produção de pós-larva e projetos de engenharia (Rocha, 2000). A amplitude do litoral brasileiro permitiu a abertura de vários cultivos de camarão, tornando-se viável até em regiões de temperaturas mais baixas com o sul do Brasil, podendo trabalhar com uma safra longa ou duas safras curtas (Krummenauer et al., 2010).

A busca pela redução de efluentes ricos em nutrientes, soluções de doenças e alta valorização de áreas litorâneas, promoveu, na década de 90, a intensificação de estudos de cultivo sem renovação de água no Waddell Mariculture Center, nos Estados Unidos (Sandifer e Hopkins, 1996) com sucessivas modificações (Boyd e Clay, 2002; Burford et al., 2003; Wasielesky et al., 2006). Segundo Otoshi et al. (2006), uma das vantagens desse sistema é a possibilidade de produzir 1 kg de camarão com apenas 160 litros de água, enquanto que para os sistemas convencionais são necessários 64.000 litros para a mesma produção (Hopkins et al, 1993).

A limitada ou nenhuma renovação de água para o cultivo torna necessário o revestimento dos viveiros ou tanques com material impermeável, proporcionando um acúmulo de sólidos e matéria orgânica derivada do alimento ofertado e da produtividade natural (Cohen et al., 2005; Wasielesky et al., 2006). De acordo com Thakur e Lin (2003), o maior problema associado aos sistemas fechados de produção de camarão é o

potencial de rápida eutrofização, resultante do acréscimo da concentração de nutrientes e matéria orgânica durante o cultivo, onde o sucesso depende de um equilíbrio entre a produção de resíduos e a capacidade de assimilação do ambiente de cultivo. No entanto, os microorganismos desempenham papel importante na manutenção da qualidade da água que, pelo suprimento de oxigênio, convertem metabólitos tóxicos a formas de menor toxicidade, além de atuar na oxidação da matéria orgânica (Moss et al., 2001).

Essa condição de retenção de nutrientes no sistema, cria oportunidade para a formação de uma biota predominantemente heterotrófica (Wasielesky et al., 2006; Hargreaves, 2006; Avnimelech, 2009a; Vinatea et al., 2010) que, através de uma relação C:N adequada, promove a metabolização de compostos nitrogenados do sistema (Avnimelech, 1999). Através de produção natural de proteína microbiana pela assimilação do nitrogênio do cultivo, há o incremento nutricional nos viveiros (Moss et al., 2001; Samocha et al., 2001; Wasielesky et al. 2006; Avnimelech, 2009a; Ballester et al., 2010). A produtividade natural consiste na formação dos bioflocos, que são agregados microbianos constituídos por bactérias, algas, fungos, protozoários, rotíferos, nematóides, restos de alimento, organismos mortos entre outros (Bratvold e Browdy, 2001; Wasielesky et al. 2006). Estas características de suplementação natural, associadas à implementação de substratos artificiais, permitem ao sistema a utilização de maiores densidades de estocagem (Wasielesky et al., 2006; Ballester et al., 2007). Para comportar a respiração na coluna da água pelos organismos de cultivo, microorganismos aeróbicos e decomposição da matéria orgânica, o sistema exige forte aeração para manutenção dos níveis de oxigênio dissolvido e o material particulado em suspensão (Avnimelech, 2007, 2009; Schryver et al., 2008).

As contribuições de reciclagem de nutrientes e suplementação nutricional, levam ao melhor desempenho dos camarões em relação à taxa de crescimento, ganho de peso, conversão alimentar, resistência a doenças, consumo de ração e sobrevivência (Otoshi et al., 2001; Tacon et al., 2002; Wasielesky et al., 2006). Estes sistemas conhecidos também por “ZEAH” (*Zero Exchange, Aerobic, Heterotrophic Culture Systems*), caracterizam-se por elevadas produções (Browdy et al., 2001; Hopkins et al., 1995). Devido à formação de bioflocos (agregados microbianos), este sistema leva à denominação atual do cultivo como *Biofloc Technology System* – BFT (Avinmelech, 2009b; Emerenciano, 2009; Leffler et al., 2009; Wasielesky et al., 2009).

Todo esse desenvolvimento tecnológico vem atendendo aspectos normativos e legais para regulamentar a carcinicultura como uma atividade ambientalmente correta.

Uma das críticas que acompanha a carcinicultura convencional consiste na elevada descarga de efluentes ricos em nutrientes (compostos nitrogenados e fosfatados) e matéria orgânica dissolvida à ambientes adjacentes (Boyd, 2003). Esses problemas exigem a aplicação de novas técnicas para a manutenção da qualidade da água e sustentabilidade dos recursos hídricos, consorciado a rentabilidade do cultivo por meio de densidades de estocagem e alimentação adequadas.

Além da mínima ou nenhuma taxa de renovação de água ao longo do período de cultivo (Hopkins et al., 1995; Wasielesky et al., 2006), outros estudos propõem técnicas para melhorar a qualidade da água dos efluentes, dividindo-se em diferentes estratégias como, utilização de organismos filtradores como moluscos e assimiladores de nutrientes como micoralgas e macroalgas (Shpigel e Neori, 1996, Wong et al., 1995, Pagand et al., 2000) e tratamentos integrados entre sedimentação, macroalgas e moluscos (Jones et al., 2001; Ramos et al, 2009), construção de “wetland” com macrófitas (Tilley et al., 2002), tanques de sedimentação (Teichert-Coddington et al., 1999) e clarificação em escala laboratorial (Ray et al., 2010).

Tão importante quanto as questões ambientais é a qualidade da água nos sistemas BFT. Por ser um sistema fechado, um dos maiores problemas na qualidade da água é a rápida eutrofização, devido ao aumento das concentrações de nutrientes e matéria orgânica durante o cultivo (Thakur e Lin, 2003), levando a uma produção muito maior de biomassa bacteriana quando comparado com a biomassa de fitoplâncton em cultivos autotróficos e conseqüente incremento de sólidos suspensos (Ebeling et al., 2006). Todos os sistemas devem funcionar prevenindo o acúmulo de substâncias prejudiciais ao cultivo, em níveis que inibam o crescimento ou a imunocompetência dos organismos (Hargreaves, 2006).

Dentre os esforços para melhorar a qualidade da água em cultivo superintensivo em sistemas BFT, a clarificação possui propriedades que se adequam a remoção de matéria orgânica particulada. O processo tem como característica a remoção de sólidos suspensos por ação gravitacional sobre as partículas, em massa de água com fluxo lento, para o tratamento de corpos de água. Além disso, a diferença de densidade entre partícula e fluido, controlará o processo de separação (Wheaton, 1977). Partículas com velocidade de sedimentação maior do que a velocidade de fluxo massa de água, tendem a sedimentação (Johnson e Chen, 2006). A massa de água com fluxo lento dentro do clarificador facilitará a decantação das partículas (figura 1), separando-as da água que retornará ao tanque de cultivo mais clara.

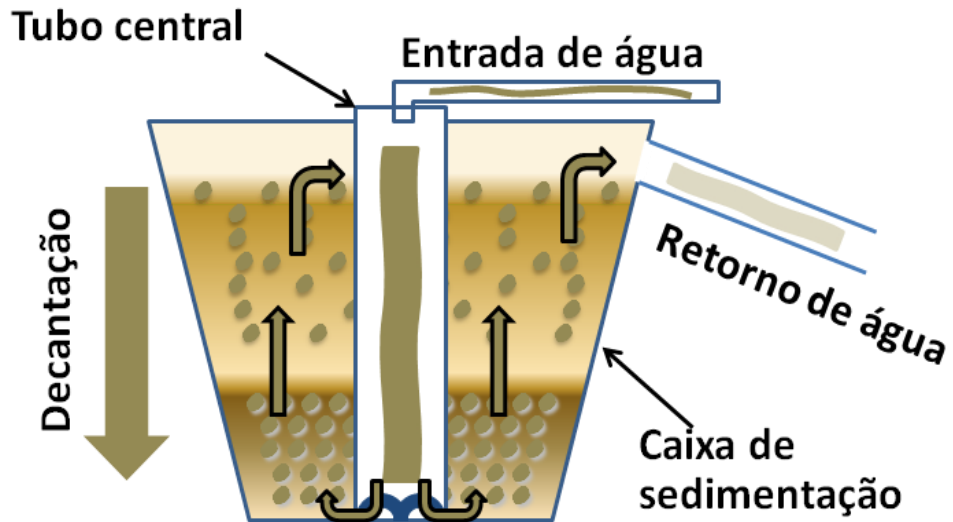


Figura 1. Ilustração referente a decantação de partículas durante o processo de clarificação, com acúmulo de material sedimentado no fundo da caixa de sedimentação.

Esta ferramenta pode ser uma alternativa para o controle de sólidos suspensos totais, o qual pode refletir na manutenção dos níveis aceitáveis de parâmetros de qualidade de água nos cultivos superintensivos de *Litopenaeus vannamei* em sistema com bioflocos.

OBJETIVOS

Avaliar o efeito da clarificação sobre a qualidade de água em cultivos superintensivos de camarão branco *Litopenaeus vannamei* no sistema BFT (*Biofloc Technology System*).

Objetivos específicos

1. Desenvolver um clarificador visando a retirada de parte da matéria orgânica do sistema de cultivo.
2. Avaliar os efeitos do sistema de clarificação nos parâmetros de cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei*.
3. Avaliar a qualidade da água no cultivo de camarões com clarificação, em sistema BFT, mantendo a concentração de sólidos suspensos totais em 500 mg/l.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avnimelech, Y., 1999. C/N ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176, 227–235.
- Avnimelech, Y. 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture* 264, 140-147.
- Avnimelech, Y., 2009a. Biofloc technology - A practical guide book. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States.
- Avnimelech, Y., 2009b. ABC of shrimp BFT grow out. In: World Aquaculture 2009, Abstracts. September 25-29, Veracruz, México. p.121.
- Ballester, E.L.C., Wasielesky, W.J., Cavalli, R.O., Abreu, P.C., 2007. Nursery of the pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis* in cages with artificial substrates: Biofilm composition and shrimp performance. *Aquaculture* 269, 355-362.
- Ballester, E.L.C., Abreu, P.C., Cavalli, R.O., Emerenciano, M., de Abreu, L., Wasielesky, W.J., 2010. Effect of practical diets with different protein levels on *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. *Aquaculture Nutrition* 16, 163-172.
- Borghetti, N.R.B., Ostrensky, A., Borghetti, J.R., 2003. *Aquicultura: uma visão geral sobre a produção de organismos aquáticos no Brasil e no mundo*. Curitiba: Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais, 128p.
- Boyd, C.E., Clay, J.W., 2002. "Evaluation of Belize Aquaculture, Ltd: A Superintensive Shrimp Aquaculture System". Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Work in Progress for Public Discussion. Published by the Consortium. 17 pages.
- Boyd, C.E., 2003. Guidelines for aquaculture effluents management at the farm-level. *Aquaculture* 226, 101-112.
- Bratvold, D., Browdy, C.L., 2001. Effects of sand sediment and vertical surfaces (AquaMats™) on production, water quality, and microbial ecology in an intensive *Litopenaeus vannamei* culture system. *Aquaculture* 195, 81–94.
- Browdy, C.L., Bratvold, D., Stokes, A.D., McIntosh, R.P., 2001. Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture*, *Aquaculture* 2001. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA, 20–34.

