

THIAGO BERNARDES FERNANDES JORGE

**FARINHA DE MICROALGA *Schizochytrium* sp., COMO FONTE DE ÔMEGA 3,  
EM DIETA PARA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) NA FASE  
ADULTA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da  
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

J82f  
2016

Jorge, Thiago Bernardes Fernandes, 1984-  
Farinha de microalga *Schizochytrium* sp., como fonte de  
ômega 3, em dieta para tilápia do Nilo (*Oreochromis  
niloticus*) na fase adulta / Thiago Bernardes Fernandes  
Jorge. - Viçosa, MG, 2016.  
xi, 65f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador : Eduardo Arruda Teixeira Lanna.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.53-65.

1. Tilápia (Peixe). 2. Nutrição animal. 3. Algas como  
alimento. 4. Ácidos graxos Ômega 3. 5. Carne - Qualidade.  
6. Lipídios. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-graduação  
em Zootecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 639.3774

THIAGO BERNARDES FERNANDES JORGE

**FARINHA DE MICROALGA *Schizochytrium* sp., COMO FONTE DE ÔMEGA 3,  
EM DIETA PARA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) NA FASE  
ADULTA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

APROVADA: 12 de Abril de 2016.

---

Guilherme de Souza Moura

---

Francisco Carlos de Oliveira Silva

---

Alysson Saraiva  
(Coorientador)

---

Juarez Lopes Donzele  
(Coorientador)

---

Eduardo Arruda Teixeira Lanna  
(Orientador)

**Dedico a minha mãe, Cleusa Bernardes, meu amor maior**

***“Man prefers to believe what he prefers to be true.”***

(Francis Bacon)

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo fôlego de vida, força, inteligência e capacidade.

A minhas irmãs Kenya, Keila e Miriã, ao meu pai Mário e mãe Cleusa, os maiores presentes de Deus para mim neste mundo, meus verdadeiros alicerces de vida!

A Luana, minha companheira para toda obra, que me “suportou” durante anos e pacientemente ouvia minhas lamúrias e me aconselhava.

A Igreja Batista Missionária em Belo Horizonte e Igreja Batista Renovada em Viçosa pelas constantes orações que me sustentaram nos momentos de adversidade.

A empresa Alltech pelo fornecimento da microalga e apoio financeiro para realização das análises laboratoriais.

A CAPES, ao CNPq e FAPEMIG pelas bolsas de estudo e apoio para realização do trabalho.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) pelo ensino, estrutura, materiais e todo apoio para realização do doutorado.

Ao professor Eduardo Lanna pela orientação e ensino.

Aos professores Oswaldo Ribeiro-Filho, Luiz Albino, Alysso Saraiva e Juarez Donzele pelas preciosas sugestões e correções, além da muita paciência.

A professora Luciana Rennó e ao técnico Mário pelas instruções e auxílio para realização das análises.

Ao professor Guilherme Moura pelo acolhimento, fornecimento de material e acompanhamento da pesquisa.

Ao pesquisador Francisco Silva pela paciência e grande auxílio na escrita do trabalho.

Aos professores da UFVJM do Departamento de Zootecnia: Marcelo Pedreira e Cleube Boari, Departamento de Nutrição: Dora Neumann e do Departamento de Farmácia: Álvaro Dutra e sua aluna Isabella Melo, por me receberem com tanta prestatividade e me fornecerem todo apoio desde a elaboração do projeto até execução das análises.

Ao grande amigo Professor Aldrin Pires (in memorian) por ceder toda estrutura para realização do experimento, por confiar no meu potencial como profissional e conseguir fazer reacender o brilho nos olhos pela profissão de Zootecnista.

Ao meu “IRMÃO” Doutor Marcos Lagrotta (in memorian), que me recebeu em sua casa, trabalhou durante meses ao meu lado, não só em Diamantina, mas em Viçosa, Belo Horizonte ... enfim, por onde estivesse. Pelos conselhos generosos, pelo exemplo do que é realmente ser um ser humano bom. Minha sincera gratidão e respeito!

Pelo apoio dado pela Cláudia (noiva de Marcos) e sua mãe, Dona Ana, que nos deram todo apoio durante as horas e mais horas de isolamento na fábrica de rações.

Ao grupo Xotear, que foram meus amigos e me proporcionaram muitas risadas e momentos de descontração em Diamantina.

A Delinha e ao seu pai por me receberem em Diamantina.

Aos amigos de república Michel (calouro), Hugo (pai véi), Régis (bretera) e Lucas (Nigga) que fizeram as vezes de minha família em Viçosa e Diamantina.

A Fran, por sempre me ouvir, aconselhar e nunca dizer não quando precisei.

A Fernanda, pela paciência, passeios nos momentos de tensão e amizade.

A toda equipe que esteve ao meu lado nos trabalhos, inclusive nas madrugadas a dentro: Naiara, Rafael Vianna, Aline, Talita, Grazi, Namíbia, Léo, Pilar, Débora, Maria, Maíra, Thaís, Thaiza, Rafael Bolina, Rúbio, Diego, Lucilia, Marluci, Elizzandra, Elisângela, Brenda, Fernanda, Mariana Almeida, Marianne Schorer, Samela.

Ao companheiro Alex e sua esposa Genaina pela amizade, acolhimento e ajuda nas disciplinas.

Ao amigo Valdir Ribeiro (pacote) por pacientemente me auxiliar com as análises estatísticas.

## BIOGRAFIA

THIAGO BERNARDES FERNANDES JORGE, filho de Mário Lúcio Fernandes Jorge e Cleusa Bernardes Fernandes Jorge, nasceu em Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais, no dia 20 de março de 1984.

Em fevereiro de 2005 foi aprovado no Programa Universidade Para Todos (ProUni) para receber bolsa integral de estudos no curso de Zootecnia pela Faculdade de Estudos Administrativos de Minas Gerais – FEAD, na cidade de Belo Horizonte – MG. Em março de 2009, obteve o título de Bacharel em Zootecnia. Foi agraciado nesta ocasião, com o prêmio FEAD de Excelência “Medalha de Ouro”, por sua distinção durante o curso. Pelo mesmo motivo recebeu do Conselho Regional de Medicina Veterinária e Zootecnia de Minas Gerais (CRMV-MG) o certificado de “Honra ao mérito”.

Durante parte da graduação trabalhou como auxiliar de programação na Construtora R Fonseca LTDA para manter seus estudos. Em dezembro de 2005, foi aprovado em 1º lugar no concurso público para agente de saneamento na Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), onde permaneceu até fevereiro de 2012, momento em que se mudaria para a cidade de Viçosa – MG, onde cursaria o doutorado.

Em março de 2009, iniciou o curso de Medicina Veterinária na pela Faculdade de Estudos Administrativos de Minas Gerais – FEAD, na cidade de Belo Horizonte – MG, tendo sido interrompido no ano de 2012 por sua transferência para cidade de Viçosa – MG.

Em março de 2010, iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia, na área de Nutrição e Alimentação Animal, pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, na cidade de Belo Horizonte – MG. Em fevereiro de 2012, concluiu o curso, vindo a obter o título de Magister Scientiae em Zootecnia.

Em fevereiro de 2012, foi admitido no programa de Pós Graduação em Zootecnia, em nível de Doutorado, da Universidade Federal de Viçosa – UFV, concentrando seus estudos na área de Nutrição e Produção de Não-ruminantes.

Em 12 de abril de 2016, submeteu-se aos exames finais de defesa de tese, tendo sido aprovado.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.1 Ômega 3 e ômega 6.....	2
2.1.1 Definição.....	2
2.1.2. Metabolismo.....	3
2.2 LC-PUFAS e saúde.....	5
2.3 Fontes de ômega 3 .....	6
3 OBJETIVO .....	9
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	10
4.1 Animais e delineamento experimental.....	10
4.2 Dietas e manejo de alimentação.....	12
4.3 Instalações.....	15
4.4 Monitoramento da qualidade de água .....	17
4.5 Abate e biometria.....	17
4.6 Composição química e características de qualidade de carne do filé .....	18
4.7 Perfil lipídico de resíduos da filetagem.....	21
4.8 Análises estatísticas .....	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
6 CONCLUSÕES .....	52
7 BIBLIOGRAFIA .....	53

## RESUMO

JORGE, Thiago Bernardes Fernandes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2016. **Farinha de microalga *Schizochytrium* sp., como fonte de ômega 3, em dieta para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase adulta.** Orientador: Eduardo Arruda Teixeira Lanna. Coorientadores: Alysson Saraiva e Juarez Lopes Donzele.

