

Efeito da fotossíntese na alcalinidade da água de cultivo da tilápia do Nilo¹

Effect of photosynthesis on Nile tilapia culture water's alkalinity

Davi de Holanda Cavalcante² e Marcelo Vinícius do Carmo e Sá^{3*}

Resumo - As características físicas e químicas da água de cultivo afetam fortemente o crescimento, a reprodução, a saúde e a sobrevivência dos peixes. Por isso, delimitou-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar os efeitos da atividade fotossintética na alcalinidade total da água de cultivo de alevinos de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* mantidos em laboratório. Havia 18 aquários de polietileno com capacidade total para 25 L e volume útil de 20 L, distribuídos igualmente em dois sistemas de cultivo (interno e externo). No início do experimento, quinze alevinos de $0,52 \pm 0,06$ g foram estocados em cada aquário de cultivo, tanto no sistema interno como externo. O sistema de cultivo externo (águas verdes) foi considerado o tratamento experimental do trabalho, tendo o sistema de cultivo interno (águas claras) como controle experimental. O experimento teve a duração de 6 semanas. Semanalmente, coletaram-se amostras de água de todas as unidades experimentais para determinação da alcalinidade total e leitura do pH. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para experimentos inteiramente casualizados, adotando-se 5% como nível de significância. Em média, o pH da água nos aquários sem e com fitoplâncton foi de $7,32 \pm 0,39$ e $8,45 \pm 0,40$, respectivamente, havendo diferença significativa entre estes resultados ($P < 0,001$). A alcalinidade total média no sistema de aquários com águas claras e verdes foi de $50,49 \pm 6,07$ e $63,52 \pm 2,12$ mg L⁻¹ CaCO₃, respectivamente, havendo diferença significativa entre estes resultados ($P < 0,001$).

Palavras-chave - Piscicultura. Tilápia. Qualidade de água. Fitoplâncton. Alcalinidade da água.

Abstract - The physical and chemical characteristics of the culture water affect strongly the growth, reproduction, health and survival of fish. The present work was designed to evaluate the effects of the photosynthetic activity on the Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* culture water's total alkalinity. There were eighteen 25-L polyethylene aquaria equally distributed in two culture systems (indoor and outdoor). At the setup fifteen 0.52 ± 0.06 g juveniles were stocked in each indoor and outdoor aquarium. The indoor and outdoor aquaria were the control and experimental group, respectively, with 9 replicates each. Fish were maintained into the aquaria for 6 weeks. Every week water samples from each aquarium were collected to determine their total alkalinity and pH. These results were submitted to ANOVA for completely random experiments at 5% level of significance. The average water pH in aquaria without and with phytoplankton were 7.32 ± 0.39 and 8.45 ± 0.40 , respectively. These results were significantly different between them ($P < 0.001$). The total alkalinity of the water averaged 50.49 ± 6.07 and 63.52 ± 2.12 mg L⁻¹ CaCO₃ for the indoor and outdoor systems, respectively. These results were also significantly different between them ($P < 0.001$).

Keywords - Fish culture. Tilapia. Water quality. Phytoplankton. Water alkalinity.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 18/02/2009; aprovado em 06/01/2010

Parte da monografia de conclusão do curso de Engenharia de Pesca do primeiro autor

²Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola, Departamento de Engenharia de Pesca, UFC, Campus do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil, 60.356-000, davihcavalcante@hotmail.com

³Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola, Departamento de Engenharia de Pesca, UFC, Campus do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil, 60.356-000, marcelo.sa@ufc.br

Introdução

As características físicas e químicas da água de cultivo afetam fortemente o crescimento, a reprodução, a saúde e a sobrevivência dos peixes (SOUZA et al., 2000). Grande parte do sucesso dos empreendimentos aquícolas depende da qualidade da água na qual os animais vivem. Dentre os aspectos limnológicos de importância para vida aquática, destaca-se o equilíbrio ácido-base da água, que está diretamente relacionado com seu pH (ARIDE et al., 2007) e alcalinidade (ANDRADE et al., 2007). As relações entre essas variáveis necessitam ser bem compreendidas para que se possa manejar corretamente as unidades de cultivo (QUEIROZ et al., 2004).

