

**Universidade Federal de Minas Gerais**

**Estratégias de manejo alimentar para otimizar o uso de  
alimento em suspensão para tilápia do Nilo (*Oreochromis  
niloticus*) cultivada em bioflocos**

Marcos Antônio da Silva

Belo Horizonte

2020

**Universidade Federal de Minas Gerais**

**Estratégias de manejo alimentar para otimizar o uso de alimento em suspensão para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada em bioflocos**

Tese apresentada ao programa de  
Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de  
Veterinária da Universidade Federal de  
Minas Gerais como requisito parcial para a  
obtenção do grau de doutor em Zootecnia  
Área de concentração: Produção Animal  
Prof. Orientador: Edgar de Alencar Teixeira  
Co-orientadora: Érika Ramos de Alvarenga

Belo Horizonte

2020

S586e Silva, Marcos Antonio da - 1986.  
Estratégias de manejo alimentar para otimizar o uso de alimento em suspensão para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada em bioflocos / Marcos Antonio da Silva – 2020.

52p.: il.

Orientador: Edgar de Alencar Teixeira  
Coorientadora: Érika Ramos de Alvarenga

Tese de Doutorado apresentado a Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais.

1- Tilápia - Peixe – Teses - 2 - Alimentação - Teses – 3- Desempenho produtivo - Teses -  
I - Teixeira, Edgar de Alencar – II – Alvarenga, Erika Ramos de - III – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária - IV – Título.

**CDD – 636.085**

**Bibliotecária responsável Cristiane Patrícia Gomes – CRB2569**



Escola de Veterinária  
UFMG

ESCOLA DE VETERINÁRIA DA UFMG  
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA  
Av. Antônio Carlos 6627 - CP 567 - CEP 30123-970 - Belo Horizonte- MG  
TELEFONE (31)-3409-2173

www.vet.ufmg.br/academicos/pos-graduacao  
E-mail: cpzootec@vet.ufmg.br

### ATA DE DEFESA DE TESE DE MARCOS ANTÔNIO DA SILVA

Às 14:00 horas do dia 20 de fevereiro de 2020, reuniu-se, na Escola de Veterinária da UFMG a Comissão Examinadora de Tese, indicada pelo Colegiado em reunião no dia 05/12/2019, para julgar, em exame final, a defesa da tese intitulada: "Estratégias de manejo alimentar para otimizar o uso de alimento em suspensão para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada em bioflocos", como requisito final para a obtenção do Grau de Doutor em Zootecnia área de concentração Produção Animal - Aquicultura.

Abrendo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Edgar de Alencar Teixeira, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da Defesa de Tese, passou a palavra ao (a) candidato (a), para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato (a). Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento da tese, tendo sido atribuídas as seguintes indicações:

	Aprovada	Reprovada
Prof.(a)/Dr.(a) <u>Edgar de Alencar Teixeira</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) <u>Alexandre Benedito de Souza</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) <u>Túlio Soares de Brito</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) <u>Françisco Carlos de O. Silva</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) <u>THIAGO BERNARDES FERNANDES JORGE</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



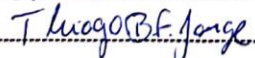


Pelas indicações, o (a) candidato (a) foi considerado (a):  
 Aprovado (a)  
 Reprovado (a)

Para concluir o Doutorado, o(a) candidato(a) deverá entregar 10 volumes encadernados da versão final da tese acatando, se houver, as modificações sugeridas pela banca, e a comprovação de submissão de pelo menos um artigo científico em periódico recomendado pelo Colegiado dos Cursos. Para tanto terá o prazo máximo de 60 dias a contar da data defesa.

O resultado final, foi comunicado publicamente ao (a) candidato (a) pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora e encaminhada juntamente com um exemplar da tese apresentada para defesa.

Belo Horizonte, 20 de fevereiro de 2020.

Assinatura dos membros da banca:

(Vide Normas Regulamentares da defesa de Tese no verso)

(Este documento não terá validade sem assinatura e carimbo do Coordenador)

Doutorado/Atadefesa.doc

Dedico esse trabalho a minha família, aos meus pais (Aparecida e Vicente), e irmãos

## **Agradecimentos**

Agradecimentos a Deus por ter me encaminhado durante estes quatro anos de pós-graduação, a minha família e amigos pelo apoio incondicional.

À Universidade Federal de Minas Gerais e ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia pela oportunidade de obtenção de mais um grau de qualificação.

A CAPES pela bolsa de pós-graduação e FAPEMIG pelo financiamento deste projeto.

Ao Prof. Edgar de Alencar Teixeira por aceitar como seu orientado durante estes anos de pós-graduação.

A Dr<sup>a</sup> Érika Ramos de Alvarenga pela coorientação e contribuição para melhoria deste trabalho.

Aos professores, técnicos, estudantes de iniciação científica e colegas em geral do Laboratório de Aquacultura (LAQUA) e do grupo de pesquisa em Nutrição genética e tecnologia (NGT) da Universidade Federal de Minas Gerais pela convivência e contribuição durante os experimentos do meu Doutorado.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Zootecnia pela contribuição na minha formação.

Aos membros da banca examinadora Túlio Soares de Brito, Alexandre Benvindo de Sousa, Francisco Carlos de Oliveira Silva e Thiago Bernardes Fernandes Jorge por aceitarem o convite da minha defesa de tese.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	11
<b>2.1. Bioflocos</b> .....	11
<b>2.2. Manejo do BFT</b> .....	12
<b>2.3. Floco como alimento</b> .....	13
<b>2.4. Frequência alimentar</b> .....	16
<b>2.5. Taxa de alimentação</b> .....	18
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	21
<b>3.1. Objetivo geral</b> .....	21
<b>3.2. Objetivos específicos</b> .....	21
<b>4. ARTIGO</b> .....	22
<b>4.1. Introdução</b> .....	24
<b>4.2. Material e métodos</b> .....	25
4.2.1. Desenho Experimental .....	25
4.2.2. Variáveis de qualidade de água .....	26
4.2.3. Desempenho, sobrevivência, utilização de proteína e deposição de nutrientes .....	27
4.2.4. Análises proximais .....	28
4.2.5. Análise estatística .....	28
<b>4.3. Resultados</b> .....	28
4.3.1. Qualidade de água .....	28
4.3.2. Desempenho, sobrevivência, utilização de proteína e deposição de nutrientes .....	29
4.3.3. Composição corporal .....	29
4.3.4. Composição nutricional do floco .....	29
<b>4.4. Discussão</b> .....	35
<b>4.5. Conclusão</b> .....	40
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	41
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	41

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. VALORES MÉDIOS DO VALOR NUTRICIONAL DO BIOFLOCO E EXIGÊNCIAS PARA TILÁPIAS. ....	15
TABELA 2. FREQUÊNCIAS ALIMENTARES PRATICADAS EM ESTUDOS COM TILÁPIAS EM BIOFLOCOS EM DIFERENTES FASES DE CRESCIMENTO. ....	18
TABELA 3. COMPOSIÇÃO DA RAÇÃO COMERCIAL PROPESCADO-NUTRIAVE DE 2 - 4 mm UTILIZADA NO EXPERIMENTO. ....	26
TABELA 4. VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA NO SISTEMA BIOFLOCOS COM DIFERENTES FREQUÊNCIAS E TAXAS DE ALIMENTAÇÃO PARA JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO. ....	30
TABELA 5. VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA (MÉDIA OU MEDIANA E MÍNIMO - MÁXIMO) EM SISTEMA DE BIOFLOCOS COM DIFERENTES FREQUÊNCIAS E TAXAS DE ALIMENTAÇÃO PARA JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO. ....	31
TABELA 6. DESEMPENHO, UTILIZAÇÃO DE PROTEÍNAS, DEPOSIÇÃO DE NUTRIENTES E SOBREVIVÊNCIA (MÍNIMO E MÁXIMO) DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO ALIMENTADOS COM DIFERENTES FREQUÊNCIAS E TAXAS DE ALIMENTAÇÃO NO SISTEMA BIOFLOCOS. ....	32
TABELA 7. COMPOSIÇÃO CORPORAL DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO ALIMENTADOS COM DIFERENTES FREQUÊNCIAS E TAXAS DE ALIMENTAÇÃO NO SISTEMA BIOFLOCOS. ....	34
TABELA 8. COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DO FLOCO (COM BASE NA MATÉRIA SECA) DE SISTEMA DE BIOFLOCOS COM JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO ALIMENTADOS COM DIFERENTES FREQUÊNCIAS E TAXAS DE ALIMENTAÇÃO. ....	35

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. ILUSTRAÇÃO DE UM SISTEMA BIOFLOCOS. À ESQUERDA, ESQUEMA DEMONSTRANDO A FILTRAÇÃO DE BIOFLOCO PELA TILÁPIA. À DIREITA, IMAGEM SUPERIOR: FLOCOS DECANTADOS NO CONE IMHOFF. À DIREITA, IMAGEM INFERIOR, TANQUE DE CULTIVO DE TILÁPIAS COM TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS. .... 14
- FIGURA 2. RECOMENDAÇÃO DE TAXA DE ALIMENTAÇÃO (% PESO CORPORAL) E FREQUÊNCIA DE ALIMENTAÇÃO (VEZES / DIA) EM FUNÇÃO DO TAMANHO DO PEIXE..... 17
- FIGURA 3. PESO FINAL DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO CULTIVADAS EM BIOFLOCOS ALIMENTADAS COM DIFERENTES TAXAS DE ALIMENTAÇÃO. 100% (ALIMENTAÇÃO TOTAL DE RAÇÃO), 90% (REDUÇÃO DE 10% DA RAÇÃO), 80% (REDUÇÃO DE 20% DA RAÇÃO), 70% (REDUÇÃO DE 30% DA RAÇÃO) E 60% (REDUÇÃO DE 40% DA RAÇÃO). .... 20
- FIGURA 4. GANHO DE PESO DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO ALIMENTADOS COM DIFERENTES FREQUÊNCIAS E TAXAS DE ALIMENTAÇÃO NO SISTEMA DE BIOFLOCOS. TRATAMENTOS COM LETRAS DIFERENTES SÃO SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES ( $P < 0,05$ )..... 33

## **Resumo**

O desenvolvimento de tecnologias que possibilitem estudar o aproveitamento dos nutrientes pelos animais é de grande relevância para a sustentabilidade econômica e ambiental. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo gerar informações de estratégias alimentares para juvenis de tilápias em sistema de bioflocos. Este estudo avaliou parâmetros de qualidade de água e variáveis de desempenho, composição corporal e composição nutricional do floco. Juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com aproximadamente 32 g foram submetidos a tratamentos com quatro frequências de alimentação (uma, duas, três e quatro vezes ao dia) e três taxas de alimentação (50%, 75% e 100% de consumo em relação à aparente saciedade) em sistema de bioflocos (fonte de carbono: açúcar de cana, relação C/N de 6/1) durante 56 dias. Com exceção de oxigênio dissolvido, taxa de retenção de proteínas e proteína corporal, as diferentes frequências alimentares não provocaram alterações significativas nos dados de qualidade de água, desempenho, sobrevivência, utilização de proteína, deposição de nutrientes, composição corporal e composição nutricional do floco. A redução da taxa de alimentação resultou em menor desempenho, mas houve redução na concentração de nitrogênio amoniacal total, sólidos, teor de lipídeos corporais e índice hepatossomático. Além disso, a melhor eficiência de utilização de proteína foi obtida na taxa de alimentação de 75%. A composição nutricional do floco não foi afetada pela frequência alimentar e a taxa de redução de 100% para 75% não alterou significativamente conteúdo de proteína do floco. Em conclusão, a frequência alimentar de uma vez ao dia pode ser utilizada para juvenis de tilápia do Nilo cultivados em bioflocos. Apesar da taxa de alimentação à saciedade apresentar o maior desempenho, provavelmente não é a melhor opção para a produção em bioflocos devido a piora na conversão alimentar e a redução da qualidade de água (aumento de sólidos totais e nitrogênio amoniacal total).

**Palavras-chave:** Desempenho, frequência alimentar, qualidade de água, taxa de alimentação.

## **Abstract**

The development of technologies that allows use of nutrients by animals is very important for the economic and environmental aquaculture sustainability. The present study aimed to assess feeding strategies for tilapia juveniles in a biofloc system. This study evaluated water quality parameters and variables of performance, body composition and nutritional composition of the flocs. Nile tilapia juveniles weighing approximately 32 g were submitted to treatments with four frequencies (one, two, three and four times a day) and three feeding rates (100, 75 and 50% consumption in relation to visible satiety) in bioflocs (carbon source: sugarcane, C:N ratio: 6:1) for 56 days. With the exception of dissolved oxygen, protein retention rate and body protein content, the different feeding frequencies did not cause significant changes in the data on water quality, performance, survival, protein utilization, nutrient deposition, body composition and nutritional composition of the floc. The reduction in feed rate resulted in a lower performance, but promoted a decrease in the concentration of total ammoniacal nitrogen, solids, hepatosomatic index and body lipids. In addition, we found a better efficiency of protein utilization at 75% feed. The nutritional composition of the floc was not affected by the feed frequency, and the feed rate reduction from 100% to 75% did not significantly alter the protein content of the floc. In conclusion, the results showed that feeding once a day can be used for juveniles of Nile tilapia grown in bioflocs. Although the satiety rate has led to better performance, it may not be the best option for cultura in bioflocs, due to higher feed conversion and reduction of water quality (total solids and total ammoniacal nitrogen increase).

**Keywords:** Feeding frequency, growth performance, feeding rate, water quality

## 1. INTRODUÇÃO

Para os próximos dez anos ocorrerá aumento da demanda de proteína animal, com destaque para produção aquícola que tem apresentado crescimento maior que outras atividades de produção de alimentos (FAO, 2018).

As tilápias (*Oreochromis* sp.) constituem o segundo grupo de peixes mais cultivados no mundo. Nos últimos seis anos houve um crescimento de 50% da produção, em 2017 foram produzidas 5,9 milhões de toneladas de tilápias, sendo aproximadamente 70% de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (FAO, 2019). Este crescimento pode ser atribuído a características da espécie, como por exemplo: rápido crescimento, tolerância a alta densidade, resistência a doenças e alto valor de mercado devido à ausência de espinhos intramusculares. Entretanto, um maior potencial de crescimento da produção de tilápias dependerá do aperfeiçoamento da cadeia produtiva.

