UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO
JEQUITINHONHA E MUCURI

EGLERSON DUARTE

CULTIVO DE PÓS-LARVAS DE TILÁPIA DO NILO UTILIZANDO DIFERENTES PROPORÇÕES DE SUBSTRATO CONCHA/BRITA NO BIOFILTRO

DIAMANTINA - MG
2011

EGLERSON DUARTE

CULTIVO DE PÓS-LARVAS DE TILÁPIA DO NILO UTILIZANDO DIFERENTES PROPORÇÕES DE SUBSTRATO CONCHA/BRITA NO BIOFILTRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Prof. Marcelo Mattos Pedreira

DIAMANTINA - MG
2011

Ficha Catalográfica - Serviço de Bibliotecas/UFVJM

Bibliotecária Viviane Pedrosa

CRB6-2641

D812c Duarte, Eglerson
2011 Cultivo de pós-larvas de tilápia do Nilo utilizando diferentes proporções de substrato concha/brita no biofiltro / Eglerson Duarte . – Diamantina: UFVJM, 2011.
46p.

Orientador: Prof. Marcelo Mattos Pedreira

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

1. Biofiltração 2. Larvicultura 3. Nitrificação 4. Resíduos nitrogenados 5. *Oreochromis niloticus*. I. Título.

CDD 639.3

EGLERSON DUARTE

CULTIVO DE PÓS-LARVAS DE TILÁPIA DO NILO UTILIZANDO DIFERENTES PROPORÇÕES DE SUBSTRATO CONCHA/BRITA NO BIOFILTRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA em 25/11/2011

_____

Prof. Marcelo Mattos Pedreira - UFVJM
(orientador)

_____

Prof. Idalmo Garcia Pereira - UFMG

_____

Prof. Robson Campos Silva - UFVJM

_____

Prof. Aldrin Vieira Pires - UFVJM

DEDICATÓRIA

A Deus, minha verdade, meu refugio e fortaleza.

Aos meus pais, Eustaquio e Enoi por seu amor incondicional, minha razão de ser.

À minha irmã, Eliane, minha melhor amiga, a qual deixarei aos cuidados do gatinho (Marlon).

À minha pequena (namorada) Fernanda, pelo constante apoio e manifestação de seu amor.

Aos meus familiares que sempre me apoiaram.

Invictus

Autor: William E Henley
Tradutor: André C S Masini

Do fundo desta noite que persiste
A me envolver em breu - eterno e espesso,
A qualquer deus - se algum acaso existe,
Por mi'alma insubjugável agradeço.

Nas garras do destino e seus estragos,
Sob os golpes que o acaso atira e acerta,
Nunca me lamentei - e ainda trago
Minha cabeça - embora em sangue - ereta.

Além deste oceano de lamúria,
Somente o horror das trevas se divisa;
Porém o tempo, a consumir-se em fúria,
Não me amedronta, nem me martiriza.

Por ser estreita a senda - eu não declino,
Nem por pesada a mão que o mundo espalma;
Eu sou dono e senhor de meu destino;
Eu sou o comandante de minha alma.

AGRADECIMENTO

A Deus, a Nossa Senhora e todos os Anjos, por permitirem que finalmente esse trabalho desse certo.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, pelas grandes oportunidades.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela confiança.

À Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF, por ter fornecido as pós-larvas e a ração do experimento.

À Fernanda pelo apoio e ajuda no planejamento e execução desse trabalho.

À Alcione grande amiga, que sacrificou seus finais de semana para ajudar no trabalho.

À equipe do Laboratório de Aquicultura e Ecologia Aquática da UFVJM, em especial à Cristiane, Deliane, Naiara, ao Marcos e ao Uidemar, companheiros incansáveis na jornada da pesquisa.

A Anete, Cleuber, Coutinho, Mayara, Paulo do Rio Preto, Paulo Sobrinho, pela ajuda nas primeiras tentativas do projeto da dissertação.

Aos alunos da graduação em biologia e os meus amigos do programa de Pós-Graduação da UFVJM, em especial a Josy companheira desde a graduação.

Aos meus amigos técnicos de laboratório da UFVJM, em especial ao Carlos, à Darliana, à Elizângela, o Geraldo, à Michelle e à Talita, pelo grande apoio.

Aos professores do departamento de Zootecnia e Biologia da UFVJM, em especial ao professor Aldrin, sempre disposto a ajudar.

A todos aqueles que me deram uma palavra de apoio durante essa jornada.

A FAPEMIG, CAPES, BNB e o CNPQ, pela ajuda na montagem do laboratório de aquicultura.

Ao Marcelo Mattos Pedreira, orientador.

RESUMO

DUARTE, Eglerson. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, novembro de 2011. 46p. **Cultivo de pós-larvas de tilápia do Nilo utilizando diferentes proporções de substrato concha/brita no biofiltro.** Orientador: Marcelo Mattos Pedreira. Dissertação (Mestrado em Zootecnia).

Objetivou-se com esse trabalho, avaliar a proporção ideal de concha calcária/brita em biofiltro, no cultivo de pós-larvas de tilápia do Nilo. O experimento foi realizado no Laboratório de Aquicultura da UFVJM, entre os dias 21 de julho e 3 de agosto de 2011. Pós-larvas de tilápia do Nilo na densidade de 13,3 pós-larvas/L foram cultivadas em aquários contendo biofiltros com 100% concha calcárias; 70% concha calcária/30% brita; 50% concha calcária/50% brita; 30% concha calcária/70% brita; 10% concha calcária/90% brita; 100% brita e como controle, aquário sem biofiltro, em DIC, totalizando sete tratamentos com três repetições. Os dados limnológicos e biométricos foram submetidos à ANOVA e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan com $p \leq 0,05$. Para comparar os tratamentos que evolveram uma proporção concha calcária/brita, foi feita uma análise de regressão considerando nível de significância de 5%. Todas as concentrações de concha calcária/brita apesar de não influenciarem nos parâmetros morfológicos, mantiveram as condições da água adequadas para o cultivo de tilápia do Nilo, com exceção dos níveis de amônia, que em sua grande maioria, apresentaram-se acima da concentração recomendada para tilápias. Entretanto a não toxicidade aparente da amônia, no presente trabalho, pode estar relacionada aos valores de pH, que se mantiveram próximos do neutro possibilitando uma menor toxicidade do íon amônio. A proporção 30% de concha calcária e 70% de brita é recomendada como substrato de biofiltro, por apresentar a melhor taxa de nitrificação ao longo do experimento.

Palavras-chave: biofiltração; larvicultura; nitrificação; resíduos nitrogenados; *Oreochromis niloticus*.

ABSTRACT

DUARTE, Eglerson. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM. November, 2011. 46p. **Cultivation of post-larvae of Nile tilapia using different proportions shell/gravel substrate in the biofilter.** Advisor: Marcelo Mattos Pedreira. Dissertation (Master's degree in Animal Science).

The objective of this study was to evaluate the optimal ratio of calcareous shell /gravel in biofilter, in the cultivation of post-larvae of Nile tilapia. The experiment was conducted at the UFVJM's Laboratory of Aquaculture, between July 21 and August 3, 2011. Post-larvae of Nile tilapia in the density of 13.3 post larvae/L were grown in aquariums containing biofilters with 100% calcareous shell, 70% calcareous shell/30% gravel, 50% calcareous shell/50% gravel, 30% calcareous shell/70% gravel, 10% calcareous shell/90% gravel and 100% gravel; and as control sample, a aquarium without biofilter in DIC, summing seven treatments with three replications. Limnological and biometric data were submitted to ANOVA and measurements were compared by Duncan test at $p \leq 0.05$. To compare the treatments that have evolved a proportion of calcareous shell/gravel, there has been carried out a regression analysis considering a significance level of 5%. All concentrations of calcareous shell/gravel did not influence negatively on morphological parameters and kept water conditions suitable for the cultivation of Nile tilapia, except for the observed levels of ammonia, which were mostly above the recommended for tilapia. However, the apparent non-toxicity of ammonia in the present study may be related to pH values, which remained close to neutral allowing a lower toxicity of the ammonium ion. The proportion of 30% calcareous shell and 70% gravel substrate is recommended as biofilter for presenting the best rate of nitrification during the experiment.

Keywords: bio-filtration; larvae cultivation; nitrification; nitrogenous waste; fish-farming; *Oreochromis niloticus*.

SUMÁRIO

RESUMO I
ABSTRACT II
1 INTRODUÇÂO 9
2 REVISÃO DA LITERATURA 11
2.1 Piscicultura 11
2.2 *Oreochromis niloticus* 12
2.2.1 Nomenclatura das fases de desenvolvimento 12
2.2.2 Morfometria 13
2.3 Sistemas de criação 15
2.3.1 Sistema extensivo 16
2.3.2 Semi-intensivo 16
2.3.3 Intensivo 16
2.4 Biofiltros 17
2.4.1 Interação peixe X biofiltros 18
2.5 Parâmetros físico-químicos da água 19
2.5.1 Oxigênio 19
2.5.2 pH 20
2.5.3 Alcalinidade 21
2.5.4 Condutividade elétrica 22
2.5.5 Turbidez 22
2.5.6 Temperatura 23
2.5.7 Amônia 23
2.5.8 Nitrificação 25
2.5.9 Nitrito e nitrato 26
2.5.10 Ortofosfato 26
3 MATERIAL E MÉTODOS 28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 31
5 CONCLUSÕES 38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 39
ANEXO 46

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população mundial, aumentou-se também a demanda por alimentos protéicos (GONÇALVES, 2008). Nas últimas décadas, o crescimento das doenças cardiovasculares e de vários tipos de doenças associadas a dietas muito ricas em proteína animal e gordura saturada (MONDINI & MONTEIRO, 1994) vem favorecendo um aumento no consumo da carne de peixe. Carne essa, considerada de alta qualidade protéica, com boa digestibilidade, baixo valor calórico (MACEDO-VIEGAS et al., 2000), além de ser fonte de minerais e vitaminas lipossolúveis e ácidos graxos poliinsaturados, especificamente os da série ômega-3 (RAMOS & RAMOS, 2005). Portanto, é amplamente reconhecido que o consumo regular de pescado é uma das possíveis práticas para uma saúde de melhor qualidade.

A piscicultura serve de suporte ao desenvolvimento, gerando renda, reduzindo a pobreza e levando comida à mesa das pessoas. O peixe representa uma importante fonte alimentar para muitas culturas. O Brasil se destaca como um dos países de maior potencial para a expansão da piscicultura (FLORA et al., 2010). O clima tropical (quase 70% do território nacional) permite o crescimento e o desenvolvimento do peixe durante todo ano (LOVSHIN, 1998). A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) está entre as espécies de excelente cultivo. Originária da África e do Oriente Médio, apresenta uma carne com boas propriedades sensoriais, além de não possuir espinhas em 'y', o que possibilita a filetagem (SILVA et al., 2009) e o processamento industrial da carne. A tilápia adapta-se bem a sistemas de cultivo intensivo, por ser um peixe rústico que suporta bem o manuseio intenso e apresenta grande resistência a doenças e aos baixos níveis de oxigênio dissolvido (KUBITZA, 2000a).

O crescimento da aquicultura é uma fonte permanente de possíveis impactos ambientais. A conservação da água é uma preocupação tanto nos países em desenvolvimento quanto nos países industrializados (CREPALDI et al., 2006), sendo um dos principais pontos de estudo na aquicultura nos últimos anos. A piscicultura, assim como toda atividade produtiva, acarreta impactos ambientais, seja pela disseminação de espécies exóticas (FERNANDES et al., 2003), de enfermidades (MAXIMIANO et al., 2005) ou pelos efluentes gerados que aumentam as concentrações de nutrientes (ARANA, 2004) e sedimentos na água.

Estudos em tecnologias que resultem na economia dos recursos naturais utilizados vêm sendo realizados, de modo que a piscicultura passa a adquirir um caráter sustentável do

ponto de vista econômico e ambiental. A utilização de sistemas fechados de circulação de água vem se tornando uma das alternativas (COLT et al., 2006), por proporcionar um melhor aproveitamento da água e minimizar possíveis impactos. O uso de biofiltros em sistemas fechados de circulação de água possibilita a fixação de colônias de bactérias nitrificadoras (KUBITZA, 2006b), responsáveis por decompor resíduos de matéria orgânica promovendo a oxidação da amônia a nitrato.

Para que ocorra o processo de nitrificação de maneira eficiente, deve-se levar em conta o tipo de substrato utilizado (CHEN et al., 2006). Diversos tipos de substratos vêm sendo testados. Entre eles destaca-se a concha calcária e a brita. No cultivo de camarão, biofiltros com concha calcária apresentaram melhorias nos parâmetros da água (VASCONCELOS et al., 2006; CRIVELENTI et al., 2009; VALENTI et al., 2009). O cascalho de conchas moídas tem se mostrado eficiente no controle e manutenção da alcalinidade na água (CRIVELENTI et al., 2009). Substrato de concha calcária e brita apresentou resultados satisfatórios, com menores concentrações de íon amônio, em biofiltros internos quanto externos (PEDREIRA et al., 2009).