Alcalinidade total da água se refere à sua riqueza de íons bicarbonato e carbonato, principalmente, expressa em equivalentes de carbonato de cálcio. Os bicarbonatos e os carbonatos são os agentes responsáveis pelo tamponamento do pH da água, ou seja, eles previnem grandes variações no pH da água, tanto para mais como para menos. A faixa ideal de pH da água para cultivo de peixes em viveiros vai de 6,5 a 9,0. Abaixo ou acima desses valores, há estresse e retardo no crescimento animal. Quando o pH da água de cultivo está abaixo de 4,0 ou acima de 11,0, há risco de morte iminente dos animais (BOYD, 2000).

Um dos fatores biológicos que pode afetar o pH e a alcalinidade da água de cultivo de peixes é a fotossíntese. Com a remoção de CO_2 da água durante a fotossíntese, há elevação do pH da água pelo conseqüente consumo de íons H^+ , como pode ser visto na seguinte reação: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ (BOYD, 1979). A magnitude da elevação do pH por ação da fotossíntese dependerá, entre outros fatores, da alcalinidade da água. Em águas de baixa alcalinidade, espera-se maior elevação do pH (BOYD, 2000). Embora o efeito da fotossíntese sobre o pH da água já esteja bem demonstrado pela literatura especializada, há ausência de estudos sobre o efeito da fotossíntese sobre a alcalinidade da água de cultivo de peixes. Deste modo, o presente trabalho de pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito da fotossíntese sobre a alcalinidade total da água de cultivo de alevinos de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, mantidos em laboratório. Além da alcalinidade, observou-se ainda os efeitos da fotossíntese na densidade algal e no pH da água.

Material e métodos

Local de realização do trabalho

O trabalho foi realizado no Laboratório de Ciência e Tecnologia Aquícola do Centro de Treinamento em Aquicultura - CTA, unidade de pesquisa do Departamento

de Engenharia de Pesca do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (Campus Universitário do Pici, Fortaleza, Ceará).

Peixes e aclimação às condições de laboratório

Os alevinos de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, utilizados no presente trabalho foram obtidos junto à Estação de Aquicultura do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, localizado em Pentecoste, Ceará, sendo transportados em saco plástico, com água e oxigênio, até as instalações do laboratório. Nesse momento, os alevinos estavam com $0,52 \pm 0,06$ g de peso corporal médio e $2,40 \pm 0,18$ cm de comprimento furcal.

Ao chegar ao laboratório, os alevinos foram gradualmente adaptados às condições físicas e químicas da água do tanque de quarentena (caixa d'água de 500 L com aeração). Os animais permaneceram uma semana no tanque de quarentena, quando foram alimentados com ração inicial para peixes onívoros tropicais, contendo 56% de proteína bruta (Fri-Acqua 56, Rações Fri-Ribe S.A, Fortaleza, Ceará), três vezes ao dia, às 8; 12 e 16 h, à taxa de 10% da biomassa dia^{-1} .

Sistema de cultivo e delineamento experimental

Dois áreas do laboratório foram utilizadas no presente trabalho: (1) área coberta, na qual os aquários não desenvolviam fitoplâncton (águas claras) e (2) área exposta ao sol, na qual os aquários desenvolviam fitoplâncton (águas verdes). Em cada área de cultivo, havia 9 aquários de polietileno, tipo monobloco, com capacidade total para 25 L e volume útil de 20 L. Os aquários estavam posicionados sobre cavaletes de madeira a 0,80 m do piso para permitir o trabalho de sifonamento da sujeira presente no fundo. Todos os aquários foram supridos com aeração constante, fornecida a partir de bombinhas de ar conectadas a mangueiras de silicone e pedras porosas. Os aquários de cultivo foram individualmente cobertos com tela tipo mosquiteiro para evitar o escape dos animais.

A água de cultivo dos aquários externos foi inoculada com plâncton proveniente dos tanques de cultivo da Estação de Piscicultura do Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará (Campus do Pici, Fortaleza, Ceará). Para monitorar o grau de desenvolvimento do fitoplâncton nos aquários do sistema de cultivo externo, procedeu-se a leitura semanal de absorbância ótica de amostras de água em fotocolorímetro a 670 nm. No início do experimento, quinze alevinos de tilápia do Nilo foram estocados em cada aquário de cultivo, tanto no sistema interno como externo. O sistema de cultivo externo (águas verdes) foi considerado o tratamento experimental do trabalho, tendo o sistema de cultivo interno (águas claras) como controle

experimental. Havia, portanto, um grupo-tratado e um grupo-controle, com nove repetições cada. O experimento teve a duração de 6 semanas.