Objetivou-se com este trabalho, avaliar a inclusão de 3,0% de farinha de microalga *Schizochytrium* sp., como fonte de ácidos graxos ômega 3, em dieta para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na fase adulta, por diferentes períodos, no desempenho, composição bromatológica e qualidade de carne do filé e perfil lipídico corporal (exceto pele). Foram utilizadas 500 tilápias do Nilo, linhagem tailandesa, com peso médio inicial de  $171,20 \text{ g} \pm 43,94 \text{ g}$ . Os peixes foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em cinco tratamentos – um controle e quatro períodos de oferecimento (15, 30, 45 e 60 dias) de dieta contendo microalga –, cinco repetições e 20 animais por unidade experimental. O período de oferecimento foi contabilizado em dias antes do abate. A unidade experimental para os parâmetros de desempenho constituiu-se dos 20 animais de cada tanque. Para as análises bromatológicas, qualidade de carne e perfil lipídico foi considerada como unidade experimental três peixes de cada tanque. Foi utilizada estufa contendo 25 tanques circulares em sistema de recirculação de água, fluxo de  $120 \text{ L.hora}^{-1}$ , com temperatura controlada ( $27,7 \pm 1,1^\circ\text{C}$ ) e aeração individual. Foram formuladas duas dietas, isentas de produtos de origem animal, com similares conteúdos de proteína bruta (32,0%), energia digestível ( $3000 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$ ), lipídeos totais (7,0%), cálcio (1,05%) e fósforo (0,7%). Uma das dietas recebeu 1,5% de óleo de soja e foi considerada dieta controle. Outra dieta recebeu 3,0% de farinha de microalga *Schizochytrium* sp., que possuía 50% de lipídeos totais, o que correspondeu a 1,5% de lipídeos em relação à dieta, semelhante a dieta controle. As dietas foram extrusadas e fornecidas até a saciedade aparente quatro vezes ao dia (8:00, 11:00, 14:00 e 17:00 horas) durante 60 dias. Houve efeito ( $P < 0,05$ ) quadrático para o consumo de alimento e peso final dos peixes alimentados por diferentes períodos com dieta contendo microalga. Não foi observado efeito ( $P > 0,05$ ) para ganho de peso, conversão alimentar, rendimento de filé e taxa de sobrevivência dos peixes. Somente os teores de lipídeos totais do filé foram influenciados ( $P < 0,05$ ) de modo quadrático pelo período de fornecimento de dieta contendo microalga, sendo que para umidade, proteína bruta e matéria mineral do filé não houve efeito ( $P > 0,05$ ). Os parâmetros de qualidade de carne no filé: textura, perda de peso por cozimento, pH, capacidade de retenção de água,

cor e luminosidade (L, a\*, b\*) não foram influenciados ( $P > 0,05$ ) pelo período de oferecimento de dieta contendo microalga. Efeito ( $P < 0,05$ ) quadrático foi observado para o somatório de ômega 3 no filé de tilápia do Nilo recebendo por diferentes períodos dieta suplementada com farinha de microalga *Schizochytrium* sp. Efeito linear foi observado para o somatório de ácidos graxos ômega 3 na cabeça, vísceras e espinha de tilápia do Nilo alimentada por até 60 dias com dieta contendo microalga. O oferecimento de dieta suplementada com 3,0% de farinha de microalga *Schizochytrium* sp. por 38 dias reduz o consumo de alimento, o peso final de tilápia do Nilo na fase adulta e reduz os teores de lipídeos totais no filé. O fornecimento de dieta contendo microalga *Schizochytrium* sp. por 49 dias aumenta o total de ácidos graxos ômega 3 sem alterar a qualidade de carne do filé de tilápia do Nilo. A alimentação com dieta contendo microalga *Schizochytrium* sp. por 60 dias aumenta o total de ácidos graxos ômega 3 na cabeça, vísceras e espinha de tilápia do Nilo na fase adulta.

## ABSTRACT

JORGE, Thiago Bernardes Fernandes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2016. **Microalgae *Schizochytrium* sp. meal, as a source of omega 3 in diet for adult Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)**. Adviser: Eduardo Arruda Teixeira Lanna. Co-advisers: Alysson Saraiva and Juarez Lopes Donzele.

The aim of this study was to evaluate the inclusion of 3.0% of microalgae *Schizochytrium* sp. meal, as a source of omega 3 fatty acids in diet for adult Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), for different periods, in performance, chemical composition and quality of beef fillet and body lipid profile (except skin). Five hundred Nile tilapia, Thai strain, with average weight of  $171.20 \text{ g} \pm 43.94 \text{ g}$  were used in this experiment. Fish were distributed in a completely randomized design in five treatments - a control and four supply periods (15, 30, 45 and 60 days) diet containing microalgae - five replications and 20 animals each. The supply period was recorded in days before slaughter. The experimental unit for the performance parameters consisted of 20 animals in each tank. For chemical analysis, meat quality and lipid profile was considered experimental unit three fish of each tank. It was used shelter of hothouse containing 25 circular tanks with water recirculation system, flow rate of  $120 \text{ L.hora}^{-1}$ , temperature controlled ( $27.7 \pm 1.1^\circ\text{C}$ ) and individual aeration. Two diets were formulated, free of animal products, with similar crude protein content (32.0%), digestible energy ( $3000 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$ ), total lipids (7.0%), calcium (1.05%) and phosphorus (0.7%). One of diets received 1.5% soybean oil diet was considered the control. Another diet received 3.0% of microalgae *Schizochytrium* sp. meal, which owned 50% of total lipids, which corresponded to 1.5% of lipids in relation to diet, like diet control. The diets were extruded and supplied to the satiation four times a day (8:00, 11:00, 14:00 and 17:00) for 60 days. There was a significant ( $P < 0.05$ ) quadratic for food intake and final weight of fish fed by different periods with diet containing microalgae. There was no effect ( $P > 0.05$ ) for weight gain, feed conversion, fillet yield and fish survival rate. Only the contents of total fillet lipids were influenced ( $P < 0.05$ ) quadratic way in diet supply period containing microalgae, and for moisture, crude protein and mineral content of the fillet there was no effect ( $P > 0.05$ ). Meat quality parameters in the fillet: texture, weight loss by cooking, pH, color and lightness (L,  $a^*$ ,  $b^*$ ) and water holding capacity were not affected ( $P > 0.05$ ) by supply period diet containing microalgae. Quadratic effect ( $P < 0.05$ ) was observed for the sum of omega 3 in the Nile tilapia fillet receiving for different periods diet supplemented with microalgae *Schizochytrium* sp.

meal. Linear effect ( $P < 0,05$ ) was observed for the sum of omega 3 fatty acids in the head, viscera and fishbone of Nile tilapia fed for 60 days with diet containing microalgae. The diet supply supplemented with 3.0% of microalgae Schizochytrium sp. meal for 38 days reduces feed intake, final weight of adult Nile tilapia and reduces the total lipid content in the fillet. The diet supplies containing microalgae Schizochytrium sp. for 49 days increases the amount of omega 3 fatty acids without changing the flesh quality of the Nile tilapia fillet. Feeding a diet containing microalgae Schizochytrium sp. for 60 days increases the amount of omega 3 fatty acids in the head, viscera and fishbone of adult Nile tilapia.

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar da essencialidade de ácidos graxos da família ômega 3 (ácidos linoléico e  $\alpha$ -linolênico) para o reino animal ser descrita em 1929 (Burr e Burr, 1929), somente na década de 70, os médicos dinamarqueses Dyerberg e Bang associaram a baixa incidência de doenças cardíacas e diabetes em esquimós da Groelândia com à alta ingestão de ômega 3 (Bang et al., 1971; Bang e Dyerberg, 1972; Bang et al., 1980; Dyerberg et al, 1975 e Dyerberg et al, 1978).

