



ARTIGO | ARTICLE

Qualidade da água em viveiro de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*): caracterização diurna de variáveis físicas, químicas e biológicas, São Paulo, Brasil

*Water quality in a fish pond with Nile Tilapia (Oreochromis niloticus): diurnal
assessment of physics, chemistry and biology variables, São Paulo State, Brazil*

Cacilda Thais Janson Mercante¹
Yuri Keller Martins²
Clóvis Ferreira do Carmo¹
João Saviolo Osti³
Cleide Schmidt Romeiro Mainardes Pinto⁴
Andréa Tucci⁵

RESUMO

Este estudo teve por objetivo descrever o comportamento de variáveis físicas, químicas e biológicas da água de um viveiro de engorda de tilápias (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus) no período diurno, visando contribuir com um melhor entendimento da dinâmica e metabolismo desse sistema e sugerir propostas de manejo para melhoria da qualidade da água e da produção dos organismos. Realizou-se o levantamento de variáveis limnológicas de viveiro de piscicultura, avaliando-se as oscilações diurnas (6h às 20h, a cada 2 horas de intervalo) do oxigênio dissolvido e sua porcentagem de saturação, do gás carbônico livre, da temperatura da água, da transparência da água, da condutividade elétrica, da turbidez, dos sólidos totais em suspensão, da alcalinidade total e do pH, da luminosidade incidente na água, das séries de nitrogênio e fósforo e da clorofila *a*. Elevados valores de fósforo e de clorofila *a* foram obtidos, verificando-se relação de causa e efeito, ou seja, a entrada de fósforo promoveu o crescimento das

¹ Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, Instituto de Pesca. Av. Francisco Matarazzo, 455, Parque da Água Branca, 05001-000, São Paulo, SP, Brasil. Correspondência para/Correspondence to: C.T.J. MERCANTE. E-mail: <cthais@pesca.sp.gov.br>.

² Pós-Graduando, Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, Instituto de Pesca, Curso de Pós-Graduação em Aquicultura e Pesca. São Paulo, SP, Brasil.

³ Estagiário de Iniciação Científica, Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, Instituto de Pesca. São Paulo, SP, Brasil

⁴ APTA Regional Vale do Paraíba, Pindamonhangaba, SP, Brasil.

⁵ Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Instituto de Botânica. São Paulo, SP, Brasil.

algas. A principal fonte de fósforo adveio do arraçoamento diário. Constatou-se forte relação da dinâmica do oxigênio dissolvido e gás carbônico com a atividade fotossintética das algas e, conseqüentemente, da variação da luminosidade ao longo do dia. As oscilações de pH obtidas relacionaram-se ao baixo poder tampão da água, em função dos baixos valores de alcalinidade total. Pode-se sugerir a aplicação de calcário agrícola com a finalidade de melhorar o poder tampão da água. O uso de aeradores após as 20h também é recomendado.

Palavras-chave: Limnologia. Qualidade da água. Viveiro de piscicultura. Tilápia do Nilo.

ABSTRACT

*The objective of this study is to describe the behavior of the physical, chemical and biological variables of fish ponds with Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus) during daylight hours, with a view to providing a better understanding of the dynamics and metabolism of this system, and to suggest management proposals to obtain both an improvement in water quality and the production of organisms. The survey of limnological variables of fish ponds was carried out, evaluating the daytime fluctuations (from 6 a.m. to 8 p.m. at intervals of 2 hours) of dissolved oxygen and its percentage saturation, free CO₂, water temperature, transparency, electric conductivity, turbidity, total suspended solids, total alkalinity, and pH, as well as incident luminosity in the water, nitrogen and phosphorus series and chlorophyll a. High values of phosphorus and chlorophyll a were obtained, confirming the cause and effect relationship, or in other words, the entry of phosphorus promoted algae growth. The main source of phosphorus originated from the daily feed. A strong relationship was observed between the dissolved oxygen and CO₂ and the photosynthetic activity of the algae and consequently the change in luminosity throughout the day. The pH fluctuations observed are related to the low buffer potential of the water due to the low total alkalinity values. The addition of calcium carbonate is recommended to increase the buffer potential of the water and the use of aerators after 8 p.m.*

Key words: Limnology. Water quality. Fish ponds. Nile Tilapia.

INTRODUÇÃO

No Brasil, poucos são os estudos sobre qualidade da água na aqüicultura, se comparados aos trabalhos desenvolvidos em ambientes aquáticos naturais e em reservatórios. A descrição de características físicas, químicas e biológicas de viveiros voltados à produção de organismos aquáticos pode contribuir para a manutenção de níveis adequados de qualidade da água, melhorando o desenvolvimento desta atividade.