Na busca pela máxima eficiência produtiva na produção de tilápias, o desenvolvimento de tecnologias e estratégias que possibilitem intensificar a produção, reduzir o uso de água, melhorar a qualidade de água, melhorar a imunidade dos animais, reduzir a entrada de patógenos, promover o bem estar e melhorar o aproveitamento dos nutrientes pelos animais tem sido de grande relevância para a sustentabilidade econômica e ambiental.

Neste contexto, a tecnologia de produção de peixes em bioflocos (BFT, da sigla em inglês biofloc technology) surgiu como alternativa promissora para aperfeiçoamento tilapicultura. Nesse sistema os peixes são cultivados juntamente com bactérias (especialmente heterotróficas e nitrificantes) e outros microrganismos que além de auxiliarem na purificação da água, podem ser utilizados como alimento para espécies filtradoras como as tilápias.

Apesar de promissor, publicações científicas sobre BFT só se intensificaram nesta última década. Por isso, informações sobre manejo dessa tecnologia são desconhecidas. Como se tem alimento natural disponível neste sistema, a taxa de alimentação e frequência alimentar poderiam ser ajustadas para reduzir o uso de ração e otimizar o sistema. Dessa forma, buscou-se com este estudo avaliar diferentes estratégias alimentares para contribuir com a produção de tilápias em sistema de bioflocos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Bioflocos

Os primeiros trabalhos de bioflocos (BFT) surgiram no início dos anos 90 simultânea e independentemente com camarão na Carolina do Sul e com tilápia em Israel (Avnimelech, 2007, 2009). Desde então, estudos com BFT tem aumentado, pois causa menor impacto ambiental em relação a outros sistemas de produção visto que a troca de água é mínima devido a reciclagem de nutrientes não aproveitados pelos peixes, promovida pelo crescimento microbiano (Crab *et al.*, 2007, 2012; De Schryver e Verstraete, 2009; Ray *et al.*, 2010a; Hargreaves, 2013; Pérez-Fuentes *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2018a). Neste sistema produtivo, o crescimento microbiano está associado à eliminação ou redução na concentração de amônia e nitrito, compostos tóxicos para os peixes (Ebeling *et al.*, 2006).

O processo de remoção do nitrogênio amoniacal é feito por bactérias mixotróficas (Hargreaves, 2013). Geralmente no início de formação do BFT predominam as bactérias fotoautotróficas. O aumento da oferta de nutrientes provoca uma transição para o rápido crescimento das bactérias heterotróficas que assimilam o nitrogênio amoniacal na presença de carbono orgânico para formação de proteína microbiana (Avnimelech, 1999, 2006; Hargreaves, 2013; Gallardo Colli *et al.*, 2019; Green *et al.*, 2019a).

Estudos mostram que relação  $C/N \geq 10$  otimiza a produção das bactérias heterotróficas (Avnimelech, 1999; Hargreaves, 2006; De Schryver e Verstraete, 2009; Luo *et al.*, 2014; Pérez-Fuentes *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2018b). Entretanto, Ebeling *et al.* (2006) relataram que a relação 6/1 de C/N foi suficiente para crescimento heterotrófico. As bactérias quimioautotróficas conhecidas como nitrificantes também estão presentes em BFT (Avnimelech, 2006; Ebeling *et al.*, 2006; Azim e Little, 2008; Hargreaves, 2006; Liu *et al.*, 2018a; Green *et al.*, 2019a; Silva *et al.*, 2020), elas utilizam o carbono inorgânico do sistema transformando a amônia em nitrito e posteriormente em nitrato, sendo este último menos tóxico para os peixes (Ebeling *et al.*, 2006; Ray *et al.*, 2010a). Altas relações C/N tendem a inibir o desenvolvimento de bactérias nitrificantes (Ebeling *et al.*, 2006). No entanto, o processo de nitrificação pode ser benéfico em BFT, pois reduz os custos com fontes de carbono orgânico, reduz o pico de nitrito e evita o acúmulo excessivo de biomassa bacteriana no sistema (Liu *et al.*, 2018a).

Além das bactérias, partículas orgânicas e inorgânicas, polímeros, algas e micro e macroinvertebrados formam o bioflocos (Avnimelech, 2006, 2007; Hargreaves, 2006; De Schryver *et al.*, 2008; Hargreaves, 2013; Ahmad *et al.*, 2017; Gallardo Colli *et al.*, 2019). Esses formam agregados com formas variadas, unidos por muco, filamentos e atração eletrostática (De Schryver *et al.*, 2008; Hargreaves, 2013), com tamanho médio entre 50 a 200  $\mu\text{m}$  (Azim e Little, 2008; Hargreaves, 2013). Destes somente de 2 a 20% são constituídos por microrganismos. Sendo a maior parte composto por matéria orgânica e inorgânica (Wilén *et al.*, 2003).

## **2.2. Manejo do BFT**

O monitoramento do sistema de bioflocos deve ser constante, pois interfere diretamente na qualidade de água, e está diretamente relacionado ao desempenho dos animais. Picos de amônia e nitrito ocorrem principalmente no início da produção até a maturação do floco (Hargreaves, 2013; Luo *et al.*, 2014; Long *et al.*, 2015; Alves *et al.*, 2017; Green *et al.*, 2020). Contudo, a concentração da amônia pode ser controlada com adição de fonte de carbono orgânico (Avnimelech, 1999, 2009; Crab *et al.*, 2010) e os efeitos tóxicos do nitrito podem ser minimizados com adição de cloreto de sódio (Luo *et al.*, 2014; Alvarenga *et al.*, 2017). Neste contexto, a reutilização de bioflocos maduros é uma vantagem para começar um novo ciclo de cultivo de peixes (Green *et al.*, 2020), embora se deva ter atenção para a concentração de nitrato, pois esse nitrogenado se acumula no floco formado (Luo *et al.*, 2019; Manduca *et al.*, 2020).

O BFT caracteriza-se por apresentar baixa capacidade tamponante, principalmente devido ao consumo de carbonatos por bactérias nitrificantes (Ebeling *et al.*, 2006; Green *et al.*, 2019a). Como consequência, é comum a redução do pH (Azim e Little, 2008; Hargreaves, 2013; Kim *et al.*, 2020), o que gera a necessidade de ajustes constantes com fontes de carbonatos para se manter a alcalinidade acima de 50 mg de  $\text{CaCO}_3$  e pH entre 6-7 (Avnimelech, 2009), valores considerados adequados para a produção de tilápias.

Por ser um sistema com troca mínima de água, o acúmulo de sólidos em suspensão tende a aumentar com o tempo (Azim e Little, 2008; Long *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2018a; Green *et al.*, 2019a; Kim *et al.*, 2020), principalmente devido ao crescimento de biomassa proveniente do crescimento heterotrófico. Por isso, o monitoramento e intervenção são essenciais, pois o aumento dos sólidos pode estar relacionado com redução drástica dos níveis de oxigênio, entupimento de brânquias, redução do crescimento e aumento dos níveis de estresse nos peixes

(Hargreaves, 2006, 2013; Ray *et al.*, 2010b; Ray, 2012; Luo *et al.*, 2014; Long *et al.*, 2015). O controle pode ser feito através de drenagem mínima (Avnimelech, 2006, 2009; Silva *et al.*, 2018, 2020) ou remoção de partículas através da sedimentação externa, como por exemplo, os clarificadores (Little *et al.*, 2008; Ray *et al.*, 2010a; Ray *et al.*, 2010b; Ray, 2012; Hargreaves, 2013; Green *et al.*, 2019a; Green *et al.*, 2020). Cones graduados de 1 L podem auxiliar na quantificação de sólidos suspensos do sistema. Sendo 25 a 50 mL/L recomendados para produção de tilápias (Hargreaves, 2013). Ray *et al.* (2010b) relataram que a remoção de sólidos teve efeito significativo na redução da concentração de nitrato, além de aumento da alcalinidade. Neste contexto, um estudo realizado por Manduca *et al.* (2020) mostraram que a falta de drenagem mínima (sistema troca zero) promovem aumento excessivo de nitrato e sólidos totais, resultando em redução de desempenho e aumento da mortalidade dos animais.

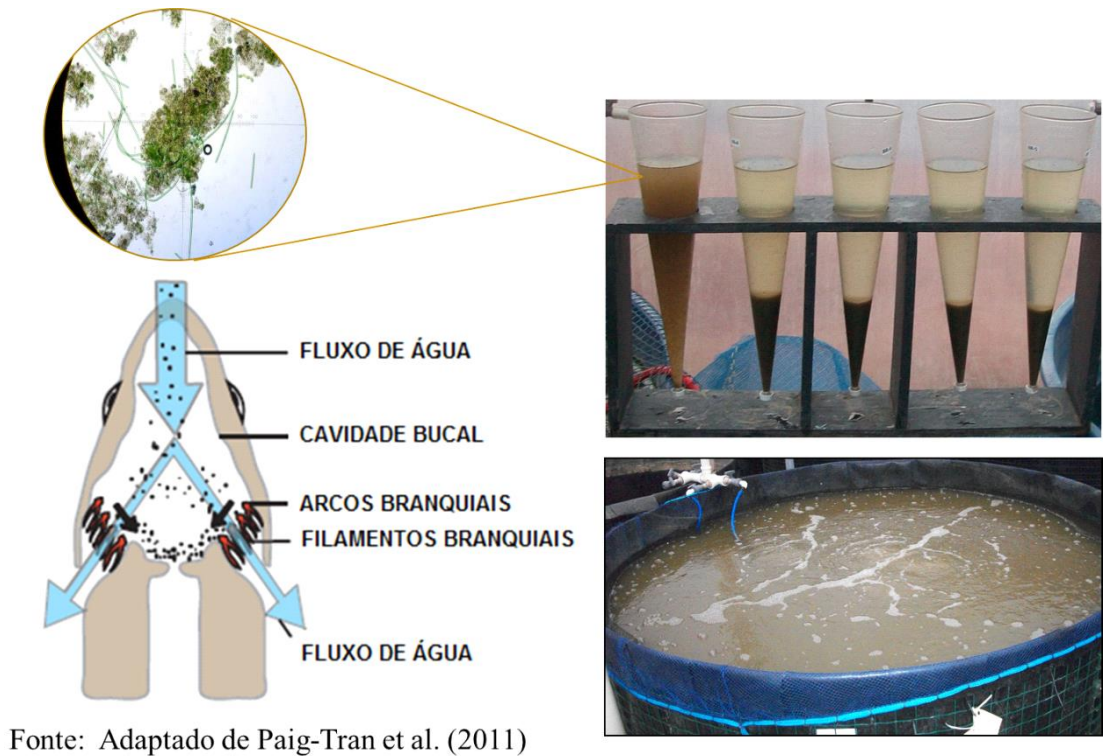
Em BFT, além dos peixes, os microrganismos e matéria orgânica consomem quantidades significativas de oxigênio (Hargreaves, 2006; Ray *et al.*, 2010a; Long *et al.*, 2015; Pérez-Fuentes *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2020), o que demanda aeração adicional e verificação rotineira do nível de oxigênio dissolvido. Além de garantir níveis adequados de oxigênio, a aeração torna-se importante para manter as partículas do floco em suspensão, evitando zonas de anaerobiose (Ray, 2012).

### **2.3.Floco como alimento**

A tecnologia de bioflocos tem se mostrado adequada para tilápia do Nilo, pois essa espécie é tolerante a alta concentração de sólidos e variações de parâmetros de qualidade de água (Little *et al.*, 2008; Hargreaves, 2013). Além disso, apresenta capacidade de filtração de partículas em suspensão (Crab *et al.*, 2007), conforme apresentado na figura 1. Estudos realizados com nitrogênio marcado ( $^{15}\text{N}$ ) comprovaram o aproveitamento do floco pela tilápia (Avnimelech, 2007; Avnimelech e Kochba, 2009; Ekasari *et al.*, 2014). Deste modo, o floco serve como fonte adicional de alimento (Azim e Little, 2008; Luo *et al.*, 2014; Ahmad *et al.*, 2017).

Diante deste cenário, animais cultivados em BFT podem apresentar melhor crescimento, ganho de peso e conversão alimentar em relação a animais cultivados em água clara (Azim e Little, 2008; Luo *et al.*, 2014; Long *et al.*, 2015; Mansour e Esteban, 2017; Menaga *et al.*, 2019) e melhora na atividade de enzimas digestivas (Luo *et al.*, 2014; Long *et al.*, 2015). Além disso, devido a sua composição microbiológica, o BFT tem efeito de um

probiótico natural, pois promove melhora de parâmetros relacionados ao sistema imune e tem papel fundamental na defesa contra os efeitos tóxicos de espécies reativas de oxigênio, combatendo o estresse oxidativo (Luo *et al.*, 2014; Haridas *et al.*, 2017; Mansour e Esteban, 2017; Ekasari *et al.*, 2019; Menaga *et al.*, 2019),



Fonte: Adaptado de Paig-Tran et al. (2011)

**Figura 1.** Ilustração de um sistema bioflocos. À esquerda, esquema demonstrando a filtração de bioflocos pela tilápia. À direita, imagem superior: flocos decantados no cone Imhoff. À direita, imagem inferior, tanque de cultivo de tilápias com tecnologia de bioflocos.

Quanto ao aproveitamento dos nutrientes, os flocos microbianos são fontes de proteína, energia, ácidos graxos, vitaminas, minerais e aminoácidos (Avnimelech, 2006; Azim e Little, 2008; Ju *et al.*, 2008; Crab *et al.*, 2010; Hargreaves, 2013; Ekasari *et al.*, 2014; Wei *et al.*, 2016). Quanto aos valores da composição do floco, os níveis médios de proteína bruta (33%) e energia bruta (3000 Kcal/Kg) estão próximos às exigências nutricionais para tilápia (NRC, 2011; Ng e Romano, 2013), com exceção aos baixos níveis de lipídeos (0,60%) e altos teores de cinzas (30%) (Avinimelech, 2009), como demonstrado na tabela 1.

Entre os fatores que interferem na composição do floco cita-se: a fonte de carbono (De Schryver e Verstraete, 2009; Crab *et al.*, 2010; Wei *et al.*, 2016; Mansour e Esteban, 2017; Ekasari *et al.*, 2019), o tamanho do floco (Ekasari *et al.*, 2014), o tempo de formação do floco

(Dauda *et al.*, 2018) e a quantidade de material inorgânico (De Schryver e Verstraete, 2009; Silva *et al.*, 2018, 2020). Wei *et al.* (2016) verificaram que diferentes fontes de carbono resultaram diferentes composições de proteína, lipídeos, energia bruta, carboidratos e cinzas. Ekasari *et al.* (2014) observaram que flocos maiores que 100 µm apresentaram maiores concentrações de proteína e lipídeos. Enquanto que flocos menores que 48 µm apresentaram maiores quantidades de aminoácidos essenciais e melhor incorporação de nitrogênio no animal. Possivelmente, devido sua melhor digestibilidade e facilidade de ingestão. Dauda *et al.* (2018) verificaram que os níveis de proteína, lipídeos e cinzas do floco de cinco semanas foram maiores que o de oito semanas de formação, mostrando a necessidade de remoção parcial do floco. Wei *et al.* (2016) mostraram que o alto teor de cinzas diminuiu a digestibilidade do floco.