Possíveis fontes de ômega 3 seriam vegetais ricos em ácido  $\alpha$ -linolênico (ALA), um precursor das formas biologicamente ativas ácido eicosapentaenoico, do inglês, eicosapentaenoic acid (EPA) e ácido docosahexaenoico, do inglês, docosahexaenoic acid (DHA). Pode-se citar a linhaça e a colza como sendo os mais utilizados para esse fim. Contudo, em animais e humanos, a bioconversão para as formas ativas é baixa (Burdge, 2006; Karapanagiotidis et al., 2007; Brenna et al., 2009).

Outras fontes seriam pescados de águas salgadas, frias e profundas e/ou óleos produzidos a partir destes, tipicamente com altos níveis de EPA e DHA. Contudo, a pesca predatória se constitui um recurso finito não renovável (Lewis et al., 1999; Naylor et al., 2000) e os peixes produzidos em cativeiro normalmente apresentam baixos teores de ômega 3, mesmo aqueles que contêm altos teores de ômega 3 na natureza, como o salmão (Scherr et al., 2014).

Estudos envolvendo o uso de microalgas com altos teores de EPA+DHA na dieta de animais têm refletido em elevação nos níveis destes ácidos graxos na carcaça sem alterar a qualidade de carne ou mesmo o desempenho (Miller et al., 2007; Watters et al., 2013; Hoestenbergh et al., 2014), que pode até melhorar em alguns casos (Harel et al., 2002; Abril et al., 2003; Li et al., 2009; Saiyasaeng et al., 2014; Park et al., 2015). Introduzir a microalga *Schizochytrium* sp. na dieta de tilápias, espécies com baixos níveis de ômega 3 na carcaça em relação aos de água salgada (Petenuci et al., 2008; Castro-González et al., 2012), seria interessante, pois são as espécies mais produzidas no Brasil e a 3ª mais produzida no mundo.

Todavia, o uso da microalga *Schizochytrium* sp. em dietas práticas tem sido limitado pelo seu custo (Watters et al., 2013). Uma possível solução seria sua utilização por tempo mínimo suficiente na dieta, antes do abate, que promovesse o aumento de ômega 3 na carcaça.

Desse modo, objetivou-se com este trabalho, avaliar a inclusão, por diferentes períodos, da farinha de microalga *Schizochytrium* sp., como fonte de ômega 3, em dieta

isenta de ingredientes de origem animal para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na fase adulta, com base no desempenho, composição bromatológica e qualidade de carne do filé e perfil de ácidos graxos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Ômega 3 e ômega 6

#### 2.1.1 Definição

A nomenclatura “ômega” advém da posição da primeira dupla ligação a partir do grupo metil terminal. Portanto, quando se trata de ômega 3, abreviado para n-3 ou w3 ou ainda  $\Omega 3$ , a primeira dupla ligação ocorre entre o 3º e 4º carbonos da cadeia carbônica (Silva et al., 2014). Outra forma de classificar os ácidos graxos diz respeito ao número de carbonos, de insaturações e classe a qual pertencem (casos específicos). Para melhor entendimento, a Figura 1 traz a fórmula estrutural condensada linear do EPA (do inglês, eicosapentaenoic acid), um importante ômega 3, envolvido em diversos processos inflamatórios. Como pode ser visto, ele contém 20 carbonos na cadeia carbônica, 5 insaturações e trata-se de um n-3, recebendo portanto a fórmula condensada C20:5 n-3.

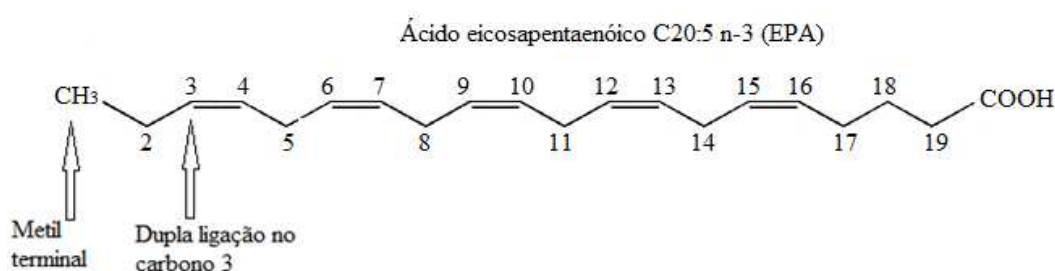


Figura 1: Fórmula condensada e condensada linear do ômega 3 EPA, ácido eicosapentaenóico.

Para o estudo do ômega 3, tem sido importante levar em consideração outro grupo de ácidos graxos que exerce grande influência no metabolismo e ação do ômega 3, os ácidos graxos ômega 6. Aplica-se a estes a mesma nomenclatura utilizada para os n-3, isto é, a primeira dupla ligação ocorre no carbono 6 a partir do grupo metil terminal (Figura 2).

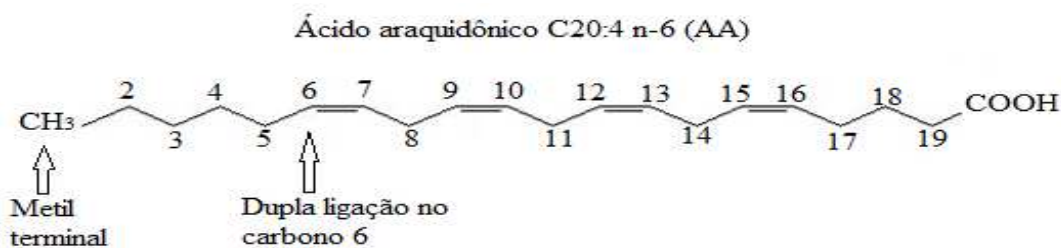


Figura 2. Fórmula condensada e condensada linear do ômega 6 AA (ácido araquidônico) C20:4 n-6.

### 2.1.2. Metabolismo

As rotas metabólicas de lipídeos em peixes, incluindo digestão, absorção, transporte, lipogênese e  $\beta$ -oxidação ocorram similarmente àquelas observadas em mamíferos (NRC, 2011).

Entretanto, vale ressaltar que peixes utilizam eficientemente proteína como fonte de energia devido o baixo gasto energético para excreção de resíduos nitrogenados sob forma de amônia, ao invés de ácido úrico ou uréia (Lovell, 1984). Desse modo, o acetil-CoA, principal fonte de carbono para síntese lipídica, pode ser em grande parte oriundo da degradação oxidativa de alguns aminoácidos. Esse mecanismo tem sido mais acentuado em peixes carnívoros, embora possa também ocorrer em onívoros e herbívoros, nos quais também a produção de acetil-CoA possa vir da descarboxilação oxidativa do piruvato (oriundo de carboidratos) (Henderson e Tocher, 1987; NRC, 2011).

Os metabolismos dos n-6 e n-3 estão de certa forma interligados e dependentes por terem várias enzimas que participam da cascata bioquímica de ambos. Essas enzimas estão mais ativas no retículo endoplasmático liso e nos peroxissomos das células do fígado, importante órgão no metabolismo lipídico (Henderson e Tocher, 1987; NRC, 2011).

A Figura 3 traz um esquema que mostra como a partir do ácido linoléico (LA) e o ácido alfa linolênico (ALA), respectivamente, as principais formas de n-6 e n-3 presentes nos vegetais, são formadas as formas biologicamente ativas destes ácidos graxos.

