

## Notas Científicas

### Remoção de compostos nitrogenados e fosfatados de efluentes por meio de reator anaeróbico com fluxo ascendente

Weruska de Melo Costa<sup>(1)</sup>, Henrique David Lavander<sup>(2)</sup>, Leônidas Oliveira<sup>(2)</sup>, André Batista de Souza<sup>(2)</sup>, Alfredo Olivera Gálvez<sup>(2)</sup> e Luiz Alejandro Vinatea Arana<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Departamento de Biologia, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/nº, Dois Irmãos, CEP 52171-900 Recife, PE. E-mail: weruskac@yahoo.com.br <sup>(2)</sup>UFRPE, Departamento de Pesca e Aquicultura. E-mail: henriquelavander@hotmail.com, leonidasocjr@hotmail.com, andrebat17@hotmail.com, alfredo\_oliv@yahoo.com <sup>(3)</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Aquicultura, Rodovia Ademar Gonzaga, nº 1.346, Itacorubi, CEP 88034-001 Florianópolis, SC. E-mail: vinatea@mbox1.ufsc.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a remoção de compostos nitrogenados e fosfatados e da carga orgânica poluidora oriunda de cultivo heterotrófico de camarão marinho, por meio de reator anaeróbico. Foi construído um reator com fluxo ascendente, em que os efluentes de entrada e saída foram avaliados continuamente durante 120 horas, com três repetições. Os parâmetros físicos e químicos avaliados foram: temperatura, pH, condutividade, ortofosfato, nitrito, nitrato, amônia, demanda química de oxigênio e sólidos totais. O reator permaneceu estável, com boas condições de retenção de sólidos. O reator anaeróbico removeu 96,7% do nitrogênio amoniacal e 91% de ortofosfatos dos efluentes de cultivo de camarão marinho, o que mostra que os efluentes tratados estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação.

Termos para indexação: *Litopenaeus vannamei*, águas residuais, controle de poluição, cultivo de camarão, qualidade de água.

### Removal of nitrogen and phosphate compounds from wastewater by an upward-flow anaerobic reactor

Abstract – The objective of this work was to evaluate the removal of phosphate and nitrogen compounds, and of pollutant, organic load from heterotrophic farming of marine shrimp, using an anaerobic reactor. An upward-flow reactor was constructed, in which input and output wastes were continuously evaluated for 120 hours, with three replicates. The evaluated physical and chemical parameters were: temperature, pH, conductivity, orthophosphate, nitrite, nitrate, ammonia, chemical oxygen demand and total solids. The reactor remained steady, with good conditions for solid retention. The upward-flow anaerobic reactor removed 96.7% ammoniacal nitrogen and 91% orthophosphate from effluents of marine shrimp farming, which shows that effluents are within the limits set by law.

Index terms: *Litopenaeus vannamei*, wastewater, pollution control, shrimp culture, water quality.

O cultivo de camarões marinhos apresentou um crescimento significativo nas últimas décadas. No entanto, a rápida expansão desta cadeia produtiva não foi devidamente acompanhada por sistemas de manejo eficientes em reduzir os impactos ambientais, gerados por sistemas autotróficos tradicionais (Samocha et al., 2007). Efluentes provenientes deste tipo de cultivo são responsáveis por degradações em ecossistemas e por disseminação de doenças em camarões. Tal situação demanda tecnologias comprometidas com as boas práticas de manejo e melhoria da qualidade da água dos cultivos (Horowitz & Horowitz, 2001, 2003).