Ainda em relação às questões ambientais, o conhecimento das condições da água e dos diversos fatores que atuam no metabolismo desses sistemas pode fornecer subsídios para minimizar os impactos gerados pelo lançamento de efluentes. A manu-

tenção da qualidade da água em viveiros de piscicultura é requisito básico para o sucesso econômico do sistema produtivo. Esta qualidade pode ser influenciada por vários fatores como, por exemplo, a origem da fonte de abastecimento de água e manejo alimentar (Sipaúba-Tavares, 1994; Boyd & Tucker, 1998; Eler *et al.*, 2001; Kubitzka, 2003; Arana, 2004).

A matéria orgânica advinda de fontes externas (esterco, ração, material dissolvido ou particulado) ou de fontes internas (fezes e restos de plantas e animais aquáticos) contribui para o enriquecimento da água do viveiro. O enriquecimento artificial do ecossistema aquático, principalmente com nitrogênio e fósforo, promove o crescimento excessivo de algas

e plantas aquáticas, muitas vezes ocasionando mortalidade de peixes, devido ao *deficit* de oxigênio dissolvido na água. Este processo, denominado de eutrofização, ocorre comumente em viveiros de criação de organismos aquáticos.

Diversos fatores climáticos, bióticos e abióticos, interagem entre si, influenciando o metabolismo desses sistemas. Para garantir o sucesso do cultivo, deve-se procurar um equilíbrio dinâmico de todos os parâmetros físicos, químicos, biológicos e tecnológicos sob uma forma sustentável, ou seja, capaz de atender tanto às necessidades sociais, quanto ambientais e econômicas do empreendimento (Arana, 2004). As relações entre o enriquecimento da água de viveiro de piscicultura e florações de algas foram estudadas por Mainardes & Mercante (2003), que constataram que a entrada de nitrogênio muito provavelmente promoveu um excessivo crescimento de euglenas. Pereira & Mercante (2005) realizaram revisão sobre a formação de amônia tóxica afetando negativamente o cultivo de organismos aquáticos. Trabalhos em pesqueiros da região metropolitana de São Paulo evidenciaram condições precárias em relação à qualidade da água, tanto no que diz respeito aos impactos ambientais gerados pela atividade, quanto com relação à saúde pública (Esteves & Ishikawa, 2006; Honda *et al.*, 2006; Mercante *et al.*, 2006; Morita *et al.*, 2006).

Este estudo teve por objetivo descrever o comportamento de variáveis físicas, químicas e biológicas da água de um viveiro de engorda de tilápias (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus) no período diurno, visando contribuir com um melhor entendimento da dinâmica e metabolismo desse sistema e sugerir propostas de adequações com relação ao manejo empregado. Tais propostas pretendem orientar uma melhoria na qualidade da água do viveiro com vistas ao aumento da produção, bem como minimizar os impactos ambientais ocasionados pelo efluente, que é diretamente lançado no corpo receptor (córrego a jusante do viveiro), sem tratamento prévio.

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido no Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico do Agronegócio do Vale do Paraíba, município de Pindamonhangaba, localizado a 22° 55'S, 45° 27'W, no Estado de São Paulo. Um único viveiro visando à engorda de tilápias foi utilizado para a realização deste estudo. O preparo para a colocação dos peixes foi feito no mês de novembro de 2005, sendo que os animais pesavam, inicialmente, 130g. O arraçoamento foi diário, utilizando-se ração peletizada constituída de 28% de proteína bruta, na quantidade de 2% da biomassa de peixes.

No final do cultivo (após cinco meses, ou seja, em abril de 2006), os peixes atingiram 600g. O período para a coleta foi no mês de março de 2006, durante três dias consecutivos (2/3, 3/3, 4/3/2006), contemplando elevadas temperaturas e ambiente rico em nutrientes. A cada dia, em horários determinados, quais fossem: 8h, 10h, 12h, 14h, 16h; 18h e 20h, foram amostradas, por meio de coleta na sub-superfície da coluna d'água e com auxílio de garrafa Van Dorn, as variáveis: clorofila *a*; fósforo total; nitrogênio total; amônia total; nitrito e nitrato; transparência; sólidos totais em suspensão; alcalinidade total (formas de carbono) e dureza total. No mesmo dia e horários, usando-se sonda multiparâmetros da marca Horiba U-22, foram determinados na sub-superfície: temperatura da água, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido e pH.

A biomassa fitoplanctônica foi estimada pela concentração de clorofila *a*. Para tanto, as amostras foram coletadas na sub-superfície da coluna d'água, com auxílio de garrafa Van Dorn. A água foi transferida para frascos de polietileno de 1L de capacidade, envoltos com papel alumínio e mantidos em isopor com gelo até a chegada ao laboratório, onde as amostras foram filtradas imediatamente em bomba a vácuo. Para a filtração, foram utilizados filtros Millipore com 45µm de tamanho de poro. A técnica de extração dos pigmentos foi realizada através do etanol 90%, utilizado como solvente orgânico. A técnica e a descrição do método foram

baseados em Marker *et al.* (1980) e Sartory & Grobellar (1984).