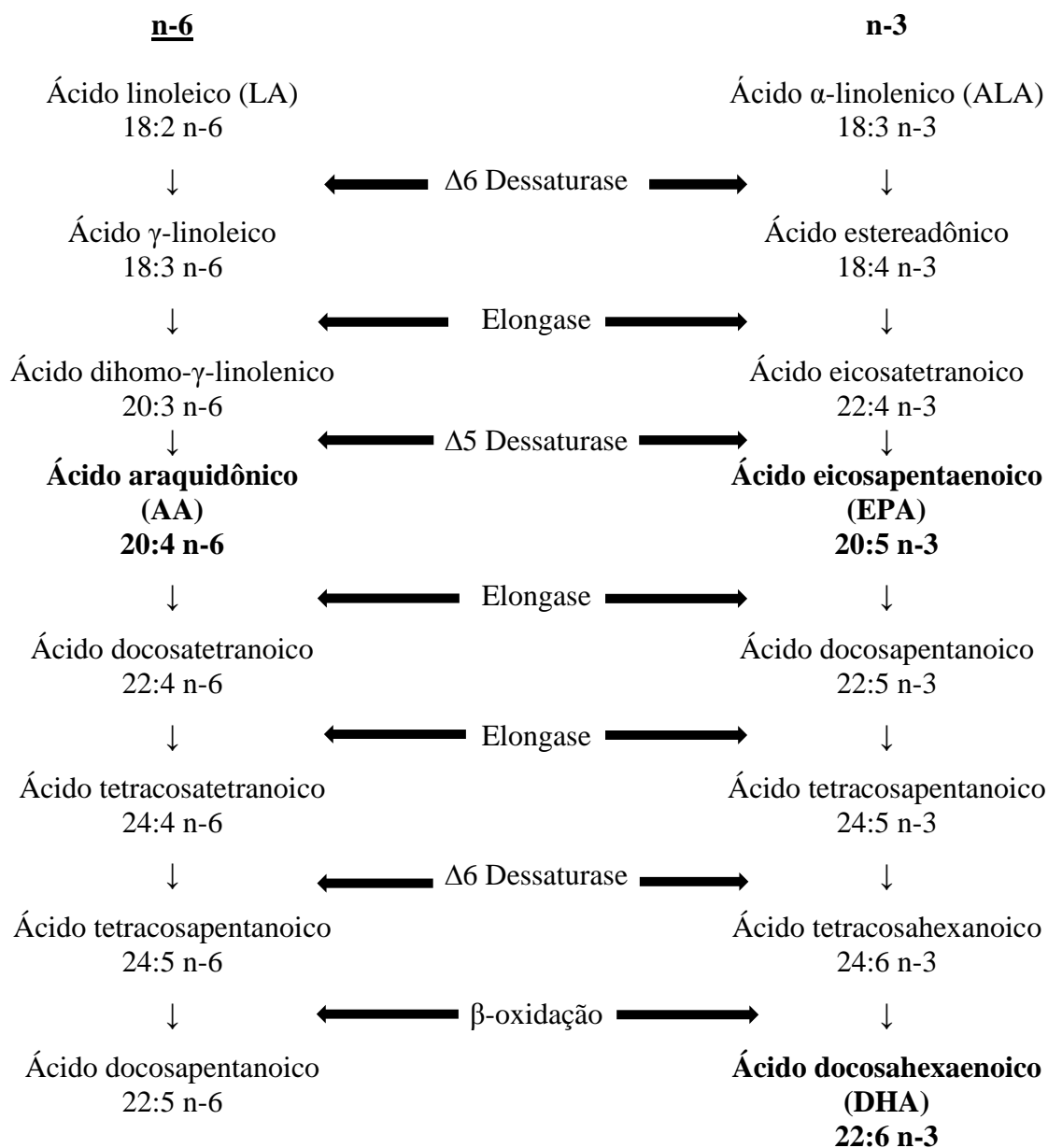


Figura 3. Metabolismo de n-6 e n-3. Adaptado de Wall et al. (2010).

Vertebrados, incluindo os seres humanos, são incapazes de produzir LA e ALA pela ausência das enzimas  $\Delta 12$  e  $\Delta 15$  dessaturases, presente somente em plantas e alguns invertebrados (Henderson e Tocher, 1987; NRC, 2011).

Quando ingeridos, LA e ALA precisam ter suas cadeias dessaturadas e alongadas para originarem n-3 e n-6 fisiologicamente ativos, os LC-PUFAS (do inglês, long chain polyunsaturated fatty acids) ou ácidos graxos de cadeia longa (20 carbonos ou mais).

Em animais, as duplas ligações são adicionadas através das enzimas acil graxa dessaturases  $\Delta 5$  (FADS2D5) e  $\Delta 6$  (FADS2D6), que competem entre si pelos mesmos substratos no metabolismo de n-3 e n-6 (Innis, 2003; Betancor et al., 2014).

A enzima  $\Delta 6$  dessaturase é considerada enzima regulatória chave no processo de conversão de ALA à DHA, uma vez que participa em dois pontos distintos na rota metabólica (Gibson et al., 2011). Excesso de ácido linoléico ou ácido  $\alpha$ -linolênico pode diminuir a produção de DHA (Gibson et al., 2011). Como a  $\Delta 6$  dessaturase atua tanto na conversão de LA a ácido  $\gamma$ -linoleico (18:3 n-6) quanto na conversão de ALA a ácido estereadônico (18:4 n-3), ela poderá ser escassa para conversão de ácido tetracosapentaenoico (24:5 n-3) que após  $\beta$ -oxidação converte-se em DHA 22:6 n-3 (Gibson et al., 2011).

Já os processos de alongamento da cadeia carbônica são realizados por duas acil graxa elongases, ELOVL2 e ELOVL5 (Betancor et al., 2014). Provavelmente, ELOVL5 está envolvida no alongamento de C<sub>18</sub> a C<sub>20</sub> e muito pouco no alongamento de C<sub>20</sub> a C<sub>22</sub>, enquanto ELOVL2 parece ser a responsável por esta última conversão (Morais et al., 2009). Da mesma forma que as dessaturases, as elongases atuam tanto na produção de n-3 quanto n-6, havendo competição entre si. Na competição por substratos existe maior afinidade das enzimas por ácidos graxos n-3 em relação aos n-6, sendo, portanto favorecida a formação de n-3 (Andrade e Carmo, 2006).

Apesar de possível, a conversão de ALA em EPA em vertebrados é baixa, cerca de 0,2 a 6,0% em humanos, enquanto a conversão de ALA em DHA é ainda mais crítica e está estimada entre 0,05% ou menos (Burdge, 2006).

## **2.2 LC-PUFAS e saúde**

LC-PUFAS (do inglês, long chain polyunsaturated fatty acids) ou ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa, podem ser considerados aqueles que possuem 20 carbonos ou mais na cadeia principal e mais de três insaturações (Sargent et al., 2002).

Diversos efeitos benéficos relacionados ao consumo dos n-3 LC-PUFAS são observados não somente em alterações cardíacas (Holub e Holub, 2004; Tur et al., 2012), mas em diversas patologias hepáticas (Capanni et al., 2006; Meganathan et al., 2011; Espinosa et al., 2013); doenças crônicas (Simopoulos, 2006; Simopoulos, 2008); problemas de acuidade visual (Stough et al., 2012); na melhoria do perfil lipídico sanguíneo, como redução de triacilglicerídeos (Maki et al., 2015), bem como aumento de HDL e fator VII de coagulação e repressão do VLDL, aumento da rigidez arterial, diminuição da inflamação e do estresse oxidativo (Tur et al., 2012) e desaceleração do declínio cognitivo em idosos sem demência (Fotuhi et al., 2009).

As recomendações da quantidade diária ideal de consumo não estão bem estabelecidas. Estimou-se que a ingestão diária de totais de n-3 seja entre 0,5-1,8 g para atender às exigências de boa saúde (Wall et al., 2010). Fotuhi et al. (2009), após extensa revisão, chegaram ao consenso da recomendação de ingestão semanal de duas a três porções de peixe ou uso de suplementos a base de EPA/DHA para manutenção das funções cognitivas, similar a recomendação da American Heart Association (AHA) para manutenção da saúde cardiovascular.

Pela relação existente entre n-3 e n-6, Simopoulos (2006) fez as recomendações com base na relação n-6/n-3 da dieta. Segundo o autor, no passado humanos possuíam dietas com relação n-6/n-3 próxima de 1 e atualmente populações ocidentais apresentam esta relação em torno de 15/1 a 16,7/1. O autor considerou que relações de até 4/1 sejam consideradas aptas para manutenção da saúde.

Essa elevação no consumo de n-6 poderia ser explicada pelo aumento na utilização de óleos vegetais na alimentação humana, impulsionado pelo incremento na produção de grãos gerado pela Revolução Agrícola no século XVII (Simopoulos, 2002a; Andrade e Carmo, 2006).

A partir dessa crescente utilização de óleos vegetais, ricos em ômega 6, observou-se maior incidência de doenças crônicas e degenerativas na população humana, principalmente em ocidentais (Simopoulos, 2006).