Sistemas heterotróficos de cultivo de camarões vêm sendo desenvolvidos mundialmente, com a aplicação de agentes probióticos que aumentam a capacidade nutricional dos focos e proporcionam melhor resposta imunológica (Lin et al., 2004; Zhou, 2009). Com o aumento da população bacteriana, ocorre a formação de macroagregados ou focos, constituídos principalmente por bactérias, microalgas, partículas orgânicas e inorgânicas, protozoários e outros microrganismos (Burford et al., 2003; Balcázar et al., 2006). As trocas limitadas de água proporcionam aos sistemas de cultivo a redução ou a eliminação de infecções microbianas na água de cultivo, reduzem

a carga de nutrientes e a transferência de patógenos para o ambiente e mantêm a boa qualidade da água nos viveiros de camarões (Horowitz & Horowitz, 2002). Contudo, estudos comprovam que, embora os cultivos heterotróficos estejam crescendo, devem-se levar em consideração parâmetros como os compostos fosfatados e nitrogenados, a exemplo da amônia livre ( $\text{NH}_3$ ) que, dissolvida na água, pode ser tóxica aos peixes mesmo a baixas concentrações.

A agência americana de proteção ambiental (EPA) estabelece um limite de  $0,02 \text{ mg L}^{-1}$  de nitrogênio em forma de  $\text{NH}_3$  nas águas, para proteção da vida aquática. A Resolução Conama 357/2005 (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005) estabelece os limites máximos de  $0,40$  e  $0,124 \text{ mg L}^{-1}$ , para a amônia e fósforo total, respectivamente.

As espécies cultivadas em aquicultura excretam amônia, que pode tornar-se tóxica a concentrações elevadas. Entretanto, a amônia pode ser utilizada por bactérias heterotróficas, que também podem usar o nitrogênio em compostos orgânicos, como a ração não ingerida e os excrementos, o que leva à regeneração do amônio (Chernicharo, 1997). Estas interações dinâmicas são importantes, quando as estratégias de manejo bacteriano em sistemas aquícolas são consideradas. Por exemplo, o aumento de proteína na ração pode levar ao maior crescimento de espécies aquícolas, mas também à maior regeneração de amônio por bactérias heterotróficas, se as proporções C:N não forem consideradas. Isto adquire importância em sistemas aquícolas de recirculação e de baixa ou nenhuma renovação de água a altas densidades de povoamento (Montoya et al., 2000).

Entre os possíveis impactos causados pela atividade aquícola está a alteração da sedimentação, que contribui para o processo de retenção de material orgânico no ambiente aquático e aumenta as taxas de decomposição bacteriana, com a utilização do oxigênio disponível e a liberação de nutrientes. Segundo Folke & Kautsky (1992), 13% de N e 66% de P aportados via ração sofrem sedimentação, 25% de N e 23% de P são convertidos em biomassa, e 62% de N e 11% de P ficam dissolvidos na água. Alves (2006) observou que, quando ocorrem picos de sedimentação de P total, a saturação de oxigênio dissolvido começa a declinar, o que indica maior quantidade de matéria orgânica em decomposição.

Em cultivos do tipo heterotrófico, depois de seguidos ciclos de cultivo, a água reaproveitada não tem mais condições de uso. Apesar das diluições, ainda, poderá haver níveis altos de compostos orgânicos, inorgânicos, sólidos e bactérias que, com o passar do tempo, poderão desenvolver reações irreversíveis e comprometer a sua devolução ao ambiente. Em razão desse problema, deve-se considerar a resolução do Conama que estabelece as condições de padrões de lançamento de efluentes e admite parâmetros em diversos níveis, para assegurar que as águas utilizadas em cultivos aquícolas sejam tratadas adequadamente e não causem efeitos deletérios ao ambiente aquático.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a remoção de compostos nitrogenados e fosfatados e da carga orgânica poluidora, oriunda de cultivos heterotróficos de camarão marinho, por meio de reator anaeróbico, com fluxo ascendente.

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Maricultura Sustentável (Lamarsu), do Departamento de Engenharia de Pesca e Aquicultura, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, de setembro de 2010 a fevereiro de 2011.