Manejo alimentar e de qualidade de água

Durante o período experimental, os alevinos de tilápia foram alimentados com a mesma ração do período de adaptação e quarentena (Fri-Acqua 56, Rações Fri-Ribe S.A, Fortaleza, Ceará), três vezes ao dia, às 8; 12 e 16 h. As taxas diárias de arraçamento empregadas foram iguais a 10; 8 e 6% da biomassa estocada para as semanas 1-2; 3-4 e 5-6, respectivamente. Todas as quantidades ofertadas de ração para cada aquário foram registradas em planilha apropriada. A cada duas semanas, realizava-se biometria dos animais cultivados, ocasiões nas quais se procedia ao reajuste da quantidade de ração ofertada.

Para manutenção da qualidade da água dos aquários, sifonava-se as fezes e os restos de ração presentes no fundo dos mesmos semanalmente. Nessas ocasiões, procedia-se a troca parcial da água dos aquários (1/3).

Variáveis experimentais

Diariamente, às 8; 11 e 15 h, a temperatura da água dos aquários foi lida com termômetro de mercúrio. Semanalmente, sempre no turno da manhã, coletavam-se amostras de água de todas as unidades experimentais para análise no Laboratório de Limnologia – Lablim (Departamento de Engenharia de Pesca, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará). Imediatamente após as coletas, as amostras seguiam para o Lablim para análise. O pH da água foi obtido em medidor eletrônico de bancada (MS Tecnopon, mod. mPA 210, Piracicaba, São Paulo). A alcalinidade total da água foi obtida pela titulação da amostra com solução padrão de ácido sulfúrico 0,02N, de acordo com APHA (1999).

Análise estatística

Os resultados de absorvância ótica, pH e de alcalinidade da água foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para experimentos inteiramente casualizados, adotando-se 5% como nível de significância. Nessas análises, foram utilizados os softwares Excel 2007 (Microsoft) e SigmaStat 2.0 (Jandel Statistics).

Resultados e discussão

Temperatura, absorvância ótica, pH e alcalinidade total da água

A temperatura da água nos aquários externos apresentou maior variação durante o dia que a temperatura da água nos aquários internos. No sistema externo, registraram-se valores de temperatura de mínimo e de

máximo iguais a 27 °C e 35 °C, respectivamente. Em média, a temperatura da água nos aquários externos foi de $28,8 \pm 1,87$ °C. Nos aquários internos, a temperatura mínima e máxima da água foi igual a 27 °C e 29 °C, respectivamente. Em média, a temperatura da água dos aquários internos foi de $28,1 \pm 0,74$ °C.

Durante todo o período experimental, a absorvância ótica a 670 nm das amostras de água dos aquários com fitoplâncton foi significativamente maior que da água dos aquários sem fitoplâncton ($P < 0,05$; Figura 1). Esses resultados demonstram claramente que a manutenção dos aquários internos dentro de sala abrigada da luz solar foi eficiente em não permitir o desenvolvimento de fitoplâncton na água. Ao mesmo tempo, indicam que houve abundante desenvolvimento de fitoplâncton nos aquários externos.

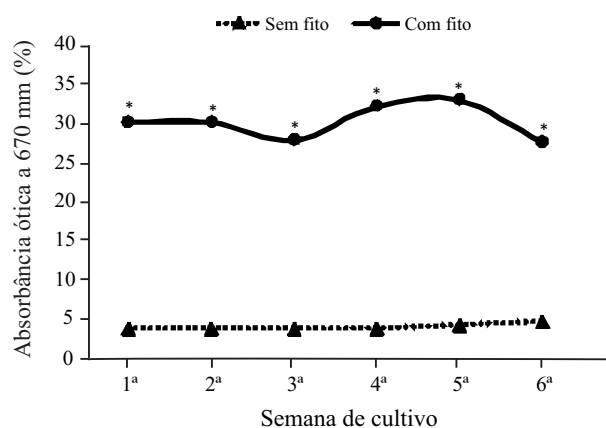


Figura 1 – Absorvância ótica de amostras de água de cultivo de alevinos de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, em aquários com ou sem a presença de fitoplâncton, na faixa do vermelho (670 nm). Asteriscos sobre um mesmo par de resultados indicam que a diferença observada entre eles é significativa ($P < 0,05$)

Em média, o pH da água nos aquários sem e com fitoplâncton foi de $7,32 \pm 0,39$ e $8,45 \pm 0,40$, respectivamente, havendo diferença altamente significativa entre esses resultados ($F = 24,5$; $P < 0,001$; Figura 2). O pH da água dos aquários com fitoplâncton se manteve sempre acima do valor do pH dos aquários sem fitoplâncton, durante todo o período de observação. Enquanto o pH médio da água nos aquários do sistema de cultivo com fitoplâncton variou de 7,9 a 8,9, a variação nos aquários sem fitoplâncton foi de 6,7 a 7,7.