Os diversos sistemas de biofiltração utilizados em aquicultura vêm apresentando diferentes desempenhos (COLT et al., 2006). Um dos desafios para montagem do biofiltro é definir a proporção ideal de substrato, que mantenha os parâmetros da água aceitáveis. Por esse motivo objetivou-se com este trabalho, avaliar a proporção ideal de concha calcária/brita em biofiltro interno, no cultivo de pós-larvas de tilápia do Nilo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Piscicultura

A piscicultura, entendida como a criação e a multiplicação de peixes, é uma atividade praticada há milhares de anos. Documentos atestam a criação de peixes na região da China, Egito e Roma por volta de 3.000 e 4.000 anos a.C. Desenhos de tilápias encontrados no Egito na tumba de Aktihetep indicam que os antepassados deste povo praticavam a criação de peixes (SILVA, 2005).

Apesar de a piscicultura ser uma atividade antiga o seu desenvolvimento é relativamente recente. As explorações indiscriminadas do estoque pesqueiro natural, a crescente diferença entre a quantidade de pescado capturado e a demanda de consumo, tornaram a piscicultura uma das alternativas para produção de alimento de alto valor protéico destinado ao consumo humano. O crescimento das doenças cardiovasculares e de vários tipos de doenças, associadas a dietas muito ricas em proteína animal e gordura saturada, ocorridas nas últimas décadas favoreceu o aumento do consumo de carne de peixe (MONDINI & MONTEIRO, 1994). Em todo o mundo encontramos consumidores de peixes sendo que o pescado representa uma importante fonte alimentar para muitas culturas.

A Organização dos Estados Americanos para a Alimentação e Agricultura – FAO (2002) estima que em 2020 mais de 50% da produção de pescado deverão provir da aquicultura. Entre 1990 e 2000, a aquicultura brasileira cresceu, em média, 23,8% ao ano, contra 10,2% da aquicultura mundial (KUBITZA, 2007). O Brasil é o segundo país em importância na produção aquícola na América do Sul, ficando abaixo apenas do Chile (OSTRENSKY et al., 2008). A produção brasileira de pescado (pesca extrativista e aquicultura) alcançou em 2009 um volume de 1.240.813 toneladas. A aquicultura participou com 33,4% (415.649 toneladas) na produção total do Brasil (MPA, 2010).

Diversos fatores contribuem para que o Brasil se destaque como um dos países de maior potencial para a expansão da piscicultura, tais como: Clima tropical (quase 70% do território nacional) permitindo o crescimento e o desenvolvimento do peixe durante todo ano, autonomia na produção de grãos utilizados nas rações e a maior reserva de água doce do planeta (aproximadamente 12% do total) (LOVSHIN, 1998).

O crescimento da aquicultura é uma fonte permanente de preocupações ambientais. A aquicultura, assim como toda atividade produtiva, acarreta impactos ambientais, seja pela

disseminação de espécies exóticas (FERNANDES et al., 2003), de enfermidades (MAXIMIANO et al., 2005) ou pelos efluentes gerados que aumentam as concentrações de nutrientes e sedimentos na água. Esse aporte de nutrientes e sedimentos favorece o incremento das populações de fitoplâncton e de bactérias, contribuindo para a eutrofização (REDDING et al., 1997; KUBITZA, 1998; HUSSAR et al., 2004). A eutrofização artificial pode causar redução nos teores de oxigênio dissolvido, aumento dos compostos nitrogenados tóxicos e comprometimento da qualidade do pescado (PILARSKI et al., 2004; TRUE et al., 2004; BACCARIN & CAMARGO, 2005; HENRY-SILVA et al., 2006).

A preocupação com o ambiente tornou-se parte integrante do processo de produção de peixes, sendo a conservação da água um dos principais pontos de estudo na aquicultura nos últimos anos. Para manter a legalidade e a rentabilidade de qualquer empreendimento aquícola, as estratégias de manejo devem utilizar ao máximo os recursos renováveis, respeitando os princípios de sustentabilidade e diminuindo o uso dos recursos não renováveis.

2.2 *Oreochromis niloticus*

Entre as espécies de excelente cultivo, destaca-se a *Oreochromis niloticus* (tilápia do Nilo) (Figura 1A), que apresenta uma carne com boas propriedades sensoriais, além de não possuir espinhas em 'y', o que possibilita a filetagem (SILVA et al., 2009) e o processamento industrial da carne. Originária da África e do Oriente Médio, a tilápia foi introduzida em vários países do mundo para criação comercial. Através de seus diversos híbridos, apresenta grande capacidade adaptativa. A facilidade de reprodução e de obtenção de alevinos, em virtude da possibilidade da manipulação hormonal do sexo para obtenção de machos e o fato de consumirem uma ampla variedade de alimentos são fatores que contribuíram para sua expansão (KUBITZA, 2000a). Por ser um peixe rústico que suporta bem o manuseio intenso e os baixos níveis de oxigênio dissolvido na produção e, sobretudo, sua grande resistência às doenças fez com que a tilápia se adaptasse bem a sistemas de cultivo intensivo, mantendo um bom crescimento (500 g em 4 a 5 meses) (KUBITZA, 2000a).

2.2.1 Nomenclatura das fases de desenvolvimento

A nomenclatura para definir as diferentes fases do desenvolvimento inicial de peixes tem causado confusão e divergência entre pesquisadores e produtores (ZANIBONI FILHO,

2000). Segundo Zaniboni Filho (2000) e Kubitza (2003) as denominações mais empregadas são:

a) Ovo: compreendida entre a fertilização e a eclosão.

b) Larva: Logo após o nascimento as larvas dos peixes não possuem a boca aberta nem o trato digestivo formado, dependendo exclusivamente da reserva de nutrientes no saco vitelínico.

c) Pós-larva: Algumas horas ou alguns dias de vida, a boca da larva se abre e esta pode iniciar a captura de alimentos externos. Neste momento a larva passa a ser chamada de pós-larva, mesmo que ainda não tenha esgotado totalmente as reservas do saco vitelínico.

d) Alevinos: Quando passam a apresentar semelhanças morfológicas aos exemplares adultos (metarmofose completa), como presença de todas as nadadeiras (peitoral, ventral e anal), respiração branquial e a forma do peixe adulto, as pós-larvas passam a ser chamadas de alevinos. Essa fase estende-se até o peixe atingir a maturação sexual. Kubitza (2006a) estipula tamanhos para diferenciar as fases em tilápias, empregando o termo pós-larva para os indivíduos com 8 a 13 mm (início do processo de reversão sexual) e alevino para peixes entre 3 e 6 cm (final do processo de reversão sexual).

2.2.2 Morfometria

O estudo por métodos numéricos da forma corporal em relação ao tamanho, denominado morfometria, serve como referência para o entendimento da biologia evolutiva dos organismos (BLACKITH & REYMENT, 1971). Os peixes, por apresentarem formas geralmente bem definidas em função do hidrodinamismo, facilitam essa quantificação (CAVALCANTE & LOPES, 1991). Diversos autores adotam as medidas de comprimento-total - CT (distância entre a extremidade rostral da cabeça e a extremidade caudal da nadadeira caudal), o comprimento-padrão - CP (distância entre a extremidade rostral da cabeça e o menor perímetro do pedúnculo da nadadeira caudal) e a altura do corpo - AL (medidas à frente do 1º raio da nadadeira dorsal) (Figura 1) nas análises morfométricas.

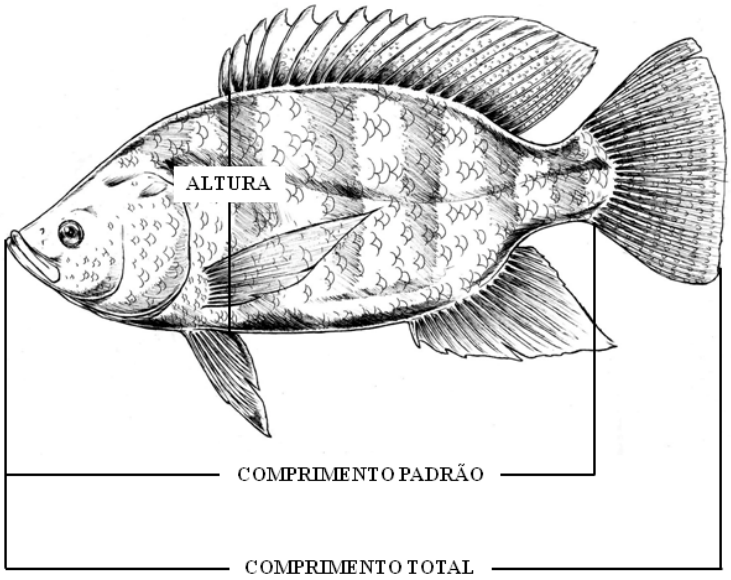

Figura 1. Medidas morfométricas da tilápia do Nilo: comprimento total (CT), comprimento-padrão (CP), altura do corpo (AL).

Neumann (2004) utilizou o CT na comparação entre linhagens de tilápia *Oreochromis niloticus* (nilótica e tailandesa) e *Oreochromis* sp. (vermelhas):

a) de 1 a 3 dias: As larvas de nilóticas, tailandesas e vermelhas possuíam comprimento total médio de 4,93 ± 0,09 mm, 4,45 ± 0,26 mm e 4,68 ± 0,20 mm, respectivamente (Figura 2 – Linha 1).

b) de 4 a 7 dias: A média de comprimento total foi de 7,16 ± 0,12 mm, 6,87 ± 0,26 mm e 6,99 ± 0,29 mm, em nilóticas, tailandesas e vermelha, respectivamente (Figura 2 – Linha 2).

c) de 8 a 15 dias: O comprimento total médio foi de 8,95 ± 0,22 mm em nilóticas, 8,68 ± 0,23 mm em tailandesas e 8,36 ± 0,37 mm em Vermelhas (Figura 2 – Linha 3).

d) de 16 a 24 dias: A média de comprimento total foi de 13,20 ± 0,45 mm em nilóticas, 12,52 ± 1,15 mm em tailandesas e 12,70 ± 1,32 mm em vermelhas (Figura 2 – Linha 4).

e) aos 25 dias**:** A média de comprimento total foi de 19,09 ± 0,84 mm, 17,58 ± 0,97 mm e 16,94 ± 1,88 mm, respectivamente, em nilóticas, tailandesas e vermelhas (Figura 2 – Linha 5).

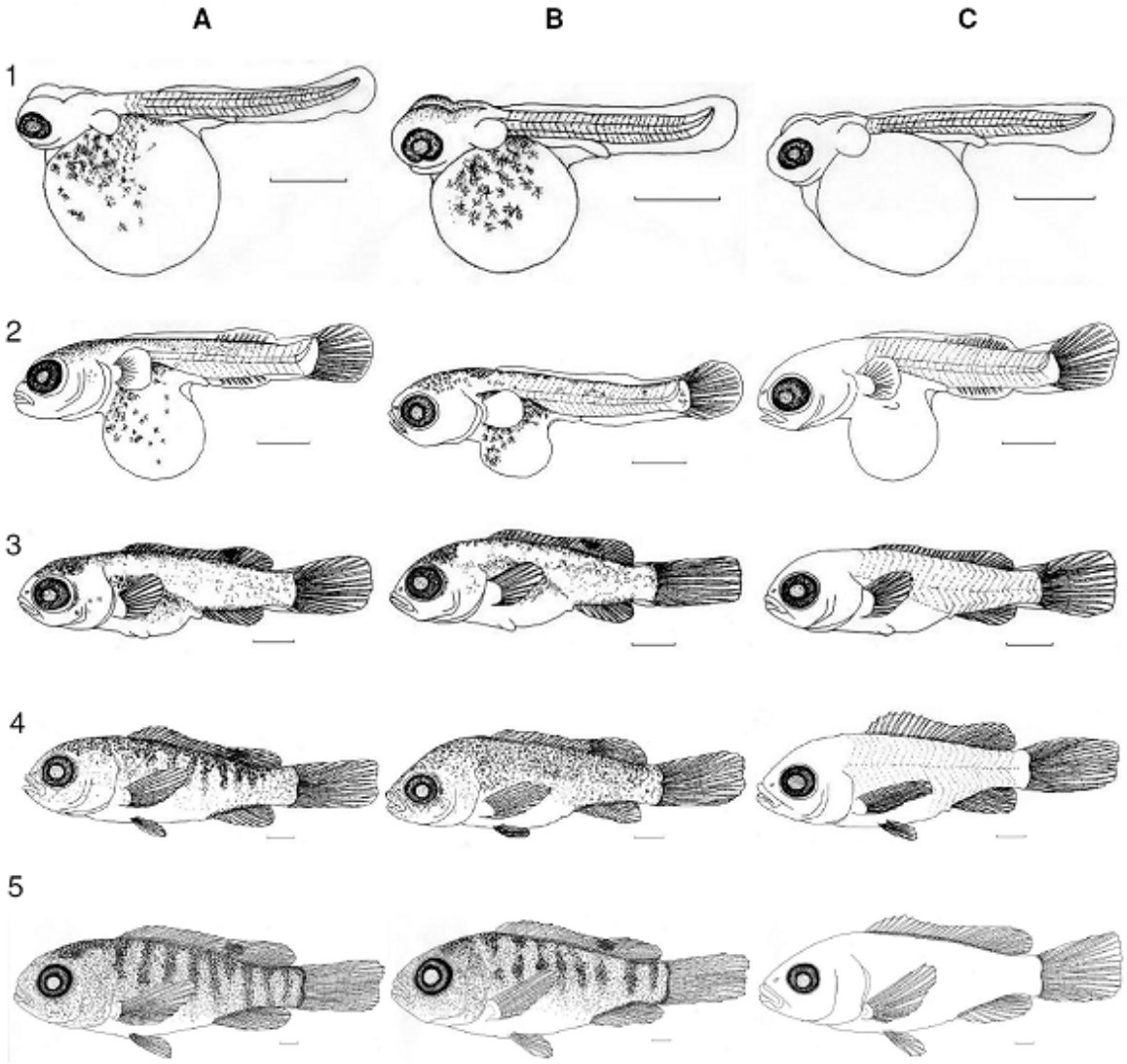

Figura 2. Desenvolvimento das linhagens de tilápia, em linhas: 1 – um dia; 2 – quatro dias; 3 - oito dias; 4 - dezesseis dias; 5 – vinte e cinco dias. Linhagens em colunas: A - nilótica; B - tailandesa; C - vermelha. Escala: a barra (—) corresponde a 1 mm. Adaptado de Neumann, (2004).