**Tabela 1.** Valores médios do valor nutricional do biofloco e exigências para tilápias.

Variáveis	Biofloco	Exigências para tilápia
Proteína (%)	33 <sup>I</sup>	29 <sup>II</sup>
Energia (Kcal/Kg)	3000 <sup>I</sup>	3400 <sup>II</sup>
Extrato etéreo (%)	0,60 <sup>I</sup>	5-12 <sup>III</sup>
Cinzas (%)	30 <sup>I</sup>	<19 <sup>IV</sup>

<sup>I</sup>Avnimelech (2009).

<sup>II</sup>NRC (2011).

<sup>III</sup>Lim *et al.* (2011).

<sup>IV</sup>Ng e Romano (2013).

O BFT tem sido testado como nutriente para rações (Kuhn *et al.*, 2010; Ekasari *et al.*, 2019; Menaga *et al.*, 2019). Contudo, sua utilização como alimento seco é inviável devido os custos operacionais, por isso sua utilização como alimento natural e acessível 24 horas por dia continua sendo a mais recomendada (Avnimelech, 1999; Hargreaves, 2013; Menaga *et al.*, 2019). Neste contexto, Menaga *et al.* (2019) verificaram maior tempo de permanência da ração ofertada para animais cultivados em bioflocos, provavelmente por estarem saciados com o consumo de floco. Dessa forma, estratégias como reduzir o nível de proteína bruta da dieta (Avnimelech, 1999; Azim e Little, 2008; Mansour e Esteban, 2017; Silva *et al.*, 2018; Green *et al.* 2019a; Hisano *et al.*, 2019), definição de densidade de estocagem (Haridas *et al.*, 2017; Manduca, 2017; Manduca *et al.*, 2020) e manejo alimentar (Brito, 2018; Leal, 2018; Pérez-

Fuentes *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2020), são necessárias para melhorar o cultivo de tilápias em bioflocos.

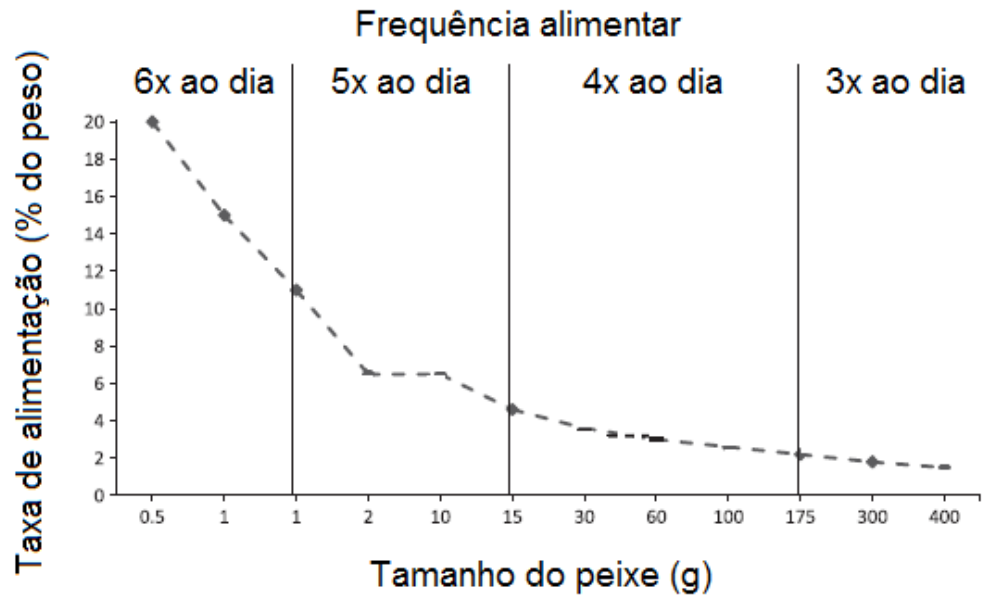
#### **2.4. Frequência alimentar**

A frequência alimentar consiste no número de alimentações oferecidas diariamente aos animais (Villarroel *et al.*, 2011). A busca pelo equilíbrio entre a frequência alimentar ideal e melhor desempenho dos peixes é de grande relevância para gerenciamento da produção em pisciculturas (Aderolu *et al.*, 2010; Daudpota *et al.*, 2016). Aumento da digestibilidade, melhora da qualidade da água e do desempenho zootécnico são alguns benefícios do ajuste da frequência alimentar (Aderolu *et al.*, 2010). No entanto, há necessidade de mais estudos sobre comportamento alimentar relacionado à frequência alimentar, tempo de alimentação e estímulo para o consumo de peixes (Martins *et al.*, 2011).

Estudos revelam que o aumento da frequência alimentar melhora o desempenho até um determinado limite (Wang *et al.*, 1998; Tian *et al.*, 2015; Daudpota *et al.*, 2016; Aderolu *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2019). A subalimentação devido à baixa frequência alimentar resulta em baixo crescimento (Wang *et al.*, 1998). Por outro lado, a alimentação várias vezes ao dia promove uniformidade de lote (Aderolu *et al.*, 2017), diminui a agressividade dos peixes dominantes e possibilita que peixes menores tenham acesso ao alimento (Wang *et al.*, 1998, 2007; Aderolu *et al.*, 2017; Thongprajukaew *et al.*, 2017). Porém, o aumento do manejo com frequência alimentar pode-se tornar dispendioso e inviável para grandes propriedades (Yeoh *et al.*, 2010; Sousa *et al.*, 2012), principalmente devido ao aumento dos custos com mão de obra (Riche *et al.*, 2004). Além disso, a superalimentação sobrecarrega o sistema digestivo (Riche *et al.*, 2004; Booth *et al.*, 2008), e está relacionado ao aumento da conversão alimentar e poluição ambiental (Daudpota *et al.*, 2017). Normalmente, o tempo de esvaziamento gástrico está correlacionado com o regime alimentar, como observado em juvenis de tilápia do Nilo de 183 g que quando alimentados até a saciedade retornam o apetite inicial de 4 a 5 horas com temperatura de 28°C (Riche *et al.*, 2004).

A determinação de uma frequência alimentar adequada depende de vários fatores, como: temperatura, espécie, tamanho do peixe, densidade de estocagem, tempo de alimentação e composição da dieta (Wang *et al.*, 1998; Riche *et al.*, 2004; Ng e Romano, 2013; Aderolu *et al.*, 2017). Normalmente, o estímulo de consumo de ração tende a diminuir com crescimento do peixe (Martins *et al.*, 2011). Na fase inicial a frequência alimentar para tilápia pode variar

de seis a oito vezes ao dia e reduz para duas a três vezes na fase de engorda (NRC, 2011; Ng e Romano, 2013), conforme apresentado na figura 2. No entanto, estas recomendações são baseadas em sistemas tradicionais de produção (tanque-rede, viveiros, recirculação de água).



**Figura 2.** Recomendação de taxa de alimentação (% peso corporal) e frequência de alimentação (vezes / dia) em função do tamanho do peixe.

Fonte: Adaptado de Ng e Romano (2013).

Efeitos da frequência alimentar foram testados em juvenis de tilápias em sistema de recirculação de água (Thongprajukaew *et al.*, 2017), em sistema com troca de 50% de água (Huang *et al.*, 2015), em tanque-rede (Sousa *et al.*, 2012; Alemayehu e Getahun, 2017) e em BFT (Leal, 2018; Silva *et al.*, 2020). A presença de alimento natural pode reduzir o efeito do aumento da frequência alimentar. Biswas *et al.* (2006) avaliaram diferentes frequências alimentares para carpas mrigal (*Cirrhinus mrigala*) e rohu (*Labeo rohita*), e verificaram que a alimentação uma vez ao dia foi suficiente para criação destes animais em viveiros com presença de plâncton. Leal (2018) testou três frequências alimentares e dieta extrusada e peletizada, e mostrou que a frequência alimentar de duas vezes ao dia com ração extrusada foi suficiente para juvenis de tilápia do Nilo com aproximadamente 44 g cultivados em BFT. Neste cenário, estudos realizados em BFT mostram que a frequência alimentar de duas e três vezes são as mais praticadas para juvenis de tilápias (Tabela 2).

**Tabela 2.** Frequências alimentares praticadas em estudos com tilápias em bioflocos em diferentes fases de crescimento.

<b>Peso inicial (g)</b>	<b>vezes / dia</b>	<b>Referências</b>
0,33	4	Kim <i>et al.</i> , 2019
0,66	5	Alvarenga <i>et al.</i> , 2018
1,40	4/5	Alves <i>et al.</i> , 2017
3,21	2	Pérez-Fuentes <i>et al.</i> , 2018
6,31	2	Hisano <i>et al.</i> , 2019
9,94	3	Silva <i>et al.</i> , 2018
24,17	3	Luo <i>et al.</i> , 2014
32,20	2	Green <i>et al.</i> , 2019a
38,40	2	Pérez-Fuentes <i>et al.</i> , 2016
47,75	3	Silva <i>et al.</i> , 2018
48,00	2	Mansour e Esteban, 2017
50,61	2	Long <i>et al.</i> , 2015
79,28	2	Gallardo Colli <i>et al.</i> , 2019
99,00	2	Azim e Little, 2008
99,62	2	Liu <i>et al.</i> , 2018b

### **2.5. Taxa de alimentação**

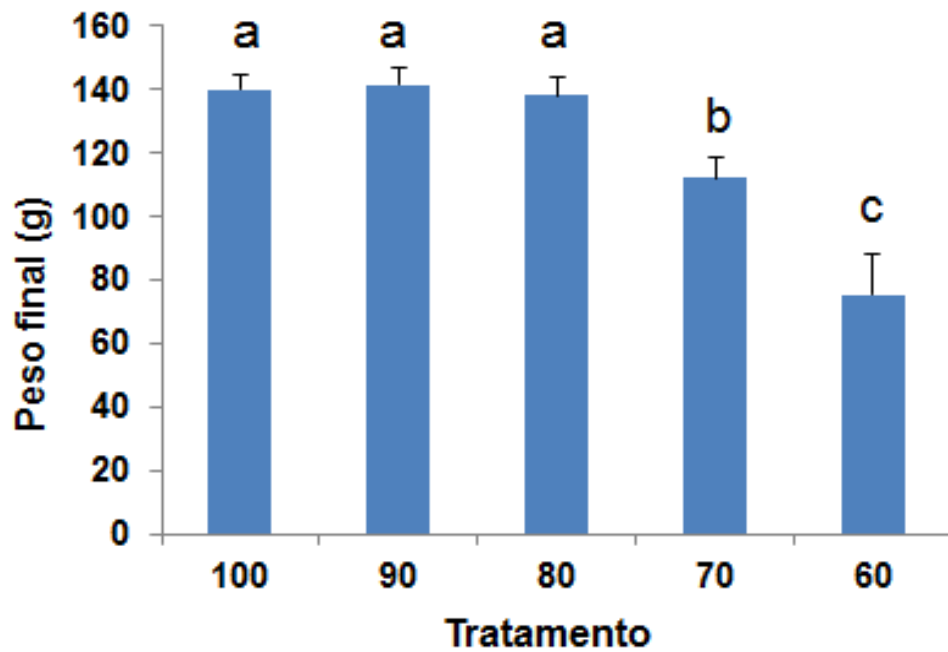
O conhecimento sobre a quantidade de alimento a ser fornecido para os animais é de vital importância para qualquer atividade zootécnica, pois a alimentação pode representar a maior proporção do custo na produção de animais (Wang *et al.*, 2020). Normalmente piscicultores tendem a fornecer mais ou menos alimento que o necessário, resultando em baixo retorno econômico (Abdelghany e Ahmad, 2002; Wang *et al.*, 2020). Por isso, há a necessidade de dados para recomendação de quantidade de alimento em BFT.

A taxa de alimentação inadequada tende a reduzir com o crescimento do animal (Craig, 2009; NRC, 2011; Ng e Romano, 2013), conforme apresentado na figura 2. Pode variar de acordo com o sistema de produção, espécie, tamanho do animal, composição da ração e valor nutricional dos alimentos (Abdelghany e Ahmad, 2002; Cho *et al.*, 2007; Craig, 2009). Simplesmente, os peixes tendem a reduzir o consumo quando a temperatura e o nível de oxigênio dissolvido estão fora da faixa ideal (Craig, 2009; NRC, 2011). Além disso, o aumento da taxa de alimentação está relacionado ao aumento de sólidos em BFT (Avnimelech, 2009), que pode prejudicar o desempenho dos animais (Manduca, 2017; Manduca *et al.*, 2020)

Os peixes devem receber alimento de forma a alcançar seu melhor desempenho (NRC, 2011). Baixas taxas de alimentação afetam o crescimento, aumentando a heterogeneidade de lote, o estresse e a suscetibilidade a doenças dos animais (Yuan *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2020). Por outro lado, o fornecimento de alimento até a aparente saciedade (cessar alimentação) ou superalimentação pode não ser a melhor opção em um sistema de produção, pois o excesso de alimento pode piorar a conversão alimentar, aumentar os custos de produção e tem efeitos negativos nos parâmetros de qualidade de água (Mihelakakis *et al.*, 2002; Biswas *et al.*, 2006; Cho *et al.*, 2006, 2007; Kim *et al.*, 2007; Yuan *et al.*, 2010). Além disso, o excesso de alimento resulta em aumento da deposição de gordura corporal (Shimeno *et al.*, 1997; Abdelghany e Ahmad, 2002; Mihelakakis *et al.*, 2002; Eroldogan *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2007; Yuan *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2017). Neste contexto, a alimentação levemente restrita pode resultar em melhora na eficiência alimentar, otimizando do uso de alimentos (Shimeno *et al.*, 1997; Mihelakakis *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2007).