### **2.3 Fontes de ômega 3**

Tradicionalmente, as fontes de ômega 3 mais utilizadas são produtos derivados de peixes, como óleo e farinha de peixe. Fatores como inconstância e quantidade limitada fornecida principalmente pela pesca, riscos de contaminação e composição variável têm sido os grandes entraves na continuidade de utilização de tais fontes pela indústria de alimentação animal.

Outras possíveis alternativas seriam linhaça e colza. Embora pareça ser uma boa alternativa, a baixa eficiência de transformação de ALA em EPA ou DHA no organismo (Burdge, 2006; Karapanagiotidis et al., 2007; Brenna et al., 2009) constitui um obstáculo à utilização de linhaça ou colza em dietas animais.

Tendo em vista as limitações da substituição do óleo de peixe por fontes vegetais, pesquisas (Harel et al., 2002; Abril et al., 2003; Miller et al., 2007; Li et al., 2009; Watters et al., 2013; Hoestenbergh et al., 2014; Saiyasaeng et al., 2014; Park et

al., 2015) têm procurado incorporar algas/microalgas ricas em ômega 3 na dieta, que são as fontes primárias destes ácidos graxos na natureza.

A adubação de tanques de cultivo com adubação orgânica e/ou química para crescimento de algas no ambiente tem sido uma alternativa para criação de espécies filtradoras de plâncton, como a tilápia (Ribeiro et al., 2011).

Tilápias receberam por 120 dias alimento natural, por meio de fertilização química e orgânica em tanque de terra e apresentaram maior teor de n-3, nitidamente altas concentrações de DHA (10,01%), muito superiores aos tratamentos sem fertilização que foram de 0,98% de DHA e 0,89% de DHA (Ribeiro et al., 2011). Além disso, houve diminuição significativa das concentrações de n-6 (LA, 7,76%) e aumento do n-3 ALA nos animais que tiveram acesso ao alimento natural (Ribeiro et al., 2011). Segundo os autores, as diferenças estão relacionadas à composição das dietas. O zooplâncton, principalmente copépodes, abundante no alimento natural, é rico em n-3 (3%) (Lavaniegos e López-Cortés, 1997). Os microcrustáceos do gênero *Calanus* são constituídos em média por 7% de DHA (Lavaniegos e López-Cortés, 1997) e as microalgas do gênero *Chlorella* por 0,5% de DHA (Maazouzi et al., 2008). Estes gêneros estiveram presentes no sistema adubado em resposta à ótima relação nitrogênio/fósforo de 5/1 na água de cultivo (Ribeiro et al., 2011).

Novas tecnologias de fermentação têm permitido a produção de microalgas heterotróficas ricas em DHA com constância e qualidades microbiológica e nutricional em laboratórios e indústrias (Ganuza et al., 2008). Segundo os autores há ainda a encapsulação natural da biomassa de células de microalgas, que confere proteção aos seus ácidos graxos contra agentes oxidativos.

A partir de amostras coletadas de folhas e lama de mangue, faz-se a lavagem e isolamento de microalgas potencialmente utilizáveis (Hakim, 2013). Esse material pode ser cultivado em laboratórios e grandes indústrias com água de boa qualidade e substratos de baixo custo como amido, uréia, levedura, glicerol e glicose, sem a presença de luz (Apt & Behrens, 1999).

Dentre as microalgas estudadas, a dinoflagelada *Cryptocodinium cohnii* foi capaz de substituir totalmente o óleo de peixe na dieta de larvas de dourada (*Sparus aurata*) mantendo os mesmos níveis de DHA na composição larval quando comparado aqueles proporcionados pelo óleo de peixe (Ganuza et al., 2008). Os autores informaram que embora a exigência por DHA nesta fase seja o dobro de EPA, foi necessário adicionar uma fonte de EPA no caso da substituição de todas as fontes

lipídicas por microalgas, que são tipicamente pobres em EPA. Embora a exigência de EPA seja a metade de DHA para fase de larva (Rodríguez et al., 1998), prejuízos no crescimento, sobrevivência, sistema imune e respostas ao estresse podem ocorrer (Ganuza et al., 2008).

Estudo recente procurou avaliar a digestibilidade de nutrientes e energia de duas algas de água doce, *Spirulina* sp. (SPI), *Chlorella* sp. (CHL) e uma de água marinha *Schizochytrium* sp. (SCI) como possíveis substitutos ao óleo e farinha de peixe na nutrição da tilápia do Nilo (Sarker et al., 2015). Os autores concluíram que, pelos altos coeficientes de digestibilidade para aminoácidos e proteína (> 86%), SPI poderia substituir a farinha de peixe, mas não o óleo de peixe, pois não foram detectados n-3 LC-PUFAs. Pelos altos teores de fibra (79 g/Kg), CHL reduziu a digestibilidade de cinco aminoácidos essenciais e dos n-3 PUFA e, portanto, necessitaria de um pré-tratamento para ruptura da parede celular e assim ser viável para nutrição de peixes (Sarker et al., 2015). Apenas SCI foi indicada como boa alternativa para substituição do óleo de peixe por apresentar alto teor de LC-PUFAs (particularmente DHA) e coeficiente de digestibilidade de lipídeos (97,5%) superior ao óleo de peixe (Sarker et al., 2015). Essa elevada digestibilidade lipídica se dá possivelmente pelo alto teor de fosfolipídeos polares n-3 na SCI que são mais facilmente digeridos que os triglicéridos n-3 neutros do óleo de peixe (Sarker et al., 2015).

Microalgas marinhas, como dinoflageladas, aquelas pertencentes ao filo heteroconta e as do gênero *Schizochytrium* sp., como demonstrado, são ricas em LC-PUFAs e tem se tornado promissoras como fontes renováveis de ômega 3 (Miller et al., 2007).

Dentre estas microalgas, a *Schizochytrium* sp., micro-organismo unicelular esférico, que demonstra alta taxa de crescimento (divisão binária), contém até 48,95% de DHA em relação ao total de ácidos graxos (Ren et al., 2010; Sarker et al., 2015) e pode ser facilmente cultivada (Wu et al., 2005). A procura pela melhoria da eficiência na produção de tais microalgas tem sido uma constante, e acredita-se que a produção em larga escala possibilitaria a redução dos custos de produção e assim reduziria o preço do produto final (Watters et al. 2013).

Ao comparar a adição de 13,0% de óleo de peixe com 13,0% de óleo de microalga *Schizochytrium* sp na dieta de salmão do Atlântico, observou-se um aumento de 12,8% de DHA nos animais recebendo óleo de peixe para 23,4% de DHA nos animais recebendo óleo de microalga (Miller et al., 2007).

Adicionando a microalga *Schizochytrium* sp em dietas para catfish por 9 semanas, Li et al. (2009) concluíram que 2,0% de microalga seca são suficientes para melhorar o desempenho e aumentar os teores de n-3 totais e DHA, sem alterar a qualidade sensorial da carne. Além dos níveis de oferecimento, os autores mencionaram a importância de saber por quanto tempo seria necessário oferecer a microalga para aumentar a quantidade de n-3 LC-PUFAS na carcaça dos peixes, pois tem o custo como principal limitante.

Aumento nos teores de EPA e DHA de tilápia (*Oreochromis honorum*) foram verificados com 3,56% de suplementação da farinha de microalga *Schizochytrium* sp. (Watters et al., 2013). Contudo, os autores relataram que esse aumento só foi alcançado após 4 meses de alimentação com a farinha de microalga, mas que esse tempo não pode ser considerado ideal para dietas 100% vegetais, pois antes do início do experimento os peixes foram alimentados com dietas contendo farinha de peixe, o que pode ter influenciado os resultados. Watters et al. (2013) ressaltam a importância de se otimizar o tempo de uso de tais microalgas devido ao alto custo.

Da mesma forma, juvenis de perca recebendo 5,5% de farinha de microalga *Schizochytrium* sp. durante 10 semanas, apresentaram maiores teores de n-3 PUFAs e DHA na carne que aqueles recebendo óleo de peixe ou óleo de linhaça (Hoestenbergh et al., 2014). Os autores relataram que após esse período, um tempo suplementar de 4 semanas de alimentação contendo a microalga para o grupo que havia recebido linhaça, foi capaz de promover aumento nos níveis de n-3 a ponto de igualar aos encontrados nos animais alimentados com óleo de peixe.