Adaptaram-se os reatores com um corte na extremidade superior dos recipientes de polietileno de alta densidade (Pead), para limpeza e ajuste de três placas de compartimentos, por meio de colagem com maçarico. A entrada e a saída do efluente foram ajustadas, por meio de cortes opostos e colocação de cano de PVC, com suporte para mangueira de plástico e bombas de recirculação que permitiram a entrada e saída do efluente por bombeamento, com fluxo ascendente no interior do reator e com aeração constante. Em seguida, o efluente de saída das unidades foi recirculado da unidade de equalização, por meio de bomba centrífuga, para estudo das duas fases operacionais de condições de recirculação, com duração de 120 horas cada uma: 50% da vazão total (2.880 L por dia); e 100% da vazão total (5.760 L por dia, vazão da recirculação).

O reator foi abastecido com o efluente a partir do tanque de armazenamento de fibra de vidro com capacidade de 2.000 L (altura, 1,8 m; largura, 2,2 m; e profundidade, 1,8 m). Deste reator, por meio de uma bomba centrífuga de 0,5 CV, a água foi encaminhada para as unidades de equalização, com volume de 50 L (altura, 0,5 m; largura, 0,8 m; e profundidade, 0,5 m), de onde foi bombeada para as unidades de tratamento

de 200 L (altura, 1,3 m e diâmetro, 0,7 m), em três unidades compartimentadas.

Uma unidade experimental foi construída e monitorada por 120 horas, com três repetições. O monitoramento foi realizado a cada 24 horas, inclusive o efluente inicial (EI) proveniente dos cultivos heterotróficos e a saída do efluente final (EF, tratado e recirculado no reator), onde as vazões foram ajustadas mecanicamente e monitoradas durante as 120 horas, por medição direta (método volumétrico). O sistema foi conduzido a mais duas repetições, das quais se obtiveram as médias. Avaliaram-se os seguintes parâmetros: temperatura, salinidade, O<sub>2</sub>, pH, vazão, condutividade, in loco, com sonda multiparâmetros YSI 6600 V2 (Clean Environment, Campinas, SP, Brasil); demanda química de oxigênio (DQO), mg L<sup>-1</sup> (American Public Health Association, 2005); e sólidos totais, por gravimetria e cones de Imhoff (Tabela 1).

A análise estatística foi realizada pela média dos dados obtidos, submetidos à análise de variância. Para avaliar se os parâmetros apresentaram diferenças estatisticamente significativas, a 5% de probabilidade, testaram-se inicialmente a normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e a homocedasticidade (Chocran). Como a maioria dos dados não apresentou distribuição normal, e as variâncias se apresentaram de forma não homogênea, utilizou-se o teste não paramétrico

**Tabela 1.** Características físicas e químicas do efluente inicial (EI) e do efluente final, no reator anaeróbico de fluxo ascendente<sup>(1)</sup>.

Parâmetro	Efluente final	
	Média±DP	Mínimo Máximo
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	0,01±0,00	0,01±0,04 0,02 0,13
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	0,15±0,05	0,71±0,82 0,02 0,20
Amônia (mg L <sup>-1</sup> )	1,86±0,08	0,08±0,03 0,02 0,16
Ortofosfato (mg L <sup>-1</sup> )	8,92±2,43	3,92±5,56 0,80 7,90
pH	7,88±0,05	8,02±0,06 7,98 8,32
DO <sub>2</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	6,19±0,02	4,33±0,02 4,00 4,88
Salinidade (‰)	25,69±0,00	29,21±0,00 27,97 30,80
Condutividade (mS cm <sup>-1</sup> )	40,33±0,00	44,33±0,00 43,13 47,00
Sólidos totais (mL L <sup>-1</sup> )	56±0,00	40,6±0,00 35,00 46,00
Coliformes totais (UFC mL <sup>-1</sup> )	nd	nd nd nd
Vazão (L por hora)	-	75 - -
TRH (hora)	-	72 - -
Sólidos totais (%)	-	37,5 - -