Os efeitos de diferentes taxas de alimentação foram também avaliados em tilápias produzidas em sistema com troca constante de água (El-Saidy e Gaber, 2005), em sistema recirculação de água (El-Sayed, 2002; Bhujel *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2017) e em BFT (Brito, 2017; Silva *et al.*, 2020). Estudos realizados por Abdelghany e Ahmad (2002), verificaram que o alimento natural contribui significativamente para redução de ração ofertada para carpa e tilápia do Nilo em viveiros fertilizados. Sendo que o aumento da taxa de alimentação além do ideal resultou em diminuição da rentabilidade do sistema. Neste contexto, Pérez-Fuentes *et al.* (2018) testaram diferentes taxas de alimentação (100, 90, 80, 70 e 60%) para juvenis de tilápia do Nilo com peso inicial de 3,21 g cultivados em sistema de bioflocos e relataram que é possível reduzir em 20% a oferta de ração (Figura 3).

Por isso é necessário desenvolver estratégias para ajustar a melhor taxa de alimentação e a frequência alimentar para promover melhor aproveitamento do floco pelos peixes. Provavelmente a alimentação máxima (à saciedade) e várias frequências alimentares adaptadas de outros sistemas de produção (recirculação, tanque-rede, tanque escavado) não constituem a melhor opção para o sistema de bioflocos.



**Figura 3.** Peso final de juvenis de tilápia do Nilo cultivadas em bioflocos alimentadas com diferentes taxas de alimentação. 100% (alimentação total de ração), 90% (redução de 10% da ração), 80% (redução de 20% da ração), 70% (redução de 30% da ração) e 60% (redução de 40% da ração).

Fonte: Adaptado de Pérez-Fuentes *et al.* (2018).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo geral**

Avaliar as respostas de diferentes taxas de alimentação e frequências alimentares para juvenis de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) cultivados em sistema de bioflocos.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Elaborar recomendações de manejo alimentar para o cultivo de tilápia do Nilo em sistema de bioflocos;
- Avaliar o efeito do manejo alimentar de tilápias cultivadas em BFT sobre o desempenho zootécnico, sobrevivência, utilização de proteína, deposição de gordura;
- Avaliar o efeito do manejo alimentar de tilápias cultivadas em BFT sobre a qualidade de água;
- Determinar a melhor taxa de alimentação e frequência alimentar para tilápias do Nilo que otimizem o aproveitamento de floco;
- Avaliar o efeito do manejo alimentar de tilápias na composição nutricional do floco.

#### 4. ARTIGO

**Título:**

**Estratégias de manejo alimentar para otimizar o uso de alimento em suspensão para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada em bioflocos**

*Feeding management strategies to optimize the use of suspended feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in bioflocs*

**Autores:** Marcos Antônio da Silva<sup>(1)</sup>, Érika Ramos de Alvarenga<sup>(1)</sup>, Gabriel Francisco de Oliveira Alves<sup>(1)</sup>, Ludson Guimarães Manduca<sup>(1)</sup>, Eduardo Maldonado Turra<sup>(1)</sup>, Franklin Fernando Batista da Costa<sup>(1)</sup>, Suellen Cristina Moreira de Sales<sup>(1)</sup>, Namíbia Rizzari Leite<sup>(1)</sup>, Vinícius Monteiro Bezerra<sup>(1)</sup> e Edgar de Alencar Teixeira<sup>\*(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Caixa Postal 567, Campus Pampulha, CEP 30123-970, Belo Horizonte, MG, Brazil.

**\* autor correspondente:**

Telefone: 55 31 3409 2190 E-mail: [edgarvet@hotmail.com](mailto:edgarvet@hotmail.com) (Edgar de Alencar Teixeira)

**Abstract**

Foram estudadas estratégias de alimentação para juvenis de tilápias (peso médio inicial: 32 g) cultivadas em sistema de bioflocos (fonte de carbono: açúcar de cana, relação C/N: 6/1) por 56 dias. Utilizou-se o delineamento experimental fatorial  $4 \times 3$ , com quatro frequências de alimentação (uma, duas, três e quatro vezes ao dia) e três taxas de alimentação (consumo de 50, 75 e 100% em relação à saciedade aparente), com quatro repetições. Com exceção de oxigênio dissolvido, taxa de retenção de proteínas e proteína corporal, as diferentes frequências alimentares não provocaram alterações significativas nos dados de qualidade de água, desempenho, sobrevivência, utilização de proteína, deposição de nutrientes, composição corporal e composição nutricional do floco. A redução na taxa de alimentação resultou em menor peso médio final e menor crescimento, mas promoveu uma diminuição na concentração de nitrogênio amoniacal total, sólidos, índice hepatossomático e lipídios corporais. Encontramos uma melhor eficiência na utilização de proteínas com 75% de ração. A composição nutricional do floco não foi afetada pela frequência de alimentação, e a redução da taxa de alimentação de 100% para 75% não alterou o teor de proteína do floco. Assim, a frequência de alimentação uma vez ao dia pode ser utilizada para juvenis de tilápia do Nilo criados em bioflocos. Embora a taxa de alimentação de 100% em relação à saciedade tenha levado a um melhor desempenho, pode não ser a melhor opção em bioflocos devido à pior conversão alimentar e à redução da qualidade da água.

**Palavras-chave:** Desempenho, frequência alimentar, qualidade de água, taxa de alimentação.

#### 4.1. Introdução

Normalmente, cerca de 75% do nitrogênio e fósforo da dieta não são aproveitados pelos peixes nos sistemas de produção convencionais (Crab *et al.*, 2007). Por outro lado, a tecnologia de bioflocos (BFT) baseia-se na retenção de detritos fecais e sobras de ração, com agitação e aeração constantes para manter sólidos em suspensão e o nível adequado de oxigenação (Azim e Little, 2008; Luo *et al.*, 2014) e com demanda mínima de água (Crab *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2018). Devido à redução da troca de água, o BFT promove a reciclagem de nutrientes nos sistemas de aquicultura (Ahmad *et al.*, 2017; Avnimelech, 2009; Crab *et al.*, 2007). Nesse sistema, as bactérias heterotróficas usam o carbono orgânico como fonte de energia e transformam a amônia (que é tóxica para os peixes) em suas proteínas celulares (Avnimelech, 1999; 2007; Azim *et al.*, 2008; Crab *et al.*, 2007). Além das bactérias heterotróficas, as bactérias nitrificadoras têm uma contribuição significativa na remoção de compostos nitrogenados no BFT, transformando a amônia em composições químicas menos tóxicas para peixes (Ebeling *et al.*, 2006).

Flocos microbianos são formados por um agregado de organismos e matéria orgânica, incluindo bactérias, protozoários, nematóides, rotíferos, oligochaetas, algas e partículas orgânicas (Azim e Little, 2008; Azim *et al.*, 2008; Crab *et al.*, 2009) que serve como fonte de adicional de alimento para organismos filtradores, como a tilápia do Nilo (Ahmad *et al.*, 2017; Azim e Little, 2008; Luo *et al.*, 2014). Nesse contexto, seria possível reduzir a quantidade de alimento fornecida aos peixes no sistema de bioflocos (Pérez-Fuentes *et al.*, 2018).

O desenvolvimento de estratégias alimentares que permitam melhorar o uso dos alimentos pelos animais é de grande relevância para a sustentabilidade econômica e ambiental. Nesse contexto, a frequência e a taxa de alimentação têm efeitos diretos no crescimento, eficiência alimentar e qualidade da água (Abdelghany e Ahmad, 2002; Biswas, *et al.*, 2006). Nos peixes, o aumento da frequência de alimentação promove um melhor desempenho, até certo ponto (Tian *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 1998; Wu *et al.*, 2019), indicando a necessidade de monitorar a partição de alimentos oferecida diariamente. Altas frequências podem piorar a conversão alimentar porque o animal recebe uma nova refeição sem terminar a digestão da anterior (Booth *et al.*, 2008; Riche *et al.*, 2004). Assim, reduzir a frequência dos alimentos pode resultar em melhor eficiência alimentar, além de economia de tempo e trabalho (Riche *et al.*, 2004).

A taxa de alimentação é outro fator importante na produção animal, o conhecimento da taxa ideal de alimentação pode resultar no desenvolvimento de práticas que favorecem melhorar a conversão alimentar, reduzir a deposição excessiva de gordura e evitar a deterioração da qualidade de água (Abdelghany e Ahmad, 2002; Biswas *et al.*, 2006; Cho *et al.*, 2006; Dong *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2015; Mihelakakis *et al.*, 2002). Esses estudos testaram diferentes taxas de alimentação para diferentes espécies de peixes e mostraram que o aumento da taxa de alimentação pode não ser a melhor opção, pois impacta diretamente no consumo de ração e na viabilidade econômica da produção.

Vários estudos investigaram a nutrição de peixes em BFT (Avnimelech, 2007; Avnimelech e Kochba, 2009; Azim e Little, 2008; Ekasari *et al.*, 2014; Green *et al.*, 2019; Pérez-Fuentes *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2018). No entanto, não foram encontrados nenhum estudo que investigasse em conjunto o impacto de diferentes taxas e frequências de alimentação no desempenho de tilápias criadas em BFT. Manipular a taxa de alimentação e a frequência de alimentação é algo que pode ser realizado pelo produtor, e a determinação de valores ótimos para essas duas variáveis pode contribuir para o melhor uso do BFT. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a frequência e taxa de alimentação ideal para juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) criados em bioflocos, avaliando os aspectos qualidade da água, desempenho, sobrevivência, utilização de proteínas, deposição de nutrientes, composição corporal e composição nutricional do bioflocos.

## **4.2. Material e métodos**

### **4.2.1. Desenho Experimental**

O experimento foi conduzido dentro de uma estufa agrícola mantida no Laboratório de Aquacultura (Laboratório de Aquacultura - LAQUA) da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. Os procedimentos experimentais foram realizados em conformidade com as leis, políticas e diretrizes institucionais e nacionais para o cuidado e uso de animais em laboratório. Todos os procedimentos foram revisados e aprovados anteriormente pelo Comitê de Ética em Uso de Animais da Universidade Federal de Minas Gerais sob o protocolo de número 336/2018. Para o experimento, foram utilizados 3.360 juvenis de tilápia do Nilo (*O. niloticus*) masculinizados. Os peixes foram distribuídos em tanques de polietileno com volume de 1.000 L (volume útil de 800 L), 70 peixes por tanque, com peso médio de  $31,73 \pm 0,45$  g, alimentados com ração comercial (Ração Propescado-Nutriave)

contendo 10% de umidade, 36% de proteína bruta, 8% de lipídio bruto e 14% de cinzas por 56 dias. A composição nutricional da dieta analisada é mostrada na Tabela 3.

**Tabela 3.** Composição da ração comercial Propescado-Nutriave de 2 - 4 mm utilizada no experimento.

<b>Composição (%)</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Analisada</b>
Umidade	10,00	7,44
Proteína bruta	36,00	37,54
Extrato etéreo	8,00	8,12
Cinzas	14,00	6,80

Um delineamento fatorial ( $4 \times 3$ ) foi realizado com quatro frequências de alimentação por dia e três níveis de taxas de alimentação, em um delineamento em blocos casualizados (dois blocos no tempo) com quatro repetições (duas repetições por bloco, totalizando 48 unidades experimentais). As quatro frequências de alimentação eram: uma vez ao dia (08:00); duas vezes ao dia (08:00 e 16:00); três vezes ao dia (08:00, 12:00 e 16:00); e quatro vezes ao dia (08:00, 10:00, 14:00 e 16:00). Os três níveis de alimentação foram de 50%, 75% e 100% de consumo em relação à aparente saciedade. Após uma hora e meia de alimentação, as sobras foram coletadas e armazenadas em freezer a  $-18^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente, as sobras foram secas em estufa ventilada a  $55^{\circ}\text{C}$  e pesadas.

#### 4.2.2. Variáveis de qualidade de água

A água utilizada no experimento foi obtida de um sistema de bioflocos previamente estabelecido. As unidades experimentais tinham suprimento de ar constante por sopradores radiais e mangueiras microporosas. As variáveis de qualidade da água, como oxigênio dissolvido (OD), temperatura, pH e salinidade, foram monitoradas duas vezes por dia (8:00 e 16:00) usando uma sonda multiparâmetros AKSO modelo AK88 (AKSO). Para manter a alcalinidade acima de 60 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , foi adicionado calcário dolomítico nos tanques. A salinidade foi mantida em 2-3 g/L com sal comum (NaCl) para reduzir a toxicidade do nitrito durante possíveis picos de nitrito (Alvarenga *et al.*, 2018).

As análises de nitrogênio amoniacal total (N-AT) e nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) foram realizadas duas vezes por semana, de acordo com metodologias estabelecidas pela UNESCO (1983) e

Bendschneider e Robinson (1952), respectivamente. Quando as concentrações de N-AT atingiram valores  $\geq$  a 1 mg/L, açúcar de cana foi adicionado pela manhã para servir como fonte de carbono orgânico a 6 g (12 g de açúcar) de carbono para cada 1 g de N-AT. O carbono orgânico favorece o desenvolvimento de bactérias heterotróficas que reduzem rapidamente os níveis de N-AT (Ebeling *et al.*, 2006). A alcalinidade e o volume de sólidos sedimentáveis (SS) foram medidos duas vezes por semana, de acordo com as metodologias propostas por APHA (1998) e Avnimelech (2009), respectivamente. Os sólidos suspensos totais (SST) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) foram quantificado uma vez por semana, de acordo com as metodologias propostas por Strickland e Parsons (1972) e Monteiro *et al.* (2003), respectivamente. A partir da terceira semana do experimento, taxas de renovação de água de 17,5% foram adotadas duas vezes por semana para evitar o excesso de sólidos em suspensão (Manduca *et al.*, 2020).