Para análise do fósforo total, nitrogênio total, nitrito, nitrato e amônia total, as amostras foram coletadas usando-se garrafa Van Dorn, e transferidas para frascos de polietileno de 1L de capacidade; posteriormente, foram levadas ao laboratório, sendo o nitrogênio total e o fósforo total imediatamente congelados, e as séries inorgânicas imediatamente filtradas em bomba a vácuo. Para a filtração, foram utilizados filtros Millipore com 0,45 μ m de tamanho de poro. As análises do fósforo total e nitrogênio total foram feitas simultaneamente, seguindo as técnicas descritas em Valderrana (1981). As análises de nitrito e nitrato seguiram a técnica de Griess modificado, descrita em Giné *et al.* (1980); e para a amônia total seguiu-se a técnica de Nessler, descrita em APHA (1979).

A análise da alcalinidade seguiu o método descrito em Golterman & Clymo (1971) utilizando-se um pHmetro e uma bureta comum com precisão de 0,05mL. Os resultados foram obtidos em milieqüivalentes por litro. Para se obter os valores de gás carbônico livre, primeiramente os valores obtidos de alcalinidade foram transformados em milieqüivalentes por litro e, posteriormente, para miligramas por litro de carbonato de cálcio, bastando multiplicar os primeiros valores por 50 (Wetzel, 1993). O cálculo para se obter o gás carbônico livre foi baseado na metodologia descrita em Cole (1979). Segundo o autor, nos casos em que o pH estiver acima de 6,0, somente se multiplicará os valores de alcalinidade em mg/L por um fator correspondente.

Com o uso de um luxímetro, foi registrada a luz incidente (μ mol.m⁻².s⁻¹) na sub-superfície da coluna d'água, a cada dia e horários determinados, permitindo estimar a radiação fotossinteticamente ativa e, com isto, inferir sobre o metabolismo da comunidade fitoplanctônica presente nesse sistema. Aos resultados aplicou-se teste estatístico, para verificar se ocorreram diferenças significativas entre as horas do dia e as variáveis amostradas (testes de hipóteses bivariados), pela análise de variância e teste de Tukey para dados paramétricos, e teste de Kruskal-Wallis para não-paramétricos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da qualidade da água do viveiro

É sabido que viveiros de piscicultura abrigam uma comunidade biótica bem diversificada, que vão desde produtores primários, até produtores secundários e decompositores. Entretanto, as espécies existentes nestes ambientes dependem fundamentalmente da qualidade da água, indicada por variáveis físicas, químicas e biológicas (Oliveira *et al.*, 1992).

As oscilações nos diversos parâmetros limnológicos dos viveiros de piscicultura definem, em linhas gerais, as condições da qualidade da água para a produção do plâncton, interferindo na capacidade de produção, bem como na qualidade dos organismos produzidos (Sá-Junior & Sipaúba-Tavares, 1997). As práticas de manejo podem provocar uma eutrofização artificial, evidenciando-se uma reação em cadeia de causas e efeitos, cuja característica principal é a quebra da estabilidade do sistema (Arana, 2004). Este autor enfatiza que, à medida que aumentam as densidades de estocagem (indivíduos/m² ou m³), o aporte alimentar também aumenta, contribuindo ainda mais para a deterioração da qualidade da água e do solo.

Com relação às medidas de pH, nota-se que, ao longo das horas, ocorreu oscilação desta variável, repetindo-se esta tendência durante os demais dias de amostragem (Figura 1 e Tabela 1, $p=0,018$). Os resultados indicaram uma relativa acidez nas primeiras horas da manhã (6h às 10h), variando entre 5,6 e 6,4. A partir das 12h, ocorreu aumento do pH, com valor máximo de 7,9 (Tabela 2); mesmo assim, este permaneceu dentro dos limites aceitáveis (Tabela 3). Durante o dia, a ligeira elevação do pH pode ser relacionada à remoção do gás carbônico pelo uso na fotossíntese. Ao entardecer, o processo de fotossíntese cessa e o gás carbônico se acumula na água, promovendo acidez do meio e causando o declínio do pH.

A luz incidente na coluna de água tem papel preponderante sobre a atividade fotossintética. Pode-

-se verificar, na Tabela 1 ($p=0,004$), que a luminosidade variou significativamente com as horas do dia (Figura 2). Além disso, outros fatores como a respiração das algas e peixes, os processos de decomposição da matéria orgânica advinda do arraçoamento e as temperaturas elevadas da água podem interferir na dinâmica do pH e no metabolismo do sistema. Conforme Sipaúba-Tavares (1994), os principais fatores que podem causar elevação no pH são a respiração, a fotossíntese, a adubação, a calagem e fontes poluidoras.