### 3 OBJETIVO

Avaliar a inclusão, por diferentes períodos, da farinha de microalga *Schizochytrium* sp., como fonte de ômega 3, em dieta isenta de ingredientes de origem animal para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), na fase adulta, com base no desempenho, composição bromatológica e qualidade de carne do filé e perfil de ácidos graxos.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA), como parte do projeto “Microalga no desempenho, composição e características de qualidade de carne de peixe” da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Minas Gerais sob protocolo número 024/2015, referendado pelo CEUAP da Universidade Federal de Viçosa, sob protocolo 046/2015.

O experimento foi conduzido no Laboratório de Melhoramento Genético de Peixes do Departamento de Zootecnia (DZO) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina, Minas Gerais, Brasil.

### 4.1 Animais e delineamento experimental

Os peixes passaram por um período de adaptação (uma semana) às unidades experimentais, ao manejo e à ração extrusada não comercial. Neste período, os peixes receberam dieta extrusada contendo 320 g/kg de proteína bruta (PB) e 3000 kcal/kg de energia digestível (ED) quatro vezes ao dia (08:00, 11:00, 14:00 e 17:00 horas). Após este período de adaptação, os peixes foram submetidos a 24 horas de jejum e, em seguida, anestesiados com eugenol na concentração de 100 mg/L, como recomendado por Simões et al. (2010). Ao apresentarem perda parcial do equilíbrio e redução dos batimentos operculares, os animais foram retirados da solução anestésica e pesados em balança digital com capacidade de 800 g e precisão de 1,0 g.

Foram utilizadas 500 tilápias do Nilo, de linhagem tailandesa, com peso médio inicial de  $171,20 \text{ g} \pm 43,94 \text{ g}$ .

Os peixes foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado em cinco tratamentos, sendo quatro períodos de fornecimento (15, 30, 45 e 60 dias) de dieta contendo 3,0% de farinha de microalga *Schizochytrium* sp. (com 1,5% de óleo) e um tratamento controle, onde a farinha de microalga foi substituída por 3,0% da combinação óleo de soja (1,5%) e inerte (1,5%). Foram utilizadas cinco repetições por tratamento com vinte peixes por caixa. A composição da farinha de microalga é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição bromatológica e de ácidos graxos<sup>1</sup> da farinha de microalga *Schizochytrium* sp.<sup>2</sup>

<b>Composição bromatológica</b>	<b>(%)</b>
Matéria Seca	96,30
Proteína Bruta	19,22
Lipídeos Totais	50,00
Fibra Bruta	0,9
Cinzas	3,67
Fósforo	0,47
Cálcio	0,34
<b>Ácidos graxos</b>	<b>(% em relação aos ácidos graxos totais)</b>
<b>Saturados</b>	
Mirístico (C14:0)	3,86
Palmítico (C16:0)	54,69
Margárico (C17:0)	0,63
Esteárico (C18:0)	1,80
Araquídico (C20:0)	0,28
<b>Monoinsaturados</b>	
Miristoléico (C14:1n9)	1,60
<b>Poli-insaturados</b>	
Eicosapentaenoico - EPA (C20:5n3)	0,28
Erúcico (C22:1n9)	0,53
Docosadienoico (C22:2n6)	0,43
Docosahexaenoico - DHA (C22:6n3)	27,20
Não-identificados	0,71
EPA + DHA	27,48

<sup>1</sup>Os ácidos graxos caproico (C6:0), heptanoico (C7:0), caprílico (C8:0), nonanoico (C9:0), cáprico (C10:0), undecanoico (C11:0), láurico (C12:0), tridecanoico (C13:0), pentadecanoico (C15:0), palmitoléico (C16:0), margaroleico (C17:1), vacênico (C18:1n7), oléico (C18:1n9), elaídico (C18:1n9t), linoléico (C:18:2n6), linolelaídico (C18:2n6t),  $\alpha$ -linoleico,  $\gamma$ -linoleico, nonadecanoico (C19:0), eicosenoico (C20:1n9), eicosadienoico (C20:2n6), eicosatrienoico (C20:3n6), homo- $\gamma$ -linoleico, araquidônico (C20:4n6), heneicosanoico (C21:0), behênico (C22:0), docosapentaenoico (C22:5n3), tricosanoico (C23:0), lignocérico (C24:0) e nervônico (C24:1n9) foram detectados em concentrações abaixo de 0,10%. <sup>2</sup>All-G-rich-Alltech Inc.

## 4.2 Dietas e manejo de alimentação

As dietas controle e com farinha de microalga *Schizochytrium* sp., isentas de produtos de origem animal (Tabela 2), foram formuladas para atender as exigências nutricionais da espécie (Costa et al.,2009; Furuya, 2010).

Tabela 2. Composição de ingredientes das dietas com base na matéria natural

ITEM (%)	DIETAS	
	CONTROLE	COM FARINHA DE MICROALGA
Farelo de soja	54,43	54,43
Farelo de milho	23,40	23,40
Farelo de trigo	7,20	7,20
Amido de milho	6,90	6,90
Inerte <sup>1</sup>	1,70	0,20
Óleo de soja	1,50	0,00
Farinha de microalga <sup>2</sup>	0,00	3,00
Fosfato Bicálcico	3,20	3,20
Sal (NaCl)	0,50	0,50
Suplemento mineral e vitamínico <sup>3</sup>	0,50	0,50
L-Treonina	0,23	0,23
Calcário calcítico	0,20	0,20
DL-Metionina	0,16	0,16
Vitamina C	0,05	0,05
Antioxidante <sup>4</sup>	0,02	0,02
Antifúngico <sup>5</sup>	0,01	0,01

<sup>1</sup>Caulim amarelo. <sup>2</sup>All-G-rich-Alltech Inc. <sup>3</sup>Composição (em quantidade por kg do produto): Ácido fólico (mín.): 750 mg; Ácido Pantotênico: 3750 mg; BHT: 2500 mg; Biotina: 125 mg; Zinco: 20 g; Cobre: 2000 mg; Colina: 125 mg; Ferro: 15 g; iodo: 125 mg; Vit.K3: 1000 mg; Manganês: 3750 mg; Niacina: 7800 mg; Selênio: 75 mg; Vit.A: 2000000 UI; Vit.E: 15000 UI; Vit.B1: 2500 mg; Vit.B2: 2500 mg; Vit.B6: 2000 mg; Vit. D3: 500000 UI; Etoxiquin: 2500 mg. <sup>4</sup>Butil-hidroxitolueno. <sup>5</sup>Propionato de sódio.

As dietas foram processadas na fábrica de rações do Laboratório de Nutrição e Produção de Organismos Aquáticos (LabNut) do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Para tal, utilizou-se extrusora rosca simples com capacidade de 40 kg/hora, que proporcionou extrusas com diâmetro médio de 6,0 mm.

As dietas foram pesadas individualmente para cada caixa, de acordo com tratamento e repetição, em balança digital com capacidade de 800 g e precisão de 1,0 g

e acondicionadas em potes plásticos identificados por tanque. A cada reposição de ração nos potes, pesou-se a ração adicionada para posterior quantificação do total de ração oferecida.

No Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal da UFVJM foram analisadas nas dietas: matéria seca (MS), proteína bruta (PB), lipídeos totais, fibra bruta, cinzas (MM), cálcio e fósforo, seguindo os protocolos do Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (Brasil, 2005) (Tabela 3).

Tabela 3. Composição nutricional das dietas analisada com base na matéria natural.

ITEM (%)	DIETAS			
	CONTROLE		COM FARINHA DE MICROALGA	
	Calculada	Analisada	Calculada	Analisada
Matéria Seca	92,00	94,38	91,34	93,63
Proteína Bruta	32,00	31,90	32,58	31,77
Energia Digestível (kcal.Kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	3010	-	3010	-
Lipídeos Totais	6,95	6,88	7,00	6,98
Fibra Bruta	4,32	4,46	4,35	3,94
Cinzas	8,50	9,53	8,51	8,00
Amido <sup>2</sup>	29,71	-	29,71	-
Cálcio	1,05	1,36	1,06	1,33
Fósforo	0,72	0,72	0,73	0,72
Lisina <sup>2</sup>	1,78	-	1,78	-
Treonina <sup>2</sup>	1,07	-	1,07	-
Metionina <sup>2</sup>	0,47	-	0,47	-
Triptofano <sup>2</sup>	0,31	-	0,31	-

<sup>1</sup>Valores calculados considerando a composição nutricional de alimentos das Tabelas Brasileiras de nutrição de tilápias (Furuya, 2010) . <sup>2</sup>Valores calculados considerando a composição nutricional de alimentos das Tabelas brasileiras para aves e suínos (Rostagno et al., 2011).

