

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Produção de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em sistema com bioflocos:
efeito do momento de transferência dos alevinos para o sistema

Gabriel Francisco de Oliveira Alves

Belo Horizonte

2013

Gabriel Francisco de Oliveira Alves

**Produção de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em sistema com bioflocos:
efeito do momento de transferência dos alevinos para o sistema**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Zootecnia.

Área de concentração: Produção Animal
Prof. Orientador: Edgar de Alencar Teixeira

Belo Horizonte

2013

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	11
2.2 Sistemas de bioflocos – BFT.....	12
2.3 Cultivos de tilápias em bioflocos.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Local e instalações.....	20
3.2 Material biológico e delineamento experimental.....	20
3.3 Fertilização orgânica.....	21
3.4 Qualidade de água.....	21
3.5 Manejo e variáveis de desempenho zootécnico.....	22
3.6 Composição corporal e dos flocos microbianos.....	22
3.7 Análise dos dados.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1 Parâmetros de qualidade de água.....	24
4.2 Desempenho zootécnico.....	30
4.3 Composição corporal.....	37
4.4 Composição dos flocos microbianos.....	40
4.5 Variáveis hematológicas e índices somáticos.....	43
5 CONCLUSÕES.....	45
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis de qualidade de água de cultivo de juvenis de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação.....	24
Tabela 2 - Peso médio final, densidade final, ganho médio diário, sobrevivência e conversão alimentar na produção de juvenis de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação	30
Tabela 3 - Composição corporal e concentração de energia em juvenis de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação	38
Tabela 4 - Composição e concentração de energia dos flocos coletados na produção de juvenis de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação	41
Tabela 5 - Índices hepatossomático e víscerosomático, níveis de glicose e proteína plasmática total e hematócrito de juvenis de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variações nas concentrações médias de nitrogênio amoniacal (N-AT) ao longo de cultivo no qual juvenis de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) foram transferidos em diferentes momentos para sistema com bioflocos em formação	26
Figura 2 - Variações nas concentrações médias de nitrogênio nítrico (N-NO ₂ ⁻) ao longo de cultivo no qual juvenis de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) foram transferidos em diferentes momentos para sistema com bioflocos em formação	28
Figura 3 - Consumo médio de ração individual e diário em cada intervalo de 15 dias por juvenis de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação	32
Figura 4 - Conversão alimentar, por período de 15 dias, de juvenis de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação.....	33
Figura 5 - Taxa de crescimento específico (%/dia) de juvenis de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação	35
Figura 6: Variações no ganho médio diário, individual e em intervalos de 15 dias por juvenis de tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação	35

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

^{13}C	Isótopo de carbono de massa 13
^{15}N	Isótopo de nitrogênio de massa 15
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celcius
CA	Conversão alimentar
CL50-96h	Concentração letal mediana em 96 horas
cm	Centímetros
CV	Coefficiente de variação
C:N	Relação carbono/nitrogênio
dL	Decilitro
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra-acético
g	Gramas
IHS	Índice hepatossomático
IVS	Índice viscerossomático
kcal	Quilocaloria
kg	Quilograma
LAQUA	Laboratório de Aquacultura
l	Litro
m^3	Metro cúbico
ml	Mililitros
%	Porcentagem
N-AT	Nitrogênio na forma de amônia total
N-NO ₂ ⁻	Nitrogênio na forma nítrica
PB	Proteína bruta
rpm	Rotações por minuto
TCE	Taxa de crescimento específico

RESUMO

Entre os sistemas de produção utilizados na aquicultura, os sistemas com bioflocos vêm ganhando destaque devido a pouca ou nenhuma renovação de água, altas densidades de estocagem e a formação de uma biota predominantemente aeróbia e heterotrófica, que compõe agregados ou flocos microbianos. Considerando o grande potencial desse sistema para a produção de tilápias, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da transferência de alevinos de tilápia do Nilo em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos. Foram utilizados 1400 alevinos de tilápia do Nilo pesando $1,40 \pm 0,04\text{g}$, distribuídos em 20 tanques retangulares com volume útil de 150 litros, em um delineamento inteiramente ao acaso, com cinco tratamentos (T1 – controle, T2 – transferência no 1º dia; T3 - transferência no 15º dia; T4 - transferência no 30º dia; T5 - transferência no 45º dia) e quatro repetições. O estudo teve duração de 76 dias e os animais permaneceram nas mesmas condições do controle até o momento das transferências. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de SNK ($p < 0,05$). O peso final (46,16g), ganho diário (0,59g) e conversão alimentar (1,08) não diferiram. A densidade final foi maior no T1, sendo de $17,44 \text{ kg/m}^3$ e nos demais tratamentos foi de 10,20; 12,47; 12,68 e $11,49 \text{ kg/m}^3$ em T2, T3, T4 e T5, respectivamente. A sobrevivência não diferiu pelo teste de Kruskal-Wallis ($P < 0,05$). Os parâmetros de qualidade de água oscilaram ao longo do tempo, apresentando picos de N-NO_2^- nos tratamentos transferidos para o sistema com bioflocos. A composição corporal foi afetada pelos tratamentos avaliados, diferindo principalmente entre o controle e os demais tratamentos que em algum momento foram transferidos para o sistema com bioflocos. Os flocos microbianos não apresentaram diferenças no conteúdo de PB e nem no extrato etéreo e houve uma tendência de aumento no conteúdo mineral. Com os resultados obtidos, sugere-se a transferência de alevinos de tilápia do Nilo com 1,4g para o sistema com bioflocos, não sendo necessário um período prévio de cultivo em outro tipo de sistema.

Palavras-chave: sistemas intensivos, *Biofloc Technology*, troca limitada de água, aquicultura, tilápia do Nilo

ABSTRACT

Among the production systems used in aquaculture, biofloc systems are gaining prominence due to little or no water renewal, high stocking density and predominant formation of an aerobic and heterotrophic biota that compose the aggregates or microbial flakes. Considering the great potential of this system for the production of tilapia, the goal of this study was to evaluate the transfer effect of Nile tilapia fingerlings at different times of cultivation to biofloc system. 1400 Nile tilapia fingerlings weighing 1.40 ± 0.04 g, divided into 20 rectangular tanks with a useful volume of 150 liters were utilized, in a completely randomized delimitation, including five treatments (T1 – control; T2 - 1st day transfer; T3 - 15th day transfer; T4 – 30th day transfer, T5 – 45th day transfer) and four replications. The study lasted 76 days and the animals remained under the same control conditions until the transfer's time. Furthermore, the data obtained were submitted to analysis of variance and the means were compared by SNK test ($p < 0.05$). The final weight (46.16 g), daily gain (0.59 g) and feed conversion rate (1.08) have not differed. Thus, the final stocking density was higher in T1, with the value of 17.44 kg / m³. Additionally, the other treatments has resulted in 10.20, 12.47, 12.68 and 11.49 kg/m³ at T2, T3 , T4 and T5, respectively. The median survival was not differed by Kruskal-Wallis test ($P < 0.05$). The water quality parameters has oscillated over time, with peaks of N-NO₂⁻ in the treatments transferred to the biofloc system. Body composition was affected by the treatments assessed. As a result, the control and other treatments that were transferred in some time to the biofloc system has differed. Microbial flakes has not shown differences in CP content nor the ethereal extract. Also, it has indicated an increasing trend in mineral content. With these results, the transfer of fingerlings of Nile tilapia with 1.4g for the system with biofloc is suggested. Furthermore, the previous cultivation period is not necessary in another type of system.

Keywords: intensive systems, Biofloc Technology, limited water interchange, aquaculture, Nile tilapia

1. INTRODUÇÃO

A agropecuária tem recebido grande destaque na economia mundial, sendo a aquicultura o setor que apresenta maior crescimento entre as demais atividades de produção de alimentos. Nos últimos anos a aquicultura mundial vem apresentando crescimento anual médio de 8,8% (FAO, 2012), sendo que no Brasil a atividade teve um crescimento de 31,2% entre os anos de 2008 e 2010 (MPA, 2012). Alguns fatores contribuem para esta expressiva expansão, como o aumento nas políticas públicas e estímulo ao consumo de pescado, associados ao clima favorável e o fato do país ser essencialmente agrícola, apresentando uma grande diversidade de produtos e subprodutos para serem utilizados como insumos na produção animal, o que possibilita a redução dos custos de produção.

Entre as principais espécies de peixes produzidas está a tilápia (*Oreochromis sp*), que atualmente representa cerca de 39% do total de pescado proveniente da aquicultura continental brasileira (MPA, 2012). A tilápia apresenta diversas características desejáveis e importantes para a produção comercial, como rusticidade, precocidade sexual, tolerância a diferentes condições ambientais, boa aceitação pelo mercado consumidor (EL-SAYED, 2006) e capacidade de aproveitamento do alimento natural (AZIM *et al.*, 2003).

Contudo, são grandes as preocupações sobre os impactos que o crescimento e expansão da atividade podem gerar sobre o meio ambiente. Uma vez que nos atuais sistemas de cultivo é destacado o uso de grande volume de água visando à manutenção de sua qualidade, há a liberação de efluentes sem nenhum tratamento nos corpos de água adjacentes. Destaque para a excreção de compostos nitrogenados, os quais podem ser prejudiciais ao desenvolvimento dos organismos cultivados, além de representarem importantes agentes poluidores. Isso vem levando a eutrofização e salinização dos corpos de água, poluição química e disseminação de doenças (BOYD, 2003). Assim, a busca por alternativas que visem a redução dos impactos ambientais e o uso sustentável dos recursos naturais têm sido constante, propiciando o desenvolvimento de uma aquicultura responsável e ambientalmente aceitável.

Entre os sistemas de produção intensivos utilizados atualmente na aquicultura, os que vêm ganhando grande destaque são os sistemas denominados ZEAH (*Zero Exchange, Aerobic, Heterotrophic Culture Systems*) ou mais recentemente chamados de tecnologia de bioflocos - BFT (AVNIMELECH, 2009). Nestes tipos de cultivo adotam-se altas densidades

de estocagem com pouca ou nenhuma renovação de água. Para isso, usa-se de aeração e agitação da água, propiciando a formação de uma biota predominantemente aeróbia e heterotrófica, que compõem agregados ou flocos microbianos (bactérias, microalgas, protozoários, rotíferos, fezes, restos alimentares e de animais mortos, entre outros) (AVNIMELECH, 2007; DE SCHRYVER *et al.*, 2008).

A comunidade microbiana presente no meio contribui para o cultivo em dois pontos principais: manutenção da qualidade de água através da assimilação direta do nitrogênio inorgânico, gerando proteína microbiana; e nutricionalmente, servindo como parte da dieta dos organismos cultivados, podendo contribuir significativamente para melhoria da conversão alimentar e conseqüentemente a redução dos custos de produção (EMERENCIANO *et al.*, 2013). Em função dos pontos abordados, este sistema apresenta-se como uma alternativa para o desenvolvimento sustentável da aquicultura e, simultaneamente, oferece respostas frente às questões ambientais, sociais e econômicas (CRAB *et al.*, 2012).

A utilização com sucesso da tecnologia de bioflocos na carcinocultura têm sido apresentada em diversos trabalhos (BURFORD *et al.*, 2004; WASIELESKY *et al.*, 2006; EMERENCIANO *et al.*, 2011). Estudos também veem demonstrando a viabilidade do cultivo de tilápia em meio heterotrófico (AVNIMELECH, 1999; MILSTEIN *et al.*, 2001; AVNIMELECH, 2007; AZIM E LITTLE, 2008; AVNIMELECH, 2011). Entretanto, há uma deficiência de informações sobre o cultivo de tilápias neste tipo de sistema, sobretudo nas fases iniciais de produção.

Nota-se que a grande maioria dos trabalhos tem sido realizada com animais cujo peso médio inicial é superior a 30-50 gramas. Como exemplo, Avnimelech (2007) trabalhou com juvenis de 47 gramas, Azim e Little (2008) utilizaram animais entre 80 e 120g, Crab *et al.* (2009) com juvenis de 50 a 105,5 gramas e Nootong *et al.* (2011) que trabalharam com juvenis de 30g.

Percebe-se então que há uma lacuna em ensaios com a tilápia em sistemas com a tecnologia de bioflocos, principalmente nas fases iniciais de produção. Portanto, faz-se necessário a realização de estudos a fim de avaliar a produção neste tipo de sistema, uma vez que é uma espécie com potencial para tal, devido à capacidade de aproveitar os agregados microbianos e suportar altas densidades de cultivo (AVNIMELECH, 2011), além de tolerar variações no ambiente de cultivo. Ainda, pode tornar-se alternativa na produção de animais para estocagem direta em sistemas de tanques-rede sem o uso de bolsões e/ou hapas. Nestes, há um aumento na demanda de mão de obra para manejos de limpeza e não há a possibilidade de aproveitamento da produção primária pelos animais.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da transferência de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos e as resultantes de desempenho zootécnico, sobrevivência, qualidade de água, composição corporal, composição dos flocos microbianos e variáveis sanguíneas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) faz parte de um grupo de espécies que recebem a denominação genérica de tilápias, pertence à família Cichlidae (Perciformes) e que têm a sua origem no continente africano. No Brasil, a espécie *O. niloticus* foi introduzida no ano de 1971, proveniente da África, inicialmente na região nordeste e a partir de então distribuída pelo país.

Apresenta-se hoje como uma das espécies mais importantes para o desenvolvimento da aquicultura nacional e mundial, uma vez que é a espécie mais produzida no país, responsável por 39,4% da produção da aquicultura de água doce (MPA, 2012). Além disso, compõe o segundo grupo de espécies mais cultivadas em todo o mundo, ficando atrás apenas das carpas. Este destaque deve-se, em grande parte, às características apresentadas por estes peixes, como rápido crescimento, tolerância a uma ampla faixa de condições ambientais, precocidade sexual, rusticidade e capacidade de aproveitamento do alimento natural (EL-SAYED, 2006). Possui ainda boas características organolépticas e ausência de espinhos na forma de “Y” no seu filé (HILDSORF, 1995).

O hábito alimentar da tilápia do Nilo é onívoro (SKLAN *et al.*, 2004), fato este que a coloca em vantagem em relação a outras espécies que demandam de grande quantidade de farinha de peixe nas dietas como fonte de proteínas (FITZSIMMONS, 2000). Esta vantagem reside principalmente na possibilidade de assimilar eficientemente os carboidratos presentes nos ingredientes de origem vegetal das rações (TEIXEIRA *et al.*, 2008). Quando nas fases iniciais de vida, são capazes de utilizar alimentos artificiais imediatamente após a absorção do saco vitelino (EL-SAYED, 2006). As características apresentadas anteriormente tornam-se de alta relevância no contexto da produção comercial, que passa por um momento de crescimento e intensificação dos cultivos, associados a uma demanda de consumidores cada vez mais exigentes quanto às questões ambientais (LITTLE *et al.*, 2008).

Sistemas de produção intensivos, como os que utilizam a tecnologia de bioflocos, buscam atender essa demanda por sistemas mais sustentáveis e têm sido utilizados na produção de tilápia (MILSTEIN *et al.*, 2001). A capacidade de utilização da produção primária dentro das unidades de cultivos por esses peixes pode proporcionar vantagens econômicas, contribuindo para que o cultivo de tilápias em bioflocos seja promissor

(EKASARI *et al.*, 2013). Avaliando a contribuição dessa fonte alimentar, Avnimelech (2007) observou que os flocos microbianos podem suprir até 50% da necessidade proteica. A utilização da tilápia do Nilo em sistemas intensivos, sem renovação e/ou com troca limitada de água, como os que utilizam a tecnologia de bioflocos, é ainda justificada pela sua capacidade de tolerar altas densidades de cultivo e variações nas condições ambientais, como por exemplo, compostos nitrogenados, oxigênio dissolvido, temperatura, salinidade, pH e outros (EL-SAYED, 2006). Azim *et al.* (2003) citam as tilápias como adequadas para o cultivo em sistemas com suspensão da matéria orgânica, como os de tecnologia de bioflocos.