2.3 Sistemas de criação

Os peixes podem ser criados sob maneiras diferentes de manejo, dependendo dos recursos naturais, humanos e tecnológicos da propriedade, tipo de alimento fornecido, espécie considerada e aceitação de mercado (SILVA, 2005; SILVA, 2007). Alguns autores classificam as formas pelas quais se procede à engorda dos peixes de sistemas de cultivos em: extensivo, semi-intensivo e intensivo (CYRINO & KUBITZA, 1996; CANTELMO, 1999).

2.3.1 Sistema extensivo

Na piscicultura extensiva a exploração ocorre com interferência mínima possível nos fatores de produtividade. Restringindo-se, praticamente, ao povoamento inicial do corpo d'água, que muitas vezes são pequenas áreas de espelho d'água, geralmente usadas como bebedouro para animais. Condição encontrada em quase toda propriedade rural no Brasil (CANTELMO, 1999). Não há controle da reprodução dos animais estocados, da qualidade da água, e da presença de peixes e aves predadoras. A despesca total não pode ser adotada devido à impossibilidade de esvaziamento total do viveiro.

Os organismos aquáticos são alimentados, tradicionalmente, com subprodutos agrícolas, estando à produtividade diretamente ligada com a capacidade de suporte do corpo d'água. A produtividade de pescado é pequena, entorno de 200 kg a 400 kg por hectare ano (CANTELMO, 1999). Esse sistema, de produção normalmente é usado para lazer e subsistência dos proprietários e raramente é explorado no aspecto econômico (CANTELMO, 1999).

2.3.2 Semi-intensivo

O sistema semi-intensivo é o mais difundido em nível de criação de peixe no mundo, correspondendo a aproximadamente 95% das criações no Brasil (CANTELMO, 1999).

Caracterizando-se pela possibilidade de esvaziamento total do viveiro, possibilidade de despesca, controle na reprodução e presença de prática de adubação e calagem. A produção do alimento natural (zooplâncton e fitoplâncton), através da adubação, é maximizada para a alimentação do peixe. Contudo, em virtude da maior densidade de estocagem (em média de três a cinco peixes para cada 10 metros quadrados), há a necessidade de fornecer uma alimentação artificial à base de subprodutos orgânicos. A produção de pescado pode atingir de 2.500 a 12.500 kg por hectare ano (AYROZA, 2009).

2.3.3 Intensivo

O desenvolvimento e o aperfeiçoamento das técnicas de manejo permitiram controlar as variáveis físicas e químicas no local de cultivo, possibilitando um aumento na densidade de criação de alguns organismos aquáticos. Na piscicultura intensiva busca-se produzir o

máximo de peixes por unidade de volume de água, através do manejo de alevinos, filhotes e peixes de engorda. Para isso utilizam-se tanques-rede em açudes e reservatórios ou tanques de alvenaria com alta densidade de estocagem (biomassa por m^3) e alta renovação de água (2 a 3 renovações de água por dia). O uso de rações balanceadas é necessário, em virtude das densidades de estocagem bastante altas o que torna os alimentos naturais insuficientes, embora estejam presentes na cultura e possam ser incrementados com o uso de fertilizantes (CANTELMO, 1999).

O sistema é aplicado à criação de peixes (tilápia) que apresenta um peso médio de mercado abaixo de 500 g, sendo possível obter biomassa de até 50 ton./ha/ano, usando uma densidade de 50 a 100 peixes/m^3 (CANTELMO, 1999). Mas para isso é necessário um acompanhamento rigoroso da qualidade da água, alimentação, crescimento, biomassa, taxas de conversão alimentar, parâmetros ambientais e de rentabilidade do empreendimento (SILVA, 2006).

A utilização de sistemas fechados de circulação de água vem se tornando uma das alternativas para a aquicultura (COLT et al., 2006; GUTIERREZ-WING & MALONE, 2006), por proporcionar um melhor aproveitamento da água e minimizar possíveis impactos. Os estudos sobre o uso de sistemas de recirculação se intensificaram no Japão, Estados Unidos, Israel e diversos países europeus a partir da década de 80, mas no Brasil o interesse de investidores pelo cultivo de peixes em sistemas fechados é ainda muito recente (KUBITZA, 2006b).

Os sistemas fechados de circulação de água demandam um maior controle da qualidade de água, para evitar o deterioramento do meio devido ao acúmulo de compostos tóxicos (amônia e nitrito). A qualidade da água é recuperada uma vez que essa já tenha passado por todas as unidades de cultivo, com técnicas de reciclagem de efluentes através de biofiltros.

2.4 Biofiltros

Os biofiltros são filtros constituídos geralmente de uma caixa, tanque, cilindro ou gaiola preenchida com determinado tipo de substratos que apresente porosidade e rugosidade que possibilite a fixação de colônias de bactérias nitrificadoras (KUBITZA, 2006b), responsáveis por decompor resíduos de matéria orgânica promovendo a oxidação da amônia a nitrato. Além de possibilitar a reutilização da água evitando a troca de grandes volumes, os

biofiltros também reduzem o estresse dos peixes com a retirada de dejetos eutrofizantes e contaminantes do meio.

Os biofiltros podem ser do tipo interno ou externo. Alguns dos principais desafios para montagem de um biofiltro são: definir a proporção ideal de substrato por litro d'água para manter os parâmetros da água aceitáveis e encontrar material (qualidade e quantidade) que melhor atenda o papel de substrato para o desenvolvimento bacteriano. As colônias de bactérias podem demorar semanas ou até meses para se estabelecerem no biofiltro. Essas bactérias são sensíveis a mudanças na qualidade da água, tratamentos químicos e depleção de oxigênio, etc. Diversos tipos de substratos vêm sendo testados e os mais comuns são areia grossa, cascalho, brita, esferas ou cilindros de plástico e flocos de isopor (KUBITZA, 2006b).

Para que ocorra o processo de nitrificação de maneira eficiente, deve-se levar em conta o tipo de substrato utilizado (CHEN et al., 2006). Substrato de concha calcária e brita tem se mostrado eficiente em biofiltros internos quanto externos, apresentando menores concentrações de íon amônio (PEDREIRA et al., 2009). Dados como área superficial específica do substrato e fluxo de água que passa pelo biofiltro também devem ser levados em consideração (LEKANG & KLEPPE, 2000).

2.4.1 Interação peixe X biofiltros

As tilápias permanecem em grupo durante as primeiras semanas de vida e, então, passam a manter territórios (ANDRADE et al., 2004). Espécies de peixes de hábito territorialista apresentam interações agressivas que são caracterizadas por ataques diretos de um indivíduo ao outro, ameaças, perseguições e fugas, que em geral culminam com o estabelecimento de território (MOYLE & CECH, l988; MEDEIROS et al., 2005). Sendo essa área ocupada pelo animal o local no qual ele realiza a maior parte de suas atividades, sejam elas alimentação, reprodução, cuidado parental, entre outras. Alguns animais defendem uma parte ou toda essa área, mantendo-a exclusiva para o seu uso, o que proporciona uma hierarquia de dominância e submissão, estabelecida através de confrontos entre indivíduos, onde os animais maiores geralmente são dominantes e os menores são submissos (SARAIVA, 2004).

O biofiltro por ser uma estrutura filtrante, acumulando partículas de alimento em seu substrato, tornando a parte superior do biofiltro interno ao tanque, uma área atrativa para os peixes. Esse ambiente diferenciado estimula a marcação de território, sendo essa ação

facilmente perceptível, uma vez que as pós-larvas maiores impedem a chegada das pós-larvas menores na parte superior do biofiltro. Dependendo do tipo de substrato utilizado, por exemplo, a brita que deixa um espaço maior entre um fragmento e outro, possibilita que as pós-larvas consigam entrar no biofiltro em busca de alimento ou mesmo proteção, tornando o biofiltro uma armadilha para elas. Muitas das pós-larvas não conseguem fazer o caminho de volta para fora do biofiltro, ficando presas no seu interior, vindo a morrer por contaminação, estresse, inanição ou mesmo por hipóxia. O uso da rede de proteção colocada na parte superior do biofiltro é fundamental para impedir a entrada das pós-larvas no biofiltro. Trabalhos com biofiltro interno ao tanque sem tela de proteção, utilizando espécies de peixes que apresentam hábito de canibalismo podem ter seus resultados de sobrevivência comprometidos, superestimando a ação do canibalismo, sendo que as pós-larvas podem ter morrido no interior do biofiltro, chegando a ser totalmente degradada durante o período do experimento, tornando imperceptível esse fato.

2.5 Parâmetros físico-químicos da água

Os processos físicos e químicos que ocorrem na água estão intimamente ligados, não podendo ser vistos como processos independentes, uma vez que na água seus efeitos atuam dinamicamente interferindo nas concentrações e formas que as substâncias apresentam-se mesma (SIPAÚBA-TAVARES, 1994).

Os peixes dependem da água para realizar todas as suas funções, por isso, monitorar os parâmetros físico-químicos da água utilizada nos cultivos é de fundamental importância para produzir peixes com quantidade e qualidade.

2.5.1 Oxigênio

No meio aquático o oxigênio encontra-se dissolvido, sendo o mais vital dos elementos necessários para a vida dos peixes e de qualquer organismo que respire nos viveiros. Comparada com o ar, a água possui uma quantidade (ou pressão parcial) muito menor de oxigênio, pois, 1 L de ar possui 210 ml de oxigênio (21% de volume), já 1 L de água possui de 0,04 a 12 ml de oxigênio (até 1,2% de volume) (BALDISSEROTTO, 2002). A quantidade de oxigênio dissolvido na água está diretamente relacionada à pressão parcial do oxigênio na atmosfera (KUBITZA, 1998c), o que varia com a altitude, temperatura da água e quantidade

de substância nela dissolvidas e sua concentração na água diminui sempre que o consumo supera a produção.

Cada espécie cultivada apresenta uma necessidade de oxigênio o que varia de acordo com o seu estagio de vida e das condições de cultivo. A maior parte das espécies requer níveis de oxigênio ao redor de 5 a 6 mg/L. Abaixo de 3 mg/L a situação passa a ser estressante para muitos peixes, podendo ser considerado um quadro de hipóxia, quando menor que 2 mg/L. Os níveis de oxigênio inferiores a 1 mg/L podem ser considerados letais para a maioria das espécies quando expostas por muito tempo (BALDISSEROTTO, 2002).

As tilápias, mais comumente cultivadas, toleram baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Alevinos de tilápia do Nilo, pesando de 10 a 25 g, suportaram concentrações de oxigênio entre 0,4 a 0,7 mg/L por 3 a 5 horas, entretanto, a exposição consecutiva a baixos níveis de oxigênio faz com que tenham desempenho reduzido e maior susceptibilidade a doenças (KUBITZA, 2000a).

A concentração de oxigênio dissolvido na água tem um efeito significativo na velocidade de crescimento das bactérias nitrificantes e para o processo de oxidação de compostos amoniacais (SANTIAGO et al., 1997).

2.5.2 pH

O pH é o logaritmo negativo da concentração de íon hidrogênio por virtude do qual se expressa o grau de acidez ou alcalinidade de um líquido (VILLE, 1967).

$$pH = - \log (H^+)$$

Geralmente a escala é mostrada de 0 a 14, sendo 7 o valor neutro. Estudado isoladamente apenas revela certas características químicas da água, mas no geral, o pH interfere na distribuição dos organismos aquáticos e influencia outros parâmetros. O ácido sulfídrico em pH ácido tem seus níveis aumentados e a amônia não ionizável aumenta em pH alcalino (FERREIRA, 2000). Fatores como respiração, fotossíntese, calagem, adubação e poluição, podem causar mudanças no pH. De uma maneira geral podemos dizer que o comportamento dos peixes, quanto ao pH segue o padrão descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Efeito do pH para os peixes cultivados

Faixa de pH	Comportamento observado
0,0 ¬ 4,0	Morte
4,0 ¬ 6,5	Aumento do estresse
6,5 ¬ 9,0	Zona de conforto
9,0 ¬ 11,0	Aumento do estresse
11,0 ¬ 14,0	Morte

Fonte: Adaptado de Ostrensky & Boeger, (1996).

Como regra geral, valores de pH de 6,5 a 9,0 são mais adequados à produção de peixes. Valores abaixo ou acima desta faixa podem prejudicar o crescimento e a reprodução e, em condições extremas, causar a morte dos peixes (OSTRENSKY & BOEGER, 1996).