- Burford, M.A., Thompson, P.J., Mcintosh, R.P., Bauman, R.H., Pearson, D.C., 2003. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture* 219, 393-411.
- Cohen, J.M., Samocha, T.M., Fox, J.M., Gandy, R.L., Lawrence, A.L., 2005. Characterization of water quality factors during intensive raceway production of juvenile *Litopenaeus vannamei* using limited discharge and biosecure management tools. *Aquacultural Engineering*, 32, 425–442.
- Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic control of ammonia-nitrogen in aquaculture production systems. *Aquaculture* 257, 346-358.
- Emerenciano, M., 2009. Effect of two different diets fish meal based and organic plant based diets in *Litopenaeus Setiferus* earlier post-larvae culture under biofloc, green-water and clear-water conditions. In: *World Aquaculture 2009, Abstracts*. September 25-29, Veracruz, México. p.261.
- FAO 2008. The state of World Fisheries and Aquaculture. Disponível em: www.fao.org. Acessado em 18/09/09.
- FAO 2009. Shrimp fisheries under scrutiny. Disponível em: www.fao.org. Acessado em 06/01/11.
- Hargreaves, J., 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquaculture Engineering* 34, 344–363.
- Hopkins, J.S., Hamilton, R.D., Sandifer P.A., Browdy C.L., Stokes A.D., 1993. Effect of Water Exchange Rate on Production, Water Quality, Effluent Characteristics and Nitrogen Budgets of Intensive Shrimp Ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 24, 304 – 320.
- Hopkins, J.S., Sandifer, P.A., Browdy, C.L., 1995. 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, USA, 13–22.
- Jones, A., Dennison, W., Preston, N., 2001. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study. *Aquaculture* 193, 155–178.
- Krummenauer, D., Cavalli, R.O., Ballester, E.L.C., Wasielesky, W.J., 2010. Feasibility of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* culture in southern Brazil: effects

- of stocking density and a single or a double CROP management strategy in earthen ponds. *Aquaculture Research* 41, 240–248.
- Leffler, J.W., Ray, A.J., Lewis, B.L., Venero, J.A., Vinatea, L., Shuler, A., Browdy, C.L., 2009. Effects of an organic certifiable plant-based diet in conjunction with solids removal on the production of shrimp *Litopenaeus vannamei* in minimal exchange superintensive biofloc systems. In: *World Aquaculture 2009, Abstracts*. September 25-29, Veracruz, México. p.695.
- Moss, S.M., Arce, S.M., Argue, B.J., Otoshi, C.A., Calderon, F.R.O., Tacon, A.G.J., 2001. Greening of the blue revolution: Efforts toward environmentally responsible shrimp culture. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture 2001*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA, pp. 1-19.
- Otoshi, C.A., Montgomery, A.D., Look, A.M., Moss, S.M., 2001. Effects of diet and water source on the nursery production of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *J. World Aquac. Soc.* 32, 243–249.
- Otoshi, C.A., Tang, L.R., Dagdaban, D.V., Holl, C.M., Tallamy, C.M., Moss, D.R., Arce, S.M., Moss, S.M., 2006. Super intensive growout of the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*: Recent advances at the oceanic institute. In: *proceedings o the 6th Internacional conference Recirculating Aquaculture* p. 1-5. Virginia Tech University, Blacksburg.
- Pagand, P., Blancheton, J., Lemoalle, J., Casellas, C., 2000. Low density fish farm including unit containing *Ulva lactuca* or *Gracilaria verrucosa*. *Aquaculture Research* 31, (1) 729.
- Ramos, R., Vinatea, L., Seiffert, W., Beltrame, E., Silva, J.S., Costa, R.H.R., 2009. Treatment of Shrimp Effluent by Sedimentation and Oyster Filtration Using *Crassostrea gigas* and *C. rhizophorae*. *Brazilian Archives of Biology And Technology* 52, 775-783.
- Ray, A.J., Lewis, B.L., Browdy, C.L., Leffler, J.W., 2010. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture* 299, 89-98.
- ROCHA, I. P., 2000. Agronegócio do camarão cultivado. *Revista da ABCC, Recife*, p.23.

- Samocha, T.M., Lawrence, A., Collins, C.R., Emberson, C.R., Harvin, J.L., Van Wyk, P.M., 2001. Development of integrated, environmentally sound, inland shrimp production technologies for *Litopenaeus vannamei*. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture 2001*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA, 64-75.
- Sandifer, P.A., Hopkins, J.S., 1996. Conceptual Design of a Sustainable Pond-based Shrimp Culture System. *Aquacultural Engineering* 15, 41–52.
- Schryver, P.D., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W., 2008. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277, 125-137.
- Shpigel, M., Neori, A., 1996. The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems. I. Proportions of size and projected revenues. *Aquacultural Engineering* 15, 313–326.
- Tacon, A.G.J., Cody, J.J., Conquest, L.D., Divakaran, S., Forster, I.P., Decamp, O.E., 2002. Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquaculture Nutrition* 8, 121–137.
- Teichert-Coddington, D.R., Rouse, D.B., Potts, A., Boyd, C.E., 1999. Treatment of harvest discharge from intensive shrimp ponds by settling. *Aquacultural Engineering* 19, 147–161.
- Thakur, D.P., Lin, C.K., 2003. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems. *Aquaculture Engineering* 27, 159–176.
- Tilley, D., Badrinarayanan, H., Rosati, R., Son, J., 2002. Constructed wetlands as recirculation filters in large-scale shrimp aquaculture. *Aquacultural Engineering* 26, 81–109.
- Vinatea, L., Galvez, A.O., Browdy, C.L., Stokes, A., Venero, J., Haveman, J., Lewis, B.L., Lawson, A., Shuler, A., Leffler, J.W., 2010. Photosynthesis, water respiration and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a super-intensive raceway culture with zero water exchange: Interaction of water quality variables. *Aquacultural Engineering* 42, 17–24.
- Wasielesky, W.J., Atwood, H.I., Stokes, A., Browdy, C.L., 2006. Effect of natural production in brown water super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 258, 396-403.

- Wasiolesky, W.J., 2009. Effect of the use of different aeration type on aggregates formation and performance of *Litopenaeus vannamei* in biofloc technology culture system. In: World Aquaculture 2009, Abstracts. September 25-29, Veracruz, México. p. 892.
- Wheaton, F.W., 1977. Aquaculture engineering. Wiley-Interscience, New York (USA), 708 p.
- Wong, M.H., Chueng, Y.H., Leungs, F., Wong, P.S., 1995. Reclamation of polluted riverwater for aquaculture: Removal of nutrients by microalgae. Water Science Technology 32, 271-280.

ARTIGO CIENTÍFICO

EFEITO DA REMOÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS E DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DO CAMARÃO *Litopenaeus vannamei* EM SISTEMA SUPERINTENSIVO COM BIOFLOCOS

Gaona, C.A.P., Poersch, L.H., Wasielesky, W.J.

Universidade Federal do Rio Grande – Instituto de Oceanografia – Programa de Pós-graduação em Aquicultura. C.P. 474, CEP: 96201-900, Rio Grande, RS, Brasil.

e-mail: carlosgaona@ig.com.br

O presente trabalho segue as normas para publicação da revista International Journal of Recirculating Aquaculture.

RESUMO

Atualmente, o cultivo de camarões em sistemas de bioflocos (*Biofloc Technology System* – BFT), além de aumentar a produção, também economizam água através de renovações limitadas ou mesmo sem renovação. O incremento na dieta por adição de alimento na forma de ração, proporciona maiores taxas de excretas e alimentos não consumidos e, simultaneamente, ao processo de formação de um meio heterotrófico, geram sólidos suspensos, com conseqüente redução dos níveis de oxigênio. Ainda, o excesso de sólidos suspensos pode ser prejudicial ao meio de cultivo, por diminuir a penetração de luz e conseqüente redução da abundância dos organismos fotossintéticos (microalgas) que também são importantes na manutenção da qualidade da água e na nutrição de camarões. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a remoção de sólidos suspensos presentes na água do cultivo, por processo de clarificação (decantação de partículas). O experimento foi realizado em uma estufa com seis tanques de 35 m³, com dois tratamentos: sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). Foram estocados camarões da espécie *Litopenaeus vannamei* a uma densidade de estocagem de 250 camarões/m². No tratamento CC, durante 6 horas, a água foi bombeada da unidade experimental 35 m³ de água com bioflocos, passando continuamente pela caixa de sedimentação de 1000 litros e retornando por gravidade à unidade de cultivo. Efeitos significativos ($p < 0,05$) da clarificação foram detectados nas reduções de sólidos suspensos totais (24,5%), turbidez (27%) e clorofila *a* (27,8%). Também foram significativamente maiores a disponibilidade de oxigênio dissolvido e valores de pH no tratamento CC. Desempenho zootécnico foi melhor significativamente ($p < 0,05$) em crescimento, taxa de conversão alimentar, sobrevivência e produtividade no tratamento com a remoção de sólidos suspensos. O controle da concentração de sólidos suspensos contribuiu com a melhora da qualidade de água e desempenho zootécnico de camarões *L. vannamei* em cultivo superintensivo com bioflocos.

ABSTRACT

The BFT systems can increase the productivity of shrimp culture and, through the minimal or zero exchange, can reduce the use of water. The enhancement of the diet, through the addition of feed, increases the amount of excreta and, together with the not consumed feed, increases the amount of suspended solids and reduces the dissolved oxygen concentrations. In addition, the excess of suspended solids can be harmful to the culture, by the reduction of light penetration and, consequently, abundance of photosynthetic organisms (microalgae), which, also, are important to the water quality and shrimp nutrition. Thus, the objective of this study was to evaluate the removal of suspended solids in the water culture, through clarification process (particles settling). The experiment was carried out in a greenhouse, in two treatments with six tanks (35 m³, each): with no clarification (NC) and with clarification (C). In the C treatment, for 6 hours, 35 m³ of water with bioflocs were pumped from the experimental unit, passing through the settling tank (1000 L) and returning, by gravity, to the culture unit. Significant effects ($p < 0.05$) by clarifying were detected in the reductions of total suspended solids (24.5%), turbidity (27%) and chlorophyll a (27.8%). Were also significantly greater availability of dissolved oxygen and pH values in the CC treatment. The results of growth, feed conversion ratio, survival and productivity were significantly higher ($p < 0.05$) with suspended solids removal. Control of the concentration of suspended solids contributed to the improvement of water quality and growth performance of shrimp *L. vannamei* culture in superintensive with biofloc.