O perfil de ácidos graxos (Tabela 4) das dietas experimentais foi analisado no Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), segundo a metodologia de Hartman e Lago (1973) e AOCS (1998).

Tabela 4. Composição de ácidos graxos em relação aos ácidos graxos totais nas dietas.

ITEM (%)	DIETAS	
	CONTROLE	COM FARINHA DE MICROALGA
Láurico (C12:0)	0	0,19
Mirístico (C14:0)	1,28	3,21
Pentadecanóico (C15:0)	0,21	0,69
Palmítico (C16:0)	18,05	33,22
Esteárico (C18:0)	8,29	7,80
Araquídico (C20:0)	0,29	0,26
<b>Total de saturados (<math>\Sigma</math>SFA)</b>	<b>28,11</b>	<b>45,38</b>
Palmitoléico (C16:1 n9)	1,25	1,69
Elaídico (C18:1 n9t)	0,16	0,16
t-vacênico (C18:1 n7t)	0,51	0,50
Oléico (C18:1 n9)	30,77	25,31
Vacênico (C18:1 n7)	1,64	1,20
Eicosanóico (C20:1)	0,51	0,39
<b>Total de Monoinsaturados</b>	<b>34,85</b>	<b>29,26</b>
Linoléico (C18:2 n6) (LA)	30,62	13,63
$\alpha$ -linolênico (C18:3 n3) (ALA)	2,93	1,08
Eicosapentaenoico (C20:5 n3) (EPA)	0,33	0,27
Docosahexaenoico (C22:6 n3) (DHA)	0,67	7,27
<b>Total de Poli-insaturados (<math>\Sigma</math>PUFA)</b>	<b>34,29</b>	<b>22,25</b>
<b>Total de Ômega 3</b>	<b>3,68</b>	<b>8,62</b>
<b>Total de Ômega 6</b>	<b>30,62</b>	<b>13,63</b>
<b>Total de trans-isômeros</b>	<b>0,67</b>	<b>0,66</b>
<b>Não identificados</b>	<b>2,75</b>	<b>3,11</b>
<b>EPA + DHA</b>	<b>1,00</b>	<b>7,54</b>
$\Sigma$ n6/ $\Sigma$ n3	<b>8,32</b>	<b>1,58</b>
$\Sigma$ PUFA/ $\Sigma$ SFA	<b>1,22</b>	<b>0,49</b>

Os peixes foram alimentados com as dietas experimentais por diferentes períodos: 15, 30, 45 e 60 dias, enquanto o grupo controle foi alimentado por 60 dias com dieta sem microalga conforme Figura 5. As dietas foram oferecidas quatro vezes ao dia (08:00, 11:00, 14:00 e 17:00 horas) até a saciedade aparente. As sobras de dieta foram recolhidas com peneira plástica 10 minutos após o oferecimento, sendo acondicionadas em potes identificados por tanque e armazenados em freezer a -18°C. Ao final do experimento, as sobras foram secas em estufa de ventilação forçada a 55°C por 48 horas e posteriormente pesadas.

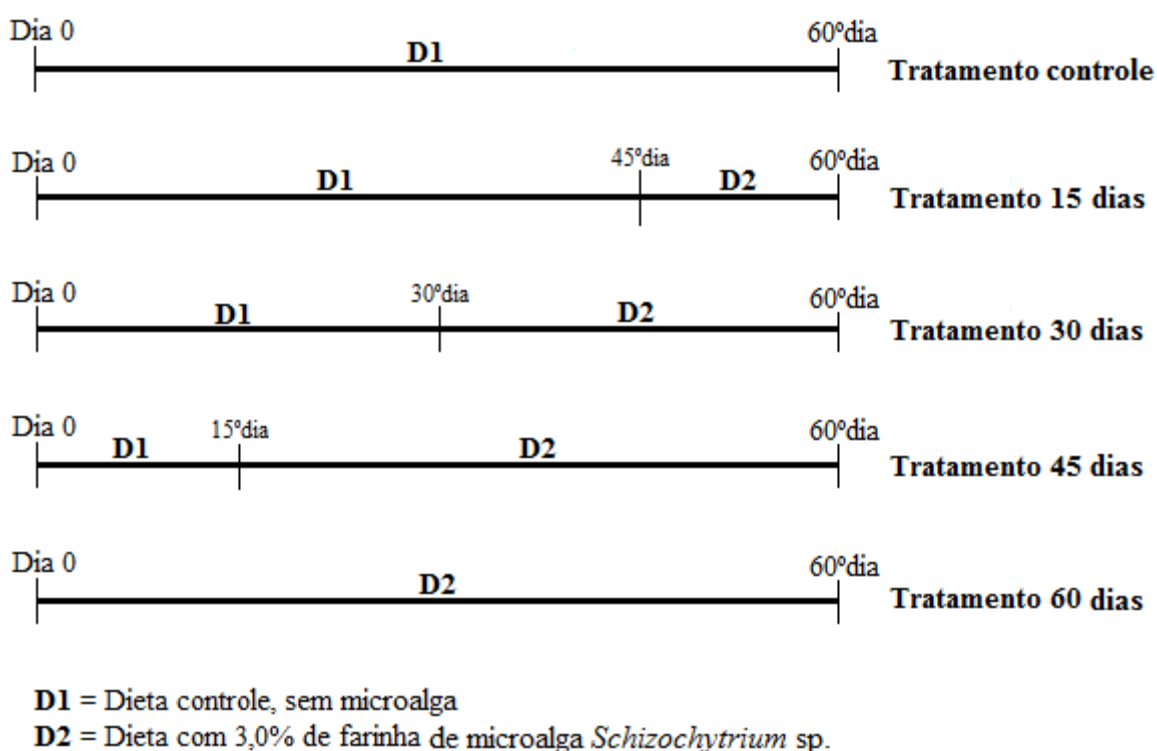


Figura 5. Esquema de alimentação segundo os tratamentos controle, 15, 30, 45 e 60 dias de oferecimento de ração sem microalga (D1) ou com microalga (D2).

Os peixes mortos foram contabilizados e imediatamente a esta constatação, procedeu-se a pesagem da dieta no pote da referida caixa para correção da conversão alimentar.

### 4.3 Instalações

Foi utilizada uma estufa contendo dois reservatórios, um de 10.000 L e outro de 5.000L, e 25 tanques circulares de polietileno com volume útil de 800 L cada, conectados a um sistema de recirculação de água, dotado de filtros mecânico, biológico

e luz UV. O abastecimento de água foi oriundo do reservatório da UFVJM mantido por poço artesiano. A renovação de água nos tanques foi de 120 L/hora. A aeração constante foi mantida por meio de compressores radiais e distribuída para as caixas por meio de mangueiras de silicone e pedra porosa. A temperatura da água foi mantida em  $27,68^{\circ}\text{C} \pm 1,12^{\circ}\text{C}$  por aquecedor elétrico. Os componentes do sistema utilizado pode ser visualizado na Figura 4.



Figura 4. Reservatório de 10.000 L (1). Caixas experimentais de 800 L úteis (2). Filtro mecânico de brita (3). Filtro biológico com aeração (4). Filtro mecânico de areia (5). Filtro microbiológico de luz UV (6).

O escoamento de água foi realizado através de tubos de PVC com diâmetro de 32 mm localizados lateralmente nos tanques. A água de escoamento foi direcionada por gravidade para os filtros mecânico e biológico, e destes para o do reservatório de 5.000 L. Deste reservatório a água foi bombeada para um filtro de areia e luz UV antes de chegar ao reservatório de 10.000 L, de onde reiniciava a recirculação para os 25 tanques. Diariamente, os filtros passavam por retrolavagem em que 2% do volume total foi esgotado e repostado com água do sistema de abastecimento da UFVJM.