2.5.3 Alcalinidade

Alcalinidade de uma água é a sua capacidade quantitativa de neutralizar um ácido forte, até um determinado pH. Algumas impurezas presentes na água são capazes de reagir com ácidos, podendo neutralizar certa quantidade desses reagentes, conferindo a água característica de alcalinidade. Embora a amônia, os fosfatos, os silicatos e a hidroxila (OH^-) se comportem como bases contribuindo para a alcalinidade total, os íons bicarbonatos (HCO_3^-) e carbonatos ($CO_3^=$) são os mais abundantes e responsáveis por praticamente toda a alcalinidade nas águas de cultivo (KUBITZA, 1998a). Sendo a alcalinidade total expressa em equivalentes de $CaCO_3$ (mg de $CaCO_3$/L).

O íon bicarbonato age como base formando CO_2 e H_2O, ou como ácido, dissociando-se para formar o íon carbonato, como se segue:

$$HCO_3^- = CO2 + H_2O; \text{ reação como base}$$
$$HCO_3^- = H^+ + CO_3^=; \text{ reação como ácido}$$

O íon carbonato ($CO_3^=$) reage como uma base, dissociando-se para produzir hidroxila e íon bicarbonato:

$$CO_3^= + H_2O = HCO_3^- + OH^-$$

A alcalinidade total está diretamente ligada à capacidade da água em manter seu equilíbrio ácido-básico (poder tampão da água). Águas com níveis inferiores a 20 mg de $CaCO_3$/L, possuem um reduzido poder tampão, podendo apresentar flutuação diária nos valores de pH. O CO_2 capturado da água pelo fitoplâncton durante a fotossíntese tende a elevar o pH no período diurno. Uma alcalinidade apropriada (normalmente acima de 30 mg/L de $CaCO_3$) evita estas mudanças bruscas diárias de pH (KUBITZA, 2003). Esta estabilidade é importante, pois, a maioria dos organismos aquáticos está adaptada a um valor médio de pH e não suportam variações bruscas (HUET, 1998).

2.5.4 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é uma medida da capacidade de conduzir corrente elétrica da água. Fornece importantes informações sobre o metabolismo do ecossistema ajudando a detectar fontes poluidoras nos sistemas aquáticos. Indiretamente avalia a disponibilidade de íons e nutrientes presentes. Quando seus valores são altos indica grau de decomposição elevado e o inverso (valores reduzidos) indicam acentuada produção primária (SIPAÚBA-TAVARES, 1994).

A condução elétrica é função da maior concentração iônica e varia conforme a origem (fonte) e caminho (tipo de solo, rochas, fontes de poluição) percorrido pela água. Em águas muito puras maior será a resistência e menor a condutividade (ESTEVES, 1998).

2.5.5 Turbidez

A turbidez está relacionada com a quantidade de material insolúvel e em suspensão existente na água e que impede a passagem de luz. Podem se citar as partículas minerais (argila e silte) e partículas orgânicas (fitoplânctos), como os principais materiais. A turbidez muito elevada pode ser prejudicial para o sistema de cultivo. Um volume grande de partículas em suspensão pode soterrar organismos bentônicos (importante item alimentar para muitas espécies de peixes) e reduzir a quantidade de luz que penetra na coluna d'água, comprometendo o processo fotossintetizante o que pode diminuir a produção de alimento natural. Dificulta a visualização dos alimentos pelos peixes e, também, pode levar o animal a morte, por dificultar o processo de trocas gasosas ao aderir ao ovo ou obstruir as brânquias (BALDISSEROTTO, 2002).

2.5.6 Temperatura

Os peixes são animais que tendem a ser pecilotérmicos e por isso a temperatura do corpo está mais suscetível à variação da temperatura do ambiente. A zona de tolerância térmica é restrita, variando conforme a espécie e da fase de desenvolvimento em que a mesma se encontra (ovo, larva, pós-larva ou alevino). Mudanças lentas e graduais da temperatura do meio são consideravelmente melhor suportadas do que mudança drástica. Para conseguir uma boa produtividade, deve-se conhecer a tolerância da espécie e a amplitude de variação da temperatura da água no local de cultivo. Temperaturas abaixo ou acima da faixa de conforto térmico podem reduzir o apetite, o crescimento e suprimir o sistema imunológico aumentando o risco de doenças. Além disso, a temperatura da água está diretamente relacionada com a cinética de reações e solubilidade dos gases. A temperatura influencia na forma que o nitrogênio amoniacal apresenta-se na água ($N\text{-}NH_3$ ou $N\text{-}NH_4^+$), podendo aumentar a toxidez do meio (BALDISSEROTTO, 2002).

As tilápias apresentam conforto térmico entre 27 ºC a 32 ºC (KUBITZA, 2000a). A elevação da temperatura diminui a concentração de oxigênio dissolvido na água, ao mesmo tempo em que o metabolismo do peixe requer mais oxigênio. Os peixes ficam menos tolerantes ao estresse do manejo. Acima de 38ºC, já ocorre aumento de mortalidade de tilápias por estresse térmico (KUBITZA, 2000a). Temperaturas na faixa de 8 ºC a 14 ºC geralmente são letais, dependendo da espécie, linhagem e condição dos peixes e do ambiente (KUBITZA, 2000a).

A temperatura também é um fator determinante no desenvolvimento microbiano, podendo afetar a formação e a atividade de qualquer biofilme, bem como o tipo de microrganismos que o compõem (CHAVES, 2004). Sendo ampla a variação dos limites de temperatura que possibilitam o crescimento bacteriano (STANIER et al., 1977).

2.5.7 Amônia

Em sistemas de criação, o alimento introduzido na água é o principal fator condicionante da dinâmica do nitrogênio. As rações fornecidas para os peixes apresentam uma grande proporção (30% até 50%) de proteína (KUBITZA, 2000b). Parte dessas proteínas é assimilada pelo animal e convertida em proteína animal. O restante será eliminado pelo animal por meio da excreção dos rejeitos nitrogenados encontrados em maior quantidade na

forma de amônia, um dos produtos finais da metabolização das proteínas (SÁNCHES ORTIZ, 2009). A proteína não aproveitada pela atividade microbiana, presente nas fezes e na ração, libera amônia para o meio. Fertilizantes nitrogenados amoniacais também contribuem para o aumento da concentração de amônia na água (KUBITZA, 1998a).

Na água, o nitrogênio amoniacal pode-se apresentar na forma não ionizada (NH_3) ou na forma ionizada (NH_4^+). A amônia não ionizada (NH_3) possui natureza lipofílica e por isso, difunde-se facilmente pelas membranas respiratórias, sendo mais tóxica para os peixes (PORTO, 2010). Já a amônia ionizada (NH_4^+) é menos tóxica, pois tem características lipofóbicas, penetrando menos rapidamente nas membranas. A soma dos dois tipos de amônia é conhecida como nitrogênio amoniacal total (NAT).

Na água, a amônia não ionizada NH_3 e a amônia ionizada NH_4^+ permanecem em equilíbrio dependendo do pH e da temperatura. Temperaturas mais elevadas e baixas concentrações de oxigênio dissolvido aumentam a toxidade da amônia (BALDISSEROTTO, 2002). Segundo Baldisseroto (2002) o equilíbrio das duas formas de amônia se dá de acordo com a reação:

$$NH_3 + H^+ \leftrightarrow NH_4^+$$

Quando o pH passa de ácido ou neutro à alcalino ocorre predomínio de NH_3. Esse aumento deve-se ao fato de que, em pH alcalino, a concentração de H^+ diminui, fazendo com que a reação desloca-se para a esquerda. Já em meio ácido e neutro ocorre predomínio de NH_4^+. Para o peixe o pH neutro facilita a excreção de NH_3 (BALDISSEROTTO, 2002).

O grau de toxicidade de amônia interfere, na osmorregulação, no transporte de oxigênio, na excreção e em vários outros processos fisiológicos. Valores de amônia não ionizada acima de 0,20 mg/L, já são suficientes para induzir toxicidade crônica e levar à diminuição do crescimento e da tolerância dos peixes a doenças (KUBITZA, 1998b). Tilápias vermelhas híbridas, expostas por um período de 24 horas a concentrações de amônia em torno de 6,6 mg/L apresentaram 50% mortalidade (KUBITZA, 2000a).

Dependendo da espécie de peixe a resistência aos níveis de amônia poderá ser maior ou menor. Concentrações de amônia abaixo de 0,24 mg/L são considerados adequados para tilápias (KUBITZA, 2000a). Entretanto quando a concentração de amônia se eleva gradualmente durante o cultivo, permitiu uma gradual adaptação das tilápias a um nível de amônia tóxico mais elevado (KUBITZA, 2000a).

2.5.8 Nitrificação

A nitrificação é um processo biológico, onde as bactérias oxidam o nitrogênio amoniacal a nitrito e em seguida a nitrato. O processo ocorre naturalmente em sistemas onde existem condições aeróbias e a presença de nitrogênio amoniacal, geralmente, na coluna d'água e na superfície do sedimento. As bactérias utilizam a energia da oxidação de nitrogênio inorgânico para o seu crescimento. As bactérias nitrificantes são gram–negativas e pertencem à família Nitrobacteriaceae (CICIGLIANO, 2009). Sendo as bactérias do gênero Nitrossomonas e Nitrobacter responsáveis pela transformação de íon amônio para nitrato.

As *Nitrossomonas* oxidam amônio a nitrito:

$$NH_4^+ + ½O_2 \rightarrow 2H^+ + H_2O + NO_2^-$$

As *Nitrobacter* oxidam nitrito a nitrato:

$$NO_2^- + ½O_2 \rightarrow NO_3^-$$

A nitrificação precisa ocorrer sob condições controladas, para evitar que os produtos do metabolismo bacteriano causem aumento de toxidez no meio, tornando-a nociva para as próprias bactérias. Segundo Ferreira (2000), as bactérias nitrificantes são sensíveis a certas formas de nitrogênio como a amônia não-ionizada (NH_3) e o ácido nitroso não – ionizado (HNO_2), acima de determinados limites. A amônia livre começa a inibir as Nitrossomonas em concentrações de 10 a 150 mg/L, e a Nitrobacter na faixa 0,1 a 1,0 mg/L. O ácido nitroso inibe Nitrossomonas e Nitrobacter na faixa de concentração de 0,22 a 2,8 mg/L. Níveis de 0,5 a 2,5 mg/L de oxigênio dissolvido podem limitar a nitrificação (FERREIRA, 2000). O processo de nitrificação também é fortemente dependente da temperatura, podendo ocorrer numa larga faixa de temperatura (4 ºC a 45 ºC). Sendo a temperatura ótima para Nitrossomonas igual a 35 ºC, e de 35 ºC a 42 ºC para as Nitrobacter (FERREIRA, 2000).

2.5.9 Nitrito e nitrato

O nitrito e o nitrato são produtos da oxidação da amônia, através de processos biológicos (nitrificação). O nitrito é considerado mais problemático no sistema de criação por ser tóxico aos peixes em baixas concentrações, em alguns casos a toxidade foi observada em níveis abaixo de 1 mg/L de NO_2^- (ARANA, 2004). Na água o nitrito pode estar na forma de ácido nítrico (HNO_2) ou nitrito ionizado (NO_2^-), sendo ambas as formas tóxicas. O equilíbrio entre essas duas formas na água é determinado pelo pH. Em pH mais ácidos (2,5), cerca de 90% do total está na forma de ácido nítrico. Em pH 4,5, 90% passa a ser encontrado na forma de nitrito ionizado, e acima de pH 5,5, encontra-se apenas nitrito ionizado na água (BALDISSEROTTO, 2002). O ácido nítrico é considerado mais tóxico, por se difundir livremente pelas membranas das brânquias. Ao contrario do nitrito ionizado que é transportado ativamente através das membranas pelo cotransportador CL^-/HCO_3^-, tornando a difusão mais lenta.

Dentro do organismo do animal, o nitrito (HNO_2 e NO_2^-) entra na hemácia e oxida o ferro, formando a metahemogloblina, que é incapaz de se ligar ao oxigênio (BALDISSEROTTO, 2002). Essa redução na capacidade do sangue transportar oxigênio pode levar o animal à morte. Além deste efeito, o nitrito também pode prejudicar as células hepáticas (hepatócito) (BALDISSEROTTO, 2002), dificultando a digestão.

O nitrato, apesar de ser pouco tóxico para várias espécies de água doce de interesse para aquicultura, com concentrações letais excedendo os 1000 mg/L (TOMASSO, 1994), deve ser evitado nos sistemas de cultivo principalmente por ser fonte para formação de nitrito e amônia, no caso de baixas concentrações de oxigênio.

2.5.10 Ortofosfato

Embora o fósforo seja um constituinte encontrado em menor quantidade na água, sua importância biológica é relevante (constituinte da molécula de ATP e das membranas celulares), sendo considerado um elemento que, muito frequentemente, limita a produtividade nos ambientes aquáticos. Por ser um nutriente essencial para a manutenção dos fitoplâncton e zooplâncton, o fósforo ao entrar no sistema é imediatamente incorporado à cadeia alimentar. No ambiente aquático o fósforo encontra-se na forma de fosfato, sendo o ortofosfato (inorgânico) o mais comum e a principal forma utilizada pelos vegetais. Bactérias produtoras

de fosfatases e fitase são as responsáveis pela liberação do fósforo inorgânico presente na matéria orgânica. A liberação de fosfato para a coluna d'água ocorre com mais facilidade em condição anaeróbica (condição frequentemente no sedimento) (ESTEVES, 1998).