2.2. Sistemas de bioflocos – BFT

De acordo com Serfling (2006), os cultivos baseados no que hoje é conhecido como tecnologia de bioflocos, vem sendo realizados desde os anos oitenta. Na década de 80 e início da década de 90 os estudos abordando alguns conceitos teóricos e aplicações práticas evoluíram de forma simultânea e independente no Waddell Mariculture Center, nos Estados Unidos (HOPKINS *et al.*, 1993; CHAMBERLAIN E HOPKINS, 1994) e em Israel, no Technion Israel (AVNIMELECH, 1993; AVNIMELECH *et al.*, 1994). As pesquisas concentraram-se em cultivos intensivos, focando no camarão marinho e na tilápia, respectivamente.

Também conhecida como *Active Suspension Pond* (AVNIMELECH *et al.*, 1994; CHAMBERLAIN E HOPKINS, 1994; MILSTEIN *et al.*, 2001; AVNIMELECH, 2003; BURFORD *et al.*, 2003; AVNIMELECH, 2006), *Zero exchange, Aerobic, Heterotrophic Culture Systems* (MCNEIL, 2000; CHAMBERLAIN *et al.*, 2001; MCGRAW, 2002; ERLER *et al.*, 2005; WASIELESKY *et al.*, 2006), sistema heterotrófico (MCINTOSH, 2000), entre outros; os sistemas baseados na tecnologia de bioflocos surgiram, principalmente das preocupações ambientais, da limitação de água e do alto custo da terra para crescimento da atividade de produção de organismos aquáticos. E têm como princípio a mínima ou nenhuma troca de água, o que pode levar ao acúmulo de matéria orgânica e de compostos nitrogenados inorgânicos.

Ainda, por ser um sistema de cultivo intensivo, o aumento das densidades de estocagem acarreta maior acúmulo de nitrogenados provenientes da excreção dos animais, bem como da decomposição da matéria orgânica (de origem fecal e dos restos de ração) (AZIM *et al.*, 2003; AVNIMELECH E RITVO, 2003; AVNIMELECH, 2007). Uma vez que, mesmo em baixas concentrações, estes compostos podem ser prejudiciais para os organismos

cultivados (JENSEN, 2003), torna-se necessária a remoção e/ou assimilação destes pelos microrganismos presentes no ambiente de cultivo.

Considerando a importância da comunidade microbiana para a manutenção da qualidade de água, o entendimento das diferenças entre os grupos microbianos presentes em sistemas aquícolas pode contribuir para melhoria dos manejos adotados (MCGRAW, 2002). Entre as principais diferenças destacam-se as fontes para obtenção de energia e de carbono para o crescimento microbiano. Os organismos autotróficos são divididos em dois grupos, um que utiliza a luz como fonte de energia e gás carbônico como fonte de carbono (fotoautotróficos) e o outro que usa a matéria inorgânica como fonte de energia e gás carbônico como fonte de carbono (quimioautotróficos). Já as bactérias heterotróficas, obtêm carbono e energia para crescimento a partir de compostos orgânicos.

Em sistemas de baixa intensidade de produção, o mecanismo de controle dos compostos nitrogenados inorgânicos é realizado através da captação pelas algas, através do processo fotossintético (BRUNE *et al.*, 2003). Porém, à medida que se intensificam os cultivos, dentro dos conceitos da tecnologia de bioflocos, esse mecanismo não é capaz de controlar o nitrogênio inorgânico (AVNIMELECH, 2011). Assim, torna-se necessário a manipulação adequada da biomassa microbiana para o efetivo controle da qualidade de água. Tal estratégia se apoia no aprimoramento do crescimento de bactérias heterotróficas através da elevação da relação C:N para aproximadamente 15:1 (AVNIMELECH, 1999), sendo a via de remoção heterotrófica preferencial em sistemas com tecnologia de bioflocos (DE SCHRYVER E VERSTRAETE, 2009), principalmente na fase de estabelecimento (NOOTONG *et al.*, 2011).

Embora seja preferencial a assimilação dos compostos nitrogenados diretamente em proteína microbiana (HARGREAVES, 2006), têm sido verificada a ocorrência do processo de nitrificação em sistemas com troca de água limitada e relação C:N elevada (BURFORD E LONGMORE, 2001; HARI *et al.*, 2006; NOOTONG *et al.*, 2011). Isso demonstra a ocorrência de mais de uma via de remoção do nitrogênio inorgânico.

De acordo com Ebeling *et al.* (2006), o que parece ocorrer nos sistema aquícolas é uma mistura de mais de uma via de remoção, sendo simultâneas as ocorrências. Os mesmos autores citam ainda que em sistemas com tecnologia de bioflocos, as bactérias quimioautotróficas e heterotróficas destacam-se na remoção do nitrogênio. O dióxido de carbono (CO₂), produto final do metabolismo das bactérias heterotróficas, serve como uma fonte de carbono para o crescimento da biomassa microbiana autotrófica, que eventualmente

poderá ser consumida pelas heterotróficas (MORIARTY, 1997; MCGRAW, 2002), evidenciando uma relação de complementaridade.

Apesar dessa relação de complementaridade, Hargreaves (2006) cita que o grupo das bactérias heterotróficas tem a taxa de crescimento 10 vezes superior em relação ao surgimento das bactérias nitrificantes, e que devido ao crescimento lento das bactérias autotróficas, concentrações significativas de nitrito tendem a acumular no ambiente de cultivo. Além da maior taxa de crescimento dos organismos heterotróficos, as bactérias nitrificantes são afetadas negativamente com a elevação da relação C:N (LING E CHEN, 2005), corroborando para ocorrência de picos de nitrito durante o processo de estabelecimento de cultivos com a tecnologia de bioflocos (CRAB *et al.*, 2007). Esse período dura aproximadamente de cinco a sete semanas (BROWDY *et al.*, 2001).

Sabendo-se dos danos provocados pelos compostos nitrogenados, diversos estudos têm buscado alternativas para amenizar os impactos até o estabelecimento das comunidades microbianas. Pesquisas têm sido desenvolvidas avaliando a relação C:N ideal para o desenvolvimento das comunidades microbianas (AZIM *et al.*, 2008), utilizando diferentes fontes de carbono (SAMOCHA *et al.*, 2007; CRAB *et al.*, 2009; CRAB *et al.*, 2010), caracterizando as comunidades microbianas presentes nos cultivos (RAY *et al.*, 2010; MAICÁ *et al.*, 2011), analisando a remoção de sólidos suspensos totais (GAONA *et al.*, 2012) e utilizando a água de um cultivo anterior (KRUMMENAUER *et al.*, 2012).

Assim, os sistemas de cultivo com o uso de tecnologia de bioflocos proporcionam qualidade de água adequada ao desenvolvimento dos animais cultivados. Ademais, esse tipo de cultivo pode apresentar vantagens adicionais, como a produção de proteína microbiana de alta qualidade diretamente na unidade de cultivo, servindo como um alimento suplementar para os organismos cultivados (AVNIMELECH, 1999; BURFORD *et al.*, 2004; AVNIMELECH, 2006; EBELING *et al.*, 2006; WASIELESKY *et al.*, 2006; AVNIMELECH, 2007; DE SCHRYVER *et al.*, 2008). Azim *et al.* (2008) citam os flocos microbianos como adequados para espécies de peixes onívoras. Além do hábito alimentar, outros fatores podem afetar a utilização destes compostos como, por exemplo, a espécie, tamanho/fase do peixe, tamanho e densidade dos flocos microbianos (AVNIMELECH, 2007).

2.3. Cultivos de tilápias em bioflocos

Objetivando o desenvolvimento da tecnologia de bioflocos para cultivos de peixes, alguns trabalhos têm sido realizados nos últimos anos com a tilápia neste tipo de sistema. No trabalho de Avnimelech (1999), todo o embasamento teórico a respeito da assimilação do nitrogênio inorgânico por bactérias heterotróficas através da alteração da relação C:N em sistemas aquícolas é apresentado, e o autor cita ainda dois trabalhos anteriores, onde parte dos conceitos abordados já haviam sido aplicados. O primeiro de Avnimelech *et al.* (1989), no qual os autores avaliaram o efeito da alteração da relação C:N sobre o crescimento e eficiência alimentar da tilápia (*Oreochromis aureus*), alimentando os animais com rações contendo 30% de proteína bruta (PB) (I) , 10% de PB (II) e uma contendo 10% de PB + celulose como fonte de carbono (III). Os autores observaram que o crescimento dos animais foi semelhante nos tratamentos I e III, os quais foram superiores ao tratamento II. Os resultados apresentaram o mesmo comportamento para o teor de proteína no músculo. Os autores atribuíram o desempenho dos animais do tratamento III à contribuição nutricional dos flocos bacterianos formados no tanque de cultivo, uma vez que ao analisarem o sinal isotópico do ¹³C nas matérias-primas e nos tecidos animais, verificou-se a influência da celulose. A contribuição foi atribuída à ingestão e digestão de flocos que se desenvolveram utilizado como fonte de carbono à celulose.

No segundo trabalho citado, Avnimelech *et al.* (1994) avaliaram o desempenho de juvenis de tilápia (peso médio inicial de 112 e 205 g) em sistema com troca limitada de água e alimentados com dois níveis de proteína: 30% e 20% de PB. Os autores observaram melhor crescimento dos animais nos tratamentos com proteína mais baixa, atribuindo o resultado a melhoria da qualidade de água em função do menor acúmulo de nitrogênio inorgânico. Ainda, sendo observada uma maior utilização da proteína da ração, explicada pela reciclagem dos nutrientes pelos microrganismos.

Avaliando o potencial de cultivo de híbridos de tilápia (*O. niloticus* x *O. aureus*), Milstein *et al.* (2001) cultivaram juvenis de 125 g em sistema tradicional, onde trocas de água eram realizadas com o objetivo de manter a qualidade de água com renovações de até 500% em lagoas intensivas, e em sistema com bioflocos, onde trocas de até 8% eram realizadas, diariamente. Os animais desenvolveram-se igualmente bem nos dois tipos de sistema, sendo os parâmetros de qualidade de água mantidos adequadamente em ambos. Isso demonstra a possível vantagem do sistema com bioflocos quanto à redução da quantidade de água utilizada, que pode chegar a 98% em relação ao sistema convencional. Associado a isso, pode haver uma melhora na biossegurança do cultivo, devido à redução das vias de introdução e

disseminação de enfermidades. Adicionalmente, a utilização das partículas em suspensão pelos animais pode representar uma redução nos custos com a alimentação.

Diversos fatores podem afetar a utilização da produção primária pelos animais cultivados. Azim *et al.* (2003) verificaram que a taxa de ingestão do perifíton por alevinos de tilápia (*O. niloticus*) depende do tamanho do peixe. Neste trabalho, animais com peso médio de 7g tiveram uma maior taxa de ingestão em relação aos animais com peso médio de 24g. A taxa de ingestão de perifíton pelos animais menores foi afetada significadamente ($P < 0,05$) pela densidade do perifíton, sendo que à medida que houve incremento na produção primária, os mesmos responderam positivamente. Turker *et al.* (2003) também relataram aumento na taxa de filtração à medida que houve incremento na concentração de carbono orgânico particulado em suspensão e que juvenis menores de tilápia do Nilo (16g), apresentaram maior taxa de filtração que animais pesando 390g. Embora estes trabalhos não tenham sido conduzidos em sistemas com tecnologia de bioflocos, demonstram o potencial de utilização da produção primária pela tilápia do Nilo e sua relação com a categoria animal.

Avnimelech (2007) afirma que os sistemas baseados na tecnologia de bioflocos são efetivos na manutenção da qualidade de água e por isso, os estudos devem ser direcionados para a avaliação da utilização dos flocos microbianos pelos organismos cultivados. Destaca ainda a necessidade de estudos com peixes, uma vez que os cultivos de camarão em sistemas com bioflocos expandiram-se rapidamente, acompanhados pelos esforços em pesquisas, o mesmo não ocorrendo com a produção de peixes neste tipo de sistema. Devido à dificuldade de estudo simultâneo de todos os fatores que afetam o uso dos flocos microbianos pelos organismos aquáticos, o autor avaliou a possível contribuição dos flocos microbianos para a nutrição de juvenis de tilápia (47g) através da marcação isotópica com ^{15}N , concluindo que os mesmos podem contribuir com até 50% da exigência proteica. Em trabalhos realizados com camarão marinho, Burford *et al.* (2004) reportaram que cerca de 18 a 29% do nitrogênio ingerido pelos animais era proveniente dos flocos microbianos.

Azim *et al.* (2008) avaliando o efeito de dois níveis de proteína na ração (35 e 22%) sobre as características qualitativas de flocos formados em uma unidade sem peixes, observaram que não há diferenças significativas quanto aos aspectos composicionais. Quando comparado à composição média dos flocos formados (50% de proteína bruta, 2% de lipídeos, 4% de fibra, 7% de cinzas e 5254,6 kcal/kg de energia – base matéria seca) com as exigências de peixes, como por exemplo, a tilápia do Nilo, nota-se apenas um déficit de lipídeos nos flocos microbianos, mesmo a ração aplicada possuindo 10% de lipídeos. Os autores sugerem o desenvolvimento de estratégias para utilização do alimento natural pelos animais cultivados

em sistemas intensivos, sendo essas práticas favoráveis à redução dos custos de produção e amenizando os impactos ambientais.

Trabalhando com juvenis de 80 a 120g de tilápia (*O. niloticus*) em sistema com bioflocos, Azim e Little (2008) compararam os efeitos de dois níveis de proteína na dieta (24 e 35%) sobre alguns parâmetros, como composição dos flocos microbianos, desempenho zootécnico e qualidade de água. Corroborando com o trabalho de Azim *et al.* (2008), os autores também não observaram diferenças significativas na composição dos flocos microbianos, quando avaliados os parâmetros nutricionais, indicando que a qualidade dos flocos independe da ração utilizada. Quanto ao ganho de peso e sobrevivência, diferenças não foram detectadas, o que demonstra a possibilidade do uso de menores teores proteicos na dieta. Já em relação aos parâmetros de qualidade de água, uma instabilidade foi observada nos dois tratamentos. Alcalinidade reduziu ao longo tempo, diminuindo o poder tampão e assim levando a variações no pH. Amônia e nitrito oscilaram ao longo do tempo, enquanto nitrato foi acumulando. Vale destacar que as concentrações dos nitrogenados, de uma maneira geral, foram mais altas no tratamento com 35% de proteína bruta.