INTRODUÇÃO

Novos sistemas que permitem baixa renovação de água podem ser citados como exemplos de sustentabilidade em cultivos de camarões peneídeos, minimizando o descarte de água e incrementando a produção por meio do cultivo em meio heterotrófico, reduzindo custos e descarga de compostos nitrogenados (Wasielesky et al., 2006a; Emerenciano et al., 2007). Estes sistemas conhecidos também por “ZEAH” (*Zero Exchange, Aerobic, Heterotrophic Culture Systems*), caracterizam-se por elevadas produções (Browdy et al., 2001; Hopkins et al., 1995). O menor descarte de água contribui com um incremento da dieta por meio da produtividade natural presente nos viveiros (Samocha et al., 2001; Burford et al., 2003). Esta produtividade promove a formação de bioflocos (agregados microbianos), levando à denominação atual do sistema de cultivo como *Biofloc Technology System* – BFT (Avinmelech, 2009b; Emerenciano, 2009; Leffler et al., 2009; Wasielesky et al., 2009). Já o aumento da densidade de estocagem, juntamente com a elevada quantidade de material fecal em suspensão (Wasielesky et al., 2006a), faz com que a precipitação de sólidos e a formação de lodo sejam comuns (Hopkins et al., 1994). Reforçando este processo, dejetos sólidos são gerados tanto direta ou indiretamente pela adição de alimento no sistema e estão presentes como resíduos de alimentos, metabólitos, fezes e/ou microorganismos mortos e em crescimento no sistema (Viadero e Noblett, 2002). Estes sólidos decantados, mesmo na forma de partículas menores (Maillard et al., 2005) podem ser ressuspensos em grande quantidade na despesca e drenados na renovação de água (Islam et al., 2004). Este material em suspensão em cultivos pode causar efeitos negativos no sistema de produção (Chapman et al., 1987; McMillan et al., 2003) e se liberados no ambiente podem ser prejudiciais pela biota formada no ambiente de cultivo (Naylor et al., 2000; Piedrahita, 2003; Stephens e Farris, 2004).

A remoção rápida de partículas maiores deve ser o foco dos estudos, já que as partículas menores são difíceis de serem removidas (Summerfelt, 1999; McMillan et al., 2003) devido a lenta sedimentação, a qual pode ser importante na dissolução e liberação de nutrientes (Patterson et al., 1999; Summerfelt, 1999). Conforme Thakur e Lin (2003), um dos maiores problemas na qualidade da água em sistemas fechados é a rápida eutrofização dos tanques/viveiros, devido ao aumento das concentrações de nutrientes e matéria orgânica durante o cultivo.

Os principais impactos gerados sobre a qualidade da água em sistemas heterotróficos descritos por Ebeling et al. (2006) são a produção muito maior de biomassa bacteriana quando comparado com a biomassa de fitoplâncton em cultivos autotróficos e consequente incremento de sólidos suspensos. No entanto, Brune et al. (2003) e Cohen et al. (2005) ressaltam a importância do fitoplâncton e bactérias nitrificantes, devido à alta capacidade de ambos na absorção de nitrogênio inorgânico e consequente controle da amônia. A retirada de sólidos suspensos pode melhorar a penetração da luz, sendo que a redução deste fator pode reduzir a produção primária (Kirk, 1994). As microalgas fotossintetizantes além da manutenção da qualidade da água, também são utilizadas pelos camarões na forma de nutrição (Burford et al., 2003).

O cultivo no sistema de bioflocos muda a ótica da atividade aquícola como fonte de poluição por compostos nitrogenados provenientes de restos de alimento e excretas em suspensão a ambientes adjacentes. Porém, em sistemas fechados de produção de camarão em altas densidades de estocagem, há redução dos níveis de oxigênio dissolvido (Cohen et al. 2005) e produção de compostos nitrogenados como amônia e nitrito (Avnimelech, 1999; Cohen et al., 2005) oriundos de matéria orgânica em suspensão. Revisões anteriores com métodos similares reforçam a proposta de clarificação da água de cultivos de peixes para a reutilização dos meios hídricos (Timmons et al., 1998; Cripps e Bergheim, 2000). Johnson e Chen (2006) consideraram eficiente o método de clarificação para remoção de sólidos suspensos no meio de cultivo de truta arco-íris. Azim e Little (2008) propuseram em cultivos de tilápia, um sistema intermediário com princípios de sedimentação e separação de flocos. Ray et al. (2010), utilizaram a clarificação para avaliar a produção de camarões em duas diferentes dietas, tendo a turbidez como referência para a manutenção do processo. O sistema de cultivo superintensivo de camarões somado à aplicação de clarificador, pode ajudar a reduzir a depleção de oxigênio e o acúmulo de compostos nitrogenados, melhorando a qualidade da água do cultivo.

O objetivo do presente estudo, foi avaliar o efeito da clarificação sobre qualidade de água em cultivos superintensivos de camarões da espécie *Litopenaeus vannamei* no sistema BFT (*Biofloc Technology System*), mantendo a concentração de sólidos suspensos totais em 500 mg/l, limite máximo indicado por Samocha et al. (2007).

MATERIAIS E MÉTODOS

Delineamento experimental

O desenvolvimento do clarificador e sua aplicação foram realizados na Estação Marinha de Aquicultura (EMA), do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande, localizada no Balneário Cassino, no município de Rio Grande – RS.

O estudo foi realizado de maio a agosto de 2010, em uma estufa retangular com seis tanques de 35 m³, revestidos com geomembrana. O experimento foi delineado em dois tratamentos, com três repetições casualizadas, sendo: tratamento com clarificação (CC) e tratamento sem clarificação (SC). Nos tanques de ambos tratamentos foram utilizados substratos verticais para a formação natural de uma biota, adicionando uma fonte adicional de alimento (Ballester et al., 2007). Nos tanques foram colocados 90% do volume, água do mar inicialmente tratada a 10 ppm de cloro. Para iniciar a formação dos bioflocos, houve abastecimento de inóculo na proporção de 10% do volume dos tanques, com água constituída por agregados microbianos de um tanque berçário de 70 m³, onde os animais foram mantidos previamente ao experimento. Foi realizada fertilização orgânica baseada em metodologias de Avnimelech (1999) e Ebeling et al. (2006) para a conversão de nitrogênio em biomassa bacteriana, onde para cada 1 g de nitrogênio amoniacal total é adicionado 6 g de carbono. A fonte de carbono utilizada foi a dextrose, sendo considerado o teor de carbono deste composto. Foi considerada uma relação nominal em peso de carbono/nitrogênio de aproximadamente 18:1. Correções de pH foram realizadas para manutenção dos valores acima de 7, adicionando 700 g de cal hidratada – Ca(OH)₂. Um soprador de 7 hp foi utilizado para manter a aeração difundida por pedras porosas no fundo dos tanques, a uma relação de 1 pedra por m².

Camarões com peso médio de 2,65±0,69 g foram estocados em 6 unidades experimentais, a uma densidade de 250 indivíduos/m². Ao longo do cultivo os camarões foram alimentados três vezes ao dia, com uma ração comercial específica para a espécie, contendo 38% de proteína bruta. Foram utilizadas bandejas para verificação visual de possíveis sobras de ração, para correções no arraçoamento caso necessário.

Clarificador

A metodologia para desenvolver o clarificador foi adaptada do estudo de Johnson e Chen (2006). Quando os sólidos suspensos totais atingiram 500 mg/L, valor indicado como máximo por Samocha et al. (2007) para sistemas superintensivos, foi

aplicado o processo de clarificação, com duração de 6 horas contínuas para cada aplicação. O clarificador, montado em caixa plástica de água de 1000 L, continha no centro, um tubo central de PVC cilíndrico de 300 mm de diâmetro por 700 mm de altura (figura 1).



Figura 1. Clarificador montado em uma caixa de 1000 L no lado externo da estufa.

No tratamento com clarificação a água foi levada, através de um tubo de captação de água por uma bomba submersa de 4.500 L/h, dos tanques de cultivo até o topo do tubo central, para redução de turbilhonamento, onde a vazão para caixa de 1000 L ocorreu na porção inferior e retornou aos tanques de origem por um tubo de retorno de água (figura 2). Uma coluna de água foi formada na caixa e através da ação gravitacional ocorreu a sedimentação de matéria orgânica particulada no clarificador.

A eficiência do clarificador foi avaliada através de comparação das análises de sólidos suspensos totais entre os tratamentos.

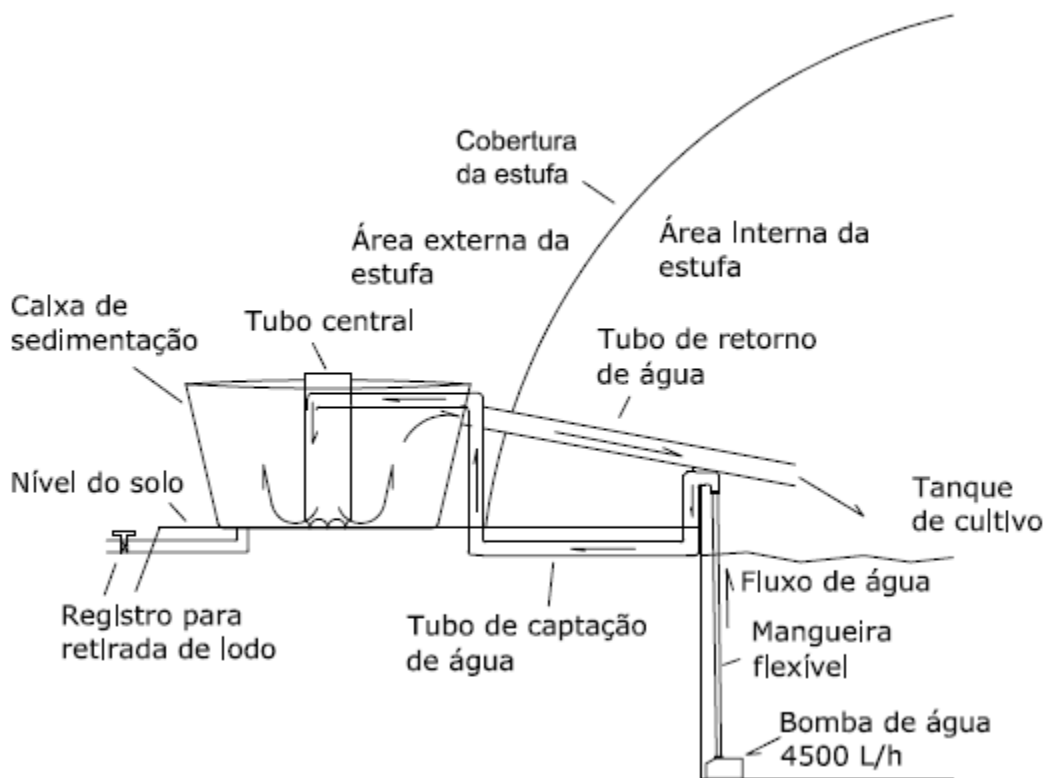


Figura 2. Desenho esquemático referente ao clarificador desenvolvido e instalado no lado externo da estufa. As setas indicam o fluxo de água mantido durante a clarificação, por uma bomba submersa de 4500 L/h.