A alcalinidade total manteve-se praticamente constante ao longo das horas e dos dias, sendo que o valor máximo obtido foi de 27,26mg/L. Embora a alcalinidade total tenha se mantido dentro do limite mínimo aceitável (20mg/L), este valor pode ser considerado baixo para a manutenção do efeito tampão, que aumenta com o aumento da alcalinidade. Já a condutividade elétrica manteve-se constantemente acima de 79 μ S/cm (Tabela 2). De acordo com os valores de referência (Tabela 3), verificou-se que esta variável permaneceu acima dos limites aceitáveis, o que pode ser um indicativo de elevada matéria orgânica em decomposição.

Tabela 1. Nível de significância ($p<0,05$) calculado para as variáveis limnológicas analisadas a partir da variação diurna em viveiro de engorda de tilápias. Pindamonhangaba, SP, de 2 a 4 de março de 2006.

Variáveis	p
Temperatura da água	0,006*
pH	0,018*
Oxigênio dissolvido	0,000*
% Saturação do oxigênio	0,000*
Sólidos totais em suspensão	0,958**
Condutividade elétrica	0,575**
Gás carbônico	0,013*
Clorofila <i>a</i>	0,004*
Luz	0,004*
Nitrito	0,682**
Nitrato	0,030*
Nitrogênio total	0,132**
Amônia total	0,717**
Amônia não-ionizada	0,028*
Fósforo sol. reativo	0,022*
Fósforo total	0,196**

Onde: *significativo; **não significativo; Obs: alcalinidade total e turbidez não variaram, portanto, o teste não foi aplicado.

As medidas de turbidez da água (Tabela 2) estiveram constantemente no valor de 90 NTU, valores muito próximos ao limite superior (de 100 NTU), conforme descrito na Tabela 3. Isto muito provavelmente se relaciona ao aporte de matéria orgânica advinda do arraçoamento, das comunidades fitoplanctônicas e zooplanctônicas e dos detritos inorgânicos, como areias e argilas presentes no solo. Ao longo do dia, verificaram-se variações na temperatura da água de até 3°C (Tabelas 2 e 3, onde $p=0,006$), sendo que nas primeiras horas da manhã (6h), durante os 3 dias consecutivos, foram medidos os menores valores, respectivamente de 27°C (2 de

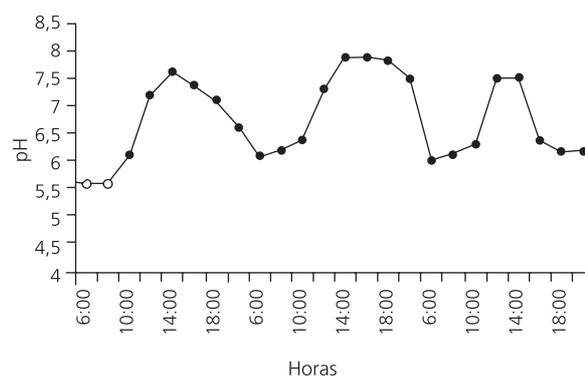


Figura 1. Valores de pH medidos durante o período diurno (3 dias consecutivos) em viveiro de piscicultura, Pindamonhangaba, SP, de 2 a 4 de março de 2006.

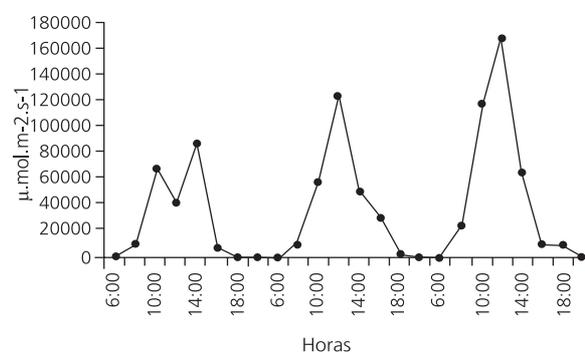


Figura 2. Valores de luminosidade ($\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) incidente na zona eufótica medidos durante o período diurno (3 dias consecutivos) em viveiro de piscicultura, Pindamonhangaba, SP, de 2 a 4 de março de 2006.

Tabela 2. Variáveis físicas, químicas e biológicas em viveiro de piscicultura, Pindamonhangaba, São Paulo: levantamento diurno, valores mínimos, médios, máximos e desvio-padrão. Pindamonhangaba, SP, de 2 a 4 de março de 2006.