Os solos e as águas do Brasil são em geral pobres em fósforo, sendo a ração e a adubação as principais fontes de fósforo nas pisciculturas. A adição de fósforo no corpo d'água promove um grande aumento da produção de algas e conseqüentemente de peixes. As concentrações de fosfato são utilizadas como medida do grau de eutrofização (riqueza em nutrientes) dos ecossistemas aquáticos. São consideradas águas oligotróficas (pobres em nutrientes) aquelas cujas concentrações de fosfatos não ultrapassam 10 µg/L. As águas com concentração de fosfato entre 10 µg/L e 30 µg/L são consideradas mesotróficas e as eutróficas (ricas em nutrientes) têm concentração de fosfato acima de 30 µg/L (SIPAÚBA-TAVARES, 1994). Em sistemas de cultivo geralmente, predomina baixas concentrações de fósforo, valores entre 0,1 µg/L a 87 µg/L, uma vez que está sendo utilizado na dinâmica do sistema (SIPAÚBA-TAVARES, 1994).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Aquicultura e Ecologia Aquática da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, entre os dias 21 de julho e 3 de agosto de 2011.

Os tratamentos consistiram em biofiltros internos (submerso) ao aquário com substratos de brita calcária (diâmetro médio de 2,1 cm) e concha calcária (diâmetro médio de 1,3 cm) (Figura 2A) em diferentes concentrações: 100% concha calcária (100C); 70% concha calcária/30% brita (70C); 50% concha calcária/50% brita (50C); 30% concha calcária/70% brita (30C); 10% concha calcária/90% brita (10C); 100% brita (0C). Como controle foram utilizados aquários com aeração artificial, sem biofiltro (SB). O sistema testado foi dividido em sete tratamentos e três repetições cada, totalizando vinte e uma unidades experimentais em delineamento inteiramente casualizado.

Trinta dias antes do início do experimento os materiais que compuseram o substrato dos biofiltros foram higienizados com água doce e expostos ao sol por um período de 24 h, para assepsia. Após a lavagem os substratos foram colocados dentro de uma caixa de polietileno de 70 L, com aeração constante de 2,56 m^3 de ar/min (gerando uma recirculação de 0,48 L de água/min) e temperatura da água controlada com aquecedores de 150 W com termostato, mantendo-se com mínima de 32 °C e máxima de 34 °C (Figura 2A). Para a maturação e fixação das bactérias nitrificantes, três vezes por semana, 42 g de ração comercial com 55% de proteína bruta eram adicionadas na água.

Os biofiltros eram constituídos de um recipiente de tereftalato de polietileno de 0,4 L (13 cm de altura e 6 cm de diâmetro) totalmente preenchido com os substratos, fechado na parte superior com uma tela de 0,5 mm de abertura de malha, que impediu as pós-larvas de entrarem no biofiltro (Figura 2A). Posicionado na parte central dos aquários, cada biofiltro continha uma torre de "air lift" de PVC (15 cm de altura e 2 cm de diâmetro) que emergia 1 cm acima do nível da água. A aeração constante (0,96 m^3 de ar/min) aplicada na torre de "air lift" (Figura 2A) proporcionou uma recirculação de água de 0,18 L/min. Nos aquários que não continham biofiltro a aeração foi colocada diretamente na água. Cinco dias antes do povoamento, os biofiltros foram instalados nos aquários e os dispositivos de aquecimento e aeração foram ajustados.

Pós-larvas de tilápia do Nilo com 12 dias de eclosão com comprimento total médio e desvio padrão de 11,554 ± 0,825 mm e peso corporal médio e desvio padrão de 19,00 de ± 0,004 mg, (média de 20 pós-larvas), oriundas da Companhia de Desenvolvimento dos Vales

do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF, foram estocadas na densidade de 13,3 pós-larvas/L, em 21 aquários circulares de volume útil de 6 L (Figura 2A), sob luminosidade média de 350 lux, obtida com fotoperíodo natural.

As pós-larvas receberam 16% da sua biomassa (0,12 g) em ração comercial com 55% de proteína bruta (Pirá Alevino 55 da Guabi), divididos em quatro refeições diárias, às 8, 11, 14 e 17 h. Para padronizar o volume de ração fornecida em cada aquário, foi utilizado um frasco de 0,3 ml como medida.

Uma vez por dia, após a primeira alimentação da manhã, era realizada uma sifonagem de fundo de aquário para remoção dos dejetos, sendo o volume retirado imediatamente reposto. A renovação diária foi no máximo de 10% do volume total do aquário. No decorrer do dia as pós-larvas mortas eram removidas e quantificadas.

No 1º, 7° e 14° dia de experimento antes da sifonagem, às 9 h, os parâmetros de condutividade (µS/cm), pH, oxigênio dissolvido (mg/L) e turbidez (UNT) foram mensurados. Também foram coletadas amostras de água, 80 ml, em recipiente de tereftalato de polietileno, que foram congeladas logo em seguida para a determinação das concentrações de íon amônio ($N\text{-}NH_3$), pelo método de Nessler e nitrito ($N\text{-}NO_2$) e nitrato ($N\text{-}NO_3$), pelo método do N-(1-naftil)-etilenodiamina (NTD), adaptado do *Standard Methods*.

A temperatura da água foi controlada com aquecedores de 150 W com termostato, instalados externamente ao aquário em sistema de banho-maria. Com termômetro de bulbo de mercúrio, a temperatura foi mensurada às 8, 14 e 17 h, mantendo-se com mínima de 27 °C e máxima de 29 °C.

A água utilizada no experimento foi tratada por filtros de 3 e 5 µm e carvão ativado, armazenada em uma caixa de polietileno (500 L) mantida com aeração constante, apresentando condutividade de 12,3 µS/cm, pH 6,67, turbidez 1,5 UNT, níveis de oxigênio dissolvido em torno de 7,03 mg/L, amônia 0,10 mg/L, nitrato e nitrito 0,00 mg/L.

Para as análises biométricas, dois indivíduos de cada repetição foram coletados aleatoriamente no sétimo dia de alimentação, e no décimo quarto dia foram coletados 15 animais de cada repetição, sendo fixados em formol a 7%. A cada amostragem, os peixes foram insensibilizados e abatidos por choque térmico (água a 4 °C). As medidas de comprimento padrão, comprimento total e altura, foram obtidos com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Para a determinação do peso, usou-se balança analítica com precisão de 0,1 mg. Utilizou-se papel secante para retirar o excesso de líquido das pós-larvas, antes da pesagem.

Os dados limnológicos e biométricos obtidos ao final do experimento foram submetidos à análise de variância para os sete tratamentos e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan, usando o programa *Statistical Analises System - SAS* (1995), considerando-se como diferença significativa entre as médias quando $p \leq 0,05$. Para comparar os tratamentos que evolveram uma proporção concha calcária/brita foi feita uma análise de regressão pelo procedimento REG do programa *SAS* (1995), considerando nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração de oxigênio, variável que mais influencia o bem-estar dos organismos aquáticos (BOYD, 2000), se manteve na faixa adequada para o cultivo de peixes tropicais (SIPAÚBA-TAVARES, 1994), e na faixa observada no cultivo de tilápia do Nilo (KUBITZA, 2000a; SILVA et al., 2002; BORGESET al., 2005). A concentração oxigênio dissolvido mostrou variações muito discretas ao longo do cultivo (Tabela 2), não diferindo significativamente entre os tratamentos ($p>0,05$). Fica demonstrado que a proporção concha calcária/brita não influenciou nos níveis de oxigênio dissolvido e que o sistema "air-lift" manteve a mesma eficiência de aeração comparada à oxigenação direcionada diretamente na coluna de água. Este resultado está em colaboro com Pedreira (2003), porém difere de Pedreira & Ribeiro (2008), onde os níveis de oxigênio dissolvido foram maiores nos aquários sem biofiltro.

Tabela 2. Média do oxigênio dissolvido, condutividade, pH e turbidez da água de cultivo de pós-larvas de *Oreochromis niloticus*, ao 7° e 14° dias de experimento, submetidas a biofiltros com diferentes concentrações de concha calcária/brita

Substrato	Oxigênio (mg/L)	Condutividade (mS/cm)	pH	Turbidez (UNT)
		7° dia		
100C	6,106[a]	0,294[ab]	7,290[a]	7,933[b]
70C	5,913[a]	0,341[a]	7,323[a]	6,467[b]
50C	6,243[a]	0,298[ab]	7,143[a]	5,700[b]
30C	6,326[a]	0,303[ab]	7,180[a]	5,233[b]
10C	6,233[a]	0,299[ab]	7,196[a]	7,933[b]
0C	6,650[a]	0,254[b]	7,146[a]	5,267[b]
SB	6,460[a]	0,168[c]	7,243[a]	23,26[a]
CV (%)	7,68	12,00	1,46	42,27
		14° dia		
100C	6,043[a]	0,224[bc]	7,390[a]	3,800[b]
70C	6,106[a]	0,311[ab]	7,360[ab]	3,197[b]
50C	6,170[a]	0,287[ab]	7,263[bc]	4,800[b]
30C	6,446[a]	0,343[a]	7,243[cd]	3,850[b]
10C	6,196[a]	0,301[ab]	7,233[cd]	5,050[b]
0C	6,633[a]	0,223[bc]	7,110[e]	8,133[b]
SB	6,466[a]	0,142[c]	7,140[de]	15,20[a]
CV (%)	7,39	18,58	0,85	55,28

100C = 100% concha calcária; 70C = 70% concha calcária/30% brita; 50C = 50% concha calcária/50% brita; 30C = 30% concha calcária/70% brita; 10C = 10% concha calcária/90% brita; 0C = 100% brita; SB = sem biofiltro. Médias na mesma coluna seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p\leq0,05$).

Aquários que continham biofiltros com concha calcária, tenderam a apresentar uma condutividade mais elevada quando comparado aos aquários sem biofiltro. Esse aumento de

condutividade é devido à composição calcária da concha, que possibilita a liberação de íons bicarbonato e sais ionizados para o meio de cultivo. Outros autores têm observado valores altos de condutividade atrelados à maior concentração de carbonato de cálcio (ROJAS & ROCHA, 2004; PEDREIRA & RIBEIRO, 2008), o que ratifica o observado neste experimento, pois a condutividade elétrica indiretamente avalia a disponibilidade de íons e nutrientes presentes na água (SIPAÚBA-TAVARES, 1994).

O pH não apresentou variação significativa ($p>0,05$) no 7° dia de cultivo. No 14° dia de experimento os níveis mais elevados de concha calcária (100% concha calcária e 70% concha calcária/30% brita) apresentaram pH mais elevado comparados aos aquários sem biofiltros e aos com substrato 100% brita. Entretanto todos os tratamentos mantiveram o pH adequado à produção, o que proporciona um maior crescimento e conforto da tilápia do Nilo (BOSCOLO et al., 2001). A concha calcária tem proporcionado valores elevados e com pequenas oscilações de pH (7,5 a 7,9) (CRIVELENTI et al., 2009; PEDREIRA et al., 2009), sendo a dissociação da concha calcária a responsável por manter o pH estável (CRIVELENTI et al., 2009).

A turbidez foi menor em todos os aquários que continham biofiltros, no 7º dia, exceto para o biofiltro com substrato 100% de brita, que teve resultado semelhante ao controle, para o 14º dia, sugerindo uma diminuição de eficiência deste ao longo do cultivo. Os biofiltros promovem uma filtração mecânica, removendo os sólidos em suspensão (LEFEBVRE et al., 2000; JONES et al., 2002; CAVALCANTE JÚNIOR et al., 2005; KUBITZA, 2006b). As partículas se depositam sobre o substrato do biofiltro, proporcionando uma diminuição nos níveis de turbidez, o que favorece o bem-estar do peixe, pois segundo Baldisserotto (2002) permite a visualização dos alimentos e evita obstrução das brânquias. Por outro lado, o acúmulo de matéria orgânica causa uma diminuição do pH (KUBITZA, 1998a) e favorece o desenvolvimento de bactérias heterotróficas e outros organismos que competem com as bactérias nitrificadoras pelo espaço de fixação nos substratos (KUBITZA, 2006b). Além de demandar uma maior necessidade de manutenção do biofiltro.

O alimento introduzido na água é o principal fator condicionante da dinâmica do nitrogênio. As rações fornecidas para os peixes apresentam uma grande proporção de proteína (KUBITZA, 2000b), sendo que parte desta proteína não assimilada pelo animal acaba eliminada para o meio, por meio da excreção dos rejeitos nitrogenados (SÁNCHES ORTIZ, 2009).

Aquários sem biofiltro foram os que apresentaram maior nível de amônia, entretanto entre os biofiltros não houve diferença significativa ($p>0,05$) (Tabela 3). Concentrações de

amônia encontradas no cultivo de tilápia geralmente varia de 0,004 a 4,95 mg/L (SILVA et al., 2002; CAVALCANTE JÚNIOR et al., 2005; MAEDA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2008; CARDOSO FILHO et al., 2010; MERCADANTE et al., 2011), que condizem com o observado neste experimento. Tal observação sugeri que as condições de cultivo estiveram dentro das consideradas toleráveis para o cultivo da espécie, sendo as concentrações de amônia abaixo de 0,24 mg/L, consideradas adequadas para o cultivo das tilápias (KUBITZA, 2000a). Os níveis de amônia observados nos aquários que continha biofiltro com concha estiveram próximos aos indicados para o cultivo de tilápias, e nos aquários sem biofiltro ou somente com brita, estiveram acima da faixa indicada, tanto no 7° como no 14° dia de cultivo.