Em função da importância e das dificuldades que são encontradas na mensuração da utilização dos flocos microbianos pela tilápia em sistema com bioflocos, Avnimelech e Kochba (2009) conduziram um ensaio experimental no qual os flocos microbianos foram enriquecidos com ^{15}N , adicionando $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ (90% ^{15}N) e amido à água. Embora a determinação deste marcador seja facilitada com a utilização de equipamentos autoanalisadores automáticos, a interpretação pode ser de difícil compreensão, uma vez que o marcador no sistema está sujeito a vários processos, afetando a sua distribuição. Como respostas, os autores verificaram que cerca 1,56g de proteína oriunda dos bioflocos foi absorvida, o que representa cerca de 25% da quantidade de proteína que é fornecida normalmente a tilápia. Este resultado é a metade do que foi estimado por Avnimelech (2007) para a tilápia e similar ao que foi verificado para o camarão marinho (18-29%) por Burford *et al.* (2004). Outro ponto abordado pelos autores é a taxa de excreção nitrogenada, que foi cerca de 2,2 vezes a quantidade absorvida dos flocos microbianos, dado que estes eram a única fonte alimentar disponível.

Buscando amenizar os efeitos negativos de baixas temperaturas em cultivos de híbridos de tilápia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*) em Israel, Crab *et al.* (2009) avaliaram a manutenção de juvenis de 50 e 100g em sistema com bioflocos sob estufas, a fim de manter a temperatura da água. Os animais foram estocados na densidade de 16 kg/m³. A água para abastecimento tinha a temperatura de 14°C e foi mantida nas unidades

de cultivo em aproximadamente 17,7°C. Os autores utilizaram dois níveis de proteína na dieta (23 e 30%), associados ou não a uma fonte de carbono (amido). Verificou-se que quando da utilização de níveis mais baixos de proteína na dieta e/ou adição de fontes de carbono mantendo a relação C:N próxima de 20, melhores condições de qualidade de água foram mantidas. Ainda, embora a temperatura fosse mantida abaixo da faixa adequada para máximo crescimento da tilápia, os animais apresentaram crescimento diário de 0,27 e 0,29g e sobrevivência de 80 e 97% para os grupos de 50 e 100g, respectivamente. Os autores avaliam como positivo a adoção deste tipo de cultivo, uma vez que a qualidade da água foi mantida e altas taxas de sobrevivência foram alcançadas, levantando a possibilidade até de aumento na densidade de estocagem, embora isto não tenha sido avaliado.

Diversos estudos têm demonstrado a efetividade dos sistemas baseados na tecnologia de bioflocos na manutenção da qualidade de água dos cultivos (AVNIMELECH, 1999; EBELING *et al.*, 2006; HARGREAVES, 2006; WASIELESKY *et al.*, 2006; SAMOCHA *et al.*, 2007). Nootong *et al.* (2011) avaliaram o cultivo de juvenis de tilápia (*O. niloticus*), pesando em média 30 gramas e estocados na densidade de 3 kg/m³. Os tratamentos foram: animais recebendo uma ração com 35% de proteína bruta (controle) e o outro grupo recebendo a mesma ração e suplementação de amido de mandioca, mantendo a relação C:N em aproximadamente 16:1. Observou-se que a assimilação e nitrificação são os principais processos responsáveis pela manutenção da qualidade de água em sistemas de bioflocos, sendo a assimilação responsável pelo controle do nitrogênio inorgânico nas primeiras 6-7 semanas, período de estabelecimento da nitrificação, e a partir da sétima semana, a nitrificação como a principal responsável pela manutenção da qualidade de água. No tratamento controle foi verificada mortalidade total na quinta semana. Já no tratamento com adição de amido de mandioca, foi obtida taxa de sobrevivência de 96%. No entanto, o ganho de peso diário foi de 1,4 g/dia, que pode ter sido afetado pelo acúmulo de amônia e nitrito nas primeiras semanas, antes do estabelecimento da nitrificação completa. A densidade final foi de 8,82 kg/m³.

A possibilidade de utilização de elevadas densidades de estocagem têm sido citada como um dos pontos positivos da utilização dos cultivos com tecnologia de bioflocos (AVNIMELECH, 2012). O efeito desta variável foi avaliado por Widanarni *et al.* (2012) em cultivos de tilápia vermelha (*Oreochromis sp.*), onde juvenis de 77 gramas foram estocados nas seguintes densidades: 1,75 (I); 3,5 (II) e 7,0 kg/m³ (III). O cultivo teve duração de 14 semanas e foi conduzido em sistema com bioflocos e em sistema onde fontes externas de C não foram adicionadas (controle). Devido à falta de repetições, não foi possível comparar

estatisticamente a densidade mais elevada. Observou-se de uma forma geral, que os controles para cada densidade testada apresentaram maior oscilação nos parâmetros de qualidade de água, melhores taxas de sobrevivência foram obtidas para os tratamentos em sistema com bioflocos, sendo inferior significativamente apenas no tratamento II-Controle. O peso médio final foi igual em todos os tratamentos e a maior densidade obtida foi de 12 kg/m³. Foi observada, ainda, a ocorrência de reprodução durante o período experimental. Contaram-se os indivíduos gerados dentro de cada unidade experimental e observou-se maior produção de alevinos nos tratamentos em sistema com bioflocos.

Embora o trabalho de Widanarni *et al.* (2012) não tenha tido como um dos objetivos avaliar os aspectos reprodutivos, parece haver algum efeito positivo do sistema com bioflocos sobre a reprodução. Ekasari *et al.* (2013) avaliaram o efeito do sistema com bioflocos sobre alguns parâmetros reprodutivos da tilápia (*O. niloticus*) e observaram um aumento de 65% na taxa de fecundidade. Ao analisar os níveis de glicose no sangue, observou-se que os mesmos encontravam-se mais altos e estatisticamente diferentes em determinados períodos da avaliação. Os autores atribuíram este aumento à maior disponibilidade de alimento no sistema com bioflocos, assim como o maior ganho de peso dos animais mantidos em sistema com bioflocos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local e instalações

O experimento foi realizado no interior de uma estufa agrícola pertencente ao Laboratório de Aquicultura da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (LAQUA), Belo Horizonte – MG, Brasil. O mesmo foi conduzido entre os meses de agosto e outubro de 2012.

3.2. Material biológico e delineamento experimental

Para o estudo, foram adquiridos 1400 alevinos de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) masculinizados, de um produtor comercial localizado na cidade de Curvelo – MG, Brasil. Após a chegada ao LAQUA, os animais foram mantidos em um tanque circular de polipropileno com volume útil de 800 litros, alocado no interior da estufa agrícola. Trocas diárias de água foram realizadas a fim de manter os parâmetros de qualidade de água. Os animais foram alimentados 6 vezes ao dia com uma ração extrusada comercial contendo 45% de proteína bruta e 1,2mm de diâmetro (FRI-RIBE Nutreco, Brasil).

Após um período de sete dias de adaptação, os animais foram submetidos a um jejum de 24 horas, distribuídos aleatoriamente em vinte tanques retangulares de polipropileno com volume útil de 150 litros numa densidade de 70 peixes por tanque e estes pesados em conjunto. O peso médio inicial e a biomassa média inicial foram de $1,40 \pm 0,04g$ e $98,10 \pm 3,08g$, respectivamente.

O experimento teve duração de 76 dias e o delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando vinte unidades experimentais, sendo cada unidade um tanque de 150 litros com 70 peixes. Cada unidade recebeu um termostato aquecedor de 300 watts de potência, objetivando a redução das variações bruscas de temperatura ao longo do dia. Os tratamentos avaliados foram quatro momentos diferentes de transferência dos peixes para o meio heterotrófico, iniciando a formação do mesmo, e o tratamento controle, denominado T1, no qual os animais foram mantidos em sistema de água clara, sendo realizadas trocas diárias de água para a manutenção de qualidade. Os demais tratamentos foram: T2, em que os animais foram submetidos ao processo de formação de flocos microbianos (bioflocos) desde o primeiro dia experimental, com peso médio inicial de $1,4 \pm 0,04g$; T3, no qual os animais ficaram nas condições do controle até o 15º dia, momento

a partir do qual iniciou-se a formação de bioflocos, com peso médio inicial de $4,28 \pm 0,13\text{g}$; T4, permanecendo nas mesmas condições do controle até o 30° dia de experimento, e após iniciando-se a formação de bioflocos, com peso médio inicial de $11,10 \pm 0,67\text{g}$; e o T5, no qual os animais só foram expostos a situação de formação de flocos microbianos a partir do 45° dia, com peso médio inicial de $20,40 \pm 1,09\text{g}$.

No tratamento controle e nos demais que ainda não haviam sido transferidos para o sistema com bioflocos, as trocas diárias de água foram: de 50% até o 7° dia; de 75% do 8° até o 22° dia; de 90% do 23° até o 30° dia; de 160% do 31° até o 52° dia e de 240% do 53° até o 76° dia. Utilizou-se água previamente aquecida (temperatura entre 26-28°C), mantida em tanques circulares de polipropileno com volume útil de 800 litros para evitar grandes variações na temperatura da água. Nos tratamentos que em algum momento do cultivo foram transferidos para o sistema com bioflocos, trocas de água foram suspensas a partir deste momento.

3.3. Fertilização orgânica

Para a formação e manutenção dos bioflocos, fertilizações foram realizadas para a conversão do nitrogênio em biomassa bacteriana. A fonte de carbono utilizada foi o melão, sendo considerado o teor de carbono deste composto para o cálculo da quantidade a ser adicionada no sistema. Nos três primeiros dias utilizou-se a metodologia descrita por Avnimelech (1999), adicionando-se a fonte de carbono de maneira a manter a relação C:N em 20:1, tomando como base a quantidade de nitrogênio que era adicionado no sistema via ração. Após esse período, as adições foram realizadas de acordo com Ebeling *et al.* (2006), empregando-se a relação C:N de 6:1 e tendo como base o nitrogênio amoniacal total (N-AT), onde ao verificar concentrações iguais ou superiores a 1 mg/L, as fertilizações eram realizadas.

3.4. Qualidade de água

Durante a condução do trabalho a temperatura, oxigênio dissolvido e pH foram monitorados diariamente pela manhã e pela tarde (às 7 e as 16 horas, respectivamente) com o auxílio de uma sonda multiparâmetros YSI 6920 V2® (Yellow Springs Incorporated - YSI, OH, USA). A salinidade foi mensurada a cada três dias, utilizando a mesma sonda multiparâmetros. As variáveis da série nitrogenada, amônia total (N-AT) e nitrito (N-NO₂⁻), foram monitorados diariamente e a cada dois dias, respectivamente. As amostras foram coletadas antes das trocas de água, no tratamento controle e naqueles que por ventura ainda

não estavam no sistema de bioflocos. A amônia total foi determinada conforme metodologia preconizada por UNESCO (1983) e o nitrito conforme Bendschneider e Robinson (1952).

Para manutenção do pH, hidróxido de cálcio - Ca(OH)_2 foi adicionado quando da constatação de valores inferiores a 7,0 conforme sugerido por Furtado *et al.* (2011).

3.5. Manejo e variáveis de desempenho zootécnico

Durante o experimento, os animais foram alimentados “*ad libitum*” cinco vezes ao dia até o 45° dia, passando posteriormente para quatro alimentações diárias até o final. Após cada alimentação, as sobras foram recolhidas e armazenadas em freezer a -18°C . Posteriormente, as sobras foram secas em estufa ventilada a 55°C e pesadas. Uma ração extrusada comercial para tilápias com 45% de proteína bruta (FRI-RIBE Nutreco, Brasil) foi utilizada. Inicialmente e a cada quinze dias, uma biometria foi realizada utilizando Dinamômetro Digital Portátil Reversível (Instrutherm Instrumentos de Medição, São Paulo, Brasil) para determinação do ganho de peso e posterior cálculo da conversão alimentar. Simultaneamente as biometrias, todos os animais foram contados para a avaliação da sobrevivência.

3.6. Composição corporal e dos flocos microbianos

Ao final do período experimental, dois animais de cada unidade de cultivo foram dessensibilizados por hipotermia, imergidos em balde com gelo fundente e decaptados. Após este procedimento, foram congelados em freezer a -18°C para análises laboratoriais de composição corporal. Outros seis animais de cada unidade experimental foram destinados à colheita de sangue. Os animais foram contidos com o auxílio de pano úmido e o sangue colhido por punção intracardíaca. Devido a possíveis alterações hematológicas, anestésicos não foram utilizados. Utilizou-se seringa de 1 mL pré-lavada interiormente com o anticoagulante etilenodiamino tetra-acético (EDTA) à 10%. Posteriormente, os animais foram dessensibilizados por hipotermia, imergidos em balde com gelo fundente e decaptados. Suas vísceras foram separadas e pesadas, assim como o fígado foi pesado individualmente, determinando-se os índices viscerossomático e hepatossomático. Para essas pesagens, utilizou-se balança de precisão (Marte® AY220, Brasil).

De cada amostra de sangue coletada, uma gota foi utilizada para a dosagem individual de glicose, utilizando glicosímetro digital ACCU-CHEK (Roche®). O hematócrito foi obtido pelo método do microhematócrito, centrifugando uma alíquota de sangue a 3.000 rpm por cinco minutos e posteriormente realizando a leitura em tabela de % de hematócrito. A determinação da proteína plasmática total (g/dL) foi feita por refratometria, utilizando-se para

tal, refratômetro manual (ATAGO® SPR-T2, Japão) previamente calibrado com água destilada.

Os animais destinados à análise de carcaça foram picados em pedaços de aproximadamente 1cm de espessura, congelados a -40°C por 48 horas e liofilizados por 72 horas para a completa eliminação da umidade das amostras. Após a liofilização, as amostras foram desintegradas em um processador de alimentos e picados até a passagem de toda a amostra por peneira de 1mm. Amostras do floco de cada unidade experimental foram coletadas no último dia experimental, com o uso de filtro de feltro sintético de polipropileno. O material retido na malha foi seco em estufa com ventilação forçada de ar a 55°C e armazenado em freezer a -18°C . Posteriormente, o material seco foi moído com peneira de 1mm.

Nas amostras de carcaça e dos flocos microbianos, a determinação do conteúdo de proteína bruta foi realizada em Determinador de Nitrogênio/Proteínas FP-528 (LECO®, USA). Cinzas e extrato etéreo foram determinados de acordo com as metodologias descritas por Souza *et al.* (2012a) e Detmann *et al.* (2012), respectivamente. As análises de cálcio foram realizadas por oxidimetria (SILVA E QUEIROZ, 2002) e o fósforo por espectrofotometria UV/visível (SOUZA *et al.*, 2012b). O conteúdo energético foi determinado através de bomba calorimétrica PARR 6200 (Parr Instrument Company, Illinois, USA). As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais.

3.7. Análise dos dados

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa SAEG - Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância, levando-se em consideração as premissas necessárias. Quando diferenças foram detectadas, as médias foram comparadas pelo teste de SNK ($p < 0,05$). Os dados de sobrevivência foram analisados pelo teste estatístico não paramétrico de Kruskal Wallis ($p < 0,05$), assim como os de proteína plasmática total, uma vez que não atendeu os pré-requisitos para a análise paramétrica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Parâmetros de qualidade de água

Os resultados médios dos parâmetros de qualidade de água estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Variáveis de qualidade de água de cultivo de juvenis de tilápia (*Oreochromis niloticus*) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação

Variável	Tratamento					CV (%)
	Controle	1° dia	15° dia	30° dia	45° dia	
Temperatura (°C)	28,27	28,55	28,60	28,29	28,37	0,44
Oxigênio dissolvido (mg/L)	5,71	5,70	5,59	5,67	5,69	2,03
pH	7,61a	7,05d	7,00d	7,28c	7,50b	0,93
N-AT (mg/L)	1,07a	0,41d	0,42d	0,54c	0,67b	6,56
N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,77b	16,93a	24,75a	20,80a	23,44a	16,79
Salinidade (g/L)	0,11d	0,64a	0,64a	0,46b	0,24c	2,39

Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de SNK (P<0,05).