#### 4.2.3. Desempenho, sobrevivência, utilização de proteína e deposição de nutrientes

No final do estudo, o desempenho, a sobrevivência, a utilização de proteínas e a deposição de nutrientes foram avaliados e determinados da seguinte forma:

$$\text{Peso médio final (PF)} = \frac{\text{peso total de peixe em cada tanque (g)}}{\text{número de peixes em cada tanque}};$$

$$\text{Ganho de peso diário (GPD)} = \frac{\text{peso médio final (g)} - \text{peso médio inicial (g)}}{\text{dias}};$$

$$\text{Taxa de crescimento específico (TCE)} = \left( \frac{\ln \text{ peso final (g)} - \ln \text{ peso inicial (g)}}{\text{dias}} \right) \times 100;$$

$$\text{Conversão alimentar aparente (CAA)} = \frac{\text{consumo de ração (g)}}{\text{ganho de peso (g)}};$$

$$\text{Densidade de estocagem} = \frac{\text{biomassa final (kg)}}{\text{volume útil do tanque (m}^3\text{)}};$$

$$\text{Sobrevivência} = \left( \frac{\text{número de peixes no final do experimento}}{\text{número de peixes no início do experimento}} \right) \times 100;$$

$$\text{Consumo de ração (CR)} = \frac{\text{consumo médio total (g)}}{(\text{número de peixes no final} + \text{número de peixes no início}) \div 2};$$

$$\text{Taxa de eficiência proteica (TEP)} = \frac{\text{ganho de peso (g)}}{\text{Consumo de proteína (g)}};$$

$$\text{Eficiência de retenção de proteínas (ERP)} = \left( \frac{\text{ganho de proteína (g)}}{\text{Consumo de proteína (g)}} \right) \times 100;$$

$$\text{Índice viscerossomático (IVS)} = \left( \frac{\text{peso das vísceras (g)}}{\text{peso corporal (g)}} \right) \times 100;$$

$$\text{Índice hepatossomático (IHS)} = \left( \frac{\text{peso do fígado (g)}}{\text{peso corporal (g)}} \right) \times 100.$$

#### 4.2.4. Análises proximais

Ao final do experimento, dois peixes de cada unidade experimental foram coletados aleatoriamente, sacrificados, cortados e congelados em freezer a  $-18^{\circ}\text{C}$  para análise da composição da carcaça. Em seguida, a carcaça foi autoclavada a  $121^{\circ}\text{C}$ ,  $1\text{ kgf/cm}^2$  por 20 min. e seca a  $55^{\circ}\text{C}$  em estufa ventilada por 72 horas para eliminar a umidade das amostras e moída a 1 mm. A composição da carcaça (matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo e cinzas) foi determinada de acordo com a metodologia padrão de AOAC (2005).

Um dia antes do final do experimento, foram coletados 40 L de água em suspensão de cada unidade experimental. Aproximadamente 1 L de material sedimentado foi armazenado a  $-18^{\circ}\text{C}$ , seco, moído e analisado seguindo a metodologia descrita para a composição da carcaça.

#### 4.2.5. Análise estatística

O experimento foi realizado em delineamento fatorial ( $4 \times 3$ ) em dois blocos no tempo, totalizando quatro repetições por tratamento (duas repetições por bloco). As análises estatísticas foram realizadas usando o programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2015). A ANOVA foi realizada nos dados experimentais que mostraram normalidade, seguida pelo teste de Tukey ( $CV < 10\%$ ), teste Student-Newman-Keuls (SNK) ( $CV$  de 10% a 15%) ou teste de Duncan ( $CV > 15\%$ ). As diferenças foram consideradas significativas com  $p < 0,05$ . Para dados que não seguiram uma distribuição normal, foi utilizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ). Os coeficientes de correlação de Spearman foram calculados entre nitrato e sobrevivência.

### 4.3. Resultados

#### 4.3.1. Qualidade de água

Como esperado, não detectamos diferença significativa para temperatura entre os tratamentos. A concentração de OD foi a única variável afetada pela frequência de alimentação. A taxa de alimentação teve efeito significativo para OD, pH, alcalinidade, N-AT, SST, SS e nitrato. A redução da taxa de alimentação resultou em menor concentração de N-AT, SST e SS. Não encontramos efeito significativo do tratamento alimentado alimentado a 75% quando comparado ao grupo alimentado à saciedade (100%), para as variáveis OD, pH e alcalinidade. O menor nível de amônia não ionizada ( $\text{NH}_3$ ) e nitrato foi encontrado quando os peixes foram alimentados a 75% e 50%, respectivamente (Tabelas 4 e 5).

#### 4.3.2. Desempenho, sobrevivência, utilização de proteína e deposição de nutrientes

As frequências de alimentação utilizadas não afetaram significativamente o desempenho dos peixes cultivados. Além disso, não encontramos diferença significativa na retenção de proteínas em juvenis alimentados duas a quatro vezes ao dia (Tabela 6). Em relação à taxa de alimentação, os peixes alimentados à saciedade (100%) apresentaram maior crescimento e ganho de peso diário (Figura 4). No entanto, peixes alimentados com taxas de alimentação mais baixas tenderam a mostrar maior eficiência na utilização de proteínas e menor taxa de conversão alimentar e IHS. As maiores densidades de estocagem foram observadas com duas e quatro frequências alimentares diárias e taxas de alimentação à saciedade e 75% (Tabela 6).

#### 4.3.3. Composição corporal

Os dados de composição corporal dos juvenis de tilápia coletados ao final deste estudo estão apresentados na Tabela 7. Os peixes alimentados quatro vezes apresentaram maior teor de proteína em relação a uma e duas vezes ao dia. A redução na taxa de alimentação para juvenis de tilápia do Nilo resultou em menor porcentagem de extrato etéreo, além de maior teor de umidade e cinzas na carcaça. No entanto, o teor de proteína bruta não foi significativamente afetado pela taxa de alimentação.

#### 4.3.4. Composição nutricional do floco

Não encontramos diferença significativa na composição nutricional do floco submetido a diferentes frequências alimentares. O extrato etéreo do biofloco também não diferiu para diferentes taxas de alimentação. Por outro lado, houve um aumento no teor de matéria seca e teor de cinzas do floco com a redução na taxa de alimentação dos juvenis de tilápia. Além disso, o teor de proteína bruta do floco aumentou nos tratamentos com taxas de alimentação de 100% e 75% em relação à saciedade (Tabela 8).

**Tabela 4.** Variáveis de qualidade da água no sistema bioflocos com diferentes frequências e taxas de alimentação para juvenis de tilápia do Nilo.

Tratamentos	T (°C) (média diária)*	T (8:00)*	T (16:00)*	OD (mg/L)* (média diária)*	OD (8:00)*	OD (16:00)*	pH (média diária)*	pH (8:00)*	pH (16:00)*
<b>Frequência alimentar</b>									
1	28,13	26,67	29,88	5,49 <sup>b</sup>	5,87 <sup>b</sup>	5,02	6,65	6,65	6,73
2	28,08	26,69	29,73	5,67 <sup>ab</sup>	6,07 <sup>ab</sup>	5,19	6,63	6,64	6,69
3	28,05	26,61	29,77	5,83 <sup>a</sup>	6,29 <sup>a</sup>	5,28	6,70	6,71	6,75
4	28,05	26,57	29,81	5,78 <sup>a</sup>	6,29 <sup>a</sup>	5,17	6,78	6,79	6,83
<b>Taxa de alimentação</b>									
50%	28,01	26,55	29,77	5,99 <sup>a</sup>	6,40 <sup>a</sup>	5,48 <sup>a</sup>	6,92 <sup>a</sup>	6,93 <sup>a</sup>	6,94 <sup>a</sup>
75%	28,09	26,67	29,79	5,63 <sup>b</sup>	6,06 <sup>b</sup>	5,13 <sup>b</sup>	6,63 <sup>b</sup>	6,63 <sup>b</sup>	6,70 <sup>b</sup>
100%	28,12	26,69	29,83	5,46 <sup>b</sup>	5,93 <sup>b</sup>	4,89 <sup>c</sup>	6,52 <sup>b</sup>	6,52 <sup>b</sup>	6,61 <sup>b</sup>
<b>ANOVA</b>									
Bloco	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,001	NS	NS	<0,001
Frequência alimentar (F)	NS	NS	NS	<0,01	<0,0001	NS	NS	NS	NS
Taxa de alimentação (T)	NS	NS	NS	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Interação F x T	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV	1,26	1,09	1,50	3,58	3,13	4,51	2,09	2,00	1,83
Referências	27-32 <sup>I</sup>	-	-	>4 <sup>II</sup>	-	-	6-9 <sup>II</sup>	-	-

Valores são médias de quatro repetições para cada tratamento.

\*As médias com letras diferentes na mesma coluna diferem de acordo com a ANOVA e teste Tukey.

NS - não significativo, T - temperatura, OD – oxigênio dissolvido.

<sup>I</sup>El-Sayed (2006).

<sup>II</sup>Wedemeyer (1996).

**Tabela 5.** Variáveis de qualidade da água (média ou mediana e mínimo - máximo) em sistema de bioflocos com diferentes frequências e taxas de alimentação para juvenis de tilápia do Nilo.

Tratamentos	ALC (mg de CaCO <sub>3</sub> /L)**	N-AT (mg/L)**	NH <sub>3</sub> (µg/L)**	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)**	SST (mg/L)*	SS (ml/L)**	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)**
<b>Frequência alimentar</b>							
1	54,58 (20-160)	0,46 (0,04-5,82)	1,40 (0,08-40)	0,32 (0,00-3,95)	835,92 (465-1430)	44,93 (8-155)	451,24 (110,74-805,27)
2	46,67 (20-160)	0,40 (0,04-2,74)	1,20 (0,07-10)	0,22 (0,00-2,19)	811,33 (375-1425)	43,04 (11-225)	469,78 (122,36-917,01)
3	53,89 (20-130)	0,35 (0,02-4,37)	1,00 (0,11-10)	0,29 (0,00-8,29)	808,12 (245-1425)	40,50 (2-140)	399,68 (108,19-686,25)
4	55,97 (20-200)	0,40 (0,04-3,28)	1,30 (0,06-10)	0,23 (0,00-9,31)	802,64 (410-1450)	36,62 (7,5-145)	385,65 (94,29-795,65)
<b>Taxa de alimentação</b>							
50%	56,39 (20-200) <sup>a</sup>	0,22 (0,04-1,69) <sup>a</sup>	1,40 (0,08-40) <sup>b</sup>	0,28 (0,00-8,29)	689,17 (245-1035) <sup>a</sup>	30,54 (2-64) <sup>a</sup>	376,39 (94,29-702,79) <sup>a</sup>
75%	50,83 (20-160) <sup>b</sup>	0,39 (0,04-3,28) <sup>b</sup>	0,99 (0,07-10) <sup>a</sup>	0,25 (0,00-5,00)	825,75 (450-1425) <sup>b</sup>	42,97 (10-100) <sup>b</sup>	455,65 (130,83-886,97) <sup>b</sup>
100%	48,33(20-160) <sup>b</sup>	0,57 (0,02-5,82) <sup>c</sup>	1,60 (0,06-10) <sup>b</sup>	0,25 (0,00-9,31)	958,28 (510-1450) <sup>c</sup>	74,25 (8-225) <sup>c</sup>	485,05 (105,72-917,01) <sup>b</sup>
<b>ANOVA</b>							
Bloco	-	-	-	-	<0,0001	-	-
Freq. alimentar (F)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Taxa de alim. (T)	<0,01	<0,0001	<0,01	NS	<0,0001	<0,0001	<0,01
Interação F x T	-	-	-	-	NS	-	-
CV	20,91	47,76	40,23	43,39	7,22	25,77	11,62
Referências	>50 <sup>III</sup>	<1 <sup>I</sup>	<100 <sup>I</sup>	<8 <sup>I</sup>	<1.000 <sup>III</sup>	<100 <sup>III</sup>	<500 <sup>IV</sup>

Valores são médias ou medianas de quatro repetições para cada tratamento.

\*Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem de acordo com a ANOVA e teste Tukey.

\*\*Medianas com diferentes letras na mesma coluna diferem de acordo com o teste Kruskal-Wallis.

NS – não significativo, ALC – alcalinidade, N-AT – nitrogênio amoniacal total, NH<sub>3</sub> – amônia não ionizada, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - nitrito, SST – sólidos suspensos totais, SS – sólidos sedimentáveis, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - nitrato.

<sup>I</sup>El-Sayed (2006).

<sup>III</sup>Avnimelech (2009).

<sup>IV</sup>Monseens *et al.* (2017).

**Tabela 6.** Desempenho, utilização de proteínas, deposição de nutrientes e sobrevivência (mínimo e máximo) de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com diferentes frequências e taxas de alimentação no sistema bioflocos.

Tratamentos	PF (g)*	TCE (%/dia)*	GPD (g/dia)*	CAA*	CR (g/peixe)*	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )**	TEP*	ERP*	IVS***	IHS***	Sobrev. (%)****
<b>Frequência alimentar</b>											
1	131,50	2,49	1,78	1,09	108,44	10,95 <sup>ab</sup>	2,56	40,48 <sup>b</sup>	10,86	2,29	100,00 (57,14-100)
2	137,97	2,58	1,90	1,05	111,17	11,94 <sup>a</sup>	2,65	42,72 <sup>ab</sup>	11,18	2,18	100,00 (97,14-100)
3	133,20	2,49	1,81	1,06	107,92	10,30 <sup>b</sup>	2,62	43,93 <sup>a</sup>	10,35	2,17	100,00 (41,43-100)
4	137,10	2,54	1,88	1,06	110,53	11,76 <sup>a</sup>	2,64	44,95 <sup>a</sup>	10,90	2,17	99,29 (95,59-100)
<b>Taxa de alimentação</b>											
50%	102,84 <sup>c</sup>	2,09 <sup>c</sup>	1,27 <sup>c</sup>	1,04 <sup>a</sup>	75,37 <sup>c</sup>	8,93 <sup>b</sup>	2,61 <sup>ab</sup>	42,58	10,67	1,83 <sup>a</sup>	100,00 (97,18-100)
75%	140,33 <sup>b</sup>	2,62 <sup>b</sup>	1,94 <sup>b</sup>	1,07 <sup>ab</sup>	111,79 <sup>b</sup>	12,09 <sup>a</sup>	2,69 <sup>a</sup>	43,93	10,90	2,25 <sup>b</sup>	100,00 (95,59-100)
100%	161,63 <sup>a</sup>	2,87 <sup>a</sup>	2,32 <sup>a</sup>	1,10 <sup>b</sup>	141,39 <sup>a</sup>	12,70 <sup>a</sup>	2,55 <sup>b</sup>	42,52	10,90	2,53 <sup>c</sup>	98,57 (41,43-100)
<b>ANOVA</b>											
Bloco	NS	<0,01	<0,05	<0,001	NS	NS	<0,001	<0,0001	<0,0001	<0,05	-
Freq. de alim. (F)	NS	NS	NS	NS	NS	<0,05	NS	<0,001	NS	NS	NS
Taxa de alim. (T)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,01	<0,0001	<0,0001	<0,01	NS	NS	<0,0001	NS
Interação F x T	NS	NS	NS	NS	NS	<0,05	NS	NS	NS	NS	-
CV	5,78	3,81	7,51	4,17	5,30	11,82	3,94	5,41	16,56	29,42	-

Values are means or medians of four replicates for each treatment.