Variáveis	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio-padrão	n
pH	5,600	6,980	7,900	0,79	24
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	79,000	91,580	101,000	7,96	24
Turbidez (NTU)	90,000	90,000	90,000	0	24
Oxigênio dissolvido (mg/L)	4,300	8,700	12,400	2,38	24
% de saturação	59,000	121,000	176,000	34,56	24
CO ₂ (mg/L)	0,690	27,660	132,740	36,80	24
Temperatura da água °C	27,000	29,980	31,800	1,26	24
Alcalinidade total (mg/L CaCO ₃)	22,720	26,410	27,260	1,30	24
Sólidos totais em suspensão (mg/L)	50,000	60,000	70,000	0,01	24
Amônia total (mg/L)	0,290	0,370	0,420	0,04	24
Amônia não-ionizada (mg/L NH ₃)	0,000	0,010	0,030	0,01	24
Nitrito ($\mu\text{g}/\text{L}$)	4,900	7,500	9,900	1,56	24
Nitrato ($\mu\text{g}/\text{L}$)	0,110	0,120	0,130	0,01	24
Nitrogênio total (mg/L)	0,420	0,510	0,580	0,05	24
Fósforo solúvel reativo (mg/L)	0,022	0,023	0,025	0,81	24
Fósforo total (mg/L)	0,036	0,037	0,039	0,72	24
Clorofila a (mg/L)	0,003	0,007	0,014	2,92	24
Luz ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,000	31 936,490	12 3694,180	38 566,37	24

março), 28,7°C (3 de março) e 29,5°C (4 de março). O valor máximo (de 32,8°C) foi obtido às 14h do terceiro dia.

Com relação ao cultivo de tilápias, as temperaturas estão dentro da faixa ideal (Tabela 3), favorecendo seu crescimento; entretanto, tais valores podem interferir diretamente nas taxas de decomposição da matéria orgânica, no aumento das concentrações de amônia tóxica e no aumento do metabolismo das algas. Em função da atividade fotossintética das algas, que promove a liberação de oxigênio para a coluna da água durante o dia, é possível relacionar os teores de oxigênio dissolvido obtidos neste estudo com o metabolismo das algas. Os teores de oxigênio dissolvido variaram ao longo das horas do dia (Tabela 1, onde $p=0,000$): nas primeiras horas da manhã, foram observados os valores mais baixos (mínimo de 4,3mg/L, às 6h, no primeiro dia de amostragem) e, no período da tarde (entre 14h e 16h), teores acima de 10mg/L foram mensurados (Figura 3). Pelo cálculo da porcentagem de saturação do oxigênio, pode-se evidenciar nitidamente a relação entre a atividade fotossintética das algas e a dinâmica do

oxigênio no sistema estudado. Como apresentado na Figura 3, verifica-se uma elevada atividade

Tabela 3. Parâmetros de qualidade da água baseados nas recomendações do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) 357/2005, de acordo com a classe 2, que classifica águas destinadas à criação natural e/ou intensiva (aqüicultura) de organismos aquáticos ao consumo humano. Valores não contemplados pela resolução estão indicados com numeração que se refere a literatura específica sobre o assunto, modificado de Mercante *et al.* (2006).

Parâmetros	Valor de referência
Transparência da água (m)	0,40-0,60 ⁽¹⁾
Temperatura da água (°C)	28-32 ⁽¹⁾
pH	6,5-8,000
Oxigênio dissolvido (mg/L)	> 5,000
Gás carbônico (mg/L)	≤ 5,00 ⁽⁴⁾
Turbidez (NTU)	≤100,000
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	23-71 ⁽²⁾
Alcalinidade total (mg /L CaCO ₃)	> 20,00 ⁽²⁾
Fósforo total (mg/L)	≤ 0,030
Nitrogênio amoniacal total (mg/L de N)	≤ 2,00 ⁽³⁾
Íon nitrato (mg/L)	≤ 10,000
Íon nitrito (mg/L)	≤ 1,000
Clorofila a (mg/L)	≤ 0,030

(1) Kubitzka (1999) (para peixes de espécies tropicais); (2) Sipaúba-Tavares (1994); (3) quando $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$; (4) Boyd & Tucker (1998).

fotossintética a partir das 12h, até as 18h, ocorrendo supersaturação do oxigênio de até 180%, indicando intensa liberação deste gás. A supersaturação do oxigênio dissolvido no período entre 10h e 14h, e a subsaturação ao entardecer e amanhecer, evidenciou uma relação direta com os processos biológicos de fotossíntese e respiração.

Segundo Boyd & Tucker (1998), três aspectos importantes do processo fotossintético devem ser levados em conta nas atividades voltadas à aquicultura: primeiramente, a fotossíntese é a fonte de energia primária nesta atividade; segundo, a fonte de matéria orgânica é que servirá de alimento na aquicultura; e terceiro, grandes concentrações de oxigênio dissolvido advêm da fotossíntese. As fontes importantes de gás carbônico nos sistemas aquaculturais advêm da respiração das algas, das macrófitas, dos peixes, do zooplâncton e dos processos microbiológicos de decomposição da matéria orgânica. Ao longo do cultivo, a respiração pode exceder a atividade fotossintética (importante mecanismo de remoção de CO_2), aumentando consideravelmente a concentração desse gás no sistema, que pode ultrapassar facilmente os valores de 25mg/L. As concentrações de CO_2 obtidas no viveiro variaram entre 0,70mg/L (14h e 16h do 2º dia) e 132,74mg/L (6h e 8h do 1º dia). Os valores mais elevados foram verificados nas primeiras horas do dia (Figura 4 e Tabela 1, onde $p=0,013$).