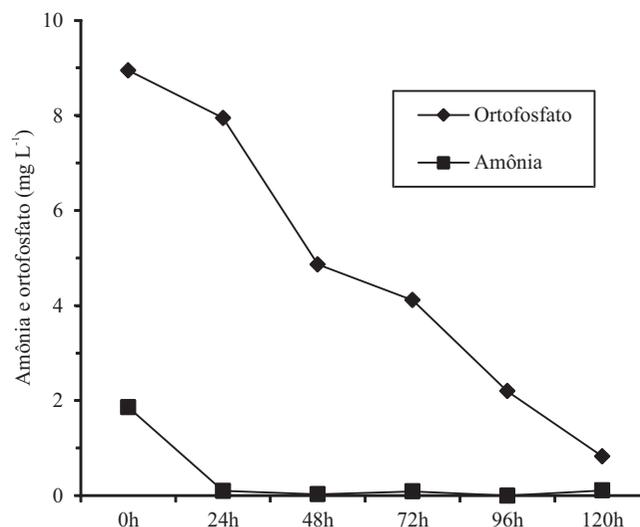
<sup>(1)</sup>Não houve diferença significativa entre os tratamentos. DP, desvio padrão. TRH, tempo de retenção hidráulica. Temperatura média (Tmed) do reator = 27°C; Tmed, máxima e mínima do ambiente, 29,98, 27,34 e 31,74°C, respectivamente.

de Kruskal-Wallis (Zar, 1984), para comparação de medianas, com os resultados obtidos das três repetições de operação dos reatores. Não houve diferença significativa entre os tratamentos.

O reator apresentou eficiência de remoção de 96,7% da amônia, nas primeiras 24 horas, o que resultou em um efluente final com concentrações abaixo dos limites previstos pela resolução do Conama, com estabilização constante até as 120 horas de operação dos filtros.

A remoção de ortofosfatos, durante as fases de operação do reator, foi eficiente. O ortofosfato é um composto considerado de difícil remoção e é um fator limitante na produção aquícola. A resolução do Conama estabelece limites para P total de 0,124 mg L<sup>-1</sup> em seu volume máximo. As concentrações iniciais foram maiores do que as do padrão de lançamento; porém, nas 120 horas de operação do sistema, estas concentrações foram menores do que as estabelecidas pela Resolução. O resultado da operação do reator, em 120 horas, mostrou eficiência quanto à redução da carga, dentro do limite do padrão de funcionamento (Figura 1).

A concentração de sólidos totais diminuiu gradualmente após as primeiras horas de operação. Esse comportamento levou a mais 24 horas de operação



**Figura 1.** Redução das concentrações de ortofosfato e amônia em efluente oriundo de cultivo heterotrófico de camarão marinho, por meio de reator anaeróbico de fluxo ascendente. Foram obtidas as médias e o desvio-padrão das repetições. A Resolução 357/2005 (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005) estabelece limites máximos de 0,40 mg L<sup>-1</sup> de amônia e de 0,124 mg L<sup>-1</sup> de P total.

do sistema (144 horas), para se ter certeza dos níveis de redução, que foram, em média, de 35% para os sólidos nos efluentes da unidade de tratamento. Os resultados indicaram redução constante durante as 144 horas de recirculação, mas, ainda assim, bem acima de 1 mL L<sup>-1</sup> (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005). Não foram observadas influências oriundas do tempo de operação ou da temperatura, o que poderia ser levado em consideração na determinação do tempo de operação.

O reator pode ser usado como uma alternativa eficaz para o tratamento de águas residuais de cultivos heterotróficos de camarões marinhos. Os níveis de amônia e ortofosfatos foram reduzidos e estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação ambiental. Esta pesquisa mostra que o desempenho do reator foi satisfatório e que pode ainda ser melhorado, por meio de estudos complementares, principalmente no que diz respeito ao tempo de operação e à retenção de sólidos.

### Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa; à Empresa de Pesquisa Klaff, pela montagem dos reatores; a Roberta Borda Soares, Silvio Peixoto, Eudes Correa, Emanuel Felipe e Fabiana Penalva, pelas contribuições sobre o tema, e a Renata Akemi Shinozaki Mendes, pelo apoio nas análises estatísticas.

### Referências

- ALVES, R.C.P. **Monitoramento de características físico-químicas da água e taxas de sedimentação de tripton no Córrego da Arribada (Baixo Tietê - SP) relacionadas à piscicultura em tanques-rede**. 2006. 186p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21<sup>st</sup> ed. Washington: APHA, 2005.
- BALCÁZAR, J.L.; BLAS, I. de; RUIZ-ZARZUELA, I.; CUNNINGHAM, D.; VENDRELL, D.; MÚZQUIZ, J.L. The role of probiotics in aquaculture. **Veterinary Microbiology**, v.114, p.173-186, 2006. DOI: 10.1016/j.vetmic.2006.01.009.
- BURFORD, M.A.; THOMPSON, P.J.; MCINTOSH, R.P.; BAUMAN, R.H.; PEARSON, D.C. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. **Aquaculture**, v.219, p.393-411, 2003. DOI: 10.1016/S0044-8486(02)00575-6.
- CHERNICHARO, C.A. de L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Segrac, 1997. 246p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 18 mar. 2005. p.58-63.
- FOLKE, C.; KAUTSKY, N. Aquaculture with its environment – prospects for sustainability. **Ocean and Coastal Management**, v.17, p.5-24, 1992. DOI: 10.1016/0964-5691(92)90059-T.
- HOROWITZ, A.; HOROWITZ, S. Biosecurity, biofiltration and microbiological community role in sustainable shrimp farming. In: JORY, D.E. (Ed.). **Responsible aquaculture for a secure future: proceedings of a special session on shrimp farming**. Baton Rouge: World Aquaculture Society, 2003. p.157-165.
- HOROWITZ, A.; HOROWITZ, S. Disease control in shrimp aquaculture from a microbial ecology perspective. In: BROWDY, C.L.; JORY, D. (Ed.). **The rising tide: proceedings of the special session on sustainable shrimp farming**. Baton Rouge: World Aquaculture Society, 2001. p.199-218.
- HOROWITZ, S.; HOROWITZ, A. Microbial intervention in aquaculture. In: LEE, C.-S.; O'BRYEN, P. (Ed.). **Microbial approaches to aquatic nutrition within environmentally sound aquaculture production systems**. Baton Rouge: World Aquaculture Society, 2002. p.119-131.
- LIN, H.Z.; GUO, Z.X.; YANG, Y.Y.; ZHENG, W.; LI, Z.J. Effect of dietary probiotics on apparent digestibility coefficients of nutrients of white shrimp *Litopenaeus vannamei* Boone. **Aquaculture Research**, v.35, p.1441-1447, 2004. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2004.01169.x.
- MONTOYA, R.A.; LAWRENCE, A.L.; GRANT, W.E.; VELASCO, M. Simulation of phosphorus dynamics in an intensive shrimp culture system: effects of feed formulations and feeding strategies. **Ecological Modelling**, v.129, p.131-142, 2000. DOI: 10.1016/S0304-3800(00)00230-1.
- SAMOCHA, T.M.; PATNAIK, S.; SPEED, M.; ALI, A.; BURGER, J.M.; ALMEIDA, R.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*. **Aquacultural Engineering**, v.36, p.184-191, 2007. DOI: 1016/j.aquaculture2006.10.004.
- ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. 2<sup>nd</sup> ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1984. 718p.
- ZHOU, X.-X.; WANG, Y.-B.; LI, W.-F. Effect of probiotic on larvae shrimp (*Penaeus vannamei*) based on water quality, survival rate and digestive enzyme activity. **Aquaculture**, v.287, p.349-353, 2009. DOI: 1016/j.aquaculture2008.10.046.

Recebido em 30 de março de 2012 e aprovado em 15 de julho de 2013