Parâmetros de qualidade da água

Parâmetros ambientais como temperatura, pH, salinidade e oxigênio dissolvido foram monitorados diariamente utilizando um aparelho multiparâmetros da marca YSI® modelo 556. A qualidade de água foi monitorada com base nos níveis da amônia total (N-AT ou $\text{N}-(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3)$), nitrito ($\text{N}-\text{NO}_2^-$) e sólidos suspensos totais (SST) a cada dois dias, e nitrato ($\text{N}-\text{NO}_3^-$), ortofosfato ($\text{P}-\text{PO}_4^{3-}$) e alcalinidade a cada sete dias. As análises de amônia total seguiram metodologia descrita em UNESCO (1983), nitrito descrita em Bendschneider e Robinson (1952) e ortofosfato e nitrato por Aminot e Chaussepied (1983). A alcalinidade foi determinada seguindo a metodologia descrita em APHA (1998). A turbidez da água foi determinada por um turbidímetro da marca Hach® modelo 2100P. O volume dos flocos sedimentáveis foi quantificado através de cone Imhoff, conforme metodologia de Eaton et al. 1995 adaptada por Avnimelech 2007. Após 15 minutos de sedimentação, foi verificado o volume de flocos sedimentados. Porém o cone Imhoff não foi comparado entre os tratamentos devido à falta de sedimentação em amostras de alguns tanques. Baseando-se no método de

Strickland e Parsons (1972) coletou-se água para análise de material em suspensão (partículas maiores que 45 μm), onde o peso dos sólidos suspensos totais foi determinado por gravimetria a partir da filtração de alíquotas de até 20 mL de água do cultivo em filtros de fibra de vidro Whatman GF/F. Os filtros foram colocados para secar por aproximadamente 24h, a 60°C e, posteriormente, pesados em balança analítica (Sartorius MC1, analytic AC 210 S) com precisão de 0,0001 g para determinação do peso final (AOAC, 2000). Foram realizadas amostragens da água dos tanques antes e após o processo de clarificação, para comparação dos volumes de flocos sedimentáveis, bem como a análise de sólidos suspensos totais.

Análise de clorofila *a* foi realizada semanalmente utilizando 20 ml de água. Este volume foi filtrado em sala escura e o material armazenado em acetona 90% em frascos escuros à -12 °C. Após 24 horas a concentração de clorofila *a* foi determinada com o auxílio de fluorímetro Turner TD700, de acordo com a metodologia descrita em Welschmeyer (1994).

Desempenho Zootécnico dos Camarões

O crescimento dos camarões foi acompanhado por meio de biometrias a cada 14 dias, utilizando balança digital com precisão de 0,01 g. O ganho de peso semanal (GPS) foi determinado pelo seguinte cálculo: $\text{GPS} = (\text{GP} / \text{n}^\circ \text{semanas de cultivo})$. A conversão alimentar aparente (C.A.A.) foi obtida pela seguinte fórmula: $\text{C.A.A.} = \text{alimento oferecido} / \text{incremento de biomassa}$. A sobrevivência foi calculada através de: $\text{S\%} = ((\text{biomassa final} / \text{peso médio individual}) / \text{n}^\circ \text{indivíduos estocados}) \times 100$. Os dados de sobrevivência foram transformados (arco-seno da raiz quadrada) antes de analisados. A produção foi obtida pelo seguinte cálculo: $\text{Prod} = (\text{biomassa final} / \text{volume do tanque})$.

Análise estatística

A homocedasticidade das variâncias e a normalidade dos dados obtidos, foram verificadas pelo teste de Levene, seguido do teste *t* de Student para detectar possíveis diferenças ($p < 0,05$) entre os tratamentos (Sokal e Rohlf, 1969).

RESULTADOS

Nos gráficos apresentados, são visualizadas as variações dos parâmetros ao longo do cultivo nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC), porém os resultados descritos e a discussão são referente ao período de clarificação que teve início entre a sexta e a sétima semana.

Durante o experimento não houveram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as médias das temperaturas nos tratamentos, sendo $22,03 \pm 1,62$ °C (SC) e $22,02 \pm 1,61$ °C (CC), sendo as variações demonstradas na figura 3.

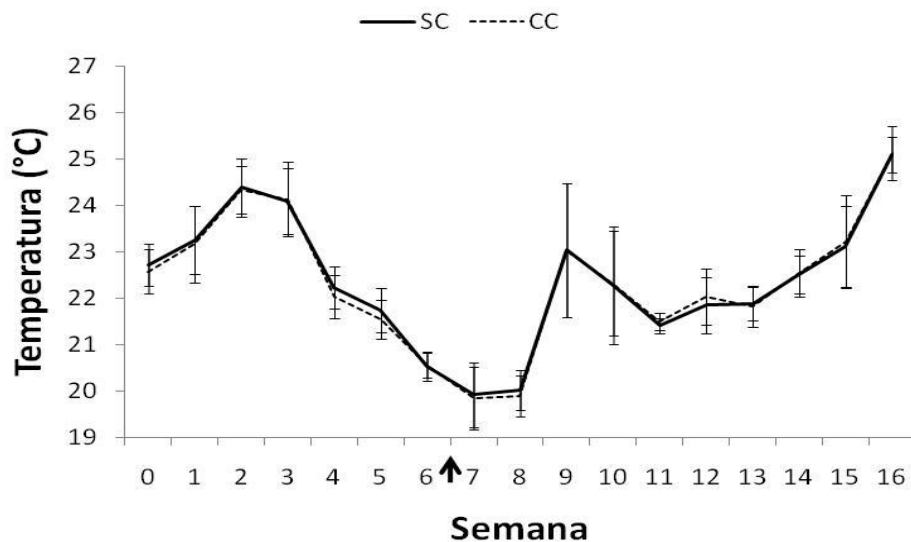


Figura 3. Variações de temperatura ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo.

As variações da salinidade foram crescentes durante o experimento porém sem diferenças significativas ($p > 0,05$). As médias da salinidade nos tratamentos SC e CC foram $34,45 \pm 0,59$ e $34,46 \pm 0,58$, respectivamente.

Os tratamentos não apresentaram diferenças significativas com relação à alcalinidade entre os tratamentos, mantendo-se flutuações ao longo do experimento (figura 4). As concentrações médias foram de $114,06 \pm 29,52$ e $127,34 \pm 29,81$ mg/l CaCO_3/L , respectivamente, nos tratamentos SC e CC.

Os compostos nitrogenados (figura 5) e fosfato (figura 6), não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos à partir da clarificação. As médias das concentrações em mg/l de amônia, nitrito e nitrato para o tratamento SC, foram $0,12 \pm$

0,11, $0,12 \pm 0,09$ e $39,35 \pm 8,88$ e, para o tratamento CC, foram $0,12 \pm 0,14$, $0,16 \pm 0,11$ e $34,81 \pm 8,04$, respectivamente. O fosfato apresentou médias de $5,34 \pm 2,04$ mg/l no tratamento SC e $4,83 \pm 1,93$ mg/l no tratamento CC.

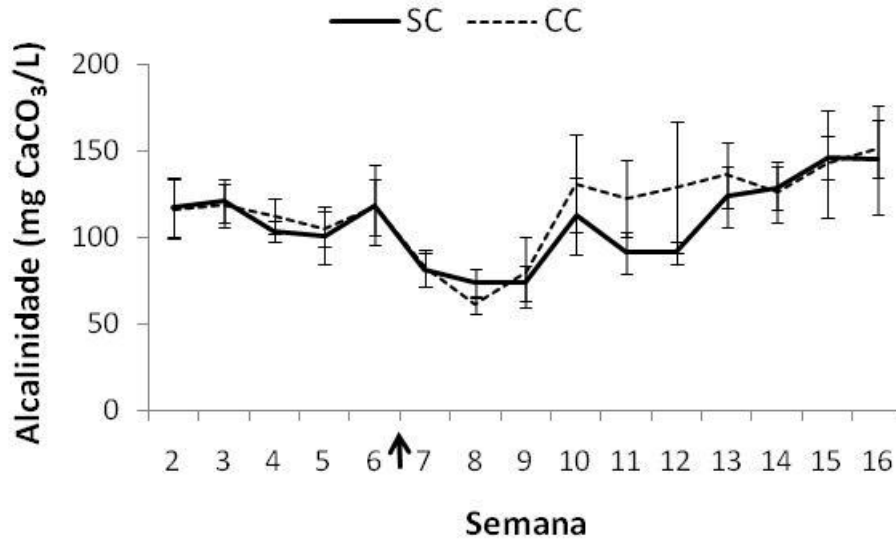


Figura 4. Variações de alcalinidade ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo.

Diferenças significativas entre os tratamentos foram observadas nas concentrações de sólidos suspensos totais, turbidez, clorofila *a*, oxigênio dissolvido e valores de pH (tabela 1).

A partir da oitava semana foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) nas concentrações de sólidos suspensos totais, sendo menor no tratamento CC (figura 7).

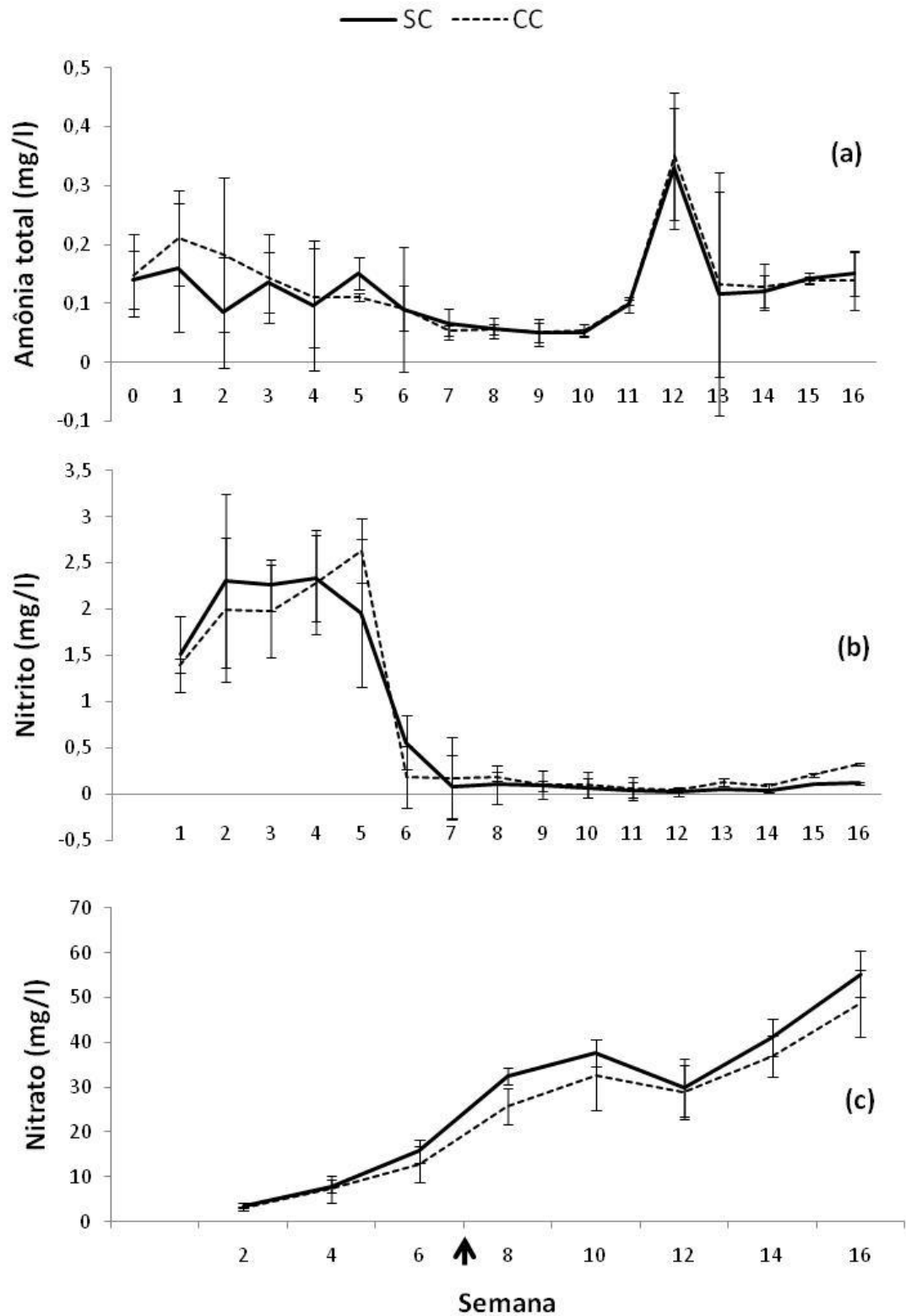


Figura 5. Variações de amônia (a), nitrito (b) e nitrato (c) ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo.