Tabela 3. Valores médios do teor de amônia, nitrito e nitrato, da água de cultivo de pós-larvas de *Oreochromis niloticus*, ao 7° e 14° dias de experimento, submetidas à biofiltros com diferentes concentrações de concha calcária/brita

Substrato	Amônia (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)
		7° dia	
100C	0,280[b]	0,063[c]	5,980[ab]
70C	0,160[b]	0,053[c]	7,366[a]
50C	0,206[b]	0,073[c]	7,740[a]
30C	0,226[b]	0,176[b]	7,053[a]
10C	0,313[b]	0,156[b]	4,140[b]
0C	0,460[b]	0,320[a]	4,706[b]
SB	4,653[a]	0,043[c]	4,383[b]
CV (%)	23,99	34,02	19,78
		14° dia	
100C	0,323[b]	0,003[b]	1,620[d]
70C	0,183[b]	0,010[b]	3,473[c]
50C	0,330[b]	0,040[ab]	5,100[b]
30C	0,593[b]	0,053[a]	8,046[a]
10C	0,310[b]	0,053[a]	3,406[c]
0C	0,400[b]	0,050[a]	3,930[bc]
SB	4,680[a]	0,020[ab]	0,466[d]
CV (%)	64,20	64,04	21,77

100C = 100% concha calcária; 70C = 70% concha calcária/30% brita; 50C = 50% concha calcária/50% brita; 30C = 30% concha calcária/70% brita; 10C = 10% concha calcária/90% brita; 0C = 100% brita; SB = sem biofiltro. Médias na mesma coluna seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

As rações utilizadas no cultivo de peixes apresentam uma grande proporção de proteína (KUBITZA, 2000b), fonte de compostos nitrogenados na água (SÁNCHES ORTIZ, 2009). Sendo de crucial importância para o cultivo de tilápia do Nilo, no sistema intensivo, o adequado funcionamento do biofiltro.

O nitrito é considerado um produto intermediário do processo de nitrificação bacteriana da amônia (LINE & CHEN, 2003). No 7° dia de cultivo os níveis de nitrito foram

maiores nos biofiltros preenchidos com substrato 100% brita ($p \geq 0,05$), demonstrando que nesse substrato o processo de nitrificação demorou mais para ter uma maior eficiência, comparado com a concha calcária que apresentou menores concentrações de nitrito. No 14° os biofiltros contendo pequenas proporções de concha calcária (10% concha calcária/90% brita, 30% concha calcária/70% brita) e 100% brita, apresentaram níveis mais elevados de nitrito ($p \geq 0,05$). Biofiltros constituídos apenas por substrato de cascalho de maior granulometria vem demonstrando concentrações mais elevadas de nitrito, comparados com biofiltros que utilizam uma proporção concha calcária/brita (PEDREIRA et al., 2009). Isso evidencia que o tipo de substrato utilizado, assim como a área superficial específica do substrato, influencia na eficiência do processo de nitrificação (LEKANG & KLEPPE, 2000; CHEN et al., 2006).

Os valores de nitrito encontrado no presente trabalho estão próximo dos valores de 0,01 a 0,10 mg/L, encontrados por Mainardes-Pinto & Mercante (2003) trabalhando com tilápia do Nilo. Valores estes que se abaixo de 0,7 mg/L letais para muitas espécies de peixe de água doce (SIPAÚBA-TAVARES, 1994; KUBITZA, 1998b). Portanto, os níveis de nitrito obtidos para o presente estudo muito provavelmente não afetaram a sobrevivência das pós-larvas.

No 7° dia de experimento o biofiltro com proporção de concha calcária acima de 30%, apresentou valores mais elevados de nitrato. Já no 14° a relação 30% concha calcária/70% brita foi a que apresentou maiores níveis ($p \geq 0,05$). Sendo o tratamento sem biofiltro e com 100% de concha calcária os que apresentaram menor concentração de nitrato, demonstrando que houve uma menor taxa de nitrificação. Apesar da baixa concentração de nitrato verificada nos aquários sem biofiltro, ela foi similar ao aquário contendo biofiltro com substrato 100% concha calcária, indicando que parte do íon amônia foi convertida a nitrato evidenciando a nitrificação na coluna de água. Esse fato é corroborado por Pedreira et al. (2009) e Ozório et al. (2004), que relatam a produção de nitrato em tanques sem biofiltro.

Apesar de não ser um composto muito importante em matéria de toxidez, em sistemas de recirculação de água o nitrito torna-se potencialmente tóxico, uma vez que a denitrificação leva o nitrato a amônia e altos níveis são alcançados como resultado da nitrificação da amônia (VINATEA, 1996). Em casos de falta de aeração nos tanques a denitrificação passa a ser um dos possíveis motivos de mortalidade no cultivo. Deve-se considerar ainda que quanto menos amônia se coloca à disposição dos microrganismos, mais rápido os mesmos deverão consumir esse nutriente e, consequentemente, convertê-lo a nitrato (ANDRADE et al., 2010).

Baseando-se na análise de regressão, foi possível observar que a amônia no 7° dia de experimento, apresentou a menor concentração (0,15 mg/L) com 63,5% de concha calcária

(Figura 3A). Este valor de amônia está adequado para o cultivo de tilápias, pois se encontra abaixo dos níveis considerados tóxicos (KUBITZA, 2000a).

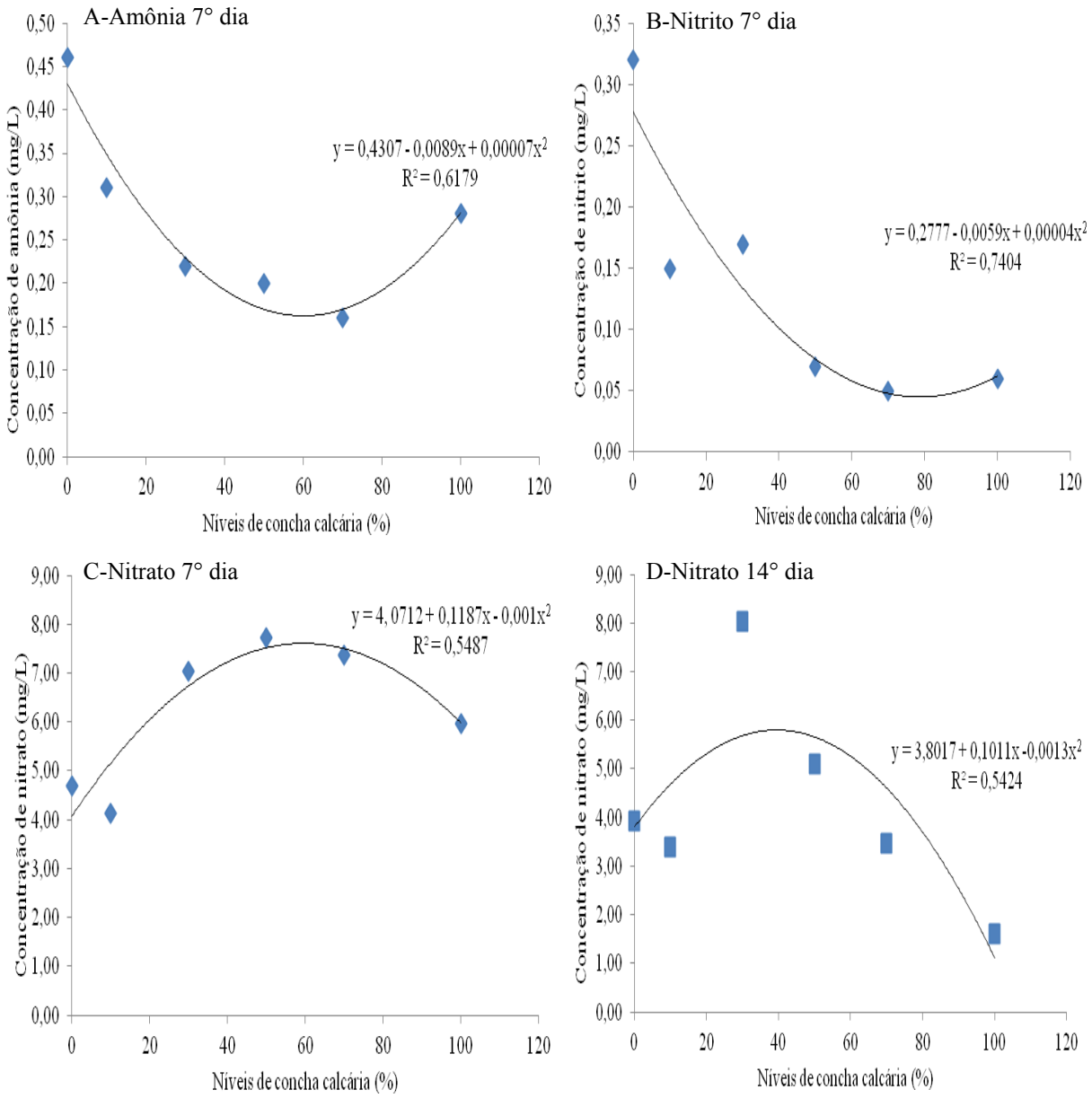

Figura 3. Regressão entre os níveis de concha calcária e os níveis de amônia e nitrito ao 7° dia, e os níveis de nitrato no 7° e 14° dia de experimento.

No 7° dia a proporção de 73,75% de concha calcária foi a que proporcionou uma das melhores eficiências no processo de nitrificação (Figura 3). O menor valor de nitrito 0,060 mg/L, proveniente dessa concentração, ficou abaixo do nível letal para muitas espécies de peixe de água doce (SIPAÚBA-TAVARES, 1994; KUBITZA, 1998b), confirmando os resultados satisfatórios da combinação concha calcária/brita (PEDREIRA et al., 2009).

As análises de regressão para amônia e nitrito no 14° dia não apresentaram significância ($p>0,05$).

O nitrato apresentou ao 7° e 14° dia valores máximos de 7,59 mg/L e 5,76 mg/L para a concentração de 59,35% e 38,88% de concha calcária (Figura 3). Esses valores mais altos de nitrato demonstram eficiência no processo de nitrificação, uma vez que com o aumento dos níveis de nitrato ocorre uma diminuição nos níveis de amônia e nitrito (ARANA, 2004).

Estes resultados sugerem que uma maior concentração de conchas permite uma adaptação mais rápida do biofiltro ao processo de nitrificação, mas que com o passar do tempo os biofiltros com uma menor concentração de concha tendem a se igualar em eficiência.

A associação dos resultados das concentrações de amônia com os biológicos (Tabela 4), onde a sobrevivência e o crescimento (comprimento, altura e peso), foram similares entre tratamentos com e sem biofiltro, mesmo com as concentrações de amônia mais elevada, sugerem que os níveis de amônia não apresentaram toxicidade perceptível. Isso pode estar relacionado aos valores de pH, que influenciam diretamente o potencial tóxico da amônia, e à menor toxicidade do íon amônio (BALDISSEROTTO, 2002). Deve-se ainda considerar que uma elevação gradual da concentração de amônia durante o cultivo, também permite uma adaptação das tilápias a um nível de amônia tóxico mais elevado (KUBITZA, 2000a). Tilápias vermelhas hibridas, toleraram por um período de 24 h concentrações de amônia em torno de 6,6 mg/L apresentando 50% mortalidade (KUBITZA, 2000a).