N-AT - nitrogênio amoniacal total; N-NO₂⁻ - nitrogênio nítrico

Não foram detectadas diferenças significativas nos valores de temperatura média e nem de oxigênio dissolvido entre os tratamentos avaliados. A temperatura manteve-se em $28,42 \pm 2,41$ °C e o oxigênio dissolvido em $5,67 \pm 0,99$ mg/L. Apesar das tilápias tolerarem uma ampla variação de temperatura da água (EL-SAYED, 2006), a faixa adequada de temperatura para desenvolvimento, reprodução e crescimento é de 25-32°C. A temperatura mantida durante o experimento encontrou-se dentro da faixa citada acima e próxima aos 28°C que foi relatado por El-Sayed e Kawanna (2008) para obtenção de melhores taxas de crescimento, conversão alimentar e sobrevivência para alevinos de tilápia (*O. niloticus*) em sistema intensivo.

O oxigênio dissolvido é o primeiro fator limitante na produção de peixes. Apesar de diversos trabalhos citarem a tilápia como tolerante a níveis inferiores a 1mg/L de oxigênio dissolvido, baixos níveis podem limitar o desempenho dos animais. Em sistemas com

tecnologia de bioflocos, maior atenção deve ser dada a esta variável, devido à necessidade de oxigênio das bactérias para assimilação do nitrogênio inorgânico (EBELING *et al.*, 2006) e degradação da matéria orgânica (BOYD, 2003). No presente estudo, não foram observadas quedas acentuadas de oxigênio dissolvido, mantendo-se dentro da faixa adequada para a espécie.

Já os valores de pH diferiram entre os tratamentos avaliados ao longo do cultivo. O tratamento controle apresentou o valor mais elevado, seguido pelo tratamento no qual os animais foram transferidos para o sistema com bioflocos no 45º dia e em seguida os do 30º dia. Por último, os tratamentos T2 e T3, nos quais os animais foram transferidos para o sistema com bioflocos no 1º e no 15º dia experimental, respectivamente. Trabalhando com camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*) em sistema de bioflocos, Furtado *et al.* (2011) observaram que os níveis de pH e alcalinidade decrescem ao longo do cultivo, semelhante ao observado neste trabalho. Quanto mais cedo os animais foram transferidos para o sistema com bioflocos e por maior tempo mantidos no mesmo, menores valores de pH foram obtidos.

Apesar da redução do pH nos tanques em sistema de bioflocos, o pH permaneceu em torno de 7,0 dentro da faixa considerada adequada para a tilápia. Essa redução pode estar associada ao incremento da biomassa microbiana. Segundo Ebeling *et al.* (2006), as bactérias nitrificantes demandam íons carbonato e bicarbonato para o seu desenvolvimento, o que pode levar ao consumo de alcalinidade e conseqüentemente haver redução nos níveis de pH. Outro processo que pode contribuir de forma significativa para essa redução no pH é a liberação do CO₂ gerado na respiração dos organismos cultivados e do metabolismo microbiano durante a decomposição da matéria orgânica. O dióxido de carbono dissolvido na água dissocia-se em íons carbonato (CO₃²⁻) e bicarbonatos (HCO₃⁻), havendo a liberação de H⁺ e a conseqüente redução no pH (Furtado *et al.*, 2011). Durante a condução do experimento, uma vez observado níveis de pH abaixo de 7, correções utilizando cal hidratada (Ca(OH)₂) foram realizadas. Trabalhando com a tilápia do Nilo (*O. niloticus*) em sistema com bioflocos, Azim e Little (2008) relataram a ocorrência de baixos níveis de pH em alguns momentos de um cultivo, durando cerca de 12 semanas. Os níveis variaram entre 5,0 e 8,5, sendo que correções com bicarbonato de sódio (NaHCO₃) foram realizadas.

No tratamento controle e nos demais que foram transferidos para o sistema com bioflocos após o 1º dia, trocas de água foram realizadas diariamente a fim de manter a qualidade de água. Assim, esses se mantiveram nas mesmas condições do tratamento controle até o momento de transferência para o sistema com bioflocos, a partir do qual as trocas de água foram suspensas. Observando a Figura 1, verifica-se que à medida que os tratamentos

eram transferidos para o sistema com bioflocos e iniciava-se as aplicações de melação para elevação da relação C:N, os níveis de nitrogênio amoniacal foram reduzidos após os primeiros dias. A exceção é o tratamento T2, no qual os animais foram transferidos e mantidos no sistema com bioflocos desde o 1° dia experimental, apresentando concentração significativamente mais elevada ($p < 0,05$) em relação aos demais no 15° dia experimental.

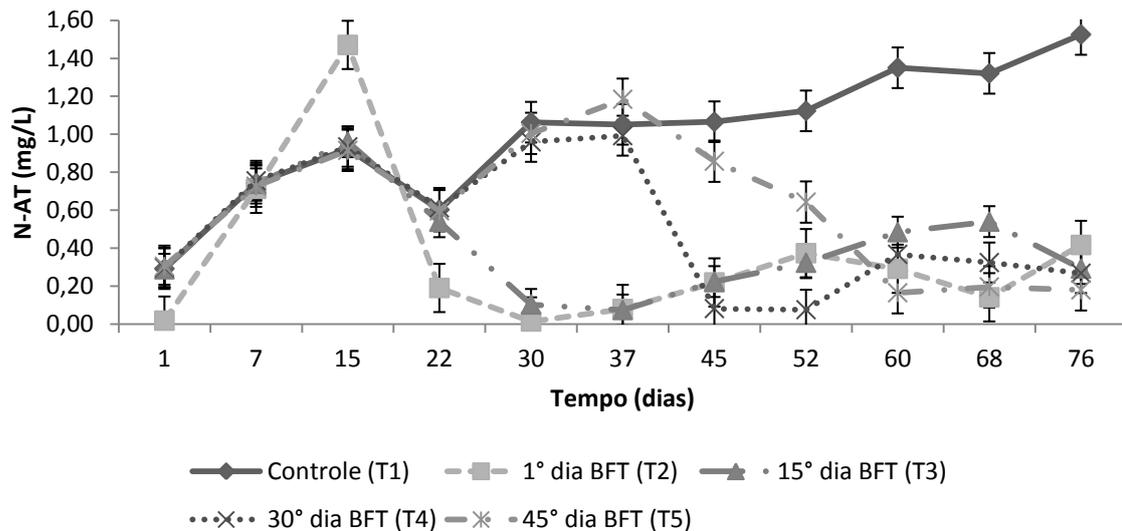


Figura 1: Variações nas concentrações médias de nitrogênio amoniacal (N-AT) ao longo do cultivo no qual juvenis de tilápia (*Oreochromis niloticus*) foram transferidos em diferentes momentos para sistema com bioflocos em formação

Segundo Ebeling *et al.* (2006), espera-se que em sistemas heterotróficos sejam mantidos baixos níveis de compostos nitrogenados inorgânicos, devido a conversão direta em biomassa microbiana. Porém, observa-se acúmulo de nitrogênio amoniacal após o início das fertilizações no tratamento T2, seguido pelo acúmulo na forma nítrica após a redução dos níveis na forma amoniacal, o que também foi verificado para os demais tratamentos transferidos para o sistema com bioflocos (Figura 2). Esse comportamento é similar ao que é verificado na ativação de biofiltros de sistemas de recirculação e típico da ocorrência de nitrificação (TIMMONS E EBELING, 2007; SESUK *et al.*, 2009). Embora diferenças significativas tenham sido verificadas em relação aos tratamentos avaliados, nota-se que a concentração média de N-AT no tratamento controle foi maior em relação aos demais tratamentos, atingindo o valor de 1,07mg/L e nos demais a média foi 0,48mg/L (CV=6,56%). Após o 52° dia, verifica-se que de uma maneira geral, os tratamentos nos quais os animais foram transferidos para sistema com bioflocos, independente do momento, apresentaram

baixos níveis de N-AT com tendência a certa estabilidade deste parâmetro. Azim e Little (2008) relataram uma instabilidade nos níveis de amônia e nitrito em cultivos de tilápia do Nilo no sistema de bioflocos, sendo estes superiores ao verificado para o controle que se encontrava em sistema de recirculação. Widanarni *et al.* (2012) avaliando diferentes densidade de estocagem para tilápia nilótica, observaram valor médio de 1,04 mg/L para o N-AT na maior densidade testada. Vale ressaltar que ambos os trabalhos utilizaram água de um sistema com bioflocos previamente estabelecido, onde as comunidades microbianas provavelmente encontravam-se em equilíbrio, o que pode ter contribuído para a manutenção de baixos níveis de N-AT. Ainda assim, os valores médios dos tratamentos submetidos ao sistema com bioflocos do presente estudo estão próximos aos obtidos nos trabalhos citados acima, mesmo tendo sido conduzido desde a formação dos bioflocos e são inferiores aos obtidos por Wambach (2013) em cultivos de tilápia do Nilo em sistema com bioflocos em formação, onde os valores médios ficaram entre 3,32 e 4,48 mg/L de N-AT .

O aumento das densidades de estocagem e conseqüentemente o incremento no aporte de nutrientes, a troca de água limitada e adição de fontes de carbono, levam ao aumento da carga orgânica em sistema com bioflocos. Avaliando o efeito da relação C:N sobre a eficiência de nitrificação em diferentes biofiltros, Ling e Chen (2005) relataram que ao aumentar a relação C/N de 0 a 3, houve uma redução de 60 a 70% na taxa de nitrificação. Em sistemas com bioflocos, onde são mantidas altas relações C:N (de 10 a 20:1) e há ocorrência de nitrificação, acúmulo de nitrito têm sido constatado (BURFORD E LONGMORE, 2001; HARI *et al.*, 2006; AZIM E LITTLE, 2008; NOOTONG *et al.*, 2011; WIDANARNI *et al.*, 2012) como no presente experimento (Figura 2). As concentrações médias ao longo do experimento diferiram, apresentando o controle níveis mais baixos que os demais tratamentos (Tabela 1). Isso pode ser explicado pelas renovações diárias de água que foram realizadas a fim de manter níveis baixos de nitrogenados, uma vez que não houve formação do sistema de bioflocos e as unidades de cultivo não possuíam sistema de tratamento de água. Já nos tratamentos onde houve a formação dos flocos microbianos, verifica-se que as concentrações médias ao longo do cultivo mantiveram-se acima de 16mg/L de $N-NO_2^-$, não havendo diferenças significativas entre os diferentes momentos em que os peixes foram transferidos para o sistema com bioflocos.

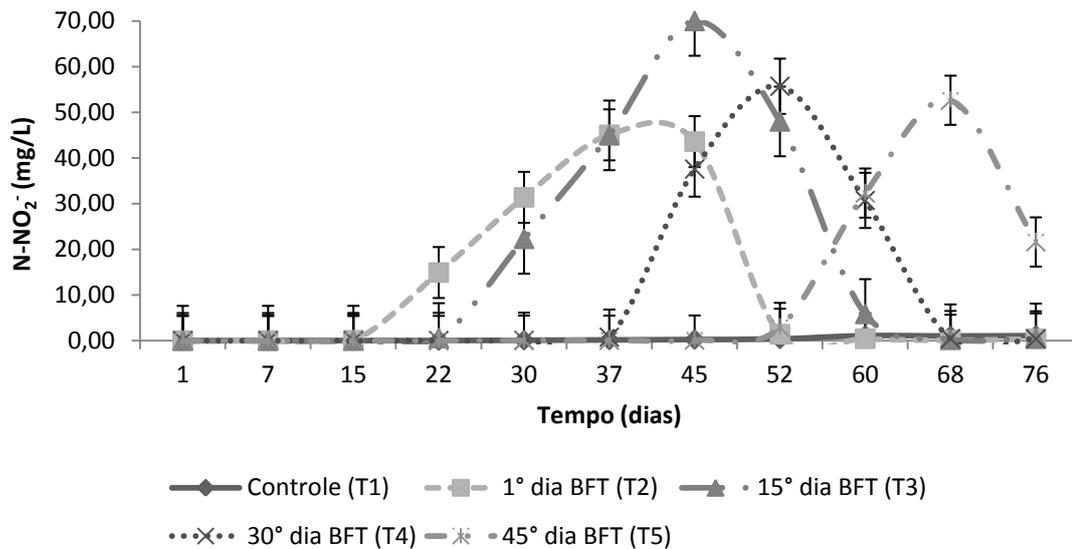


Figura 2: Variações nas concentrações médias de nitrogênio nítrico (N-NO₂⁻) ao longo de cultivo no qual juvenis de tilápia (*Oreochromis niloticus*) foram transferidos em diferentes momentos para sistema com bioflocos em formação

Observa-se na Figura 2, que em todos os tratamentos onde houve a transferência para o sistema com bioflocos, além da ocorrência de acúmulo de N-NO₂⁻, níveis elevados foram mantidos por aproximadamente 35 dias nos tratamentos T2, T3 e T4 e por 24 dias no tratamento T5, uma vez que os animais deste tratamento foram transferidos para o sistema com bioflocos no 45º dia experimental e o trabalho foi finalizado no 76º dia. Durante estes períodos, as concentrações médias chegaram a atingir 69,97 mg/L de N-NO₂⁻, como no tratamento T3.

Além da redução na taxa de nitrificação em situações onde a relação C:N é elevada, Hargreaves (2006) cita que as bactérias heterotróficas apresentam taxa de crescimento 10 vezes maior em relação as nitrificantes, o que pode contribuir para o acúmulo de nitrito, como verificado neste caso. Corroborando com o presente trabalho, Hari *et al.* (2006) avaliando o efeito da adição de carbono em cultivos de camarão, relataram que são necessárias em torno de 5 semanas para a início da redução nos níveis de N-NO₂⁻. Trabalhando com tilápia do Nilo em sistema com bioflocos, Nootong *et al.* (2011) observaram que são necessárias aproximadamente 6 a 7 semanas para diminuição significativa nos valores de N-NO₂⁻, demonstrando a partir de então a efetividade do processo de nitrificação.

O acúmulo de nitrito em sistemas de produção de organismos aquáticos pode se tornar um problema, devido a potencial toxicidade do mesmo (JENSEN, 2003; PARK *et al.*, 2007). Uma vez presente no meio de cultivo, pode ser captado pelos organismos cultivados,

principalmente através das brânquias, e atingir elevadas concentrações nos fluidos corporais, causando diversos distúrbios fisiológicos (JENSEN, 2003). Entre os distúrbios que podem ser causados, destaca-se a oxidação do ferro da molécula de hemoglobina, passando do estado ferroso (Fe^{2+}) para o estado férrico (Fe^{3+}), formando meta-hemoglobina, a qual não consegue transportar o oxigênio, podendo resultar em hipóxia tecidual, independente da concentração de oxigênio dissolvido no ambiente (KNUDSEN E JENSEN, 1997). Como consequência, pode haver redução no crescimento, danos em tecidos e mortalidade (LEWIS E MORRIS, 1986).