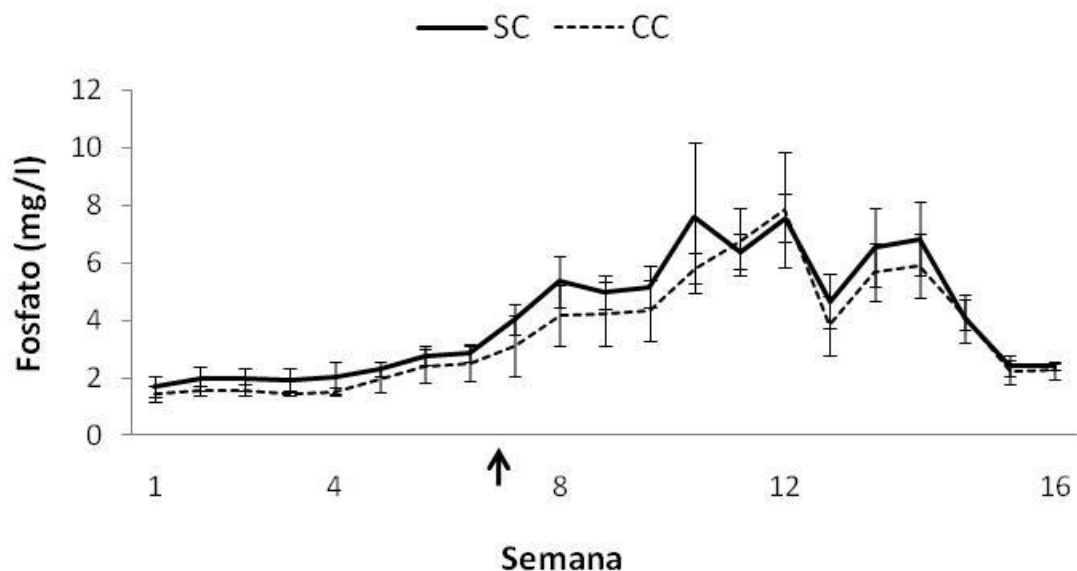


Figura 6. Variações de fosfato ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo.

Tabela 1. Valores dos parâmetros monitorados durante o período de aplicação da clarificação, com média \pm desvio padrão dos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas.

PARÂMETRO	TRATAMENTOS	
	SC	CC
SST (mg/l)	649,53 \pm 112,82 ^a	453,91 \pm 95,07 ^b
Turbidez (NTU)	270,01 \pm 96,15 ^a	197,01 \pm 49,64 ^b
Clorofila <i>a</i>	378,42 \pm 131,67 ^a	282,38 \pm 97,45 ^b
Oxigênio (mg/l)	4,66 \pm 1,18 ^a	5,07 \pm 0,06 ^b
pH	7,45 \pm 0,16 ^a	7,56 \pm 0,15 ^b

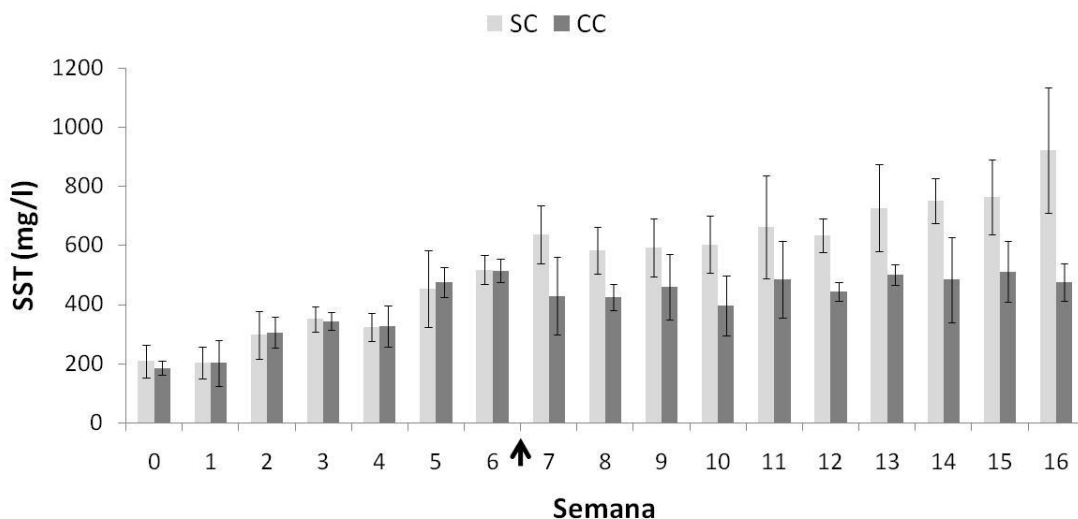


Figura 7. Variações das concentrações de sólidos suspensos totais (SST) ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo.

Com a clarificação os valores de turbidez foram significativamente ($p < 0,05$) menores com relação ao tratamento SC (figura 8).

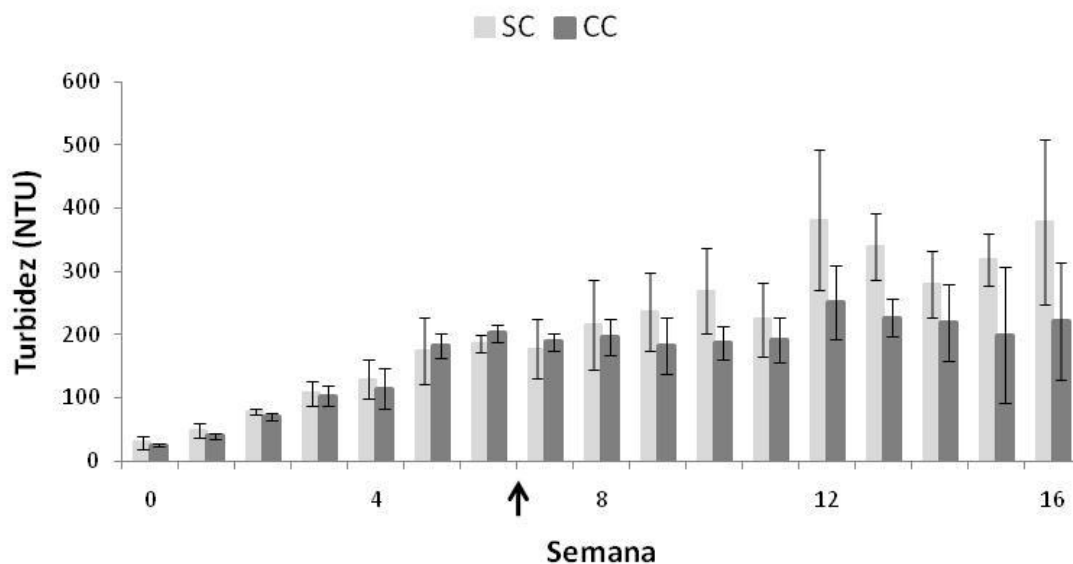


Figura 8. Variações da turbidez ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo.

A clorofila *a* apresentou redução significativa ($p < 0,05$) com a remoção de sólidos suspensos no tratamento CC (figura 9).

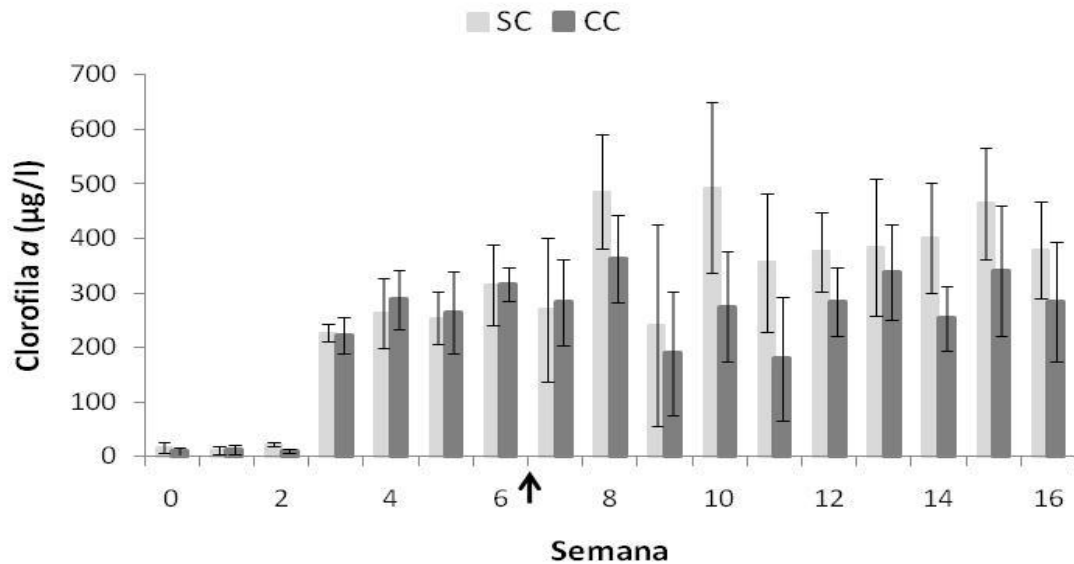


Figura 9. Variações das concentrações de clorofila *a* ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo.

As variações do oxigênio dissolvido (figura 10) apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) à partir da décima semana, sendo observados níveis de oxigênio melhores no tratamento CC comparados ao tratamento SC.

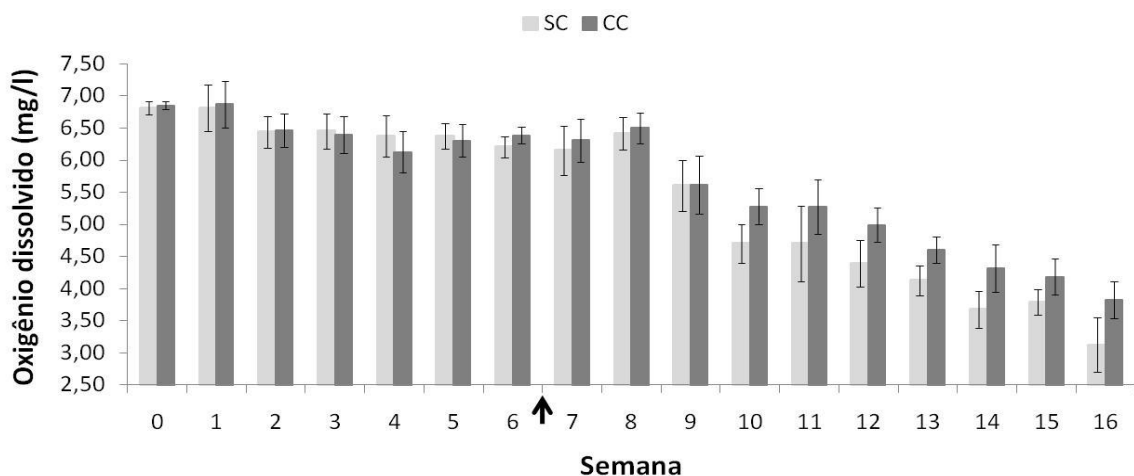


Figura 10. Variações das concentrações de oxigênio dissolvido durante o experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo.