Tabela 4. Média de sobrevivência (S), biomassa (B), comprimento total (CT), comprimento padrão (CP), altura (AL) e peso (P), de pós-larvas de *Oreochromis niloticus*, ao 7° e 14° dia, submetidas a biofiltros com diferentes concentrações de concha calcária/brita

Substrato	S (%)	B (mg)	CT (mm)	CP (mm)	AL (mm)	P (mg)
			7° dia			
100C	71,33[a]	2,229[a]	12,835[a]	10,200[a]	2,950[a]	31,33[a]
70C	78,33[a]	3,378[a]	13,633[a]	10,916[a]	3,016[a]	42,67[a]
50C	77,33[a]	2,742[a]	13,221[a]	10,791[a]	2,795[a]	35,67[a]
30C	83,00[a]	4,101[a]	14,313[a]	11,395[a]	3,103[a]	49,00[a]
10C	76,66[a]	1,926[a]	12,281[a]	10,021[a]	2,638[a]	25,33[a]
0C	76,00[a]	2,900[a]	13,543[a]	10,821[a]	2,901[a]	38,33[a]
SB	78,33[a]	2,979[a]	13,253[a]	10,546[a]	2,875[a]	38,00[a]
CV (%)	8,64	42,80	8,73	7,79	11,81	38,44
			14° dia			
100C	21,333[c]	0,950[c]	14,289[b]	11,544[b]	3,407[b]	43,66[b]
70C	34,667[b]	1,662[bc]	14,481[ab]	11,472[b]	3,585[ab]	45,66[b]
50C	52,00[a]	3,206[a]	15,386[ab]	12,259[ab]	3,845[a]	61,66[ab]
30C	60,33[a]	4,103[a]	15,666[a]	12,469[a]	3,946[a]	67,66[a]
10C	51,33[a]	2,945[ab]	15,032[ab]	12,028[ab]	3,896[a]	56,66[ab]
0C	59,00[a]	3,104[ab]	15,182[ab]	12,300[ab]	3,625[ab]	52,66[ab]
SB	47,333[ab]	2,723[ab]	15,325[ab]	12,212[ab]	3,547[ab]	56,00[ab]
CV (%)	29,62	15,75	4,11	3,68	5,69	19,26

100C = 100% concha calcária; 70C = 70% concha calcária/30% brita; 50C = 50% concha calcária/50% brita; 30C = 30% concha calcária/70% brita; 10C = 10% concha calcária/90% brita; 0C = 100% brita; SB = sem biofiltro. Médias na mesma coluna seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

A taxa de sobrevivência, biomassa e as medidas biométricas (comprimento total, comprimento padrão, altura e peso), não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$) entre os biofiltros no 7° dia de cultivo (Tabela 4). Entretanto no 14° dia houve uma tendência dos biofiltros contendo 30% de concha/70% de brita apresentar uma maior taxa de sobrevivência. Isso influenciou diretamente na biomassa, de forma que essa combinação também tendeu a apresentar uma maior biomassa no 14° dia de cultivo. O aumento de biomassa paralelamente ao da sobrevivência também vem sendo descrito por outros autores para o cultivo de tilápias (BOSCOLO et al., 2001; MEURER et al., 2003) e para outras espécies (LUZ & DOS SANTOS, 2008; BITTENCOURT et al., 2010). Porém outros trabalhos com biofiltro contendo substratos diversos, não apresentaram diferença significativa nos resultados de sobrevivência (RHIDA & CRUZ, 2001; PEDREIRA et al., 2009).

5 CONCLUSÕES

O uso de biofiltro proporciona melhorias nos parâmetros limnológicos, com exceção da amônia, todas as concentrações de concha calcária/brita mantiveram as condições da água adequada para o cultivo de tilápia do Nilo, não influenciando nos parâmetros morfológicos. O uso de substrato 30% concha calcária/70% brita, é recomendado, por apresentar melhor taxa de nitrificação ao longo do experimento.

A concha calcária liberou íons bicarbonato e sais ionizados para o meio de cultivo, proporcionando menor oscilação de pH e uma condutividade mais elevada da água.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L.; KUMMER, A. C. B.; FAZOLO, A.; DASMACENO, S.; HASAN, S. D. M. Influência de nitrogênio amoniacal e vazão de ar no processo de nitrificação, etapa de tratamento de efluente de abatedouro de peixe. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 160-167, 2010.

ANDRADE, L. S.; HAYASHI, C.; SOUZA, E S. R. Efeito da cor e da presença de refúgio artificial sobre o desenvolvimento e sobrevivência de alevinos de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758**). Acta Scientiarum. Biological Sciences,** v. 26, n. 1, p. 61-66, 2004.

ARANA, L. V. **Princípios químicos da qualidade da água em aquicultura**: uma revisão para peixes e camarões. Florianópolis: EdUFSC, 1997. 231 p.

AYROZA, L. M. S. **Criação de Tilápia-do-Nilo, *Oreochromis niloticus*, em Tanques-rede, na Usina Hidrelétrica de Chavantes, Rio Paranapanema, SP/PR.** Jaboticabal: 2009. 92 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009

BACCARIN, A. E.; CAMARGO, A. F. M. Characterization and evaluation of the impact of feed management on the effluents of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 1, p. 81-90, 2005.

BALDISSEROTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada á psicultura**. Santa Maria: UFSM, 2002, 212 p.

BITTENCOURT, F.; FEIDEN, A.; SIGNOR, A. A.; BOSCOLO, W. R.; LORENZ, E. K.; MALUF, M. L. F. Densidade de estocagem e parâmetros eritrocitários de pacus criados em tanques-rede. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 39, n. 11, p. 2323-2329, 2010.

BLACKITH, R. E.; REYMENT, R. A. **Multivariate morphometrics**. London: Academic Press, 1971. 410 p.

BORGES, A. M.; MORETTI, J. O. C.; MCMANUS, C.; MARIANTE, A. da S. Produção de populações monossexo macho de tilápia do Nilo da linhagem chiltralada**. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 153-159, 2005.

BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; SOARES, C. M.; FURUYA, W. M.; MEURER, F. Desempenho e características de carcaça de machos revertidos de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), linhagens tailandesa e comum, nas fases inicial e de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia,** v. 30, n. 5, p. 1391-1396, 2001.

BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; MEURER, F.; FEIDEN, A.; BOMBARDELLI, R. A.; REIDEL, A. Farinha de resíduos da filetagem de tilápias na alimentação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase de reversão sexual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 1807-1812, 2005.

BOYD, C. E. **Manejo da qualidade de água na aquicultura e no cultivo do camarão marinho.** 1. ed. Recife: ABCC, 2000.

CANTELMO, O. A. **Sistema intensivo e super intensivo na criação de peixes**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. 45 p.

CARDOSO FILHO, R.; CAMPECHE, D. F. B.; PAULINO, R. P. Tilápia em reservatório de água para irrigação e avaliação da qualidade da água. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias,** v. 5, n. 1, p. 117-122, 2010.

CAVALCANTE JÚNIOR, V.; ANDRADE, L. N.; BEZERRA, L. N.; GURJÃO, L. M.; FARIAS, W. R. L. Reúso de água em um sistema integrado com peixes, sedimentação, ostras e macroalgas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9 (suplemento), p. 118-122, 2005.

CAVALCANTI, J. M.; LOPES, P. R. D. Morfometria comparada de *Ctellusciaella gracilicirrhus, Paralollchurus brasiliensis* e *Micropogonias furnieri* (Teleostei, Sciaenidae) pela análise multivariada de redes de treliças. **Revista Brasileira de Zoologia,** v. 7, n. 4, p. 627-635, 1991.

CHAVES, L. C. D. **Estudo da Cinética de Formação de Biofilmes em Superfícies em Contacto com Água Potável**. Braga: Universidade do Minho, 2004. 186 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Biológica Tecnologia do Ambiente, Universidade do Minho, Braga, 2004.

CHEN, S. L.; LING, J.; BLANCHETON, J. P. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. **Aquacultural Engineering**, v. 34, n. 3, p. 179-197, 2006.

CICIGLIANO, G. D. **Avaliação da qualidade da água em piscicultura com sistema de cultivo em tanques-rede no município de Santa Fé do Sul – SP**. Ilha Solteira: UNESP, 2009. 81 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da FEIS, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

COLT, J.; LAMOUREUX, J.; PATTERSON, R.; ROGERS, G. Reporting standards for biofilter performance studies. **Aquacultural Engineering**, v. 34, n. 3, p. 377‑388, 2006.

CREPALDI, D. V.; TEIXEIRA, E. A.; FARIA, P. M. C.; RIBEIRO, L. P.; MELO, D. C.; CARVALHO, D.; SOUSA, A. B.; SATURNINO, H. M. Sistemas de produção na piscicultura. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 30, n. 3/4, p. 86-99, 2006.

CRIVELENTI, L. Z.; BORIN, S.; da SILVA, N. R. Piscicultura superintensiva associada à hidroponia em sistema de recirculação de água. **Archives of Veterinary Science**, v. 14, n. 2, p. 109-116, 2009.

CYRINO, J. E. P.; KUBITZA F. **Piscicultura**. 3. ed. Cuiabá: SEBRAE Coleção Agro Indústria 8, 2002. 82 p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

FAO. **Yearbook fishery statistics: Aquaculture production 2000**. v. 90/2. Rome: FAO, 2002, 182 p.

FERNANDES, R.; GOMES, L. C.; AGOSTINHO, A. A. Pesque‑pague: negócio ou fonte de dispersão de espécies exóticas? **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 25, n. 1, p. 115‑120, 2003.

FERREIRA, E. S. Cinética química e fundamentos dos processos de Nitrificação e denitrificação biológica. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS. AmÚricas y la acción por el medio ambiente en el milênio, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2000. p.1-25 [t.XIV], Ilus.

FLORA, M. A. D.; MASCHKE, F.; FERREIRA, C. C.; PEDRON, F. A. Biologia e cultivo do dourado (*Salminus brasiliensis*). **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 4, n. 1, p. 7-14, 2010.

GONÇALVES, A. A.; PASSOS, M. G.; BIEDRZYCKI, A. Tendência do consumo de pescado na cidade de Porto Alegre: um estudo através de análise de correspondência. **Estudos Tecnológicos**, v. 4, n. 1 p. 21-36, 2008.

GUTIERREZ‐WING, M. T.; MALONE, R. F. Biological filters in aquaculture: trends and research directions for freshwater and marine applications. **Aquacultural Engineering**, v. 34, n. 3, p. 163‐171, 2006.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, L. E. Digestibilidade aparente de macrófitas aquáticas pela tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) e qualidade da água em relação às concentrações de nutrientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 641-647, 2006.

HUET, M. **Tratado de Piscicultura.** 3. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 1998. 745 p.

HUSSAR, G. J.; CONCEIÇÃO, C. H. Z.; PARADELA, A. L.; BARIN, D. J.; JONAS, T. C.; SERRA, W.; GOMES, J. P. R. Uso de leitos cultivados de vazão subsuperficial na remoção de macronutrientes de efluentes de tanques de piscicultura. **Engenharia Ambiental**, v. 1, n. 1, p. 25‐34, 2004.

JONES, A. B.; PRESTON, N. P.; DENNISON, W. C. The efficiency and condition of oysters and macroalgas used as biological filters of shrimp pond effluent. **Aquaculture**, v. 33, n. 1, p. 1-19, 2002.

KUBITZA, F. Qualidade da água na produção de peixes. Parte I. **Revista Panorama da Aquicultura**, v. 8, n. 45 p. 36‐41, 1998a.

KUBITZA, F. Qualidade da água na produção de peixes. Parte II. **Revista Panorama da Aquicultura**, v. 8, n. 46, p. 36‐41, 1998b.

KUBITZA, F. Qualidade da água na produção de peixes. Parte III. **Revista Panorama da Aquicultura,** v. 8, n. 47, p. 36-43, 1998c.

KUBITZA, F. **Tilápia:** tecnologia e planejamento na produção. Jundiaí: Edcopyright, 2000a. 289 p.

KUBITZA, F. Tilápias: manejo nutricional e alimentar. **Revista Panorama da Aquicultura**, v. 10, n. 60, p. 15-22, 2000b.

KUBITZA, F. Larvicultura de peixes nativos. **Revista Panorama da Aquicultura**, v. 13, n. 77, p. 47-56, 2003.

KUBITZA, F. Questões frequentes dos produtores sobre a qualidade dos alevinos de tilápia. **Revista Panorama da Aquicultura**, v. 16, n. 97, p. 14-23, 2006a.

KUBITZA, F. Sistemas de Recirculação: sistemas fechados com tratamento e reuso da água. **Revista Panorama da Aquicultura**, v. 16, n. 95, p. 15-22, 2006b.

KUBITZA, F**.** O mar está prá peixe...prá peixe cultivado. **Revista Panorama da Aquicultura**, v. 17, n. 100, p. 14-23, 2007.

LEFEBVRE, S.; BARILLÉ, L.; CLERC, M. Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) feeding responses to a fish-farm effluent. **Aquaculture**, v.187, n. 1-2, p. 185-198, 2000.

LEKANG, O. I.; KLEPPE, H. Efficiency of nitrification in trickling filters using different filter media. **Aquacultural Engineering**, v. 21, n. 3, p. 181-199, 2000.

LIN, Y. C.; CHEN, J. C. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. **Aquaculture.** v. 224, n. 1, p.193-201, 2003.

LOVSHIN, L. L. Status of commercial fresh water fish culture in Brazil. In: Simpósio sobre manejo e nutrição de peixes, 2., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: CBNA, 1998. p. 1-20.

LUZ, R. K.; SANTOS, J. C. E. Densidade de estocagem e salinidade da água na larvicultura do pacamã. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 903-909, 2008.

MACEDO-VIEGAS, E. M.; SOUZA, M. L. R.; BACCARIN, A. E.; BORBA, M. R.; ARAÚJO, M. C.; VAZ, M. M. e DIAS, M. T. Aspectos mercadológicos de pescados e derivados em algumas cidades das regiões sul e sudeste do Brasil. **Infopesca Internacional**, v. 6, p. 13-22, 2000.

MAEDA, H.; SILVA, P. C.; AGUIAR, M. S.; PADUA, D. M. C.; OLIVEIRA, R. P. C.; MACHADO, N. P.; RODRIGUES, V.; SILVA, R. H. Efeitos da densidade de estocagem na segunda alevinagem de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), em sistema *raceway***. Ciência Animal Brasileira**, v. 7, n. 3, p. 265-272, 2006.

MAINARDES-PINTO, C. S. R.; MERCANTE, C. T. J. Avaliação de variáveis limnológicas e suas relações com uma floração de Euglenaceae pigmentada em viveiro povoado com tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus). **Acta Scientiarum Biological Sciences,** v. 25, n. 2, p. 323-328, 2003.