Avaliando a concentração letal mediana do nitrito (CL50-96h) para tilápia (*O. niloticus*), Atwood *et al.* (2001) observaram que a CL50-96h de N-NO_2^- para animais de 4,4g foi de 81mg/L e para peixes de 90,7g foi de 8mg/L de N-NO_2^- . Os autores concluíram que parece haver uma relação direta entre o tamanho do animal e a tolerância ao nitrito. Já Yanbo *et al.* (2006) verificaram que para alevinos de tilápia do Nilo de $1,8 \pm 0,2\text{g}$ a CL50-96h do nitrito relaciona-se com o teor de cloreto na água, sendo de 28,18 mg/L em águas com baixo teor de cloreto (35 mg/L) e de 44,67 mg/L em águas com elevado teor de cloreto (70 mg/L). No presente estudo, os animais foram cultivados de 1,4 gramas até aproximadamente 50 gramas, e por longos períodos foram expostos a concentrações elevadas de nitrito, chegando a aproximadamente 70 mg/L de N-NO_2^- em alguns períodos (Figura 2). De maneira geral, Timmons e Ebeling (2007) sugerem que os níveis de N-AT e de N-NO_2^- sejam mantidos abaixo de 1,0 mg/L em condições de exposição prolongada. Assim, pode ter havido o comprometimento do desenvolvimento dos animais, podendo afetar a sobrevivência dos mesmos, dado que os níveis alcançados são próximos aos relatados na literatura como tóxicos para a espécie.

A salinidade da água elevou-se nos tratamentos onde os animais foram transferidos para o sistema com bioflocos, diferindo significativamente entre eles, conforme a Tabela 1. O tratamento controle manteve os níveis mais baixos de salinidade, apresentando média de 0,11 g/L, devido principalmente as trocas de água realizadas diariamente. Já os tratamentos T2 e T3, nos quais os animais foram transferidos no 1º e no 15º dia, respectivamente, não diferiram entre si, mas foram diferentes dos demais tratamentos avaliados. Estes apresentaram valor médio de salinidade de 0,64 g/L. Já nos tratamentos T4 e T5, os níveis de salinidade foram intermediários, apresentaram valores de 0,46 e 0,24 g/L, respectivamente.

Os sistemas que operam com tecnologia de bioflocos possuem como um dos princípios básicos a mínima ou nula troca de água, o que pode levar ao acúmulo de nutrientes provenientes da excreção dos animais e restos de ração (AVNIMELECH E RITVO, 2003;

AVNIMELECH, 2007). Uma vez que neste trabalho não foram adicionados sais com o objetivo de elevação da salinidade e não foram realizadas trocas de água, acredita-se que os maiores níveis de salinidade observados nos tratamentos transferidos para o sistema com bioflocos sejam devido ao acúmulo. As diferenças possivelmente ocorreram em função do tempo de manutenção no sistema, onde maiores níveis de salinidade foram encontrados nos tratamentos que permaneceram por maior tempo no sistema com bioflocos.

4.2. Desempenho zootécnico

Os resultados médios para as variáveis de desempenho zootécnico, em relação aos tratamentos avaliados, estão apresentados na Tabela 2. A formação dos flocos microbianos em diferentes momentos não afetou significativamente o peso médio final, ganho médio diário e a conversão alimentar. Verifica-se que os animais transferidos para o sistema com bioflocos não apresentaram queda significativa no crescimento, independente do momento de transferência. A sobrevivência não foi afetada significativamente, tendo sido analisada pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) e os dados apresentados como medianas, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Peso médio final, densidade final, ganho médio diário, sobrevivência e conversão alimentar na produção de juvenis de tilápia (*Oreochromis niloticus*) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação

Variável	Tratamento					CV (%)
	Controle	1° dia	15° dia	30° dia	45° dia	
Peso médio final (g)	50,30	44,15	46,51	47,00	42,86	8,79
Densidade final (kg/m ³)	17,44a	10,20b	12,47b	12,68b	11,49b	6,24
Ganho médio diário (g)	0,64	0,56	0,59	0,60	0,55	9,05
Sobrevivência (%) ^{1:2}	96,30	73,15	74,07	72,22	80,56	
Conversão alimentar	0,99	1,18	1,02	1,04	1,15	9,39

Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de SNK ($P < 0,05$).

¹Análise pelo teste de Kruskal Wallis ($P < 0,05$);

² Medianas

Ao analisar em qual momento do cultivo ocorreram as mortalidades, verificou-se que as mesmas concentraram-se logo após a redução nos níveis de amônia e elevação inicial

(picos) nos níveis de N-NO_2^- . Após este período, apesar da manutenção de elevadas concentrações deste composto, a intensidade de mortalidade foi reduzida. Pode-se então atribuir à ocorrência de elevações bruscas, ou seja, aos picos nas concentrações de N-NO_2^- os resultados de sobrevivência alcançados nos tratamentos nos quais os animais foram transferidos para o sistema com bioflocos. Ressalta-se que esses aumentos nos níveis de N-NO_2^- não foram capazes de afetar significativamente os resultados de sobrevivência.

A densidade final (kg/m^3) foi afetada pelos tratamentos aplicados. Registrou-se a maior densidade para o tratamento controle, onde a mesma foi de $17,44 \text{ kg/m}^3$, sendo esta diferente significativamente das demais. Já nos outros tratamentos, os resultados para densidade final foram: $10,20$; $12,47$; $12,68$ e $11,49 \text{ kg/m}^3$ nos tratamentos T2, T3, T4 e T5, respectivamente, que não diferiram entre si.

A utilização de elevadas densidades de estocagem em sistemas baseados na tecnologia de bioflocos, têm sido citada como um dos pontos positivos (AVNIMELECH, 2012). Milstein *et al.* (2001) relataram para a tilápia (*O. niloticus* x *O. aureus*) densidade final de $18,8 \text{ kg/m}^3$ e sobrevivência de 91% em sistema de suspensão ativa (bioflocos) com trocas de água diárias de 8% e densidade final de $17,8 \text{ kg/m}^3$ e sobrevivência de 86% em sistema com renovações de 500% ao dia. Nootong *et al.* (2011) compararam o cultivo de juvenis de tilápia (*O. niloticus*) com peso médio inicial de 30 gramas em bioflocos e em sistema estático sem nenhum tipo de renovação ou tratamento de água (controle) por 50 dias. Os autores relataram que o tratamento controle teve 100% de mortalidade na 5ª semana experimental, apresentando até então ganho médio diário de 1,0 g. Já o tratamento mantido em sistema com bioflocos obteve sobrevivência de 96% e ganho médio diário de 1,4g, alcançando a densidade final de $8,82 \text{ kg/m}^3$. Embora maior ganho de peso e elevada taxa de sobrevivência tenham sido alcançados no estudo citado acima, a densidade final foi inferior as dos tratamentos transferidos para o sistema com bioflocos do presente estudo.

Os valores de densidade final dos tratamentos submetidos aos flocos microbianos deste estudo encontram-se próximos ao valor máximo de 12 kg/m^3 na maior densidade obtida por Widanarni *et al.* (2012), em um estudo avaliando diferentes densidades de estocagem para juvenis de tilápia vermelha (*Oreochromis* sp.) cultivados de 78 a 190 gramas, com ganho médio diário variando de 0,52 a 1,16g/dia. Ainda, aproximam dos $12,4 \text{ kg/m}^3$ relatados por Wambach (2013) para alevinos de tilápia do Nilo cultivados em sistema com bioflocos, (com remoção de sólidos) na fase entre 5,7 e 69,2 gramas. Entretanto, Crab *et al.* (2009) alcançaram densidades de $16,35$ e $17,90 \text{ kg/m}^3$, iniciando com alevinos de 50 e 100 g, respectivamente. Ressalta-se que a densidade inicial foi de 16 kg/m^3 , o período de avaliação foi de 50 dias, a

temperatura média de 18°C e o ganho médio diário de 0,27 e 0,29 g/dia dos animais de 50 e 100g, respectivamente. Neste ultimo trabalho, renovações de água foram realizadas com o objetivo de diminuir os níveis dos compostos nitrogenados.

Nos momentos em que os animais foram transferidos para o sistema com bioflocos, de acordo com os tratamentos pré-estabelecidos, observou-se uma redução no consumo de ração, principalmente quando da ocorrência dos picos de $N-NO_2^-$ e da manutenção do mesmo em níveis elevados, conforme a Figura 3, onde está representado o consumo em intervalos de 15 dias.

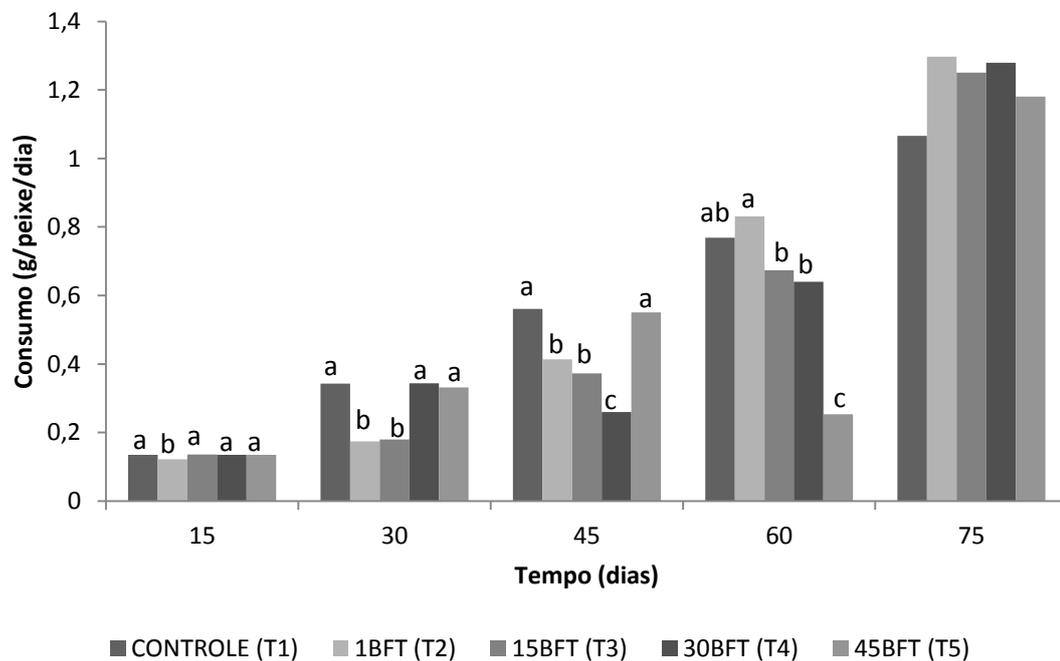


Figura 3: Consumo médio de ração individual e diário em cada intervalo de 15 dias por juvenis de tilápia (*Oreochromis niloticus*) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação

Letras diferentes nas colunas significam diferenças estatísticas pelo teste de SNK ($p < 0,05$)

Após a redução nos níveis de $N-NO_2^-$, verificou-se que os animais voltaram a consumir semelhantemente aos animais do tratamento controle. As sobras foram recolhidas, mas apesar do esforço, dificilmente é possível a coleta de 100% das sobras de ração, principalmente neste tipo de sistema com aeração e agitação constante na coluna de água. Ainda assim, a conversão alimentar média (CA) não diferiu entre os tratamentos avaliados, com valores entre 0,99 e 1,18, apresentando coeficiente de variação de 9,39% (Tabela 2). O comportamento da mesma é apresentado na Figura 4.

Milsten *et al.* (2001) obtiveram valores de conversão alimentar de 2,3 e 2,2 para híbridos de tilápia (*O. niloticus* x *O. aureus*) cultivados de 125 a 415 gramas em sistema com bioflocos (troca diária de água de 8%) e em sistema intensivo convencional (renovação diária de 500%), respectivamente. Já Azim e Little (2008) relataram conversão alimentar média para juvenis de tilápia (*O. niloticus*) de 3,48 em sistema com bioflocos, Crab *et al.* (2009) citaram conversão alimentar de 1,9 para juvenis de 50 e 100 gramas e Wambach (2013) verificaram CA entre 1,13 e 1,72 para juvenis de tilápia do Nilo cultivados em diferentes densidades de estocagem.

A comparação dos resultados é dificultada pelo fato de se tratar de diferentes faixas de peso, embora os trabalhos também tenham sido realizados em sistemas com bioflocos. Com exceção do último trabalho citado, os demais utilizaram água de cultivos preestabelecidos. Os autores também não relataram se as sobras foram recolhidas e descontadas. Portanto, o manejo diferente pode ter influenciado negativamente nestas piores CA.

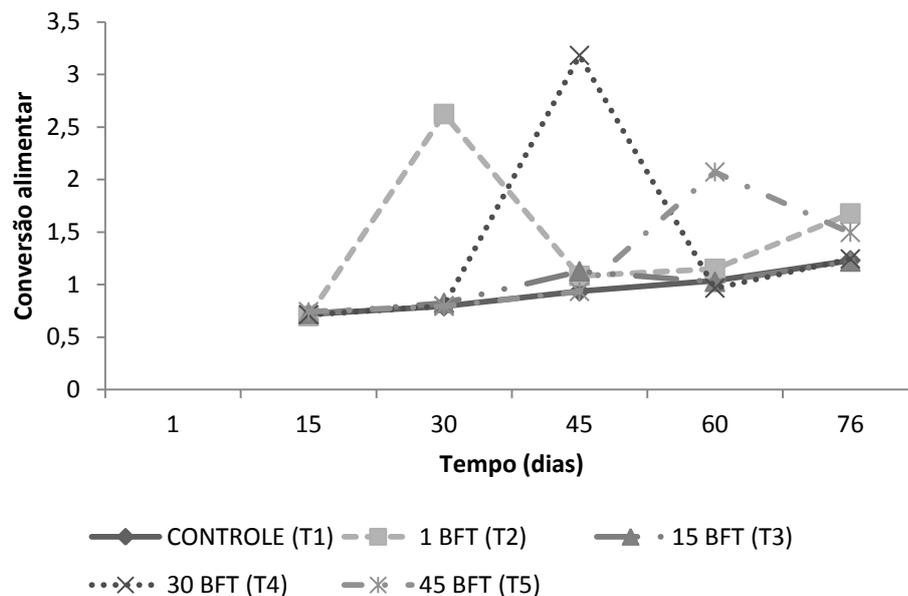


Figura 4: Conversão alimentar, por período de 15 dias, de juvenis de tilápia (*Oreochromis niloticus*) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação

Visto que não houve diferenças no ganho médio diário, no peso médio final e na conversão alimentar entre todos os tratamentos, pode-se inferir que os resultados alcançados quanto às densidades de estocagem finais nos tratamentos em sistema com bioflocos são reflexo direto do produto entre as taxas de sobrevivência e o peso médio final, embora quando

analisados separadamente estas variáveis não tenham diferido. No presente estudo, apesar da alimentação ter sido oferecida *ad libitum*, verificou-se redução do consumo de ração em determinados períodos. Observando as Figuras 2 e 3, nota-se a variação no consumo à medida que os animais foram sendo transferidos para o sistema com bioflocos em formação, provavelmente devido aos efeitos do N-NO_2^- sobre o consumo.

Colt *et al.* (1981) citam que a exposição crônica ao nitrito levou a redução do crescimento do bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) a partir da concentração de 1,60 mg/L de N-NO_2^- . Os mesmos autores citam que a resposta em termos de crescimento em peixes é extremamente variável em concentrações de nitrito em que já tenha ocorrido algum nível de mortalidade. Kumta e Gaikwad (1997) citados por Russo (2006) relataram a ocorrência de redução no consumo de alimentos e na taxa de crescimento de *Gambusia affinis* quando expostos a 0,2 mg/L de N-NO_2^- por um período de um mês.