O maior valor de pH da água dos aquários com fitoplâncton, em relação aos aquários sem fito, pode ser

explicado pela remoção de CO_2 da água ocorrida durante o processo fotossintético, confirmando o relato de Meseck et al., (2007). Com a assimilação de “ CO_2 livre” pelas microalgas nos aquários externos, houve aumento na proporção das formas de carbono inorgânico combinadas na água, isto é, bicarbonato e carbonato, o que pode ser comprovado pela maior alcalinidade total da água nesse sistema. O carbonato, ao reagir com a molécula de água, libera íons bicarbonato e OH^- para a água, elevando, desta forma, o pH (BOYD, 2000).

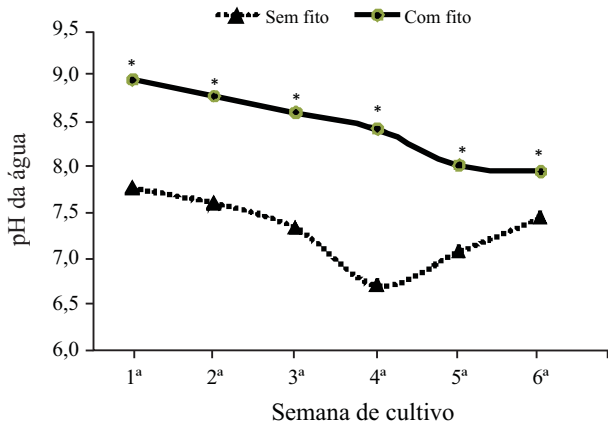


Figura 2 - pH da água de cultivo de alevinos de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* em aquários com ou sem a presença de fitoplâncton. Asteriscos sobre um mesmo par de resultados indicam que a diferença observada entre eles é significativa ($P < 0,05$)

A faixa adequada de pH da água para aquicultura vai de 6,0 a 9,0 (MUKHERJEE et al., 2007), mas sua melhor qualidade de vida é obtida com o pH variando entre 7,0 e 8,0. Assim, os valores médios de pH, tanto para o sistema sem fito, como para o sistema com fito, estão dentro desses limites. A manutenção de comunidades fitoplanctônicas nos tanques e viveiros de piscicultura é desejável porque fornece alimento natural aos peixes e pode ter efeito benéfico na qualidade da água (DANAHER et al., 2007). Contudo, quando a densidade algal se torna muito elevada, o efeito é inverso, havendo grande consumo de oxigênio no período noturno e elevada produção de detritos na unidade de cultivo (SILVA et al., 2008). Há, portanto, a necessidade de se exercer controle sobre a densidade de microalgas nas unidades de cultivo, de tal forma a mantê-la dentro de uma faixa adequada. Há recomendação nesse sentido para manter a transparência da água verde entre 30 e 50 cm (BOYD; TUCKER, 1998).

O pH da água dos aquários com fito foi progressivamente caindo ao longo do período experimental.

Na primeira semana, observou-se o maior valor médio de pH nesses aquários, isto é, 8,95. Na última semana de experimentação, obteve-se o menor valor (7,95). Já a evolução do pH da água dos aquários sem fitoplâncton apresentou duas fases distintas, separadas pelo resultado de pH da 4ª semana, que foi o menor de todos (6,70). Nas três primeiras semanas, o pH da água caiu continuamente. Após a 4ª semana, o pH da água se elevou, atingindo ao final resultado comparável ao observado na 2ª semana (7,4).

O declínio do pH da água clara ocorrido até a 4ª semana de cultivo indica que as trocas parciais de água efetuadas nesse período não foram capazes de contrabalançar os efeitos do processo de acidificação nesse sistema. Com o acúmulo de matéria orgânica no fundo dos aquários (fezes e ração não consumida), há liberação de CO_2 para a água causando a queda no pH (ESHCHAR et al., 2006).