MAXIMIANO, A. A.; FERNANDES, R. O.; NUNES, F. P.; ASSIS, M. P.; MATOS, R. V.; BARBOSA, C. G. S.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Utilização de drogas veterinárias, agrotóxicos e afins em ambientes hídricos: demandas, regulamentação e considerações sobre riscos à saúde humana e ambiental. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 10, n. 5, p. 481‑491, 2005.

MEDEIROS, A. P. T. et al. Encontros agonísticos e territorialidade entre machos de híbrido vermelho de tilápia, Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758) X Oreochromis mossambicus (Peters, 1852) e de tilápia do Nilo, Oreochromis niloticus (Cichlidae). **Revista Brasileira de Zoociência,** v. 7, n. 2, p.273-284, 2005.

MERCANTE, C. T. J.; CARMO, C. F.; RODRIGUES, J. C.; OSTI, J. A. S.; MAINARDES PINTO, C. S.; VAZ-DOS-SANTOS, A. M.; TUCCI, A.; DI GENARO, A. C. Limnologia de

viveiro de criação de tilápias do Nilo: avaliação diurna visando boas práticas de manejo**. Boetim Insituto da Pesca**, v. 37, n. 1, p. 73 – 84, 2011.

MEURER, F.; HAYASHI, C.; BOSCOLO, W. R. Influência do processamento da ração no desempenho e sobrevivência da tilápia do Nilo durante a reversão sexual. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 32, n. 2, p. 262-267, 2003.

MONDINI, L.; MONTEIRO, C. A. Mudanças no padrão de alimentação da população urbana brasileira (1962-1988). **Revista Saúde Pública,** v. 28, n. 6, 1994.

MOYLE, P. B.; CECH JUNIOR, J. J. **Fishes: An Introduction to icthyology**. 2. ed. New Jersey: Pretice Hall. 1988. 89 p.

MPA, **Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura, Brasil 2008-2009**, Ministério da Pesca e da Aquicultura, 2010. Brasilia: Distrito Federal. Disponível em: www.sepaq.pa.gov.br/files/u1/anuario_da_pesca_completo.pdf. Acesso: 14/01/2011.

NACA/FAO. Aquaculture development beyond 2000: the Bangkok declaration and strategy. In: Conference on Aquaculture in the Third Millennium, 2000, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: NACA, Bangkok & FAO, 2000. 27p.

NEUMANN, E. **Características do desenvolvimento inicial de duas linhagens de tilápia *Oreochromis niloticus* e uma linhagem híbrida de *Oreochromis* sp.** Jaboticabal: UNESP, 2004. 75 p. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal**,** 2004.

OLIVEIRA, H. V.; NETO, F, B.; AZEVEDO, C. M. S. B. A.; LIMA, C. B.; GURGEL, G. C. S. Alterações nas características físicoquímicas de um solo cultivado com pimentão, efluente de piscicultura, fosfato natural e esterco bovino. **Caatinga**, v. 21, n. 5, p. 157-163, 2008.

OSTRENSKY, A.; BOEGER, W. **Piscicultura**: fundamentos e técnicas de manejo. Guaíba: Agropecuária, 1996. 211 p.

OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R.; SOTO, D. **Aquicultura no Brasil:** o desafio é crescer. Brasília: FAO, 2008. 276 p.

OZÓRIO, R. O. A.; AVNIMELECH, Y.; CASTAGNOLLI, N. Sistemas intensivos fechados de produção de peixes. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSI, D. M.; CASTAGNOLLI, N. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**, São Paulo: TecArt, 2004. p. 7‑24.

PEDREIRA, M. M. Comparação entre três sistemas no cultivo de larvas de Piracanjuba *(Brycon orbignyanus)*. **Revista Ceres**, v. 50, n. 292, p.779-786, 2003.

PEDREIRA, M. M.; LUZ, R. K.; SANTOS, J. C. E.; SAMPAIO, E. V.; SILVA, R. S. F. Biofiltração da água e tipos de substrato na larvicultura do pacamã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 5, p. 511-518, 2009.

PEDREIRA, M. M.; RIBEIRO, J, S. Efeito de um tipo de biofiltro, na larvicultura de pacamã *lophiosilurus alexandri* (siluriformes). **Agropecuária Técnica**, v. 29, n. 1-2, p. 5–10, 2008.

PILARSKI, F.; TOMAZELLI JR, O; CASATA, J. M.; GARCIA, F. R. M.; TOMAZELLI, I. B.; SANTOS, I. R. Consórcio suíno-peixe: aspectos ambientais e qualidade do pescado. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 33, n. 2, p. 267-276, 2004.

PORTO, C. C. P. **Desempenho de um sistema de tratamento de efluentes de quacultura:** a recirculação como uma alternativa sustentável. Porto Alegre: UFRGS, 2010. 132 p.

RAMOS, S.; RAMOS, M. E. M. Dieta e risco cardiovascular: ômega 3, óleo de oliva, oleaginosas,... o que é fato? **Revista da Sociedade de Cardiologia do Rio Grande do Sul,** v. 6, 2005.

REDDING, T.; TODD, S.; MIDLEN, A. The treatment of aquaculture wastewater: A botanical approach. **Journal of Environmental Management**, v. 50, n. 3, p. 283-299, 1997.

RHIDA, M. T.; CRUZ, E. M. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) reared in a simple recirculating system. **Aquacultural Engineering,** v. 24, n. 2, p. 157-166, 2001.

ROJAS, N. E. T.; ROCHA, O**.** Influência da alcalinidade da água sobre o crescimento de larvas de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758 Perciformes Cichlidae). **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 26, n. 2, p. 163-167, 2004.

SÁNCHES ORTIZ, I. A. **Remoção de nitrogênio de água residuária de produção intensiva de tilápias com recirculação utilizando reator de leito fluidizado com circulação em tubos concêntricos.** Ilha Solteira: UNESP, 2009. 170p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

SANTIAGO, V. M. J.; COELHO, E. B. A. P.; ZANETTE, C. L.; ALMEIDA, J. H. C. Nitrificação em Biodisco. Nitrificação em Biodisco In: 19° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2009, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 1997.

SARAIVA, K. A. **Avaliação de densidades de estocagem de alevinos da tilápia *Oreochromis niloticus* (linhagem Chitralada) cultivado em gaiolas**, Garanhuns: UFRPE 2004. 48 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2004.

SAS. **Statistical Analises System. User's Guide**. Version 6.08, SAS INSTITUTE INC. 4. ed. North Caroline:SAS INSTITUTE INC, 1995. 846 p.

SILVA, F. V.; SARMENTO, N. L. A. F.; VIEIRA, J. S.; TESSITORE, A. J. A.; OLIVEIRA, L. L. S.; SARAIVA, E. P. Características morfométricas, rendimentos de carcaça, filé, vísceras e resíduos em tilápias-do-nilo em diferentes faixas de peso. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 8, p. 1407-1412, 2009.

SILVA, N. A. **Caracterização de impactos gerados pela piscicultura na qualidade da água:** estudo de caso na bacia do rio Cuiabá-MT. Cuiabá: UFMT, 2007. 120p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

SILVA, N. J. R. **Dinâmicas de desenvolvimento da piscicultura e políticas públicas no Vale do Ribeira-SP e Alto Vale do Itajaí-SC – Brasil**. Jaboticabal: UNESP, 2005. 599p.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, Jaboticabal, 2005.

SILVA, P. C.; KRONKA, S. N.; TAVARES, L. H. S.; SOUZA, V. L. Desempenho produtivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) em diferentes densidades de trocas de água em *raceway*. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 24, n. 4, p. 935-941, 2002.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H, **Limnologia aplicada a aquicultura**. Jaboticabal: FUNEP, Boletim Técnico n. 1, 1994. 70 p.

STANIER, R. Y.; INGRAHAM, J. L.; WHEELIS M. L. et al. **General Microbiology**. 4. ed. London: Macmillan Press, 1977. 871 p.

TOMASSO, J. R. Toxicity of nitrogenous wastes to aquaculture animals. **Reviews in Fish Science**, v. 2, n. 4, p. 291-314, 1994.

TRUE, B; JOHNSON, W.; CHEN, S. Reducing phosphorus discharge flow through aquaculture I: facility and effluent characterization. **Aquacultural Engineering**, v. 32, n. 1, p. 129-144, 2004.

VALENTI, W. C.; MALLASEN, M.; BARROS, H. P. Sistema de recirculação e rotina de manejo para larvicultura de camarões de água doce *Macrobrachium rosenbergii* em pequena escala. **Boletim Instituto da Pesca**, v. 35, n. 1, p. 141 – 151, 2009.

VASCONCELOS, R. F.; NETO, M. P. D.; SABRY, R. C.; GESTEIRA, T. C. V. Utilização da ostra-do-mangue, *Crassostrea rhizophorae* (GUILDING, 1828) e da macroalga *Hypnea musciformis* (WULFEN) Lamouroux como biofiltros em sistema de policultivo com o camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931). **Boletim Técnico Cientifico CEPENE**, v. 14, n. 2, p. 35-40, 2006.

VILLE, C. **Biología**. Mexico: Editorial Interamericana, 1967. 688 p.

VINATEA, L. A. **Princípios químicos da qualidade da água em aquicultura**: uma revisão para peixes e camarões. Florianópolis: FAPEU UFSC, 1996. 166 p.

WORLD FISH CENTER. ***Oreochromis niloticus***. Disponível em: <http://www.fishbase.org/photos/PicturesSummary.php?ID=2&what=species>, acessado em 05/08/2011.

ZANIBONI FILHO, E. Larvicultura de peixes de água doce. **Informe Agropecuário**, v. 21, n. 203, p. 69-77, 2000.

ANEXO

Figura 1A. *Oreochromis niloticus* (World Fish Center, 2011).

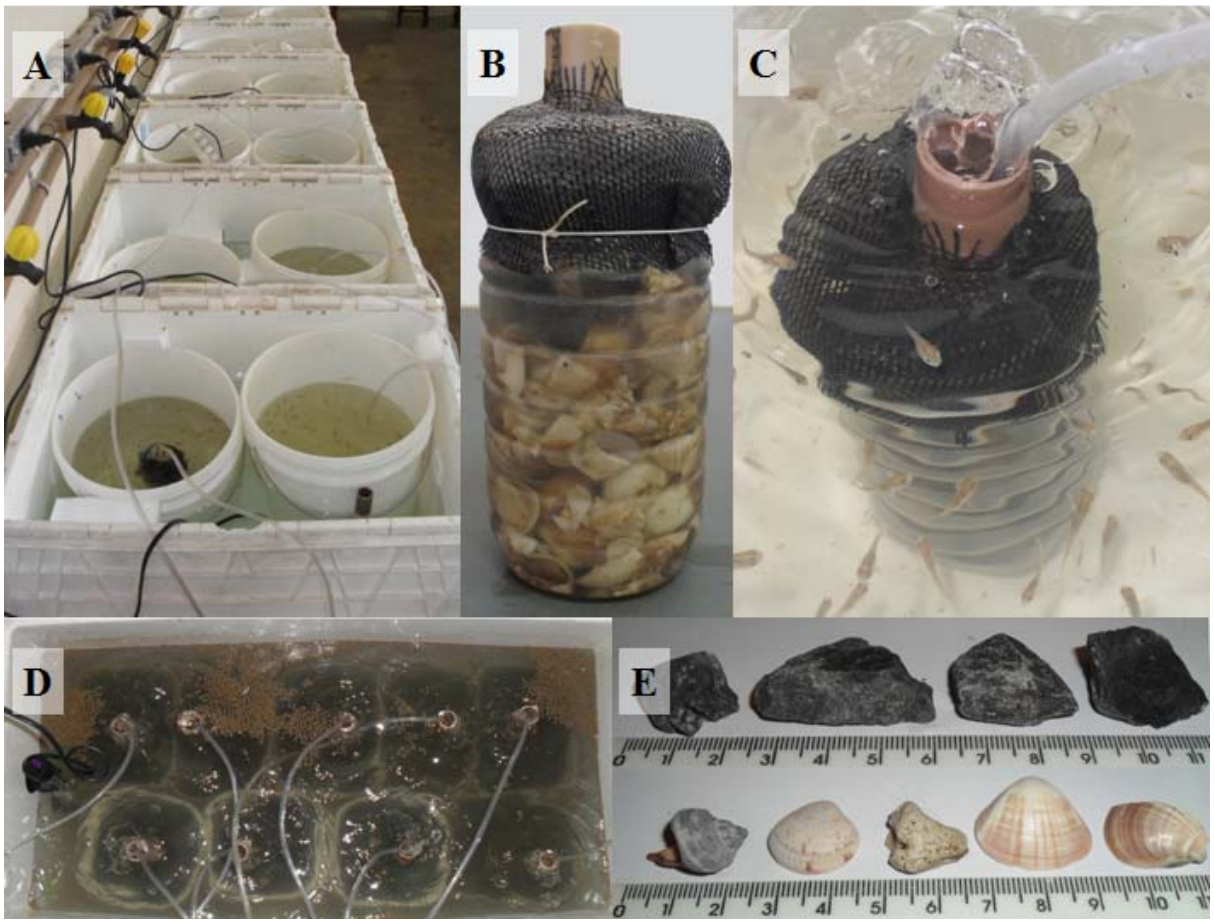

Figura 2A. Aquários circulares com temperatura controlada em sistema de banho-maria (A), biofiltro com substrato de concha calcária (B), torre de "air lift" (C), maturação do substrato (D), substrato de concha calcária e brita (E).