Após o reestabelecimento do consumo, ou seja, após a queda das concentrações de N-NO_2^- , verificou-se que apesar de maior ingestão de ração nos tratamentos mantidos em sistema com bioflocos em relação ao período anterior (Figura 3), não houve diferenças estatísticas na conversão alimentar (Tabela 2). Sugere-se, então, que pode ter ocorrido crescimento compensatório no presente trabalho. A hipótese de ocorrência do crescimento compensatório é reforçada pelas variações ocorridas na taxa de crescimento específico (TCE), sendo que após o início da formação do sistema com bioflocos, independente do momento no qual as transferências dos animais foram realizadas, houve uma queda na TCE seguida por uma recuperação no período seguinte, conforme pode ser observado na Figura 5. Em contrapartida, as TCE médias durante todo o período de cultivo não diferem entre si pelo teste de SNK ($p < 0,05$). Além das variações nas TCE, o comportamento do ganho médio diário, individual e por período de 15 dias, apresentado na Figura 6, ressalta a hipótese de ocorrência de crescimento compensatório.

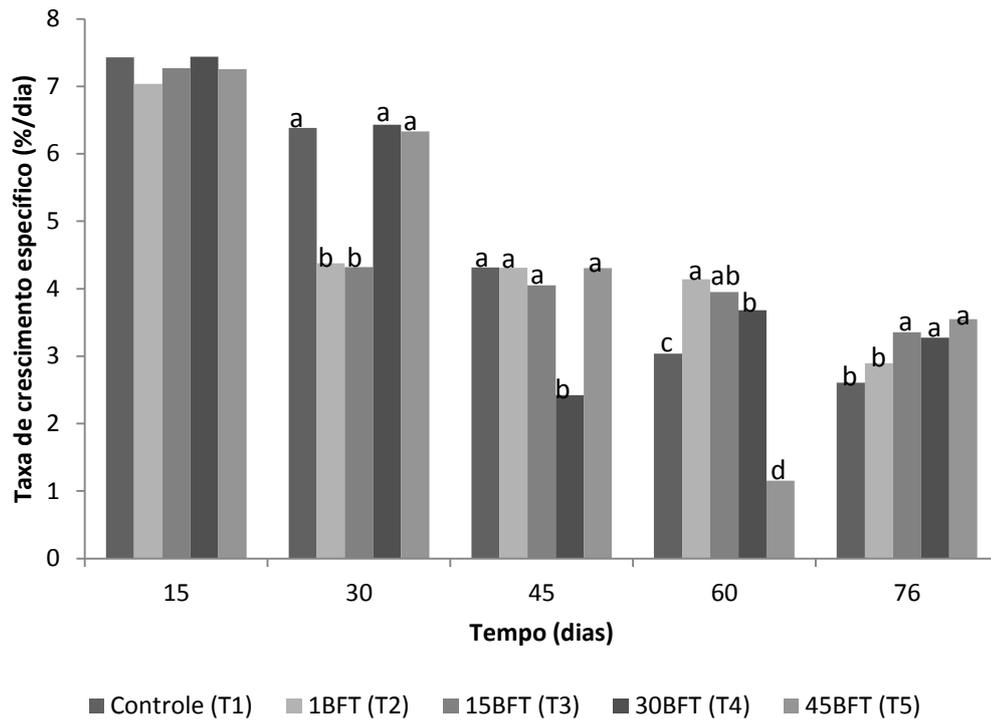


Figura 5: Taxa de crescimento específico (%/dia) de juvenis de tilápia (*Oreochromis niloticus*) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação

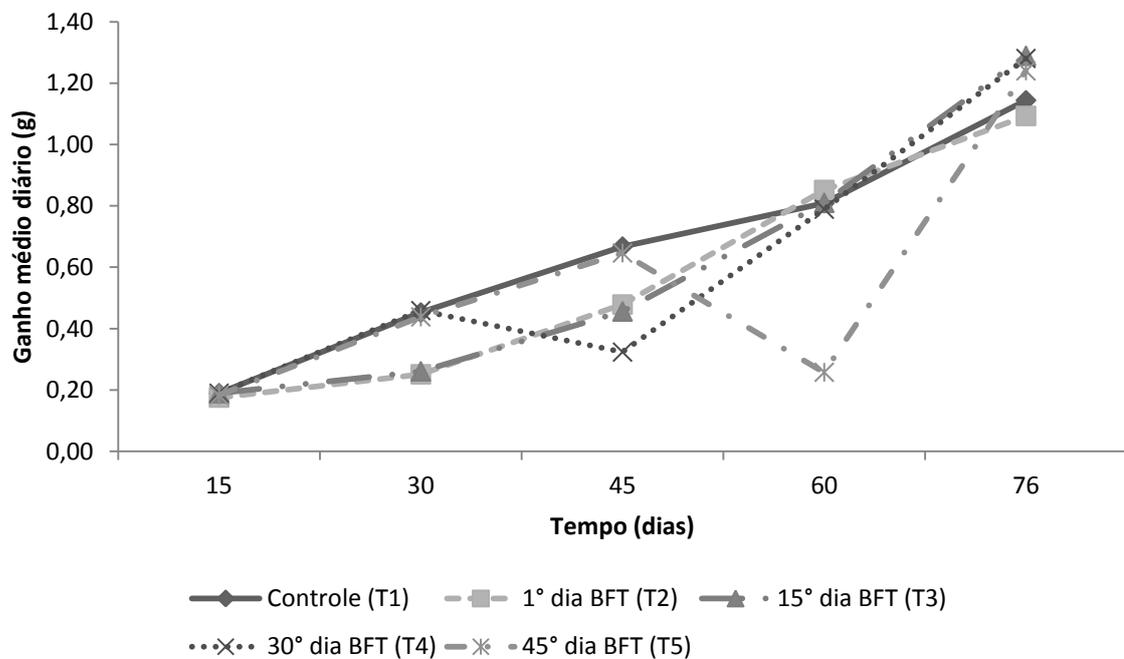


Figura 6: Variações no ganho médio diário, individual e em intervalos de 15 dias por juvenis de tilápia (*Oreochromis niloticus*) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação

Diversos trabalhos têm abordado a ocorrência de crescimento compensatório na produção de peixes (FIGUEROA *et al.*, 2000; WANG *et al.*, 2000; TAKAGI, 2001; GAO E LEE, 2012). O mesmo tem sido definido como uma fase de crescimento acelerado após o reestabelecimento de condições favoráveis, depois de passar por um período de depressão do crescimento provocado por completa ou parcial restrição de alimento. Também pode ser entendido como um mecanismo interno de ajuste para melhor adaptação dos animais a ambientes variados (ALI *et al.*, 2003).

Entre os fatores que podem afetar o crescimento compensatório, Quinton e Blake (1990) relatam a qualidade da água como um deles. Acredita-se que no presente estudo, quando da transferência dos animais para o sistema com bioflocos, as variações nos parâmetros de qualidade de água podem ter contribuído para a ocorrência do crescimento compensatório, assim como o maior dinamismo deste tipo de sistema, conforme relatado por Avnimelech e Kochba (2009).

Corroborando com os resultados obtidos, Wang *et al.* (2000) verificaram que híbridos de tilápia cultivados em água salgada (25 - 32‰) apresentaram crescimento compensatório total quando restringidos por uma semana e compensação parcial quando a restrição foi de 2 a 4 semanas. Os autores citam ainda que no período de realimentação, os animais que passaram por períodos de restrição apresentaram maior consumo e taxa de crescimento específico mais alta, quando comparados aos do controle, indicando a ocorrência de ganho compensatório, sendo a hiperfagia o principal mecanismo responsável pela manifestação do mesmo. Também com híbridos de tilápia, porém em água doce, Wang *et al.* (2005a) verificaram apenas compensação parcial após períodos de restrição superiores a uma semana, e que o crescimento compensatório foi devido principalmente à ocorrência de hiperfagia, corroborando com o trabalho anterior.

A determinação da duração do período de restrição no presente estudo é dificultada, uma vez que não se objetivava restringir os animais, tendo ocorrido restrição neste caso apenas como parte dos ajustes para tolerar a elevação nos níveis dos compostos nitrogenados, principalmente o N-NO_2^- . Ainda, a ração foi oferecida diariamente e os animais dispunham dos flocos microbianos na unidade de cultivo. Todos os tratamentos que em algum momento do cultivo os animais foram transferidos para o sistema com bioflocos, mostraram a ocorrência de um possível crescimento compensatório total, uma vez que os pesos médios finais não diferiram significativamente.

4.3. Composição corporal

Os valores médios de composição corporal e conteúdo energético dos animais transferidos para o sistema com bioflocos em diferentes momentos do cultivo estão sumarizados na Tabela 3. Para proteína bruta, os animais do grupo controle apresentaram maior concentração em relação aos demais tratamentos. Entre os tratamentos que em algum momento do cultivo foram transferidos para o sistema com bioflocos, diferenças não foram detectadas para proteína entre os mesmos.

O conteúdo de extrato etéreo foi afetado pelos tratamentos avaliados. O tratamento T2 apresentou teor de 223,61 g/kg, sendo igual estatisticamente aos tratamentos T3, T4 e T5 e diferindo significativamente do tratamento T1 (controle), no qual o conteúdo de extrato etéreo na composição corporal foi de 175,65 g/kg. Entre as variáveis analisadas para a composição corporal, o coeficiente de variação (CV) para o extrato etéreo foi o mais elevado (13,07%), o que pode ser em função da metodologia de análise. O conteúdo mineral (cinzas) na carcaça dos animais transferidos em diferentes momentos para o sistema com bioflocos foi menor quando comparados aos animais do grupo controle. Quando analisados individualmente, os teores de cálcio e fósforo apresentaram comportamento semelhante ao verificado para o conteúdo de cinzas, sendo os maiores valores obtidos no tratamento controle e estes diferentes estatisticamente dos demais.

Os resultados de energia bruta refletem os valores obtidos tanto para proteína bruta, quanto para extrato etéreo e cinzas. Diferenças estatísticas foram detectadas entre os tratamentos avaliados. O valor de energia bruta para o tratamento T2, no qual os animais foram mantidos em sistema com bioflocos desde o 1º dia experimental foi de 5420,14 kcal/kg, sendo superior ao controle (5095,21 kcal/kg) e ambos iguais aos demais tratamentos, conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3: Composição corporal e concentração de energia em juvenis de tilápia (*Oreochromis niloticus*) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação

Variável ¹	Tratamento					CV (%)
	Controle	1° dia	15° dia	30° dia	45° dia	
Proteína (g/kg)	629,60 ^a	588,11 ^b	596,20 ^b	597,38 ^b	594,26 ^b	3,85
Energia bruta (kcal/kg)	5095,21 ^b	5420,14 ^a	5217,83 ^{ab}	5245,58 ^{ab}	5159,55 ^{ab}	4,04
Cálcio (g/kg)	46,11 ^a	37,61 ^b	40,44 ^b	39,00 ^b	42,15 ^b	8,67
Fósforo (g/kg)	33,04 ^a	28,69 ^b	29,62 ^b	28,78 ^b	30,60 ^b	5,1
Cinzas (g/kg)	173,24 ^a	146,05 ^c	152,59 ^{bc}	148,02 ^{bc}	159,32 ^b	6,3
Extrato etéreo (g/kg)	175,65 ^b	223,61 ^a	204,21 ^{ab}	202,74 ^{ab}	195,37 ^{ab}	13,07

Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de SNK (P<0,05).

¹Base da matéria seca

Poucos trabalhos têm abordado a composição corporal de peixes cultivados em sistemas com bioflocos. Na literatura foi encontrado apenas um relato com tilápia. Azim e Little (2008) obtiveram os seguintes valores médios: 527,4; 288,5 e 165,2 g/kg para proteína bruta, extrato etéreo e cinzas, respectivamente. Já o conteúdo energético foi de 5620,6 kcal/kg, e não foram detectadas diferenças na composição corporal de animais com peso médio final de 135,60 gramas, cultivados em bioflocos e em sistema de recirculação (controle), diferente do que foi observado no presente trabalho.

As diferenças observadas neste trabalho podem ser devido ao crescimento compensatório, que possivelmente ocorreu em função da variação nos níveis de nitrito. Jobling *et al.* (1994) sugerem que a composição do ganho de peso pode diferir entre animais que passaram por períodos de restrição ou não. Os autores citam ainda que é de se esperar que haja melhoria da eficiência alimentar quando o incremento é preferencialmente em massa magra em relação aos que depositam maiores quantidades de gordura corporal. Resultado semelhante ao comportamento descrito acima foi verificado para híbridos de tilápia (*O. niloticus* x *O. aureus*) submetidos a diferentes regimes alimentares, com restrições de até três dias, seguido por igual período de realimentação, durante 60 dias (ABDEL-HAKIM *et al.*, 2009). Em contraste com esses resultados, alterações na composição de carcaça não foram detectadas em estudos avaliando o crescimento compensatório em híbridos de tilápia após o

período de realimentação e independente do tempo de restrição (WANG *et al.*, 2000; WANG *et al.*, 2005a), sendo que melhorias na eficiência alimentar não foram observadas.

Diferentemente do que foi relatado nos outros trabalhos, no presente estudo os animais transferidos para o sistema com bioflocos, independente do momento, apresentaram alterações no perfil da composição corporal quando comparados ao grupo controle. Verificase que os mesmos apresentaram menor conteúdo de proteína e que o tratamento II (transferidos no 1º dia) apresentou maior teor de lipídeos em relação ao controle, não havendo diferenças na conversão alimentar entre os tratamentos avaliados.

Ali *et al.* (2003) relatam que composição corporal pode variar durante o período de restrição alimentar e que de uma forma geral, após o período de realimentação e de crescimento compensatório, a composição corporal tende a ser semelhante a dos animais não restringidos. Assim, as diferenças observadas quanto aos aspectos composicionais no presente estudo podem estar mais associadas à disponibilidade dos flocos microbianos nas unidades experimentais do que ao crescimento compensatório propriamente dito. Devido à possibilidade de utilização não só da dieta suplementar, os animais dispunham constantemente de flocos microbianos que podem ter complementado a alimentação.

Para o camarão marinho, verificou-se que a biomassa microbiana pode contribuir com 18 a 29% do nitrogênio retido na carapaça (BURFORD *et al.*, 2004). Para a tilápia, verificou-se que os flocos microbianos podem contribuir com 25 a 50% do requisito de proteína (AVNIMELECH, 2007; AVNIMELECH E KOCHBA, 2009). Embora esses trabalhos estejam associados à exigência proteica dos organismos cultivados, outros aspectos composicionais dos flocos microbianos podem estar afetando a composição corporal.

A deposição de lipídeos é frequentemente associada ao desbalanceamento entre energia e proteína nas dietas e a fase de desenvolvimento dos peixes. No presente estudo os animais estavam em fase inicial de crescimento e provavelmente as diferenças na composição corporal são em função dos aspectos nutricionais. Uma vez que nos sistemas com bioflocos há elevação da relação C:N visando a assimilação dos compostos nitrogenados pelos microrganismos, o balanceamento nutricional entre dieta e os flocos microbianos pode não ter estado adequado para os organismos cultivados, afetando a composição corporal.

Avaliando o efeito de diferentes níveis de amido em dietas para híbridos de tilápia (*O. niloticus* x *O. aureus*), Wang *et al.* (2005b) verificaram que o aumento nos níveis de amido na dieta, ou seja, relações energia:proteína mais altas, proporcionaram maior deposição de lipídeos no animal, e o inverso ocorrendo com os níveis de cinzas, similar ao verificado no presente estudo. Ainda, Li *et al.* (2013) verificaram maior retenção de energia quando a

relação energia:proteína era mais alta para juvenis de tilápia do Nilo, ou seja, maior deposição de gordura.