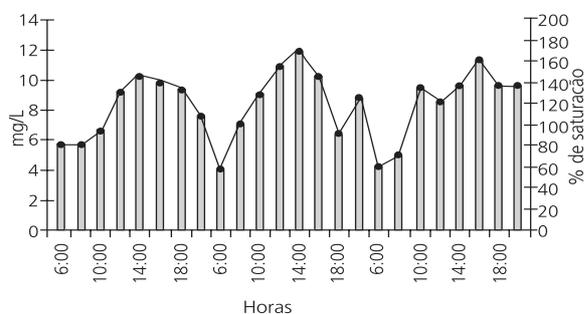


Figura 3. Teor de oxigênio dissolvido (mg/L) e porcentagem de saturação, quantificados durante o período diurno (3 dias consecutivos) em viveiro de piscicultura. Pindamonhangaba, SP, de 2 a 4 de março de 2006.

De acordo com Kubitzka (1999), os níveis de CO_2 devem ser monitorados semanalmente nos tanques e viveiros intensamente arraçoados, e sempre que houver prevalência de baixos teores de oxigênio. Os níveis de CO_2 são normalmente monitorados ao amanhecer, horário em que sua concentração é mais alta. A saturação de CO_2 na água gira em torno de 0,2 a 4mg/L. Quando a concentração de oxigênio é adequada, os peixes podem tolerar níveis de CO_2 acima de 10mg/L; valores comumente observados ao amanhecer, em viveiros de alta produção. Concentrações de CO_2 acima de 25mg/L, aliadas a uma baixa concentração de oxigênio dissolvido, podem afetar sensivelmente o desempenho produtivo, e até mesmo causar asfixia nos peixes.

O enriquecimento com nutrientes, principalmente o nitrogênio e o fósforo, em tanques de piscicultura é bastante comum, devido principalmente à entrada de compostos advindos do arraçoamento, de adubos e fertilizantes que contêm tais elementos. Entretanto, o uso inadequado desses nutrientes, associado a uma série de outros fatores bióticos e abióticos, pode ocasionar prejuízos tanto ambientais quanto financeiros. Boyd (1990) menciona que o alimento não consumido e as fezes dos organismos cultivados contribuem diretamente para a poluição do meio aquático sob a forma de matéria orgânica; já os nutrientes provenientes da decomposição esti-

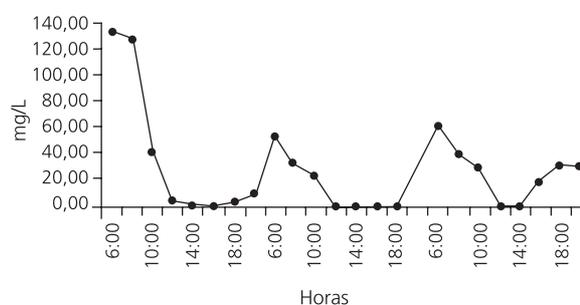


Figura 4. Teor de gás carbônico livre (mg/L) quantificado durante o período diurno (3 dias consecutivos) em viveiro de piscicultura. Pindamonhangaba, SP, de 2 a 4 de março de 2006.

mulam a produção adicional de matéria orgânica sob a forma de fitoplâncton.

Em lagos tropicais, devido à alta temperatura, o metabolismo dos organismos aumenta consideravelmente, fazendo com que o ortofosfato (PO_4^{3-}) seja assimilado mais rapidamente e incorporado em sua biomassa. Nota-se, pela Tabela 1, que este elemento variou significativamente com as horas do dia ($p=0,022$). Ao longo dos três dias consecutivos de estudo, as concentrações de fósforo solúvel reativo ou ortofosfato (PO_4^{3-}), que é o elemento biologicamente assimilável, mantiveram-se constantemente acima de 0,020mg/L de P, ou seja, não ocorreu limitação deste nutriente para as algas presentes no viveiro. Tais resultados foram semelhantes aos obtidos em estudo realizado por Mercante *et al.* (2004), em pesque-pague, no qual os ambientes foram caracterizados como eutróficos a hipereutróficos, indicando degradação da qualidade da água desses locais. Ainda, Mainardes & Mercante (2003) obtiveram, em viveiro com floração de euglenas, valores de fósforo solúvel reativo entre 0,03 e 0,10mg/L, evidenciando elevados teores de matéria orgânica no sistema.