A partir da sexta semana, os aumentos de pH (figura 11) ocorreram devido à aplicação de cal hidratada – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ em ambos tratamentos, para a manutenção de um valor acima de 7. No entanto, foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos com o uso da clarificação.

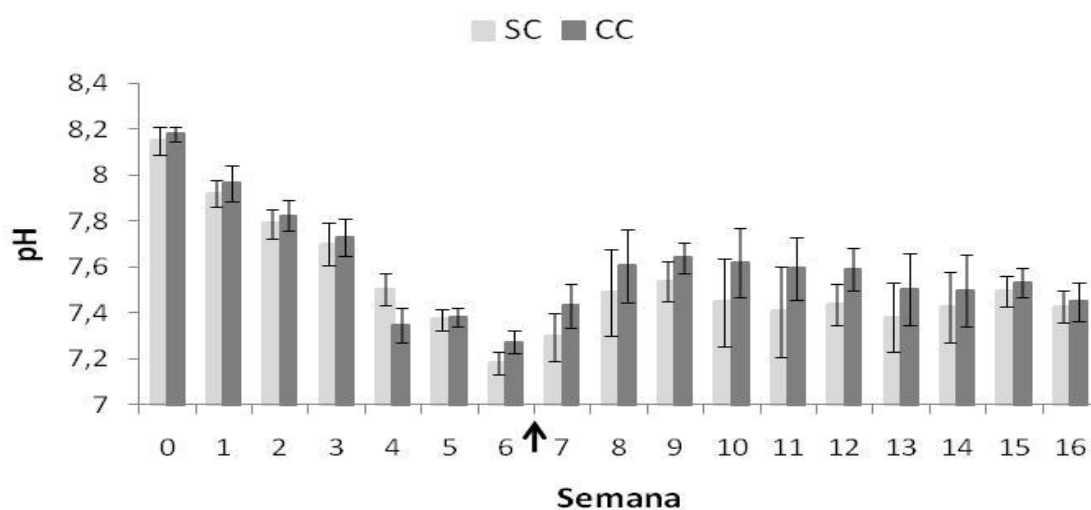


Figura 11. Variações de pH ao longo do experimento, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras verticais indicam o desvio padrão. O início de aplicação do processo de clarificação está indicado pela seta no eixo do tempo.

Valores de desempenho zootécnico entre os tratamentos do experimento, pode ser visualizado na tabela 2.

Tabela 2. Comparativo de desempenho zootécnico de *L.vannamei* entre os tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

Desempenho	SC	CC
Sobrevivência (%)	51,22 ± 10,32 ^a	80,70 ± 16,97 ^b
Peso inicial (g)	2,65 ± 0,69	2,65 ± 0,69
Peso final (g)	10,07 ± 1,20 ^a	10,76 ± 0,67 ^b
Ganho peso semanal (g/s)	0,46 ± 0,07 ^a	0,51 ± 0,05 ^a
Produtividade (kg/m ³)	1,34 ± 0,23 ^a	2,15 ± 0,24 ^b
CAA*	2,39 ± 0,43 ^a	1,47 ± 0,08 ^b

*Conversão alimentar aparente

Maiores diferenças significativas ($p < 0,05$) no crescimento dos camarões no tratamento CC, ocorreram durante o período de clarificação (figura 12a). A taxa de conversão alimentar foi significativamente menor no tratamento CC (figura 12b). A sobrevivência e a produtividade apresentaram diferenças significativamente ($p < 0,05$) maiores no tratamento CC (figuras 12c e 12d, respectivamente).

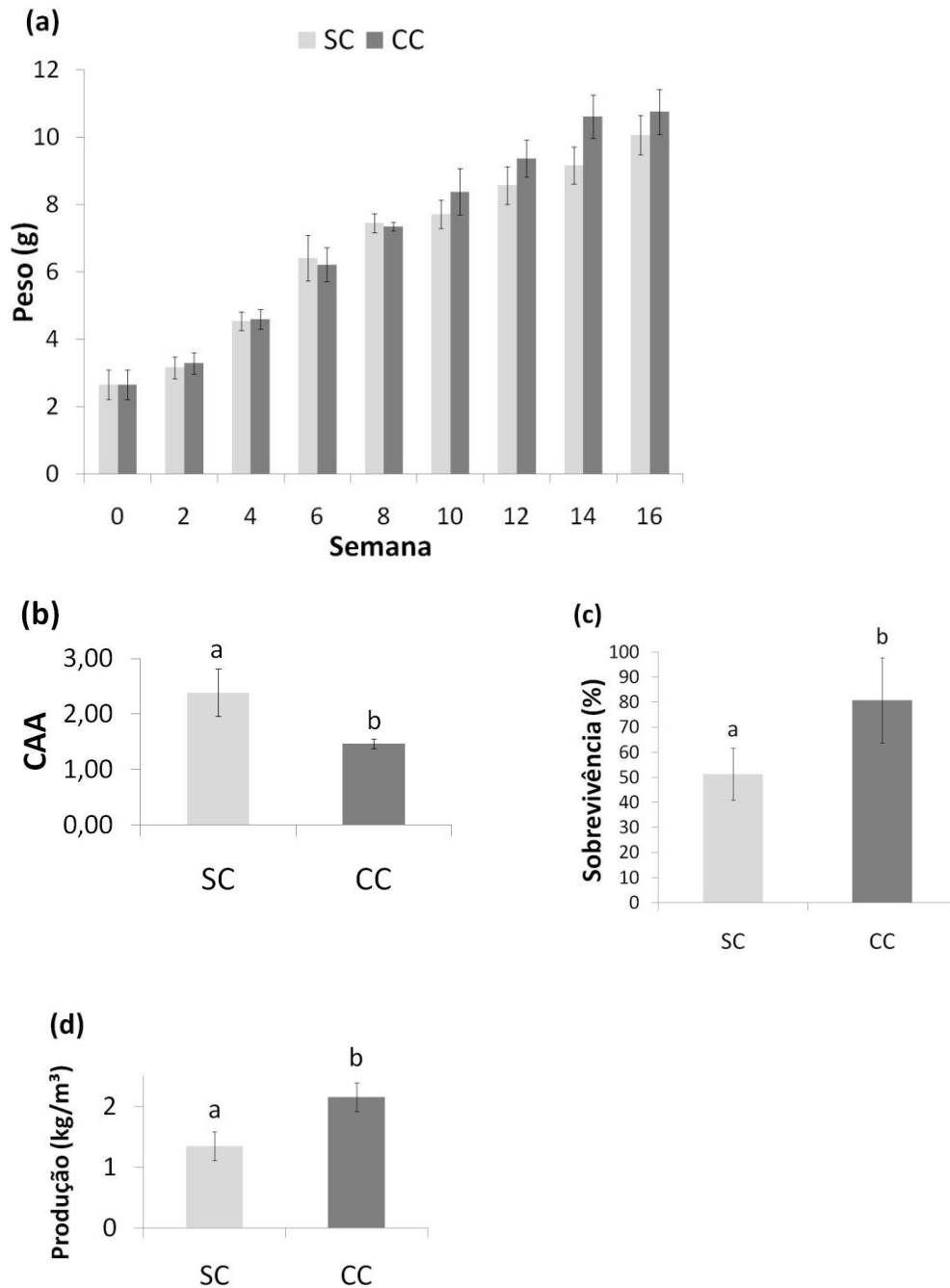


Figura 12. Crescimento durante o estudo (a), conversão alimentar aparente (b), sobrevivência (c) e produção (d) de *L. vannamei*, nos tratamentos sem clarificação (SC) e com clarificação (CC). As barras de erro indicam o desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas.

DISCUSSÃO

Os camarões da espécie *L. vannamei* toleram uma variação de temperatura entre 15 e 35 ° C, sendo a faixa ideal de 28 a 32 ° C (Van Wyk & Scarpa, 1999), as quais determinam as condições mais favoráveis para o metabolismo, consumo de oxigênio, crescimento e sobrevivência. Wyban et al. (1995) verificaram que abaixo de 23 ° C, a temperatura gerou condições sub-ótimas para o crescimento de *L. vannamei*, devido à redução no consumo alimentar. Da mesma forma, Peixoto et al. (2003), verificaram redução de crescimento desta espécie, quando a temperatura diminuiu até 19 ° C. A média da temperatura do estudo foi de 22 ° C, estando dentro da faixa de tolerância, porém no intervalo de redução de consumo alimentar. Esta condição de temperaturas abaixo do ideal para *L. vannamei*, refletiram em menor ganho de peso semanal, em comparação a Wasielesky et al. (2006a) e Vinatea et al. (2010), ambos com temperatura dentro do intervalo ideal para esta espécie. A salinidade nos dois tratamentos esteve dentro do intervalo tolerável da espécie (Van Wyk & Scarpa, 1999).

Os compostos nitrogenados seguiram uma rota de nitrificação, característica de sistema BFT (Azim e Little, 2008; Schryver et al., 2008). Em sistemas heterotróficos a amônia pode ser imobilizada por bactérias heterotróficas, bem como, a conversão a nitrito e sucessivamente a nitrato, onde o nitrogênio assimilado pelas bactérias ao longo desses processos é convertido em biomassa bacteriana (Ebeling et al., 2006; Hargreaves, 2006). No presente estudo, os processos de nitrificação coincidiram com o anteriormente citado. Segundo Preston et al. (2000), embora haja redução da fração de nitrogênio particulado pelo fluxo contínuo de água e sedimentação, a fração dissolvida pode ser superior e manter-se presente na água do cultivo. Já Ray et al. (2010), acreditam que a sedimentação pode remover fezes e alimento não consumido, que estariam disponíveis para a formação de amônia total e, conseqüentemente, reduzir a concentração de nitrato que seria convertido através da nitrificação. No presente experimento, a matéria orgânica particulada retida pela sedimentação, pode ter mantido a atividade de degradação dentro do caixa de sedimentação e, no caso da amônia, com subsequente liberação na água, mantendo-se o processo de nitrificação. Provavelmente, este processo foi acentuado, devido ao inóculo de 10% do volume dos tanques para que o experimento iniciasse com bioflocos.

Os valores dos compostos nitrogenados encontrados neste estudo mantiveram-se dentro de valores toleráveis para a espécie (Van Wyk and Scarpa, 1999; Wasielesky et al., 2006a).

O comportamento do fosfato está relacionado com a constante entrada de nutrientes durante o cultivo. A decomposição da ração não consumida e a excreção dos organismos cultivados são a principal fonte de fósforo no sistema (Barak et al., 2003).

Apesar da diferença de metodologia, Teichert-Coddington et al. (1999) com retenção de água e sedimentação por tempo de residência de 6 horas, verificaram que o fósforo esteve associado a fração mineral, provavelmente por adsorção em partículas de solo ou como precipitado, pois a concentração decresceu concomitantemente ao decréscimo de sólidos suspensos, promovendo uma redução de 14%. Jackson et al. (2003), também com retenção da água do cultivo por 2 dias, alcançou 35% de remoção de fósforo. Em uma metodologia semelhante ao presente experimento, Ray et al. (2010) verificaram uma redução de 61% de fosfato no tratamento com remoção de sólidos. Mesmo com o acúmulo durante o presente experimento, característico de sistema superintensivo, em média houve uma redução do fosfato durante a clarificação, mantendo-se concentrações abaixo do tratamento sem clarificação, porém sem diferenças significativas.