Em média, a alcalinidade total no sistema de aquários com águas verdes e claras foi de $63,52 \pm 2,12$ e $50,49 \pm 6,07$ $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, respectivamente, havendo diferença significativa entre esses resultados ($F = 24,7$; $P < 0,05$; Figura 3). A alcalinidade total da água nos aquários com fitoplâncton variou de 60,44 a 66,22 $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ($\text{CV} = 3,33\%$). Já a alcalinidade total da água no sistema de cultivo sem fitoplâncton variou de 41,44 a 55,89 $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ($\text{CV} = 12,02\%$). Em todos os momentos observados, a alcalinidade total das águas verdes foi superior à alcalinidade total das águas claras, havendo diferença significativa entre esses resultados.

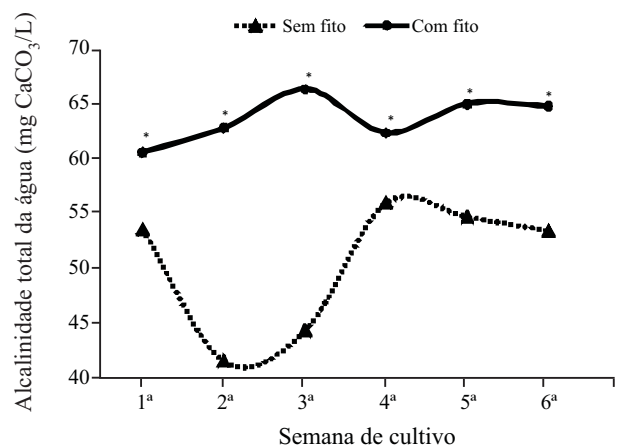


Figura 3 - Alcalinidade total da água de cultivo de alevinos de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* em aquários com ou sem a presença de fitoplâncton. Asteriscos sobre um mesmo par de resultados indicam que a diferença observada entre eles é significativa ($P < 0,05$)

Houve uma brusca queda na alcalinidade da água no sistema de cultivo de águas claras da primeira para segunda semana de experimentação, passando de 53,44 para 41,44 mg CaCO₃ L⁻¹. A seguir, a alcalinidade total média da água sem fitoplâncton subiu, atingindo o pico de 55,89 mg CaCO₃ L⁻¹, na 4ª semana de cultivo. Nas duas últimas semanas de cultivo, observou-se uma discreta diminuição na alcalinidade total nos aquários sem fitoplâncton.

Valores de alcalinidade da água de cultivo acima de 20 – 30 mg CaCO₃ L⁻¹ são considerados adequados para aqüicultura. Contudo, a capacidade tampão da água às variações de pH é maior quando a alcalinidade da água supera 50 - 60 mg CaCO₃ L⁻¹ (RAHMAN et al., 2008). Logo, apesar de a alcalinidade média da água, nos dois sistemas de cultivo, atender ao padrão mínimo desejável, os aquários sem fito apresentaram alcalinidade total abaixo da necessária para maior poder tamponante.

O maior valor de alcalinidade total da água nos aquários com fitoplâncton pode ser explicado pelo efeito da fotossíntese sobre as proporções de CO₂ livre, HCO₃⁻ e CO₃²⁻ na água. Como já referido anteriormente, com a retirada de CO₂ pelas microalgas, a proporção do bicarbonato e do carbonato na quantidade de carbono inorgânico total aumenta (WETZEL, 2001). Deste modo, a água se torna mais alcalina. Isto implica que o sistema de cultivo em águas verdes é capaz de suportar maiores adições de elementos acidificantes na água, como a entrada de CO₂ pela respiração e pela decomposição das fezes dos animais, sem sofrer grandes alterações de pH, em relação ao sistema de cultivo em águas claras.

As maiores variações na alcalinidade da água dos aquários sem fitoplâncton podem ser explicadas pela ação de compostos acidificantes do meio sobre os bicarbonatos e carbonatos presentes na água. A queda na alcalinidade da água observada nos aquários com águas claras da 1ª para 2ª semana de cultivo se deveu, provavelmente, ao consumo de bicarbonatos e carbonatos ocorrido durante o processo de neutralização de íons H⁺ liberados na água. Sabe-se que a respiração e a decomposição de matéria orgânica na água liberam CO₂ que, dissolvido na água, produz íons H⁺ (ARANA, 2000).