Segundo Wetzel (1993), a capacidade de assimilação excessiva de fósforo pelas algas pode manter o desenvolvimento dessa comunidade, mesmo quando a concentração externa é muito baixa ou já se esgotou. As elevadas concentrações de fósforo total verificadas neste estudo (Tabela 2) corroboram o fato de o viveiro apresentar elevados teores de matéria orgânica e inorgânica. De acordo com a Tabela 3, as concentrações observadas ultrapassaram os limites superiores aceitáveis (de até 0,030mg/L), sendo que a média de fósforo total no viveiro foi de 0,036mg/L, com valor máximo de 0,039mg/L. Em estudo realizado em pesque-pague da região metropolitana de São Paulo, Mercante *et al.* (2004) obtiveram valores acima de 0,025mg/L de fósforo total, caracterizando locais ricos em nutrientes e com qualidade da água não adequada. Nitidamente, as concentrações de nutrientes não foram limitantes para o desenvolvimento e manutenção da comunidade fitoplanctônica, o que pode ser corroborado

pelos elevados valores de biomassa algal, conforme apresentado na Tabela 2. A concentração de clorofila *a* variou de 0,003mg/L (valor mínimo) a 0,014mg/L (valor máximo), sendo que a Tabela 1 evidencia que a concentração desta variável variou significativamente com as horas do dia ($p=0,004$). Conforme a Tabela 3, concentrações aceitáveis de clorofila *a* devem ser iguais ou inferiores a 0,030mg/L, pois valores acima deste podem levar à mortalidade de peixes devido à prevalência, no período noturno, dos processos de respiração das algas e dos peixes, gerando *deficit* de oxigênio.

Com relação às formas nitrogenadas, verificou-se que as concentrações máximas obtidas de amônia total (0,42mg/L), nitrato (0,13mg/L), nitrito (0,01mg/L) e nitrogênio total (0,58mg/L) mantiveram-se dentro dos limites aceitáveis para o cultivo (Tabela 3). O cálculo para obtenção da amônia não-ionizada resultou em valores entre 0,0002mg/L e 0,03mg/L, também dentro dos limites aceitáveis (Tabela 1, onde $p=0,028$). De acordo com Kubitzka (1999), concentrações de amônia não-ionizada acima de 0,02mg/L são suficientes para induzir uma toxidez crônica, levando a uma diminuição do crescimento e da tolerância dos peixes a doenças.

Pode-se sugerir como proposta de manejo hídrico, visando à melhoria da qualidade da água do viveiro, a aplicação de calcário agrícola, com a finalidade de melhorar o poder tampão da água e reduzir as oscilações diárias do pH verificadas neste estudo. Com relação à transparência da água, o valor obtido de 0,35cm não indica necessidade de renovação da mesma; entretanto, caso ocorram medidas inferiores a esta, deve-se descartar a água do fundo do viveiro e da superfície para uma rápida remoção das algas. O uso de aeradores é indicado ao entardecer, evitando *deficit* de oxigênio no período noturno. Para minimizar problemas provenientes da excessiva concentração de CO_2 na água, pode-se reduzir a taxa de alimentação, procurar manter um adequado sistema tampão e acionar os aeradores, como estratégia eficaz na difusão do excesso de CO_2 da água para a atmosfera. Como medida mitigadora

dos impactos ambientais gerados pelo viveiro, sugere-se a implantação de um sistema de tratamento do efluente em função dos elevados teores de matéria orgânica lançados ao corpo receptor.

CONCLUSÃO

As oscilações de pH relacionaram-se diretamente à remoção do gás carbônico e ao seu acúmulo ao entardecer. Embora a alcalinidade total tenha se mantido dentro do limite mínimo aceitável (20mg/L), este valor pode ser considerado baixo para a manutenção do efeito tampão, que aumenta com o aumento da alcalinidade. A supersaturação do oxigênio dissolvido no período entre 10h e 14h, e a subsaturação ao entardecer e amanhecer, evidenciaram uma relação direta com os processos biológicos de fotossíntese e respiração. Os valores de pH constantemente abaixo de 8,0 evitaram a formação de amônia tóxica em níveis críticos, muito embora, durante o dia, tenham sido medidas concentrações de até 10 vezes o mínimo obtido. O principal aporte de fósforo e nitrogênio no sistema adveio do arraçoamento. Estes elementos promoveram o aumento das algas que, conseqüentemente, condicionaram os processos de fotossíntese e respiração, direcionando a dinâmica e metabolismo do sistema.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Pesca e ao Núcleo de Aqüicultura de Pindamonhangaba, pelo apoio logístico.