Os sólidos suspensos totais são um efetivo parâmetro para avaliação da eficiência de decantação de partículas. Em tanque de sedimentação, vários fatores podem apontar a eficácia na redução de SST, incluindo a composição do efluente, o tempo de residência, o formato do tanque, o manejo e processos biológicos tais como a presença de organismos filtradores (Preston et al., 2000). Ray et al. (2010), conseguiram uma redução de 45% de sólidos suspensos totais, com sistema de clarificação correspondente a 4,07% do volume do tanque de cultivo de *L. vannamei* para a manutenção da turbidez em 30 NTU. Johnson e Chen (2006) utilizando um clarificador para remoção de partículas maiores que 104 μm , correspondente a 3,10% do volume do cultivo de truta arco-íris, conseguiram reduzir 82% de SST. O clarificador utilizado no presente estudo correspondeu a 2,28% do volume do tanque de cultivo e removeu 24,5%, condicionado a manutenção dos sólidos suspensos totais em 500 mg/l. Cabe ressaltar que a utilização do clarificador de cada estudo comparado utilizou parâmetros diferentes entre si para os objetivos propostos, como turbidez, tamanho de partícula e concentração de sólidos suspensos totais. Desta forma, nosso sistema mostrou uma boa capacidade de retenção de sólidos suspensos por sedimentação, para a manutenção de níveis de sólidos suspensos totais em 500 mg/l.

A turbidez possui uma relação direta com sólidos suspensos. O aumento de partículas em suspensão aumenta a turbidez na água do cultivo, diminuindo a

penetração da luz (Vinatea et al. 2010). Estes autores confirmaram que altos níveis de matéria particulada reduzem a penetração de luz e, conseqüentemente, gerou valores de fotossíntese líquida negativa, ou seja, com déficit de oxigênio. Como comparativo de capacidade de redução da turbidez, Ramos et al. (2009), depois de 6 horas de retenção hidráulica para sedimentação em tanques de 100 litros, reduziu 18% da turbidez. Já Ray et al. (2010), reduziram a turbidez em 57%, a qual foi o parâmetro de referência para aplicação da clarificação, e relataram um aparente aumento na fotossíntese. No presente estudo, com a clarificação, houve uma redução 27% da turbidez com relação ao tratamento SC, onde o parâmetro de referência foi a manutenção da concentração de sólidos suspensos totais em 500 mg/l.

As microalgas desempenham papel importante na reciclagem de nutrientes oriundos da ração e excretas dos camarões, para a manutenção da qualidade da água. O controle de biomassa de fitoplâncton torna-se importante, quando o processo de respiração por microalgas na ausência da luz, pode reduzir as concentrações de oxigênio dissolvido, bem como, a respiração dos microorganismos na decomposição das células mortas de microalgas, podendo gerar riscos ao cultivo. No presente estudo, com a clarificação houve uma redução de 27,8% de clorofila *a*. Resultado similar foi obtido por Jones et al. (2001), porém por um processo estático para sedimentação por tempo de residência de 24 horas, alcançando uma redução de 27,7%, sendo que Ramos et al. (2009) reduziram 45,4% com tempo de 6 horas.

No sistema de bioflocos a concentração de oxigênio dissolvido na água do cultivo, está diretamente relacionada com o consumo pelos camarões, microorganismos aeróbicos e decomposição da matéria orgânica (Avnimelech, 2009a). O metabolismo microbiano aeróbio em cultivos com bioflocos pode diminuir os níveis de oxigênio dissolvido (Schryver et al., 2008). No presente estudo, o oxigênio consumido pela decomposição da matéria orgânica particulada e microorganismos aeróbicos, pode ter sido diminuído com a retirada de sólidos suspensos durante a clarificação, este mesmo processo foi observado por Hopkins et al. (1994). Resultado semelhante foi obtido por Teichert-Coddington et al. (1999), em um tanque de sedimentação com retenção de água e tempo de residência de 6 horas de decantação para remoção de sólidos suspensos, antes do descarte do efluente. Ramos et al. (2009), utilizando tanque cônico de 100 litros para sedimentação e com tempo de residência igual ao estudo anterior, alcançou reduções no consumo de oxigênio devido a retirada de matéria orgânica particulada. Ray et al. (2010) em um estudo com remoção de sólidos suspensos, com

fluxo contínuo de água em uma caixa de sedimentação, semelhante ao presente estudo, observaram redução da demanda bioquímica de oxigênio, aumentando a disponibilidade de oxigênio dissolvido.

O oxigênio está diretamente associado às condições de crescimento e sobrevivência dos camarões. O nível recomendado de oxigênio dissolvido para camarões é de 5 mg/l (Cheng et al., 2003) e concentrações abaixo de 2,8 mg/l são consideradas condições de hipoxia (Mugnier e Soyez, 2005). Ambos tratamentos apresentaram decréscimos constantes nas concentrações médias de oxigênio dissolvido, permanecendo abaixo do recomendado por um período de 28 dias no tratamento com clarificação e por 49 dias no tratamento sem clarificação. Conseqüentemente a remoção de sólidos suspensos diminuiu principalmente o consumo de oxigênio pelos microorganismos no tratamento CC, refletindo em um melhor desempenho zootécnico dos camarões.

A alcalinidade em sistema de bioflocos segundo Ebeling et al. (2006), deve manter-se entre 100-150 mg CaCO₃/L, pois pode levar a uma queda de pH e conseqüentemente comprometer o crescimento dos organismos cultivados. Estes autores destacaram também, o consumo de alcalinidade durante o processo de oxidação da amônia a nitrato. Outro processo importante é a liberação CO₂ pela de respiração na coluna da água, onde o dióxido de carbono dissocia-se em íons carbonatos (CO₃²⁻) e bicarbonatos (HCO₃⁻), promovendo a liberação de H⁺ e redução de pH e da alcalinidade. Ray et al. (2010), acreditam que a retirada de sólidos suspensos resultou em aumento fotossintético, permitindo que a comunidade algal, durante o dia, promovesse aumento do pH e da alcalinidade. No presente estudo, a clarificação não mostrou ter influência sobre as diferenças de alcalinidade entre os tratamentos. Houve apenas, em média, uma alcalinidade superior no tratamento com a remoção de matéria orgânica particulada. Durante o experimento não foram feitas aplicações com compostos carbonatados, apenas correções do pH através de cal hidratada. Essas correções, provavelmente, foram suficientes para a manutenção das concentrações de alcalinidade. Em ambos tratamentos, as médias de alcalinidade estiveram dentro da faixa aceitável para *L. vannamei*.

Durante o período em que foram efetuadas clarificações, o pH foi significativamente maior. Vinatea et al. (2010) verificaram que altos níveis de matéria particulada forneceram substrato para bactérias e outros microorganismos, sendo confirmado pela relação direta entre a respiração na coluna da água e turbidez.

Wasiolesky et al. (2006a), encontraram pH menores devido a respiração de microorganismos heterotróficos, acarretando aumento de CO₂ na água do cultivo. A retirada de sólidos suspensos pode ter diminuído o consumo de oxigênio associado a processo de decomposição da matéria orgânica por microorganismos nos tanques, reduzindo a taxas de CO₂ resultantes da respiração na coluna da água.

Para camarões marinhos a faixa de pH para melhor crescimento está entre 7 e 9 (Van Wyk & Scarpa, 1999). Em sistemas BFT, Wasiolesky et al. (2006b) encontraram redução nas taxas de crescimento e conversão alimentar em pH abaixo de 7. No presente estudo, o pH médio foi mantido acima de 7 e se manteve dentro do recomendado para a espécie.

Dentre os parâmetros físicos e químicos discutidos, a temperatura, o oxigênio e os sólidos suspensos totais foram os principais fatores que atingiram valores que podem ter comprometido o desempenho zootécnico de *L. vannamei*. Neste estudo o crescimento em ambos tratamentos pode ter sido afetado pela temperatura média de 22°C, visto que esta espécie é um organismo ectotérmico, onde a taxa metabólica mantém-se em função da temperatura do ambiente (Zhang et al., 2006; Vinatea et al., 2010). As maiores concentrações de oxigênio dissolvido e menores de sólidos suspensos totais, coincidiram com o melhor desempenho de crescimento em peso dos camarões com a remoção de sólidos suspensos. Similarmente, o ganho em peso foi significativamente superior no tratamento CC onde houve redução de sólidos suspensos, corroborando com o estudo de Ray et al. (2010). Estes autores alcançaram média de sobrevivência de todos os tanques do experimento em 71%, porém não houveram diferenças entre os tratamentos. Ao contrário, no presente estudo houve diferenças significativas entre os tratamentos, onde a maior taxa de sobrevivência foi de 81% no tratamento CC, contra 51% no SC, onde não houve remoção de sólidos suspensos. Além disso, as concentrações de sólidos suspensos totais ultrapassaram 500 mg/l (Samocha et al. 2007) que em excesso, geram condições estressantes aos organismos do cultivo podendo aumentar a demanda bioquímica de oxigênio e oclusão das brânquias das espécies cultivadas (Hargreaves, 2006; McMillan et al., 2003). Em cultivo superintensivo sem renovação de água, é estritamente importante quando a sobrevivência depende da disponibilidade de oxigênio dissolvido e da quantidade de sólidos suspensos na coluna da água (Hopkins et al., 1995, 1996). Segundo Ray et al. (2010), removendo sólidos, pode haver decréscimo da DBO, reduzindo níveis de estresse dos camarões, levando à um aumento na produção. Estes autores atingiram taxa

de conversão alimentar de 2,15 no tratamento de remoção de sólidos suspensos. Uma melhor taxa encontrada no presente estudo de 1,47, provavelmente ocorreu devido à melhora da qualidade da água com a clarificação. Isto pode ser confirmado pelo estudo de interações de variáveis de qualidade de água com crescimento de *L. vannamei* de Vinatea et al.(2010), onde as taxas de conversão alimentar ficaram inferiores, com o aumento da concentração de sólidos suspensos voláteis.

CONCLUSÃO

O sistema de clarificação utilizado foi eficiente para a manutenção de sólidos suspensos totais em 500 mg/l. A remoção de matéria orgânica particulada em suspensão, melhorou a qualidade da água, refletindo num melhor desempenho zootécnico de *L. vannamei*. A melhor resposta ao uso do clarificador foi nas concentrações de oxigênio dissolvido, onde a remoção de matéria orgânica particulada em suspensão aumentou a disponibilidade de oxigênio.

No intuito de se adequar uma ferramenta para a eliminação do excesso de matéria orgânica da água do cultivo superintensivo de camarões, para a manutenção da qualidade da água, o sistema de clarificação de água mostrou-se uma proposta viável e fácil de ser aplicada.