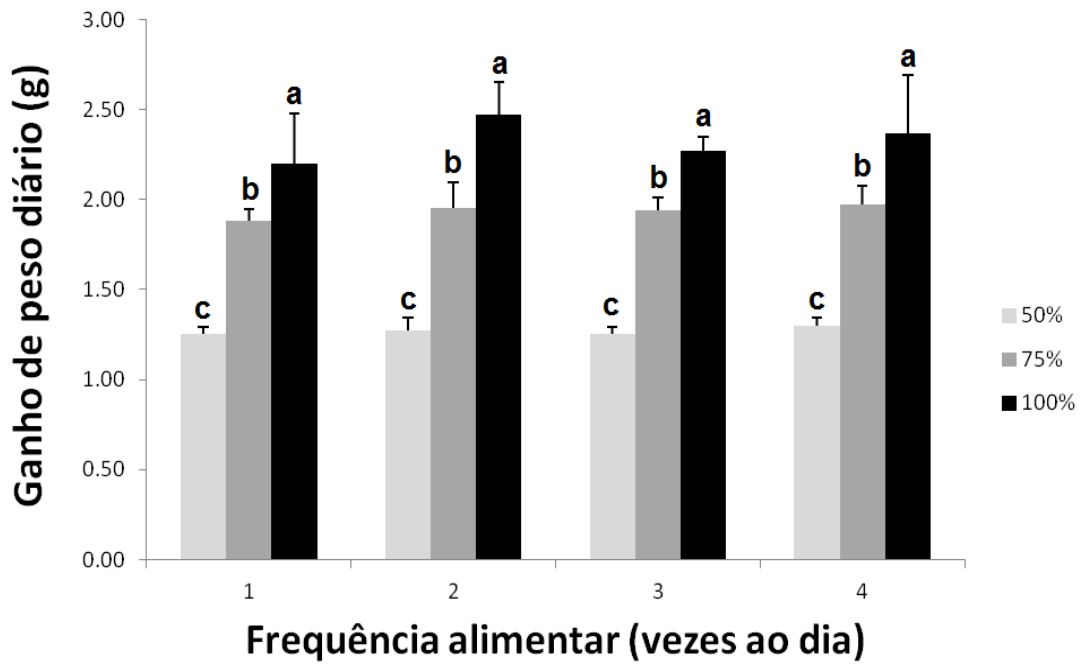
\*Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem de acordo com a ANOVA e teste Tukey.

\*\* Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem de acordo com a ANOVA e teste Student-Newman-Keuls.

\*\*\*Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem de acordo com a ANOVA e teste Duncan.

\*\*\*\*Medianas não diferem de acordo com o teste Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ).

NS - não significativo, PF - peso médio final, TCE - taxa de crescimento específico, GPD - ganho de peso diário, CAA - conversão alimentar aparente, CR - consumo médio de ração, Densidade - densidade de estocagem, TEP - taxa de eficiência proteica, ERP - eficiência de retenção de proteína, IVS - índice viscerossomático, IHS - índice hepatossomático, Sobrev. - sobrevivência.



**Figura 4.** Ganho de peso de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com diferentes frequências e taxas de alimentação no sistema de bioflocos. Tratamentos com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 7.** Composição corporal de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com diferentes frequências e taxas de alimentação no sistema bioflocos.

<b>Tratamentos</b>	<b>Umidade (%)*</b>	<b>Proteína bruta (%)*</b>	<b>Extrato etéreo (%)**</b>	<b>Cinzas (%)*</b>
<b>Amostra inicial</b>	73,42	14,45	6,71	3,61
<b>Frequência alimentar</b>				
1	70,97	15,42 <sup>b</sup>	8,61	4,43
2	70,82	15,58 <sup>b</sup>	8,50	4,48
3	70,79	15,73 <sup>ab</sup>	8,44	4,41
4	70,38	16,11 <sup>a</sup>	8,30	4,30
<b>Taxa de alimentação</b>				
50%	71,24 <sup>a</sup>	15,60	7,80 <sup>a</sup>	4,76 <sup>c</sup>
75%	70,71 <sup>ab</sup>	15,69	8,49 <sup>b</sup>	4,35 <sup>b</sup>
100%	70,27 <sup>b</sup>	15,82	9,30 <sup>c</sup>	4,11 <sup>a</sup>
<b>ANOVA</b>				
Bloco	<0,0001	<0,001	<0,0001	NS
Frequência alimentar (F)	NS	<0,001	NS	NS
Taxa de alimentação (T)	<0,01	NS	<0,0001	<0,0001
Interação F x T	NS	NS	NS	NS
CV	1,70	3,70	10,81	7,16

Valores são médias de quatro repetições para cada tratamento.

\*Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem de acordo com a ANOVA e teste Tukey.

\*\*Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem de acordo com a ANOVA e teste Student-Newman-Keuls.

NS - não significativo.

**Tabela 8.** Composição nutricional do flocos (com base na matéria seca) de sistema de bioflocos com juvenis de tilápia do Nilo alimentados com diferentes frequências e taxas de alimentação.

Tratamentos	Matéria seca (%)*	Proteína bruta (%)*	Extrato etéreo (%)**	Cinzas (%)*
<b>Frequência alimentar</b>				
1	84,97	24,69	2,26 (1,46-3,55)	38,79
2	85,00	24,54	2,04 (1,32-3,05)	37,55
3	85,84	23,45	2,14 (1,02-3,55)	38,80
4	85,76	23,60	2,08 (1,36-3,55)	39,56
<b>Taxa de alimentação</b>				
50%	87,24 <sup>a</sup>	21,26 <sup>b</sup>	1,74 (1,19-3,51)	43,16 <sup>c</sup>
75%	85,38 <sup>b</sup>	25,25 <sup>a</sup>	2,22 (1,09-3,35)	37,56 <sup>b</sup>
100%	83,53 <sup>c</sup>	25,69 <sup>a</sup>	2,30 (1,60-3,55)	35,31 <sup>a</sup>
<b>ANOVA</b>				
Bloco	<0,01	NS	-	<0,01
Frequência de alimentação (F)	NS	NS	NS	NS
Taxa de alimentação (T)	<0,0001	<0,0001	NS	<0,0001
Interação F x T	NS	NS	-	NS
CV	1,65	6,31	32,61	4,97

Valores são médias ou medianas de quatro repetições para cada tratamento.

Extrato etéreo (mínimo e máximo)

\* Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem de acordo com a ANOVA e teste Tukey.

\*\*Medianas não diferiram de acordo com Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ).

NS - não significativo.

#### 4.4. Discussão

As médias de temperatura e pH estavam dentro da faixa recomendada para a cultura da tilápia (El-Sayed, 2006; Wedemeyer, 1996). A média de alcalinidade foi próxima do mínimo recomendado para bioflocos (Avnimelech, 2009), provavelmente devido ao consumo de carbonato de cálcio por bactérias nitrificantes no sistema. Essa hipótese é corroborada pelo aumento do nitrato em todos os tratamentos. Além das bactérias heterotróficas, as nitrificantes contribuem significativamente para transformação de compostos nitrogenados no sistema de bioflocos (Azim e Little, 2008; Ebeling *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2018). Para evitar oscilações iniciais de N-AT e nitrito, conforme relatado por Luo *et al.* (2014) e Alves *et al.* (2017), os tanques foram completamente preenchidos com bioflocos previamente desenvolvidos em nosso

laboratório. No início do experimento, as concentrações de N-AT foram de cerca de 0 mg/L e as concentrações de nitrato foram de aproximadamente 300 mg/L. Os níveis de nitrato aumentaram com o tempo, excedendo 500 mg/L nas duas últimas semanas de experimento. Apesar da concentração de nitrato ter sido considerado alta (Monsees *et al.*, 2017), não foram observados efeitos negativos do nitrato na taxa de sobrevivência e no crescimento dos peixes. De fato, não encontramos uma correlação negativa significativa entre a concentração de nitrato e a taxa de sobrevivência neste experimento ( $p = 0,15$ ). Vale ressaltar que uma exposição mais prolongada a esse nível de nitrato pode reduzir o crescimento dos peixes, embora não tenha sido observada no período experimental (56 dias). A manutenção do sistema preferencialmente com bactérias heterotróficas baseado na adição de carbono orgânico torna-se inviável devido ao custo e excesso de sólidos (Azim e Little, 2008). Além disso, estudos de Azim e Little (2008) e Liu *et al.* (2018) mostraram que mesmo com a adição diária de fonte de carbono, a concentração de nitrato aumentou ao longo do tempo no BFT.

Em geral, a concentração de nitrito permaneceu estável durante todo o período experimental (Tabela 5). Apenas alguns picos isolados de nitrito (valor máximo = 9,31 mg/L) foram observados. A concentração de N-AT foi controlada pela adição de açúcar de cana para estimular as bactérias heterotróficas quando sua concentração era  $\geq 1$  mg/L.

A concentração de OD foi a única variável da qualidade da água afetada pela frequência de alimentação. Os peixes do tratamento alimentado apenas uma vez e recebeu a alimentação diária total apenas pela manhã apresentou menor concentração de OD. Contudo, a concentração média ficou bem acima do recomendado para produção de tilápias (Wedemeyer, 1996), como pode ser visto na Tabela 4. A concentração de OD no tratamento alimentado uma vez ao dia foi provavelmente afetada pela medição do nível de OD ocorrida após a alimentação matinal, pois o consumo de OD pelos peixes tende a aumentar logo após a alimentação (Boyd e Tucker, 1998).

Como esperado, o grupo de peixes do tratamento submetido à taxa de alimentação de 50% apresentaram os melhores resultados de qualidade da água, com exceção de  $\text{NH}_3$ , que pode está relacionado ao maior pH nesse tratamento. Note-se, no entanto, que os níveis de  $\text{NH}_3$  no tratamento com 50% de taxa de alimentação, assim como nos demais tratamentos, não atingiram valores que comprometiam a qualidade da água (Tabela 5), pois permaneceram bem abaixo do limite máximo indicado para o cultivo de tilápia (El-Sayed, 2006). Além disso, verificou-se que a taxa de alimentação de 75% resultou na redução da concentração de N-AT,

NH<sub>3</sub> e sólidos quando comparado a alimentação à saciedade (100%). Corroborando com esses resultados, Pérez-Fuentes *et al.* (2018), avaliaram diferentes taxas de alimentação para juvenis de tilápia em bioflocos, e não verificaram mudanças significativas na qualidade de água, reduzindo a quantidade de alimentos em 10%. As maiores diferenças observadas por esses autores ocorreram quando houve redução de 30% e 40% da taxa de alimentação em relação à saciedade.

Nas duas primeiras semanas de experimentos, os níveis de sólidos foram baixos. SS e SST foram predominantemente abaixo de 100 e 1.000 mg/L, como recomendado para tilápia em bioflocos (Avnimelech, 2009). No entanto, mesmo com uma troca mínima semanal de água de todas as unidades experimentais, a concentração de sólidos aumentou e atingiu pico de 225 mL/L e 1.450 mg/L para SS e SST, respectivamente. Além disso, o aumento da taxa de alimentação resultou em uma maior concentração de sólidos devido à maior quantidade de substrato para o crescimento microbiano (Pérez-Fuentes *et al.*, 2016; Dauda *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2018).

Estudos mostraram que o desempenho dos peixes melhora com o aumento da frequência alimentar até um certo limite (Tian *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 1998; Wu *et al.*, 2018). De acordo com Wang *et al.* (1998), o aumento da frequência de alimentação reduz a agressividade e aumenta a oportunidade de peixes menores terem acesso aos alimentos. Por outro lado, os peixes criados em bioflocos têm alimentos naturais disponíveis constantemente. Em geral, a frequência de alimentação utilizada em estudos realizados em sistemas de bioflocos varia de duas vezes ao dia (Azim e Little, 2008; Liu *et al.*, 2018; Long *et al.*, 2015; Pérez-Fuentes *et al.*, 2016) a três vezes ao dia (Luo *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2018), com juvenis de tilápia pesando entre 24 e 100 g. No presente estudo, não detectamos diferença significativa na frequência de alimentação em relação ao desempenho. Corroborando essa afirmação, Biswas *et al.* (2006) não encontraram diferença significativa no crescimento e sobrevivência de juvenis de mrigal (*Cirrhinus mrigala*) e rohu (*Labeo rohita*) criados em viveiros submetidos a diferentes frequências de alimentação. Estratégias para melhorar o uso do biofloco são de grande importância para o sistema de cultivo. O alimento natural contribui significativamente para a nutrição do peixe, permitindo a redução da taxa de alimentação. Segundo Avnimelech (2007), o consumo de flocos corresponde a 50% da alimentação diária da tilápia. Nesse mesmo sentido, Avnimelech e Kochba (2009) mostraram que os flocos podem contribuir com 25% da necessidade de proteína utilizada na ração. Além disso, estudos mostraram que os flocos

contribuem para reduzir a conversão alimentar (Azim e Little, 2008; Luo *et al.*, 2014) e aumentar a atividade das enzimas digestivas (Long *et al.*, 2015; Luo *et al.*, 2014). No presente estudo, encontramos uma melhora na conversão alimentar, mas uma piora do crescimento com uma redução na taxa de alimentação. Entretanto, peixes que receberam 75% da ração apresentaram ganho diário de peso e peso final de 83,24% e 86,62% em relação aos que receberam 100% da ração. Este resultado mostra que a alimentação natural contribuiu para o desempenho dos peixes. Resultado semelhante foi observado por Abdelghany e Ahmad (2002) em policultivo de tilápia e carpa em viveiros. Os peixes geralmente tendem a usar melhor os alimentos com taxas mais baixas de alimentação (Abdelghany e Ahmad, 2002; Eroldogan *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2007). A alimentação à saciedade pode não ser a melhor opção quando acompanhada de uma maior conversão alimentar (Mihelakakis *et al.*, 2002). De acordo com Huang *et al.* (2015), aumentar a taxa de alimentação acima do ideal resulta em baixo desempenho de juvenis de tilápia do Nilo. Corroborando com nossos resultados, Pérez-Fuentes *et al.* (2018) mostraram que é possível reduzir a taxa de alimentação de juvenis de tilápia de 3 a 140 g cultivados em bioflocos em até 20%. Mesmo com perdas inesperadas de peixes em dois tanques, nosso estudo mostrou uma sobrevivência média superior a 92%, independentemente do tratamento. Esses resultados sugerem que o sistema de bioflocos pode ser uma boa opção para a produção de juvenis de tilápia. Porque, além desses efeitos nutricionais positivos, o bioflocos possui um efeito probiótico natural que favorece o sistema imunológico do peixe (Long *et al.*, 2015; Luo *et al.*, 2014).