REFERÊNCIAS

- American Public Health Association. (1979). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington (DC): United Book Press.
- Arana, L.V. (2004). *Fundamentos de aqüicultura*. Florianópolis: Editora Universidade Federal de Santa Catarina.
- Boyd, C. (1990). *Water quality in ponds for aquaculture*. Alabama: Birmingham Publishing.
- Boyd, C. (1992). *Water quality management for ponds fish culture*. Developments in aquaculture and fisheries science. Alabama: Elsevier.
- Boyd, C. E. & Tucker, C.S. (1998). *Pond aquaculture water quality management*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
- Cole, G. (1979). *A Textbook of limnology*. St. Louis: C.V. Mosby.
- Eler, M.N.; Ceccarelli, P.S.; Bufon, A.G.M. & Espíndola, E.L.G. (2001). Mortandade de peixes (matrinã, Brycon cephalus, e pacu, *Piaractus mesopotamicus*) associada a uma floração de cianobactérias em pesque-pague, município de Descalvado, Estado de São Paulo, Brasil. *Boletim Técnico do CEPTA*, 14(único):35-45.
- Esteves, K.E. & Ishikawa, C.M. (2006). Características gerais e práticas de manejo em pesqueiros da região metropolitana de São Paulo. In: Esteves, E.K. & Sant'Anna, C.L. (Orgs.). *Pesqueiros sob uma visão integrada de meio ambiente, saúde pública e manejo: um estudo na região metropolitana*. São Carlos: Rima. p.1-17.
- Giné, H.; Bergamin, H.; Zagatto, E.A.G. & Reis, B.F. 1980. Simultaneous determination of nitrate and nitrite by flow injection analysis. *Analytical Chemistry Acta*, 114(único): 191-97.
- Golterman, H.L. & Clymo, R.S. 1971. *Methods for chemical analysis of freshwater*. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientifications.
- Honda, Y.R.; Mercante, C.T.J.; Vieira, J.M.S.; Esteves, K.E.; Cabianca, M.A.A. & Azevedo, M.T.P. (2006). Cianotoxinas em pesqueiros da região metropolitana de São Paulo. In: Esteves, E.K. & Sant'Anna, C.L. (Org.). *Pesqueiros sob uma visão integrada de meio ambiente, saúde pública e manejo: um estudo na região metropolitana*. São Carlos: Rima. p.105-20.
- Kubitza, F. (1999). *Qualidade da água na produção de peixes*. Jundiaí: CIP-USP Editora.
- Kubitza, F. (2003). *Qualidade da água no cultivo de camarões e peixes*. Jundiaí: CIP-USP Editora.
- Mainardes-Pinto, C.S.R. & Mercante, C.T.J. (2003). Avaliação de variáveis limnológicas e suas relações com uma floração de Euglenaceae pigmentada em viveiro povoado com Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus), São Paulo, Brasil. *Acta Scientiarum, Biological Sciences*, 25(2):323-28.
- Marker, A.F.H., Nusch H., Rai, H. & Riemann, B. (1980). The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standartization of methods: conclusion and recomendations. *Archiv für Hydrobiologia*, 14(único): 91-106.
- Mercante, C.T.J.; Silva, D.; Costa, S.V., Cabianca, M.A. & Esteves, K.E. (2004). Water quality in fee-fishing ponds located in the São Paulo metropolitan region, Brazil: analysis of the eutrophication process. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 16(1):95-102.
- Mercante, C.T.J.; Silva, D. & Costa, S.V. (2006). Avaliação da qualidade da água de pesqueiros da região metro-

politana de São Paulo por meio do uso de variáveis abióticas e da clorofila a. In: Esteves, E.K. & Sant'Anna, C.L. (Org.). *Pesqueiros sob uma visão integrada de meio ambiente, saúde pública e manejo: um estudo na região metropolitana*. São Carlos: Rima. p.37-48.

Morita, M.; Matté, G.R.; Dropa, M.; Azevedo, V.M. & Matté, M.H. (2006). Ocorrência de bactérias do gênero *Aeromonas* em pesqueiros e aspectos da doença para o homem e peixes. In: Esteves, E.K. & Sant'Anna, C.L. (Orgs.). *Pesqueiros sob uma visão integrada de meio ambiente, saúde pública e manejo: um estudo na região metropolitana*. São Carlos: Rima. p.77-90.

Oliveira, D.B.S.; Sipaúba-Tavares, L.H. & Durigan, J.G. (1992). Estudo limnológico em tanques de piscicultura. Parte II: variação semanal de fatores físicos, químicos e biológicos. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 4(único): 123-37.

Pereira, L. & Mercante, C.T.J. (2005). A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. *Boletim do Instituto de Pesca*, 31(1):81-8.

Sá-Junior, W.P. & Sipaúba-Tavares, L.H. (1997). Produtividade primária fitoplanctônica e variação de parâmetros limnológicos ao longo do dia, em tanques de cultivo planctônico da estação de hidrobiologia e piscicultura de Furnas. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 9(único): 83-91.

Sartory, D.P. & Grobbelaar, J.U. (1984). Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia*, 114:177-87.

Sipaúba-Tavares, L.H. (1994). *Limnologia aplicada à aquicultura*. São Paulo: FUNEP Editora.

Valderrana, J.C. (1981). The simultaneous analysis of nitrogen and phosphorus total in natural waters. *Marine Chemistry*, 10(único):109-122.

Wetzel, R.G. (1993). *Limnologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian Editora.

Recebido em: 29/6/2007

Aprovado em: 24/8/2007