Conclusões

Os resultados obtidos nas condições experimentais do presente trabalho permitem concluir que:

1. O pH médio da água de cultivo dos aquários com fitoplâncton foi superior ao pH médio da água de cultivo dos aquários sem fitoplâncton;

2. A decomposição de matéria orgânica (fezes e ração não consumida) no fundo do aquário, assim como a respiração dos animais, diminuiu o pH da água de cultivo;
3. A alcalinidade total da água de cultivo dos aquários com fitoplâncton (águas verdes) foi superior à alcalinidade total da água de cultivo dos aquários sem fitoplâncton (águas claras);
4. Ao longo do período de observações, o sistema de cultivo em águas verdes se mostrou mais estável quanto ao pH e alcalinidade total da água que o sistema de cultivo em águas claras sendo, portanto, o sistema mais adequado para o bom desenvolvimento de alevinos e juvenis de peixes.

Agradecimentos

Os autores do presente trabalho gostariam de expressar seus agradecimentos ao Dr. Pedro Eymard (Estação de Aqüicultura do DNOCS, Pentecoste, Ceará), por ter gentilmente doado os alevinos de tilápia, e aos professores Dr. Calíope de Freitas e M.Sc. Glácio Souza (Estação de Piscicultura Prof. Raimundo Saraiva da Costa, Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza) pela ração para peixes tropicais. Expressam, ainda, gratidão ao revisor anônimo que através de seus comentários e sugestões em muito contribuiu para melhoria do presente texto.

Referências

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and waste water**. 20. ed. Washington: APHA, 1999. 630 p.
- ANDRADE, L. S. *et al.* Interaction of water alkalinity and stocking density on survival and growth of Silver catfish, *Rhamdia quelen*, juveniles. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 38, n. 03, p. 454-458, 2007.
- ARANA, L. V. **Princípios químicos da qualidade da água em aqüicultura: uma revisão para peixes e camarões**. 2. ed. Florianópolis: EDUFSC, 2000. 231 p.
- ARIDE, P. H. R.; ROUBACH, R.; VAL, A. L. Tolerance response of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) to water pH. **Aquaculture Research**, v. 38, n. 06, p. 588-594, 2007.
- BOYD, C.E. **Water quality in warmwater fish ponds**. Auburn: Auburn University, 1979. 359 p.
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Pond aquaculture water quality management**. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- BOYD, C. E. **Water quality: an introduction**. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2000.

- DANAHER, J. J. *et al.* Effects of two densities of caged monosex Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, on water quality, phytoplankton populations, and production when polycultured with *Macrobrachium rosenbergii* in temperate ponds. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 38, n. 03, p. 367-382, 2007.
- ESHCHAR, M. *et al.* Intensive fish culture at high ammonium and low pH. **Aquaculture**, v. 255, n. 01/04, p. 301-313, 2006.
- MESECK, S. L. *et al.* Nutrient interactions between phytoplankton and bacterioplankton under different carbon dioxide regimes. **Journal of Applied Phycology**, v. 19, n. 03, p. 229-237, 2007.
- MUKHERJEE, S. *et al.* Responses of succinate dehydrogenase and non-specific alkaline phosphatases and mortality of tilapia to ambient pH stress in a sewage-fed aquaculture pond. **Indian Journal of Experimental Biology**, v. 45, n. 07, p. 630-637, 2007.
- QUEIROZ, J. F. *et al.* Lime application methods, water and bottom soil acidity in fresh water fish ponds. *Scientia Agricola*, v. 61, n. 05, p. 469-475, 2004.
- RAHMAN, M. M. *et al.* A comparative study of common carp (*Cyprinus carpio* L.) and calbasu (*Labeo calbasu* Hamilton) on bottom soil resuspension, water quality, nutrient accumulations, food intake and growth of fish in simulated rohu (*Labeo rohita* Hamilton) ponds. **Aquaculture**, v. 285, n. 01/04, p. 78-83, 2008.
- SILVA, P. H. P. *et al.* Integrating filamentous 'green tide' algae into tropical pond-based aquaculture. **Aquaculture**, v. 284, n. 01/04, p. 74-80, 2008.
- SOUZA, V. L.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; URBINATI, E. C. Manejo alimentar e tempo de residência da água em viveiros de pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Ciência Animal Brasileira**, v. 01, n. 02, p. 115-121, 2000.
- VAHATALO, A. V.; WETZEL, R. G.; PAERL, H. W. Light absorption by phytoplankton and chromophoric dissolved organic matter in the drainage basin and estuary of the Neuse River, North Carolina (USA). **Freshwater biology**, v. 50, n. 03, p. 477-493, 2005.
- WETZEL, R. G. **Limnology: lake and river ecosystems**. 3. ed. New York: Academic Press, 2001. 850 p.