O acúmulo de gordura verificado nos animais que foram transferidos no 1º dia (tratamento T2) e permaneceram por 76 dias no sistema com bioflocos não é desejável. Caso essa tendência se mantenha nas demais fases de produção, poderá haver redução no rendimento de carcaça e de filé e a rancificação da gordura afetar o sabor da carne. Assim, há necessidade de avaliar a produção de tilápia do Nilo em sistema com bioflocos, em todas as fases e com manejo nutricional específico.

4.4. Composição dos flocos microbianos

Para a determinação da composição nutricional básica da produção primária, ou seja, os flocos microbianos, as amostras do tratamento controle foram desconsideradas, uma vez que não foi possível coletar material em quantidade suficiente para a realização das análises. Isto é justificado pelas trocas diárias de água que foram realizadas para manutenção da qualidade de água e porque não era objetivo a formação de bioflocos no controle. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Proteína bruta e extrato etéreo não apresentaram diferenças entre os tratamentos avaliados. Para os valores de energia bruta dos flocos microbianos, verifica-se que os tratamentos T3, T4 e T5 apresentaram conteúdo energético similar entre si. Já o tratamento T2, no qual os animais foram mantidos durante todo o experimento em sistema com bioflocos (desde o 1º dia), apresentou teor de energia bruta dos flocos microbianos significativamente inferior aos tratamentos T4 e T5 e similar ao tratamento T3.

Tabela 4: Composição e concentração de energia dos flocos coletados na produção de juvenis de tilápia (*Oreochromis niloticus*) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos em formação

Variável ¹	Tratamento				CV (%)
	1° dia (T2)	15° dia (T3)	30° dia (T4)	45° dia (T5)	
Proteína (g/kg)	350,83	367,37	368,06	315,63	13,07
Energia bruta (kcal/kg)	3440,06 ^b	3781,24 ^{ab}	3914,30 ^a	4195,86 ^a	6,31
Cálcio (g/kg)	72,08 ^a	53,84 ^b	47,07 ^b	33,35 ^c	17,09
Fósforo (g/kg)	29,75 ^a	27,91 ^a	26,50 ^a	23,00 ^b	8,14
Cinzas (g/kg)	334,08 ^a	269,18 ^b	245,02 ^{bc}	190,56 ^c	15,22
Extrato etéreo (g/kg)	9,41	11,07	13,70	14,21	22,28

Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de SNK (P<0,05).

CV = Coeficiente de variação

¹Base da matéria seca

A concentração de cálcio nos flocos microbianos também foi afetada pelos tratamentos. Conforme pode ser observado na Tabela 4, parece haver uma tendência de acúmulo, uma vez que os flocos oriundos dos tratamentos que ficaram maior tempo no sistema com bioflocos apresentaram maior concentração. O tratamento T2 apresentou a maior concentração média, significativamente mais elevada que os demais. Em seguida aparecem os tratamentos T3 e T4, similares entre si. Já o tratamento T5 apresentou o menor teor de cálcio. O fósforo apresentou concentração similar nos tratamentos T2, T3 e T4. Apenas no tratamento T5 que a concentração de fósforo total foi inferior aos demais.

O teor de cinzas (matéria mineral), assim como foi observado para o conteúdo de cálcio, parece apresentar uma tendência de acúmulo. O tratamento T2 apresentou teor significativamente mais elevado em relação aos outros tratamentos avaliados. Os tratamentos T3 e T4 foram semelhantes entre si. Já o tratamento T5 foi significativamente inferior aos tratamentos T2 e T3 e semelhante ao tratamento T4.

Além da participação na manutenção da qualidade de água dos cultivos em bioflocos (AVNIMELECH, 1999; MILSTEN *et al.*, 2001; HARI *et al.*, 2006; EBELING *et al.*, 2006), diversos trabalhos têm sugerido os flocos microbianos como uma fonte de alimento suplementar para os organismos cultivados (BURFORD *et al.*, 2004; WASIELESKY *et al.*,

2006; AVNIMELECH, 2007; AVNIMELECH E KOCHBA, 2009; KUNH *et al.*, 2010; EMERENCIANO *et al.*, 2011). No presente estudo, diferenças quanto aos aspectos nutricionais foram detectadas nos flocos formados em diferentes momentos do cultivo de juvenis de tilápia do Nilo, dado que o material apresentava diferentes idades no momento da coleta.

Azim *et al.* (2008) citam que a qualidade nutricional de flocos formados com rações contendo dois níveis de proteína pode variar ao longo das datas de amostragem. Porém, diferenças não foram detectadas na qualidade nutricional entre os dois tratamentos avaliados, independente do momento de amostragem, concluindo que a composição nutricional, em termos de proteína bruta, lipídeos, cinzas, fibra bruta e energia, independem da composição da dieta utilizada. Os mesmo autores relataram os seguintes valores médios: 520,5; 22,5 e 74,5 g/kg para proteína bruta, lipídeos e cinzas. O conteúdo energético foi de 5174,5 kcal/kg. Também avaliando a utilização de dois níveis de proteína na dieta, Azim e Little (2008) não observaram diferenças no teor médio de proteína dos flocos formados, com valor médio de 381,7 g/kg.

A concentração média de proteína bruta dos flocos no presente trabalho foi de 350,47 g/kg, sendo próximo aos valores obtidos em outros estudos. Avaliando a influência de diferentes salinidades e fontes de carbono, Ekasari *et al.* (2010) não relataram diferenças e o valor médio foi de 305 g/kg. Ju *et al.* (2008) verificaram teores de proteína bruta dos flocos microbianos em cultivos de camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*) entre 260 e 419 g/kg. Estes autores relatam que diferenças nas comunidades microbianas podem afetar a composição nutricional e as propriedades bioativas dos flocos.

Baixos níveis de lipídeos foram detectados nos flocos microbianos do presente estudo, com valores de extrato etéreo entre 9,41 e 14,21 g/kg. Diversos trabalhos têm relatado baixos níveis de lipídeos em flocos oriundos de cultivos de peixes e de camarões (TACON *et al.*, 2002; AZIM E LITTLE, 2008; JU *et al.*, 2008; EMERENCIANO *et al.*, 2011).

Quanto ao conteúdo de cinzas, verificou-se uma tendência de acúmulo ao longo do tempo. Em sistemas fechados, como os baseados na tecnologia de bioflocos, alguns nutrientes podem ter suas concentrações reduzidas em função da demanda dos microrganismos. Em contrapartida, outros podem acumular-se devido a não utilização e excreção dos animais cultivados, podendo alcançar níveis tóxicos (MCNEIL, 2000). Furtado *et al.* (2011) sugerem o uso de corretivos para o manutenção de níveis adequados de pH nos cultivos em bioflocos. Como nesse trabalho foi utilizado cal hidratada para correção do pH, isso pode ter afetado o teor total de cinzas nos flocos, assim como o de cálcio (Tabela 4). Valores médios entre 75 e

392 g/kg foram obtidos para cinzas em diversos estudos (AZIM *et al.*, 2008; EKASARI *et al.*, 2010; CRAB *et al.*, 2010; EMERENCIANO *et al.*, 2011). O alto teor de cinzas nos flocos microbianos pode estar relacionado com a presença de óxidos ácido-insolúveis e silicatos mistos (TACON E FERNS, 1979) e ainda representar uma boa fonte de minerais essenciais e elementos traços (TACON *et al.*, 2002), como por exemplo o fósforo. Segundo McIntosh (2000), em sistemas com bioflocos onde os tanques são impermeabilizados, o fósforo não se encontra adsorvido ao solo, resultando no acúmulo da fração solúvel e possibilitando a redução dos níveis do mesmo na dieta.

O valor energético dos flocos formados no tratamento no qual os animais foram transferidos para o sistema com bioflocos no 1º dia (T2) foi de 3440,06 kcal/kg, sendo semelhante ao T3 e inferior aos tratamentos T4 e T5. Uma vez que o teor de proteína bruta foi similar e o teor de cinzas no tratamento T2 foi superior aos demais, pode-se atribuir essa redução às concentrações mais elevadas de cinzas. Tacon *et al.* (2002) reportaram valor inferior ao obtido no presente estudo (2866,1 kcal/kg), entretanto Azim *et al.* (2008) obtiveram valor médio de 5174,59 kcal/kg.

4.5. Variáveis hematológicas e índices somáticos

Para os índices hepatossomático e víscerosomático (Tabela 5), o tratamento controle apresentou valores significativamente inferiores aos demais, que em algum momento do cultivo os animais foram transferidos para o sistema com bioflocos. Entre estes últimos, diferenças não foram detectadas. Já a concentração de glicose apresentou comportamento inverso aos índices mencionados, sendo detectada concentração significativamente mais elevada no tratamento controle, em relação aos demais tratamentos.

O hematócrito foi semelhante nos tratamentos T1, T2, T4 e T5. Apenas o tratamento T3 diferiu significativamente dos tratamentos T1, T2 e T4, sendo semelhante ao tratamento T5. Para as concentrações de proteína total, diferenças não foram detectadas entre os tratamentos avaliados.

Tabela 5: Índices hepatossomático e víscerosomático, níveis de glicose e proteína plasmática total e hematócrito de juvenis de tilápia (*Oreochromis niloticus*) transferidos em diferentes momentos do cultivo para sistema com bioflocos

Variável	Tratamento					CV (%)
	Controle	1° dia	15° dia	30° dia	45° dia	
IHS (%) ¹	2,34b	3,22a	3,25a	3,09a	2,97a	21,13
IVS (%) ²	8,67b	10,77a	10,54a	9,90a	10,57a	14,14
Glicose (mg/dL)	87,48a	67,29b	65,29b	63,00b	74,29b	6,06
Hematócrito (%)	32,83a	32,79a	28,75b	33,29a	31,46ab	16,02
Proteína Total (g/dL) ³	2,68	2,72	2,14	2,01	3,73	

Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de SNK (P<0,05).

¹Índice hepatossomático

²Índice víscerosomático

³Análise pelo teste de Kruskal Wallis (p<0,05)

A obtenção de maiores valores para os índices somáticos dos animais que foram transferidos para o sistema com bioflocos pode estar associada aos maiores níveis de lipídeos corporais e ao mesmo tempo aos menores valores de proteína apresentados, como pode ser visto na Tabela 3. Weil *et al.* (2013) citam que a variação no conteúdo de lipídeos pode, de uma forma geral, indicar o estado metabólico (energético) de peixes. Alguns estudos têm demonstrado que o excedente de energia em peixes que não é utilizado para manutenção e nem para crescimento é depositado preferencialmente como lipídeos (EL-SAYED E TESHIMA, 1992; SCHULZ *et al.*, 2005; LI *et al.*, 2013). Assim, os maiores índices hepatossomático e víscerosomático encontrados nos animais transferidos para o sistema com bioflocos, são provavelmente devido ao acúmulo de gordura perivisceral.

Menores valores de glicose foram obtidos nos animais transferidos para o sistema com bioflocos, independente do momento de transferência. A constante disponibilidade de flocos microbianos para esses animais poderia levar, provavelmente, ao aumento nos níveis de glicose. Entretanto, os animais do tratamento controle apresentaram níveis significativamente mais elevados que os dos demais tratamentos, podendo esses valores estar associados a uma possível resposta frente à uma condição estressante neste tratamento, como por exemplo, as trocas de água. O aumento nos níveis de glicose têm sido relatados em peixes (IWANA *et al.*,

1999) quando associados a condições estressantes, havendo elevação dos níveis de cortisol e dado à característica hiperglicêmica deste hormônio, a elevação na glicose sanguínea.

5. CONCLUSÕES

A transferência de juvenis de tilápia (*Oreochromis niloticus*) para o sistema com bioflocos em diferentes momentos não afeta o desempenho e sobrevivência dos animais. Quando feita precocemente (com animais pesando 1,4g), leva a um aumento na concentração de lipídeos corporais. No início da formação dos flocos no sistema, há oscilação da qualidade de água, principalmente quanto a N-AT e N-NO₂⁻.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-HAKIM, N.F.; ABO STATE, H.A.; AL-AZAB, A.A.; EL-KHOLY, K.F. Effect of feeding regimes on growth performance of juvenile hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*). *World Journal of Agricultural Sciences*, v. 5, p. 49-54, 2009.

ALI, M.; NICIEZA, A.; WOOTTON, R. J. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. *Fish and Fisheries*, v. 4, p. 147-190, 2003.

ATWOOD, H.L.; FONTENOT, Q.C.; TOMASSO, J.R.; ISELY, J.J. Toxicity of nitrite to Nile Tilapia: effect of fish size and environmental chloride. *North American Journal of Aquaculture*, v. 63, p. 49–51, 2001.

AVNIMELECH, Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, v. 176, p. 227-235, 1999.

AVNIMELECH, Y. Control of microbial activity in aquaculture systems: active suspension ponds. *World Aquaculture*, p. 3419– 3421. 2003.

AVNIMELECH, Y. Bio-filters: the need for an new comprehensive approach. *Aquacultural Engineering*, v. 34, p. 172–178, 2006.

AVNIMELECH, Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, v. 264, p. 140–147, 2007.

AVNIMELECH, Y. *Biofloc technology: A practical guide book*. . Baton Rouge, Louisiana - United States, The World Aquaculture Society. 2009, 182 p.

AVNIMELECH, Y. Tilapia Production Using Biofloc Technology: Saving Water, Waste Recycling Improves Economics. *Global Aquaculture Advocate*, May/June 2011, p. 66-68, 2011.

AVNIMELECH, Y. *Biofloc Technology: A Practical Guide Book*. Baton Rouge, Louisiana, 2^a Edition. The World Aquaculture Society. 2012, 271 p.

AVNIMELECH, Y.; MOKADY, S.; SCHROEDER, G.L. Circulated ponds as efficient bioreactors for single-cell protein production. *Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh*, v. 41, p. 58–66, 1989.

AVNIMELECH, Y.; RITVO, G.. Shrimp and fish pond soils: processes and management. *Aquaculture*, v. 220, p. 549–567, 2003.

AVNIMELECH, Y.; KOCHBA, M. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using ¹⁵N tracing. *Aquaculture*, v. 287, p. 163–168, 2009.

AZIM, M.E.; LITTLE, D.C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, v. 283, p. 29-35, 2008.

AZIM, M.E.; LITTLE, D.C.; BRON, J.E. Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 3590-3599, 2008.

AZIM, M.E.; VERDEGEM, M.C.J.; MANTINGH, I. *et al.* Ingestion and utilization of periphyton grown on artificial substrates by Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research*, v.34, p.85–92, 2003.

BENDSCHNEIDER, K.; ROBINSON, R.J. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research*, v. 11, p. 87-96, 1952.

BOYD, C.E. Guidelines for aquaculture effluents management at the farm-level. *Aquaculture*, v. 226, p. 101-112, 2003.

BROWDY, C.L.; BRATVOLD, D.; HOPKINS, J.S.; *et al.* Emerging technologies for mitigation of environmental impacts associated with shrimp aquaculture pond effluents. *Asian Fisheries Science*, v. 14, p. 255-267, 2001.

BRUNE, D.E.; SCHWARTZ, G.; EVERSOLE, A.G.; *et al.* Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. *Aquacultural Engineering*, v. 28, p. 65–86, 2003.

BURFORD, M.A.; LONGMORE, A.R. High ammonium production from sediments in hypereutrophic shrimp ponds. *Marine Ecology Progress Series*, v. 224, p. 187–195, 2001.