A taxa de eficiência proteica foi afetada apenas pela taxa de alimentação. Peixes com taxas de alimentação mais baixas tendem a ser mais eficientes no uso de ração (Van Ham *et al.*, 2003). No entanto, a taxa de retenção de proteína foi afetada apenas pela frequência de alimentação. Os peixes alimentados em frequências menores apresentaram valores mais baixos de retenção de proteína. Esse resultado coincidiu com a composição centesimal da proteína na carcaça, que também foi menor nas frequências mais baixas. Uma tendência semelhante foi relatada por Dong *et al.* (2017) com catfish amarelo (*Pelteobagrus fulvidraco* Richardson).

Os índices corporais têm sido utilizados para avaliar o estado nutricional dos peixes. Neste estudo, não houve diferença significativa para IVS, mas observamos um aumento no IHS nos tratamentos com maior taxa de alimentação. De acordo com Eroldogan *et al.* (2004), o fígado é mais suscetível ao acúmulo de lipídios do que as vísceras. Huang *et al.* (2015) relataram que o IHS foi significativamente afetado pela frequência alimentar e taxa de alimentação, e que

o aumento desse índice foi acompanhado por aumento de lipídios no fígado, alterações bioquímicas e lesões histopatológicas. A redução na taxa de alimentação promove a mobilização de reservas corporais de glicose, lipídios e aminoácidos (Shimeno *et al.*, 1997). É provável que o peixe use lipídios como fonte de energia, reduzindo a quantidade de alimento fornecido (Dong *et al.*, 2017). De fato, peixes tratados com menor taxa de alimentação apresentaram redução de extrato etéreo na composição corporal, mas nenhuma diferença foi observada na retenção de proteínas entre os animais dos diferentes tratamentos da taxa de alimentação.

A composição corporal permite avaliar fatores que afetam a assimilação de nutrientes de alimentos para peixes. O conteúdo de proteínas e cinzas é condicionado ao tamanho do peixe, enquanto os lipídios são afetados pelas estratégias alimentares e pelo tamanho do peixe. Além disso, a umidade tem sido inversamente relacionada aos lipídios (Shearer, 1994). Nossos resultados mostraram uma tendência de aumento no conteúdo lipídico e redução de umidade e cinzas com o aumento da quantidade de alimentos. Esses resultados estão de acordo com Abdelghany e Ahmad (2002), Mihelakakis *et al.* (2002), Van Ham *et al.* (2003) e Wang *et al.* (2007). A redução no conteúdo lipídico pode ser relacionada a uma melhoria da eficiência alimentar dos peixes. Não observamos diferenças significativas de proteínas nas carcaças de peixes alimentados com diferentes taxas de alimentação. Silva *et al.* (2018) indicaram que a composição protéica da carcaça se estabilizou quando a necessidade mínima de proteína bruta na dieta foi atendida em juvenis de tilápia do Nilo criados em BFT. Portanto, provavelmente não encontramos diferenças entre os peixes alimentados com taxas de alimentação diferentes, porque o nível de proteína bruta na dieta em nosso experimento foi superior aos indicados no mínimo por Silva *et al.* (2018). Corroborando com nosso estudo, Abdelghany e Ahmad (2002) também não encontraram efeitos das taxas de alimentação (0%, 0,5%, 1%, 3% e 5% em relação a biomassa de peixe por dia) na proteína nas carcaças de juvenis de tilápia em um policultivo com carpas em lagoas fertilizadas. No entanto, outros estudos mostraram uma tendência a aumentar a proteína corporal com o aumento da oferta de alimentos (Huang *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2007). O aumento de cinzas com taxa de alimentação reduzida provavelmente indica que peixes mais restritos podem ter menos massa muscular (Dong *et al.*, 2017). Maior frequência de alimentação resultou em maior conteúdo de proteína corporal. A maior frequência de alimentação resulta em uma melhor exposição dos alimentos à atividade enzimática (Zhao *et al.*, 2016), resultando em maior absorção e deposição de proteína corporal do que tratamentos com menores frequências de alimentação. Há uma grande variação nos resultados da

composição corporal de diferentes trabalhos, provavelmente devido a fatores como condições ambientais, espécies utilizadas, tamanho e tipo de alimento, o que dificulta as comparações.

Como neste estudo, alto teor de cinzas e baixo teor lipídico foram encontrados em bioflocos (Avnimelech, 2009; Crab *et al.*, 2010; Emerenciano *et al.*, 2012; López-Elías *et al.*, 2015; Martins *et al.*, 2017; Martins *et al.*, 2019). O nível de proteína foi próximo ao encontrado por Ekasari *et al.* (2014). Para peixes, o valor nutricional do floco não muda sob diferentes dietas (Azim e Little, 2008; López-Elías *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2018) e relação C/N (Azim e Little, 2008; Azim *et al.*, 2008). Por outro lado, foram observados efeitos da fonte de carbono no conteúdo de ácidos graxos poliinsaturados (PUFA n-6; Ekasari *et al.*, 2010) e em proteínas, lipídios, carboidratos e cinzas do floco (Crab *et al.*, 2010). Esses autores sugeriram que a microbiota que constitui os bioflocos são afetadas pelas entradas de nutrientes, e como consequência, modula a composição nutricional do floco (Crab *et al.*, 2010; Dauda *et al.*, 2018; Ekasari *et al.*, 2010). De fato, a composição de matéria seca, cinzas e proteínas do floco foram afetadas pela taxa de alimentação, embora a frequência de alimentação não alterasse a composição nutricional do floco. Quanto mais comida no sistema levaria a mais amônia no tanque (Dauda *et al.*, 2018), o que poderia explicar a maior proteína bruta dos bioflocos. Alguns estudos mostraram a captação de flocos por tilápia através de flocos marcados com <sup>15</sup>N (Avnimelech, 2007; Avnimelech e Kochba, 2009; Ekasari *et al.*, 2014). Considerando isso, a redução do suprimento de ração parece favorecer um aumento da filtração de flocos pelos peixes em nosso estudo. De fato, houve maior acúmulo de material inorgânico (cinzas) em menores taxas de alimentação, como também obtido por Martins *et al.* (2017).

#### **4.5. Conclusão**

Em conclusão, os resultados mostram que a frequência de alimentação uma vez ao dia pode ser utilizada para juvenis de tilápia do Nilo de 32 a 162 g criados em bioflocos. Embora o grupo submetido à taxa de saciedade com alimentação tenha o melhor desempenho, houve piora na qualidade da água, aumento de deposição de gordura, piora na utilização de proteína, aumento na conversão alimentar. A redução de 25% na taxa de alimentação em relação a saciedade não apresenta efeito na composição nutricional de proteína e extrato etéreo do floco. Por outro lado, reduzir a taxa de alimentação pode aumentar o tempo de crescimento. O impacto da redução da taxa de alimentação de 100% para 75% em um experimento mais longo que inclui a fase de crescimento deve ser investigado em estudos futuros para garantir que a redução seja viável para os piscicultores.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia de bioflocos não é solução para todos os problemas da tilapicultura, mas tem sido uma alternativa na busca de sistemas mais sustentáveis e de menor custo operacional. Neste cenário, o aprimoramento do manejo alimentar para maximizar o aproveitamento de nutrientes para animais e manter a qualidade de água é de grande relevância para o sistema produtivo. O presente trabalho gerou a informação sobre taxa de alimentação e frequência alimentar que podem ser utilizadas pelo produtor para otimizar o aproveitamento do biofloco para tilápias do Nilo. Deve-se ressaltar que o sistema de bioflocos necessita de monitoramento constante, uma vez que qualquer descuido em relação às variáveis de qualidade de água pode resultar em perdas significativas de animais.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABDELGHANY, A.E.; AHMAD, M.H. Effects of feeding rates on growth and production of Nile tilapia, common carp and silver carp polycultured in fertilized ponds. *Aquac. Res.*, v.33, p.415-423, 2002.
- ADEROLU, A.Z.; SERIKI, B.M.; APATIRA, A.L.; AJAEGBO, C.U. Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and economic viability of rearing African catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) fingerlings and juveniles. *Afr. J. Food Sci.*, v.4, p.286-290, 2010.
- ADEROLU, A.Z.; LAWAL, M.O.; EZIEFULA, P.N.; AHAIWE, E.E. Feeding frequency and feeding regime in catfish, effects on nutrient utilization, growth, biochemical and haematological parameters. *J. Agric. Sci.*, v.92, p.395-410, 2017.
- AHMAD, I.; RANI, A.M.B.; VERMA, A.K.; MAQSOOD, M. Biofloc technology: an emerging avenue in aquatic animal healthcare and nutrition. *Aquac. Int.*, v.25, p.1215-1226, 2017.
- ALEMAYEHU, T.A.; GETAHUN, A. Effect of Feeding Frequency on Growth Performance and Survival of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L. 1758) in a Cage Culture System in Lake Hora-Arsedi, Ethiopia. *J. Aquac. Res. Development*, v.8, p.479, 2017.

- ALVARENGA, É.R., SALES, S.C.M., BRITO, T.S., SANTOS, C.R. et al. Effects of biofloc technology on reproduction and ovarian recrudescence in Nile tilapia. *Aquac. Res.*, v.48, p.5965-5972, 2017.
- ALVARENGA, É.R., ALVES, G.F.O., FERNANDES, A.F.A., COSTA, G.R. et al. Moderate salinities enhance growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings in the biofloc system. *Aquac. Res.*, v.49, p.2919-2926, 2018.
- ALVES, G.F.O., FERNANDES, A.F.A., ALVARENGA, E.R., TURRA, E.M. et al. Effect of the transfer at different moments of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the biofloc system in formation. *Aquaculture*, v.479, p.564-570, 2017.
- AOAC. Official Methods of Analysis. 18<sup>a</sup> ed. Washington: Association Official Analytical Chemists, 2005.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 1998. 1085p.
- AVNIMELECH, Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, v.176, p.227-235, 1999.
- AVNIMELECH, Y. Bio-filters: The need for a new comprehensive approach. *Aquacult. Eng.*, 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: The World Aquaculture Society, 2009. 182p.
- AVNIMELECH, Y.; KOCHBA, M. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in biofloc tanks, using <sup>15</sup>N 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. *Bioresour. Technol.*, v.99, p.3590-3599, 2008.
- BENDSCHNEIDER, K.; ROBINSON, R.J. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.*, v.8, p.1-18, 1952.
- BISWAS, G.; JENA, J.K.; SINGH, S.K.; PATMAJHI, P. et al. Effect of feeding frequency on growth, survival and feed utilization in mrigal, *Cirrhinus mrigala*, and rohu, *Labeo rohita*, during nursery rearing. *Aquaculture*, v.254, p.211-218, 2006.
- BHUJEL, R.C.; LITTLE, D.C.; HOSSAIN, A. Reproductive performance and the growth of pre-stunted and normal Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodfish at varying feeding rates. *Aquaculture*, v.273, p.71-79, 2007.
- BOOTH, M.A.; TUCKER, B.J.; ALLAN, G.L.; FIELDER, D.S. Effect of feeding regime and fish size on weight gain, feed intake and gastric evacuation in juvenile Australian snapper *Pagrus auratus*. *Aquaculture*, v.282, p.104-110, 2008.
- BRITO, T.S. Exigência de energia e proteína para manutenção estimada por restrição quantitativa de alimento para Tilápia do Nilo em dois sistemas de produção. 2017. 106f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. Pond Aquaculture: Water Quality Management. Springer Science Business Media, New York: Springer Science Business Media, 1998. 715p.
- CHO, H.; LEE, S.-M.; PARK, B.H.; LEE, S.-M. Effect of feeding ratio on growth and body composition of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed extruded pellets during the summer season. *Aquaculture*, v.251, p.78-84, 2006.
- CHO, S.H.; LEE, S.-M.; PARK, B.H.; JI, S.C. et al. Effect of Daily Feeding Ratio on Growth and Body Composition of Subadult Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*, Fed an Extruded Diet during the Summer Season. *J. World Aquac. Soc.*, v.38, p.68-73, 2007.
- CRAB, R.; AVNIMELECH, Y., DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P. 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. *Aquacult. Eng.*, v.40, p.105-112, 2009.

CRAB, R.; CHIELENS, B.; WILLE, M.; BOSSIER, P. et al. The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquac. Res.*, 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.

CRAIG, S. Understanding fish nutrition, feeds, and feeding. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, Publication 420-256, 2009. 6p.

DAUDA, A.B.; ROMANO, N.; CHEN, W.W.; NATRAH, I. et al. Differences in feeding habits influence the growth performance and feeding efficiencies of African catfish (*Clarias gariepinus*) and lemon fin barb hybrid (*Hypsibarbus wetmorei* ♂ × *Barboides gonionotus* ♀) in a glycerol-based biofloc technology system versus a recirculating system. *Aquacult. Eng.*, v.82, p.31-37, 2018.

DAUDPOTA, A.M.; ABBAS, G.; KALHORO, I.B.; SHAH, S.S.A. et al. Effect of Feeding Frequency on Growth Performance, Feed Utilization and Body Composition of Juvenile Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) Reared in Low Salinity Water. *Pakistan J. Zool.*, v.48, p.171-177, 2016.

DE SCHRYVER, P.; CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOON, N. 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. *Bioresour. Technol.*, v.100, p.1162-1167, 2009.

DI RIENZO, J.A., CASANOVES, F., BALZARINI, M.G., GONZALEZ, L. et al. InfoStat version 2015. Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Cordoba, 2015. <http://www.infostat.com.ar>.

DONG, G.; YANG, Y.O.; CHEN, L.; YUE, D.D. et al. Growth performance and whole-body composition of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco* Richardson) under feeding restriction. *Aquac. Nutr.*, v.23, p.101-110, 2017.

EBELING, J.M.; TIMMONS, M.B.; BISOGNI, 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-blocs cultured with different organic carbon sources and salinity. *HAYATI J. Biosci.*, v.17, p.125-130, 2010.

EKASARI, J.; ANGELA, D.; WALUYO, S.H.; BACHTIA, T. et al. The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. *Aquaculture*, v.427, p.105-111, 2014.

EKASARI, J.; SETIAWATI, R.; RITONGA, F.R.; SETIAWATI, M. et al. Growth and health performance of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) juvenile fed with graded levels of biofloc meal. *Aquac. Res.*, v.50, p.1802-1811, 2019.

EL-SAIDY, D.M.S.D.; GABER, M.M.A. Effect of dietary protein levels and feeding rates on growth performance, production traits and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) cultured in concrete tanks. *Aquac. Res.*, v.36, p.163-171, 2005.