No entanto, maiores estudos devem ser feitos com uso da clarificação, relacionado a concentração ideal de sólidos suspensos totais, bem como, o entendimento da dinâmica das partículas em suspensão durante o processo de remoção.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pelo auxílio financeiro durante o mestrado, ao CNPq, Aquatec, ao Laboratório de Ecologia do Fitoplâncton e Microorganismos Marinhos (FURG), a Estação Marinha de Aquacultura – EMA (FURG).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aminot, A. e Chaussepied, M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Brest, CNEXO, 395p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 2000. Official Methods of Analysis of AOAC, 16st edition. Patricia Cunniff (editora), Washington, DC.
- APHA (American Public Health Association), 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20st edition. Washington, DC. 1193p.
- Avnimelech, Y., 1999. C/N ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176, 227–235.
- Avnimelech, Y., 2009a. Biofloc technology - A practical guide book. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States.
- Avnimelech, Y., 2009b. ABC of shrimp BFT grow out. In: World Aquaculture 2009, Abstracts. September 25-29, Veracruz, México. p.121.
- Azim, M.E., Little, D.C., 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283, 29-35.
- Ballester, E.L.C., Abreu, P.C., Cavalli, R.O., Emerenciano, M., de Abreu, L., Wasielesky, W.J., 2010. Effect of practical diets with different protein levels on *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. *Aquaculture Nutrition* 16, 163-172.
- Barak, Y., Cytryn, E., Gelfand, I., Krom, M., Van Rijn, J., 2003. Phosphorus removal in a prototype, recirculating aquaculture system. *Aquaculture* 220, 313–326.
- Bendschneider, K., Robinson, R.J., 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.* 11, 87-96.
- Browdy, C.L., Bratvold, D., Stokes, A.D., McIntosh, R.P., 2001. Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture*, Aquaculture 2001. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA, 20–34.
- Brune, D.E., Schwartz, G., Eversole, A.G., Collier, J.A., Schwedler, T.E., 2003. Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. *Aquacultural Engineering* 28, 65-86.

- Burford, M.A., Thompson, P.J., McIntosh, R.P., Bauman, R.H., Pearson, D.C., 2003. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture* 219, 393-411.
- Chapman, P.M., Popham, J.D., Griffin, J., Leslie, D., Michaelson, J., 1987. Differentiation of physical from chemical toxicity in solid waste fish bioassays. *Water Air Soil Pollut.* 33, 295–308.
- Cheng, W., Liu, C.H., Kuo, C.M., 2003. Effects of dissolved oxygen on hemolymph parameters of freshwater giant prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Aquaculture* 220, 843–856.
- Cohen, J.M., Samocha, T.M., Fox, J.M., Gandy, R.L., Lawrence, A.L., 2005. Characterization of water quality factors during intensive raceway production of juvenile *Litopenaeus vannamei* using limited discharge and biosecure management tools. *Aquacultural Engineering* 32, 425–442.
- Cripps, S.J. and Bergheim A., 2000. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering* 22, 33–56.
- Eaton, A.D., Cleserci, L.S., Greenberg, A.E. (Eds.), 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, 10th edition. Amer. Pub. Health Assoc., Washington D.C.
- Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J., 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic control of ammonia-nitrogen in aquaculture production systems. *Aquaculture* 257, 346-358.
- Emerenciano, M.G.C., Wasielesky, W.J., Soares, R.B., Ballester, E.L.C., Izeppi, E.M., Cavalli, R.O., 2007. Crescimento e sobrevivência do camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) na fase de berçário em meio heterotrófico. *Acta Sci. Biol. Sci.* 29, 1-7.
- Emerenciano, M., 2009. Effect of two different diets fish meal based and organic plant based diets in *Litopenaeus Setiferus* earlier post-larvae culture under biofloc, green-water and clear-water conditions. In: *World Aquaculture 2009, Abstracts*. September 25-29, Veracruz, México. p.261.
- Hargreaves, J., 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacultural Engineering* 34, 344–363.
- Hopkins, J.S., Sandifer, P.A., Browdy, C.L., 1994. *Sludge Management in Intensive Pond Culture of Shrimp: Effect of Management Regime on Water Quality*,

- Sludge Characteristics, Nitrogen Extinction, and Shrimp Production. *Aquacultural Engineering* 13, 1-30.
- Hopkins, J.S., Sandifer, P.A., Browdy, C.L., 1995. 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, USA, 13–22.
- Hopkins, J.S., Sandifer, P.A., Browdy, C.L., Holloway, J.D., 1996. Comparison of exchange and no-exchange water management for the intensive pond culture of marine shrimp. *Journal of Shellfish Research* 15, 441-445.
- Islam, Md.S., Sarker, Md.J., Yamamoto, T., Wahab, Md.A., Tanaka, M., 2004. Water and sediment quality, partial mass budget and effluent N loading in coastal brackishwater shrimp farms in Bangladesh. *Marine Pollution Bulletin* 48, 471–485.
- Jackson, C., Presto, N., Burford, A., Thompson, P., 2003. Managing the development of sustainable shrimp farming in Australia: the role of sedimentation ponds in treatment of farm discharge water. *Aquaculture* 226, 23-34.
- Johnson, W., Chen, S., 2006. Performance evaluation of radial/vertical flow clarification applied to recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 34, 47–55.
- Jones, A., Dennison, W., Preston, N., 2001. Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study. *Aquaculture* 193, 155–178.
- Kirk, J.T.O., 1994. *Light & photosynthesis in aquatic ecosystems*. 509p. Cambridge University Press, UK.
- Leffler, J.W., Ray, A.J., Lewis, B.L., Venero, J.A., Vinatea, L., Shuler, A., Browdy, C.L., 2009. Effects of an organic certifiable plant-based diet in conjunction with solids removal on the production of shrimp *Litopenaeus vannamei* in minimal exchange superintensive biofloc systems. In: *World Aquaculture 2009, Abstracts*. September 25-29, Veracruz, México. p. 695.
- Maillard, V.M., Boardman, G.D., Nyland, J.E., Kuhn, D.D., 2005. Water quality and sludge characterization at raceway-system trout farms. *Aquacultural Engineering* 33, 271–284.

- McMillan, J.D., Wheaton, F.W., Hochheimer, J.N., Soares, J., 2003. Pumping effect on particle sizes in a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering* 27, 53–59.
- Mugnier, C., Soyeux, C., 2005. Response of the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* to temperature decrease and hypoxia in relation to molt stage. *Aquaculture* 244, 315–322.
- Naylor, R.L., Goldberg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., Troell, M., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405, 1017–1024.
- Patterson, R.N., Watts, K.C., Timmons, M.B., 1999. The power law in particle size analysis for aquacultural facilities. *Aquacultural Engineering* 19, 259–273.
- Peixoto, S., Wasielesky, W.J., Louzada, L.J., 2003. Comparative Analysis of Pink Shrimp, *Farfantepenaeus paulensis*, and Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, Culture in Extreme Southern Brazil. *Journal of Applied Aquaculture* 14, 101–112.
- Piedrahita, R.H., 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* 226, 35–44.
- Preston, N.P., Jackson, C.J., Thompson, P.J., Austin, M., Burford, M.A., 2000. Prawn Farm Effluent: Origin, Composition and Treatment. Final Report, Fishing Industry Research and Development Corporation, Canberra, Australia. 71 pp.
- Ramos, R., Vinatea, L., Seiffert, W., Beltrame, E., Silva, J.S., Costa, R.H.R., 2009. Treatment of Shrimp Effluent by Sedimentation and Oyster Filtration Using *Crassostrea gigas* and *C. rhizophorae*. *Brazilian Archives of Biology And Technology* 52, 775–783.
- Ray, A.J., Lewis, B.L., Browdy, C.L., Leffler, J.W., 2010. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture* 299, 89–98.
- Samocha, T.M., Lawrence, A., Collins, C.R., Emberson, C.R., Harvin, J.L., Van Wyk, P.M., 2001. Development of integrated, environmentally sound, inland shrimp production technologies for *Litopenaeus vannamei*. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture, Aquaculture 2001*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, USA, 64–75.

- Samocha, T.M., Patnaik, S., Speed, M., Ali, A.M., Burger, J.M., Almeida, R.V., Ayub, Z., Harisanto, M., Horowitz, A., Brook, D.L., 2007. Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vanammei*. *Aquacultural Engineering* 36, 184-191.
- Schryver P.D., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W., 2008. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277, 125-137.
- Sokal, R.R. e Rohlf, F.J., 1969. *Biometry. Principle and practices of statistics in biological research*. W. H. Freeman & Co., 776.
- Stephens, W.W., Farris, J.L., 2004. Instream community assessment of aquaculture effluents. *Aquaculture* 231, 149–162.
- Strickland, J.D.H. e Parsons, T.R., 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fisheries Research Board of Canada. 2. ed. Ottawa: Bulletin 167.
- Summerfelt, S.T., 1999. Waste-handling systems. In: Wheaton, F.W. (Ed.), *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp. 309– 350.
- Teichert-Coddington, D.R., Rouse, D.B., Potts, A., Boyd, C.E., 1999. Treatment of harvest discharge from intensive shrimp ponds by settling. *Aquacultural Engineering* 19, 147–161.
- Thakur, D.P., Lin, C.K., 2003. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems. *Aquacultural Engineering* 27, 159–176.
- Timmons, M.B., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., 1998. Review of circular tank technology and management. *Aquacultural Engineering* 18, 51–69.
- Van Wyk, P., Scarpa, J., 1999. Water Quality and Management. In: Van Wyk, P., et al. (Eds.), *Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems*. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee, pp. 128–138.
- Viadero, R.C., Noblett, J.A., 2002. Membrane filtration for removal of fine solids from aquaculture process water. *Aquacultural Engineering* 26, 151–169.
- Vinatea, L., Galvez, A.O., Browdy, C.L., Stokes, A., Venero, J., Haveman, J., Lewis, B.L., Lawson, A., Shuler, A., Leffler, J.W., 2010. Photosynthesis, water respiration and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a super-intensive raceway culture with zero water exchange: Interaction of water quality variables. *Aquacultural Engineering* 42, 17–24.

- UNESCO, 1983. Chemical methods for use in marine environmental monitoring. Manual and Guides 12, Intergovernmental Oceanographic Commission. Paris, France.
- Wasielesky, W.J., Bianchini, A., Sanchez, C.C., Poersch, L.H., 2003. The effect of temperature, salinity nitrogen products on food consumption of pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis*. Brazilian Archives of Biology And Technology 46, 135-141.
- Wasielesky, W.J., Atwood, H.I, Stokes, A., Browdy, C.L., 2006a. Effect of natural production in brown water super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture 258, 396-403.
- Wasielesky, W.J., Atwood H., Kegl, R., Bruce, J., Stokes, A., Browdy, C., 2006b. Efeito do ph na sobrevivência e crescimento do camarão branco *Litopenaeus vannamei* em cultivos superintensivos. Aquacultura 2006. Anais do congresso.
- Wasielesky, W.J., 2009. Effect of the use of different aeration type on aggregates formation and performance of *Litopenaeus vannamei* in biofloc technology culture system. In: World Aquaculture 2009, Abstracts. September 25-29, Veracruz, México. p. 892.
- Welschmeyer, N.A., 1994. Fluorometric analysis of chlorophyll a in the presence of chlorophyll b and pheopigments. Limnol. Oceanogr. 39, 1985–1992.
- Wyban, J., Walsh, W.A., Godin, D.M., 1995. Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). Aquaculture 138, 267-279.
- Zhang, P., Zhang, X., Li, J., Huang, G., 2006. The effects of body weight, temperature, salinity, pH, light intensity and feeding condition on lethal DO levels of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). Aquaculture 256, 579–587.