BURFORD, M.A.; THOMPSON, P.J.; BAUMAN, R.H.; PEARSON, D.C. Nutrient and microbial dynamics in high-intensive, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture*, v. 219, p. 393-411, 2003.

BURFORD, M.A.; THOMPSON, P.J.; BAUMAN, R.H.; PEARSON, D.C. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensive, zero-exchange system. *Aquaculture*, v. 232, p. 525-537, 2004.

CHAMBERLAIN, G.W.; HOPKINS, S.J. Reducing water use and feed cost in intensive ponds. *World Aquaculture*, v. 25, p. 29-32, 1994.

CHAMBERLAIN, G.; AVNIMELECH, Y.; MCINTOSH, R. P.; VELASCO, M. Advantages of aerated microbial reuse systems with balanced C:N - I: Nutrient transformation and water quality benefits. *Global Aquaculture Advocate*, April, p. 53-56, 2001.

COLT, J.; LUDWIG, R.; TCHOBANOGLOUS, G.; CECH, J. The effects of nitrite on the short-term growth and survival of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, v. 24, p. 111–122, 1981.

CRAB, R.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, T.; *et al.* Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, v. 270, p. 1-14, 2007.

CRAB, R.; KOCHVA, M.; VERSTRAETE, W.; AVNIMELECH, Y. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. *Aquacultural Engineering*, v. 40, p. 105-112, 2009.

CRAB, R.; CHIELENS, B.; WILLE, M.; *et al.* The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquaculture Research*, v. 41, p. 559-567, 2010.

CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, v. 356-357, p. 351-356, 2012.

DE SCHRYVER, P.; CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; *et al.* The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture. *Aquaculture*, v. 277, p. 125–137, 2008.

DE SCHRYVER, P.; VERSTRAETE, W. Nitrogen removal from aquaculture pond water by heterotrophic nitrogen assimilation in lab-scale sequencing batch reactors. *Bioresource Technology*, v. 100, p. 1162–1167, 2009.

DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; FILHO, S.C.V. Avaliação da gordura bruta ou extrato etéreo. In: DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; FILHO, S.C.V. *et al.* (Eds.). *Métodos para Análise de Alimentos*: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. p. 77-91.

EBELING, J.M.; TIMMONS, M.B.; BISOONI, J.J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, v. 257, p. 346–358, 2006.

EKASARI, J.; CRAB, R.; VERSTRAETE W. Primary nutritional content of bio-flocs cultured with different organic carbon sources and salinity. *Hayati Journal of Biosciences*, v. 17, p. 125–130, 2010.

EKASARI, J.; ZAIRIN JR, M.; PUTRI, D.U.; *et al.* Biofloc-based reproductive performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. broodstock. *Aquaculture Research*, p. 1-4, 2013.

EL-SAYED, A-F.M. *Tilapia culture*. CABI Publishing, Oxfordshire, U.K., 2006, 277 pp.

EL-SAYED, A-F.M.; TESHIMA, S. Protein and energy requirement of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fry. *Aquaculture*, v. 103, p. 55-63, 1992.

EL-SAYED, A-F.M.; KAWANNA, M. Optimum water temperature boosts the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared in a recycling system. *Aquaculture Research*, v. 39, p. 670-672, 2008.

EMERENCIANO, M.; CUZON, G.; GOGUENHEIM, J.; GAXIOLA, G. Floc contribution on spawning performance of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris*. *Aquaculture Research*, v. 44, p. 75-85, 2011.

EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; CUZON, G. Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. In: MATOVIC, M. D. (Ed.). *Biomass Now: Cultivation and Utilization*. Manhattan: InTech, 2013. p. 301-328.

ERLER, D.; SONGSANGJINDA, P.; KEAWTAWEE, T.; CHAIYAKUM, K. Preliminary investigation into the effect of carbon addition on growth, water quality and nutrient dynamics in zero-exchange shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems. *Asian Fisheries Science*, v. 18, p. 195-204, 2005.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). *The State of World Fisheries and Aquaculture*. Rome, Italy, 209 pp., 2012.

FIGUEROA, R.I.; RODRÍGUEZ-SABARÍS, R.; ALDEGUNDE, M. *et al.* Effects of food deprivation on 24 h-changes in brain and liver carbohydrate and ketone body metabolism of rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, v.57, p. 631-646, 2000.

FITZSIMMONS, K. Tilapia aquaculture in Mexico. In: COSTA-PIERCE, B.A.; RAKOCY, J.E. (Ed.). *Tilapia Aquaculture in the Americas*, Vol. 2. Baton Rouge, Louisiana, World Aquaculture Society, 2000. p. 171–183.

FURTADO, P.; POERSCH, L.H.; WASIELESKY, W. Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bio-flocs technology (BFT) systems. *Aquaculture*, v. 321, p. 130-135, 2011.

GAO, Y.; LEE, J. Compensatory responses of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* under different feed-deprivation regimes. *Fisheries and Aquatic Science*, v. 15, p. 305-311, 2012.

GAONA, C.A.P.; POERSCH, L.H.; KRUMMENAUER, D.; *et al.* The effect of solids removal on water quality, growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc technology culture system. *International Journal of Recirculating Aquaculture*, v. 11, p. 54-73, 2012.

HARGREAVES, J.A. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, v. 34, p. 344–363, 2006.

HARI, B.; KURUP, B.M.; VARGHESE, J.T.; *et al.* The effect of carbohydrate addition on water quality and the nitrogen budget in extensive shrimp culture systems. *Aquaculture*, v. 252, p. 248–263, 2006.

HILDSORF, A.W.S. Genética e cultivo de tilápias vermelhas, uma revisão. *Boletim do Instituto de Pesca*, São Paulo, v.22, n.1, p. 73-78, 1995.

HOPKINS, J.S.; HAMILTON, R.D.L.; SANDIFERS, P.A.; *et al.* Effect of water exchange rate on production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budgets of intensive shrimp ponds. *Journal World Aquaculture Society*, v. 24, p. 304–320, 1993.

IWAMA, G.K.; VIJAYAN, M.M.; FORSYTH, R.B.; ACKERMAN, P.A. Heat shock proteins and physiological stress in fish. *American Zoologist*, v. 39, p. 901-909, 1999.

JENSEN, F.B. Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. *Comparative Biochemistry and Physiology*, v. 135A, p. 9–24, 2003.

JOBLING, M.; MELOY, O. H.; DOS SANTOS, J.; CHRISTIANSEN, B. The compensatory growth response of the Atlantic cod: effects of nutritional history. *Aquaculture International*, v. 2, p. 75–90, 1994.

JU, Z.Y.; FORSTER, I.; CONQUEST, L.; *et al.* Determination of microbial community structures of shrimp floc cultures by biomarkers and analysis of floc amino acid profiles. *Aquaculture Research*, v. 39, p. 118-133, 2008.

KNUDSEN, P.K.; JENSEN, F.B. Recovery from nitrite-induced methaemoglobinaemia and potassium balance disturbances in carp. *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 16, p. 1–10, 1997.

- KRUMMENAUER, D.; SEIFERT, C.A.; POERSCH, L.H.; *et al.* Cultivo de camarões marinhos em sistema de bioflocos: análise da reutilização da água. *Atlântica*, v. 34, p. 103-111, 2012.
- KUHN, D.D.; LAWRENCE, A.L.; BOARDMAN, G.D.; *et al.* Evaluation of two types of bioflocs derived from biological treatment of fish effluent as feed ingredients for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, v. 303, p. 28–33, 2010.
- LEWIS, W.M.; MORRIS, D.P. Toxicity of nitrite to fish: a review. *Transactions of the American Fisheries Society*, v. 115, p. 183–195, 1986.
- LI, Y.; BORDINHON, A.M.; DAVIS, D.A.; *et al.* Protein : energy ratio in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture International*, v. 21, p. 1109–1119, 2013.
- LING, J.; CHEN, S. Impact of organic carbon on nitrification performance of different biofilters. *Aquacultural Engineering*, v. 33, p. 150–162, 2005.
- LITTLE, D.C.; MURRAY, J.F.; AZIM, M.E.; *et al.* Warm-water fish production in the UK: limits to green growth? *Trends in Food Science and Technology*, v. 19, p. 255–264, 2008.
- MAICÁ, P.F.; BORBA, M.R.; WASIELESKY, W. Effect of low salinity on microbial floc composition and performance of *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles reared in a zero-water-exchange super-intensive system. *Aquaculture Research*, v. 43, p. 361-370, 2011.
- MCGRAW, W. J. Utilization of heterotrophic and autotrophic bacteria in aquaculture. *Global Aquaculture Advocate*, December, p. 82-83, 2002.
- MCINTOSH, B.J.; SAMOCHA, T.M.; JONES, E.R.; *et al.* The effect of a bacterial supplement on the high-density culturing of *Litopenaeus vannamei* with low-protein diet on outdoor tank system and no water exchange. *Aquacultural Engineering*, v. 21, p. 215-227, 2000.
- MCNEIL, R. Zero exchange, aerobic, heterotrophic systems: key considerations. *Global Aquaculture Advocate*, June, p.76, 2000.
- MILSTEIN, A.; AVNIMELECH, Y.; ZORAN, M.; JOSEPH, D. Growth performance of hybrid bass and hybrid tilapia in conventional and active suspension intensive ponds. *The Israeli Journal of Aquaculture*, v. 53, p. 147-157, 2001.

MORIARTY, D. J. W. The role of microorganisms in aquaculture ponds. *Aquaculture*, v. 151, p. 333-349, 1997.

MPA (Ministério da Pesca e Aquicultura). *Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura: Brasil 2010*. Brasilia, 2012, 128 p.

NOOTONG, K.; PAVASANT, P.; POWTONGSOOK, S. Effects of organic carbon addition in controlling inorganic nitrogen concentrations in a Biofloc System. *Journal of the World Aquaculture Society*, v. 42, p. 339-346, 2011.

PARK, I.S.; LEE, J.; HUR, J.W.; *et al.* Acute toxicity and sublethal effects of nitrite on selected hematological parameters and tissues in dark-banded rockfish, *Sebastes inermis*. *Journal of the World Aquaculture Society*, v. 38, p. 188–199, 2007.

QUINTON, J.C.; BLAKE, R. W. The effect of feed cycling and ration level on the compensatory growth response in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Fish Biology*, v. 37, p. 33–41, 1990.

RAY, A.J.; SEABORN, G.; LEFFLER, J.W.; *et al.* Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquaculture*, v. 310, p. 130-138, 2010.

RUSSO, R.C. Nitrite toxicity to fishes. In: BRAUNER, C.J.; SUVAJDZIC, K.; NILSSON, G.; RANDALL, D. (Ed). *Fish Physiology, Toxicology, and Water Quality - Proceedings of the Ninth International Symposium*, Capri, Italy, April 24-28, 2006, p. 73-87.

SAMOCHA, T.M.; PATNAIK, S.; SPEED, M.; *et al.* Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. *Aquacultural Engineering*, v. 36, p. 184–191, 2007.

SCHULZ, C.; KNAUS, U.; WIRTH, M.; RENNERT, B. Effects of varying dietary fatty acid profile on growth performance, fatty acid, body and tissue composition of juvenile pike perch (*Sander lucioperca*). *Aquaculture Nutrition*, v. 11, p. 403–413, 2005.

SERFLING, S.A., 2006. Microbial flocs: Natural treatment method supports freshwater, marine species in recirculating systems. *Global Aquaculture Advocate*, June, p. 34–36, 2006.

SESUK, T.; POWTONGSOOK, S.; NOOTONG, K. Inorganic nitrogen control in a novel zero-water exchanged aquaculture system integrated with airlift-submerged fibrous nitrifying biofilters. *Bioresource Technology*, v. 100, p. 2088-2094, 2009.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. *Análises de alimentos* (métodos químicos e biológicos). 3.ed. Viçosa, MG, Editora UFV, 2002. 235p.

SKLAN, D.; PRAG, T.; LUPATSCH, I. Structure and function of the small intestine of the tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (Teleostei, Cichlidae). *Aquaculture Research*, v.35, p.350-357, 2004.

SOUZA, M.A.; FILHO, S.C.V.; DETMANN, E. Avaliação das cinzas ou matéria mineral. In: DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; FILHO, S.C.V. *et al.* (Eds.). *Métodos para Análise de Alimentos*: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012a. p. 41-50.

SOUZA, M.A.; QUEIROZ, A.C.; ZERVOUDAKIS, J.T. Avaliação do fósforo inorgânico total. In: DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; FILHO, S.C.V. *et al.* (Eds.). *Métodos para Análise de Alimentos*: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012b. p. 171-178.

TACON, A.G.J.; FERNS, P.N. Activated sewage sludge, a potential animal foodstuff i. proximate and mineral content: seasonal variation. *Agriculture and Environment*, v. 4, p. 257-269, 1979.

TACON, A.G.J.; CODY, J.J.; CONQUEST, L.D.; *et al.* Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquaculture Nutrition*, v. 8, p. 121–137, 2002.

TAKAGI, Y. Effects of starvation and subsequent refeeding on formation and resorption of acellular bone in tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Zoological Science*, v. 18, p. 623-629, 2001.

TEIXEIRA, E.A.; CREPALDI, D.V.; FARIA, P.M.C., *et al.* Composição corporal e exigências nutricionais de aminoácidos para alevinos de tilápia (*Oreochromis* sp.). *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 9, p. 239-246, 2008.

TIMMONS, M.B.; EBELING, J.M. *Recirculating aquaculture*. 1nd edition. NRAC Publication, vol. 01-007, 2007, 948p.

TURKER, H.; EVERSOLE, A.G.; BRUNE, D.E. Effect of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), size on phytoplankton filtration rate. *Aquaculture Research*, v. 34, p. 1087-1091, 2003.

UNESCO. Chemical methods for use in marine environmental monitoring. *Manual and Guides*, v.12, Intergovernmental Oceanographic Commission. Paris, France. 1983.

WAMBACH, X.F. *Influência de diferentes densidades de estocagem no desempenho produtivo de tilápia do Nilo Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758) cultivada com tecnologia de bioflocos*. 2013. 78f. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2013.

WANG, Y.; CUI, Y.; YANG, Y.; CAI, F. Compensatory growth in Hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*, reared in sea water. *Aquaculture*, v. 189, p. 101-108, 2000.

WANG, Y.; CUI, Y.; YANG, Y.; CAI, F. Partial compensatory growth in hybrid tilapia *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus* following food deprivation. *Journal of Applied Ichthyology*, v. 21, p. 389–393, 2005a.

WANG, Y.; LIU, Y.; TIAN, L.; *et al.* Effects of dietary carbohydrate level on growth and body composition of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. *Aquaculture Research*, v. 36, p. 1408-1413, 2005b.

WASIELESKY, W.; ATWOOD, H.; STOKES, A.; BROWDY, C.L. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, v. 258, p. 396-408, 2006.

WEIL, C.; LEFÈVRE, F.; BUGEON, J. Characteristics and metabolism of different adipose tissues in fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, v. 23, p. 157–173, 2013.

WIDANARNI; EKASARI, J.; MARYAM, S. Evaluation of Biofloc Technology application on water quality and production performance of Red Tilapia *Oreochromis* sp. cultured at different stocking densities. *HAYATI Journal of Biosciences*, v. 19, n. 2, p. 73-80, 2012.

YANBO, W.; WENJU, Z.; WEIFEN, L.; ZIRONG, X. Acute toxicity of nitrite on tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different external chloride concentrations. *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 32, p. 49–54, 2006.