EL-SAYED, A.-F.M. Effects of stocking density and feeding levels on growth and feed efficiency of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry. *Aquac. Res.*, v.33, p.621-626, 2002.

EL-SAYED, A.-F.M. Tilapia culture. Oxfordshire: CABI Publishing, 2006. 277p.

EMERENCIANO, M.; BALLESTER, E.L.C.; CAVALLI, R.O.; WASIELESKY, W. Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquac. Res.*, v.43, p.447-457, 2012.

EROLDOGAN, O.T.; KUMLU, M.; AKTAS, M. Optimum feeding rates for European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. reared in seawater and freshwater. *Aquaculture*, v.231, p.501-515, 2004.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. 227p.

FAO. FAO yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2017. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019. 108p.

GALLARDO-COLLÍ, A.; PÉREZ-ROSTRO, C.I.; HERNÁNDEZ-VERGARA, M.P.; PÉREZ-LEGASPI, I.A. Microeukaryote community and the nutritional composition of the biofloc during Nile tilapia culture in water-reusing biofloc systems. *Aquac. Int.*, v.27, p.381-398, 2019.

GREEN, B.W.; RAWLES, S.D.; SCHRADER, K.K.; GAYLORD, T.G. et al. Effects of dietary protein content on hybrid tilapia (*Oreochromis aureus* × *O. niloticus*) performance, common microbial off-flavor compounds, and water quality dynamics in an outdoor biofloc technology production system. *Aquaculture*, v.503, p.571-582, 2019a.

GREEN, B.W.; SCHRADER, K.K.; RAWLES, S.D.; WEBSTER, C.D. et al. Comparison of unused water and year-old used water for production of channel catfish in the biofloc technology system. *Aquaculture*, v.519, p.1-63, 2020.

HARGREAVES, J.A. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacult. Eng.*, v.34, p.344-363, 2006.

HARGREAVES, J.A. Biofloc Production Systems for Aquaculture. S.R.A.C., v.4503, p.1-12, 2013.

HARIDAS, H.; VERMA, A.K.; RATHORE, G.; PRAKASH, C. et al. Enhanced growth and immuno-physiological response of Genetically Improved Farmed Tilapia in indoor biofloc units at different stocking densities. *Aquac. Res.*, v.48, p.4346-4355, 2017.

HISANO, H.; PARISI, J.; CARDOSO, I.L.; FERRI, G.H. et al. Dietary protein reduction for Nile tilapia fingerlings reared in biofloc technology. *J. World Aquacult. Soc.*, p.1-11, 2019.

HUANG, Q.; HUANG, K.; MA, Y.; QIN, X. Feeding Frequency and Rate Effects on Growth and Physiology of Juvenile Genetically Improved Farmed Nile Tilapia. *N. Am. J. Aquacult.*, v.77, p.503-512, 2015.

KIM, K.-D.; KANG, Y.J.; KIM, K.-W.; KIM, K.-M. Effects of Feeding Rate on Growth and Body Composition of Juvenile Flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J. World Aquacult. Soc.*, v.38, p.169-173, 2007.

KIM, K.; HUR, J.W.; KIM, S.; JUNG, J.Y. et al. Biological wastewater treatment: Comparison of heterotrophs (BFT) with autotrophs (ABFT) in aquaculture systems. *Bioresour. Technol.*, v.296, p.1-28, 2020.

KUHN, D.D.; LAWRENCE, A.L.; BOARDMAN, G.D.; PATNAIK, S. 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.

JU, Z.; FORSTER, I.; CONQUEST, L.; DOMINY, W. Enhanced growth effects on shrimp (*Litopenaeus vannamei*) from inclusion of whole shrimp floc or floc fractions to a formulated diet. *Aquac. Nutr.*, v.14, p.533-543, 2008.

LEAL, M.V.O. Efeito da frequência alimentar com dietas peletizada e extrusada sobre o desempenho da tilápia *Oreochromis niloticus* em sistema de bioflocos. 2018. 79f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LIM, C.; AKSOY, M.Y.; KLESZIUS, P. Lipid and Fatty Acid Requirements of Tilapias. *N. Am. J. Aquacult.*, v.73, p.188-193, 2011.

LITTLE, D.C.; MURRAY, F.J.; AZIM, E.; LESCHEN, W. et al. Options for producing a warm water-fish in the UK: limits to “Green Growth”? *Trends Food Sci. Tech.*, v.19, p.255-264, 2008.

LIU, W.; WEN, H.; LUO, Z. Effect of dietary protein levels and feeding rates on the growth and health status of juvenile genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquac. Int.*, v.26, p.153-167, 2017.

LIU, W.; LUO, G.; CHEN, W.; TAN, H. et al. Effect of no carbohydrate addition on water quality, growth performance and microbial community in water-reusing biofloc systems for tilapia production under high-density cultivation. *Aquac. Res.*, v.49, p.2446-2454, 2018a.

LIU, G.; ZHU, S.; LIU, D.; YE, Z. Effect of the C/N ratio on inorganic nitrogen control and the growth and physiological parameters of tilapias fingerlings, *Oreochromis niloticus* reared in biofloc systems. *Aquac. Res.*, v.49, p.2429-2439, 2018b.

LONG, L.; YANG, J.; LI, Y.; GUAN, C. et al. Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, v.448, p.135-141, 2015.

LÓPEZ-ELÍAS, J.A.; MORENO-ARIAS, A.; MIRANDA-BAEZA, A.; MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L.R. et al. Proximate composition of bioflocs in culture systems containing hybrid red tilapia fed diets with varying levels of vegetable meal inclusion. *N. Am. J. Aquacult.*, v.77, p.102-109, 2015.

LUO, G.; GAO, Q.; WANG, C.; LIU, W. et al. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture*, v.422-423, p.1-7, 2014.

LUO, G.; XU, J.; MENG, H. Nitrate accumulation in biofloc aquaculture systems. *Aquaculture*, v.520, p.1-10, 2020.

MANDUCA, L.G. Produção de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em bioflocos sob diferentes densidades de estocagem e regimes de troca de água. 2017. 41f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MANDUCA, L.G.; SILVA, M.A.; ALVARENGA, É.R.; ALVES, G.F.O. et al. Effects of zero exchange biofloc system on growth performance and health of Nile tilapia in different stocking density. *Aquaculture*, v.521, p.1-38, 2020.

MANSOUR, A.T.; ESTEBAN, M.A. Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Shellfish Immunol.*, v.64, p.202-209, 2017.

MARTINS, C.I.M.; CONCEIÇÃO, L.E.C.; SCHRAMA, J.W. Consistency of individual variation in feeding behaviour and its relationship with performance traits in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, v.133, p.109-116, 2011.

MARTINS, G.B.; TAROUÇO, F.; ROSA, C.E.; ROBALDO, R.B. The utilization of sodium bicarbonate, calcium carbonate or hydroxide in biofloc system: water quality, growth performance and oxidative stress of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, v.468, p.10-17, 2017.

- MARTINS, G.B.; ROSA, C.E.; TAROUCO, F.M.; ROBALDO, R.B. Growth, water quality and oxidative stress of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) in biofloc technology system at different pH. *Aquac. Res.*, v.50, p.1030-1039, 2019.
- MENAGA, M.; FELIX, S.; CHARULATHA, M.; GOPALAKANNAN, A. et al. Effect of in-situ and ex-situ biofloc on immune response of Genetically Improved Farmed Tilapia. *Fish Shellfish Immunol.*, v.92, p.698-705, 2019.
- MIHELAKAKIS, A.; TSOLKAS, C.; YOSHIMATSU, T. Optimization of Feeding Rate for Hatchery-Produced Juvenile Gilthead Sea Bream *Spurus aurata*. *J. World Aquacult. Soc.*, v.33, p.169-175, 2002.
- MONSEES, H.; KLATT, L.; KLOAS, W.; WUERTZ, S. Chronic exposure to nitrate significantly reduces growth and affects the health status of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in recirculating aquaculture systems. *Aquac. Res.*, v.48, p.3482-3492, 2017.
- MONTEIRO, M.I.C.; FERREIRA, F.N.; OLIVEIRA, N.M.M.; ÁVILA, A.K. Simplified version of the sodium salicylate method for analysis of nitrate in drinking waters. *Anal. Chim. Acta*, v.477, p.125-129, 2003.
- NG, W.; ROMANO, N. A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle. *Rev. Aquac.*, v.2009, p.220-254, 2013.
- NRC. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Washington: The National Academies Press, 2011. 392p.
- PÉREZ-FUENTES, J.A.; HERNÁNDEZ-VERGARA, M.P.; PÉREZ-ROSTRO, C.I.; FOGEL, I. C:N ratios affect nitrogen removal and production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised in a biofloc system under high density cultivation. *Aquaculture*, v.452, p.247-251, 2016.
- PÉREZ-FUENTES, J.A.; PÉREZ-ROSTRO, C.I.; HERNÁNDEZ-VERGARA, M.P.; MONROY-DOSTA, M.C. Variation of the bacterial composition of biofloc and the intestine of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, cultivated using biofloc technology, supplied different feed rations. *Aquac. Res.*, v.49, p.3658-3668, 2018.

- RAY, A.J.; SEABORN, G.; LEFFLER, J.W.; WILDE, S.B. 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, 2010a.
- RAY, A.J.; LEWIS, B.L.; BROWDY, C.L.; LEFFLER, J.W. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, v.299, p.89-98, 2010b.
- RAY, A.J. Biofloc Technology For Super-Intensive Shrimp Culture. In: AVNIMELECH, Y. (Ed.). Biofloc Technology: A Practical Guidebook. United States: The World Aquaculture Society, 2012. p.167-188.
- RICHE, M.; HALEY, D.I.; OETKER, M.; GARBRECHT, S. et al. Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, v.234, p.657-673, 2004.
- SHEARER, K.D. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids. *Aquaculture*, v.119, p.63-88, 1994.
- SHIMENO, S.; SHIKATA, T.; HOSOKAWA, H.; MASUMOTO, T. et al. Metabolic response to feeding rates in common carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture*, v.51, p.371-377, 1997.
- SILVA, M.A.; ALVARENGA, É.R.; ALVES, G.F.O.; MANDUCA, L.G. et al. Crude protein levels in diets for two growth stages of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a biofloc system. *Aquac. Res.*, v.49, p. 2693-2703, 2018.
- SILVA, M.A.; ALVARENGA, É.R.; COSTA, F.F.B.; TURRA, E.M. et al. Feeding management strategies to optimize the use of suspended feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in bioflocs. *Aquac. Res.*, v.51, p.605-615, 2020.
- SOUSA, R.M.R.; AGOSTINHO, C.A.; OLIVEIRA, F.A.; ARGENTIM, D. et al. Productive performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed at different frequencies and periods with automatic dispenser. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 67, 192-197, 2012.
- STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R. A Practical Handbook of Seawater Analysis. 2<sup>a</sup> ed. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 167, 1972. 328p.

THONGPRAJUKAEW, K.; KOVITVADHI, S.; KOVITVADHI, U.; PREPRAME, P. Effects of feeding frequency on growth performance and digestive enzyme activity of sex-reversed Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). *J Agric Nat Resour.*, v.51, p.292-298, 2017.

TIAN, H.; ZHANG, D.; LI, X.; ZHANG, C. et al. Optimum feeding frequency of juvenile blunt snout bream *Megalobrama amblycephala*. *Aquaculture*, v.437, p.60-66, 2015.

UNESCO. Chemical Methods for use in Marine Environmental Monitoring. Manual and Guides 12. Paris: Intergovernmental Oceanographic Commission, 1983. 56p.

VAN HAM, E.H.; BERNTSSEN, M.H.G.; IMSLAND, A.K.; PARPOURA, A.C. et al. The influence of temperature and ration on growth, feed conversion, body composition and nutrient retention of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, v.217, p.547-558, 2003.

VILLARROEL, M.; ALAVRIÑO, J.M.R.; LÓPEZ-LUNA, J. Effect of Feeding Frequency and One Day Fasting on Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Water Quality. *Isr. J. Aquacult. - Bamid.*, v.63, p.1-6, 2011.

WANG, N.; HAYWARD, R.S.; Noltie, D.B. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation, and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish. *Aquaculture*, v.165, p.261-267, 1998.

WANG, Y.; KONG, L.; LI, K.; Bureau, D.P. Effects of feeding frequency and ration level on growth, feed utilization and nitrogen waste output of cuneate drum (*Nibea miichthioides*) reared in net pens. *Aquaculture*, v.271, p.350-356, 2007.

WANG, Y.; XU, P.; NIE, Z.; LI, Q. et al. Effects of Feeding Rates on Growth, Digestive Enzyme Activity, Serum Biochemical Parameters, and Body Composition of Juvenile, Genetically Improved, Farmed Nile Tilapia Reared in an In-Pond Raceway Recirculating Culture System. *N. Am. J. Aquacult.*, v.82, p.75-83, 2020.

WEDEMEYER, G. Physiology of fish in intensive culture systems. New York: Springer, Chapman & Hall, 1996. 249p.

WEI, Y.F.; LIAO, S.A.; WANG, A.L. The effect of different carbon sources on the nutritional composition, microbial community and structure of bioflocs. *Aquaculture*, v.465, p.88-93, 2016.

WILEN, B.M.; JIN, B.; LANT, P. The influence of key chemical constituents in activated sludge on surface and flocculating properties. *Water Res.*, v.37, p.2127-2139, 2003.

WU, Y.; REN, X.; ZHOU, J.; LIN, H. et al. Feed intake, growth, feed utilization, body composition and waste output of juvenile hybrid bream at different feeding frequencies. *Aquacult. Nutr.*, v.25, p.292-297, 2019.

YEOH, S.J.; TAIP, F.S.; ENDAN, J.; TALIB, R.A. et al. Development of Automatic Feeding Machine for Aquaculture Industry. *Pertanika J. Sci. Technol.*, v.18, p.105-110, 2010.

YUAN, Y.-C.; YANG, H.-J.; GONG, S.-Y.; LUO, Z. et al. Effects of feeding levels on growth performance, feed utilization, body composition and apparent digestibility coefficients of nutrients for juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus*. *Aquac. Res.*, v.41, p.1030-1042, 2010.

ZHAO, S.; HAN, D.; ZHU, X.; JIN, J. et al. Effects of feeding frequency and dietary protein levels on juvenile allogynogenetic gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) var. CAS III: growth, feed utilization and serum free essential amino acids dynamics. *Aquac. Res.*, v.47, p.290-303, 2016.