A iluminação da estufa foi mantida exclusivamente pela luz do sol no fotoperíodo natural, com aproximadamente 13 horas de luz e 11 horas de escuro.

#### **4.4 Monitoramento da qualidade de água**

Semanalmente, realizavam-se análises da qualidade de água por meio de kits comerciais que utilizam fotocolorímetro microprocessado para avaliar: amônia total, nitrito, nitrato. Para mensurar oxigênio dissolvido utilizou-se oxímetro microprocessado. Com auxílio de uma sonda multiparâmetros foram mensurados: sólidos totais dissolvidos (TDS), pH e salinidade. As amostras de água para as análises foram tomadas aleatoriamente em quatro tanques no período da manhã, antes da alimentação. Quatro vezes ao dia (08:00, 11:00, 14:00 e 17:00 horas) a temperatura da água foi monitorada com termômetro de mercúrio em quatro tanques aleatoriamente.

#### **4.5 Abate e biometria**

Ao final do período experimental, os peixes passaram por 24 horas de jejum para esvaziamento do trato gastrointestinal, a fim de evitar a contaminação da carne no momento da evisceração, bem como a influência do peso da digesta no peso final dos animais.

Foram retirados aleatoriamente três animais de cada tanque e colocados em uma caixa contendo 200 L de solução salina, concentração de 4 mg/L, afim de reduzir o estresse causado pelo manuseio e transporte, como recomendado por Oliveira et al. (2009). As caixas contendo os três animais foram rapidamente transportadas para a Sala de Abate Experimental do laboratório de Ciências e Tecnologia dos Produtos de Origem Animal (CTPOA), DZO/UFVJM, localizado a 200 m da estufa onde estavam os animais. A sala de abate possuía lâmpadas fluorescentes compactas revestidas por folha de celofane preto transparente que diminuíram a luminosidade e proporcionaram bem estar aos animais.

Na Sala de Abate, os peixes foram retirados individualmente da caixa de transporte com puçá, colocados sobre tábua plástica de cortes cárneos, onde foram contidos com toalha de algodão úmida, tendo-se o cuidado de vedar os olhos durante o procedimento. Um único operador treinado promoveu a insensibilização por concussão cranial seguida de imediata decapitação.

Logo após o abate, os três animais passaram por biometria individualmente. Além dos três animais por caixa que passaram por biometria individual, os restantes de

cada caixa foram pesados, a fim de se determinar a biomassa total de cada tanque. Com os dados obtidos foram determinados:

- Consumo diário (g/dia) = [(alimento ingerido por tanque / N° peixes no tanque) / dias de alimentação];
- Ganho de peso diário (g por peixe) = [( $\sum$  peso corporal final do tanque –  $\sum$  peso corporal inicial do tanque) / N° animais do tanque];
- Conversão alimentar = alimento ingerido no tanque (g) /  $\sum$  ganho de peso (g)
- Sobrevivência (%) = 100 - [(N° de peixes inicial – N° peixes final) / N° peixes inicial].

#### **4.6 Composição química e características de qualidade de carne do filé**

Após a biometria, os peixes abatidos foram levados individualmente em bandejas plásticas brancas, identificadas para cada animal, até a sala de filetagem, anexa à sala de abate.

Primeiramente, a pele foi retirada no sentido craniocaudal (Souza et al., 1999). Para retirada dos filés foi efetuado corte raso na região dorsal da carcaça com faca de filetagem de peixes, aprofundando até a espinha, com movimentos no sentido craniocaudal, processo este realizado nos dois lados do peixe, obtendo-se assim os filés para o cálculo do rendimento de filé (RF) sem pele, conforme a fórmula:

$$RF = (PFL/PC) \times 100$$

Sendo (dados em gramas):

PFL = Peso do filé sem pele; PC = peso corporal total

O filé direito de cada um dos três peixes abatidos de cada tanque foi picado em pequenos pedaços e congelado a -80°C por 72 horas. Após esse período, foram imediatamente transferidos para liofilizador para desidratação por 24 horas. Liofilizados, os filés foram moídos em peneira de 1,00 mm e homogeneizados. Procedeu-se então às análises, em duplicatas, de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), lipídeos totais, fibra bruta e matéria mineral (MM) de acordo com os procedimentos descritos no Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (Brasil, 2005). Tais análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Alimentos e Nutrição Animal da UFVJM. A composição de ácidos graxos das amostras de filés foi analisada no Instituto

de Tecnologia de Alimentos (ITAL) segundo as metodologias de Hartman e Lago (1973) e AOCS (1998).

O filé esquerdo, dos três animais, foi embalado em sacos plásticos, identificados individualmente e, resfriados a 4°C por 24 horas. Após este período, foram executadas as análises de qualidade de carne no laboratório de Ciência e Tecnologia dos Produtos de Origem Animal - CTPOA, as quais foram: pH 24 horas, capacidade de retenção de água (CRA), perda de peso por cozimento (PPC), cor e luminosidade ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) e textura.

O pH foi mensurado inserindo-se o eletrodo do peagâmetro no interior do filé, em sua porção central e, aguardou-se até a estabilização de sua leitura.

Para a estimativa da CRA adotou-se a metodologia proposta por Hamm (1960). Uma subamostra de 0,5 grama retirada na região caudal do filé esquerdo de cada um dos três peixes abatidos por tanque foram dispostas entre dois papéis de filtro (12,5 cm de diâmetro) e estes entre duas placas de vidro (12cm x 12cm x 1cm), nos quais foi aplicado o peso de 10 kg/5 min (10 cm de diâmetro). A água liberada pelo filé foi retida no papel filtro e realizou-se nova pesagem da amostra do filé. A diferença de peso do filé foi atribuída à água exsudada. Os valores de CRA foram então expressos em porcentagem de água exsudada em relação ao peso inicial.

A cor e luminosidade dos filés foram mensuradas utilizando-se colorímetro, no sistema CIELAB, sendo avaliadas as variáveis  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (tendência ao vermelho) e  $b^*$  (tendência ao amarelo). O equipamento foi colocado em diferentes pontos dos filés, a saber: musculatura vermelha lateral, musculatura branca latero-dorsal e latero-ventral e musculatura branca medial central (Figura 6). Os valores  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  foram expressos como a média de três leituras realizadas pelo equipamento no mesmo ponto. O procedimento foi adotado segundo a metodologia proposta por Van Laack et al. (2000).



Figura 6. Face lateral e medial do filé de tilápia, com suas respectivas regiões de musculatura, branca dorsal, vermelha, branca ventral e central.

A luminosidade  $L^*$  varia do preto ao branco, sendo que zero denota o preto, enquanto o branco total tem um valor de  $L^*$  igual a 100. O valor de  $a^*$  representa a medida do croma no eixo vermelho-verde, sendo positivo para tons avermelhados e negativos à medida que assume cores esverdeadas. O eixo  $b^*$  refere-se a tons de amarelo ( $b^*$  positivo) indo até tons azulados ( $b^*$  negativo). As coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  tendem a zero para cores neutras (branco, cinza) e aumentam em magnitude para cores mais acentuadas.

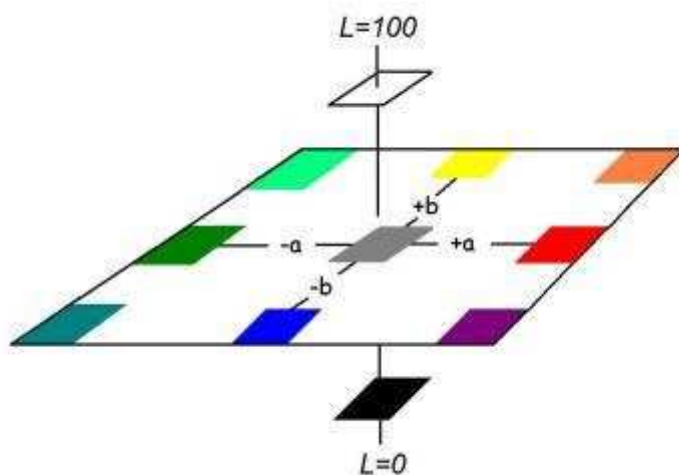


Figura 7. Cores no sistema CIE  $L^*a^*b^*$  (Lab) (Hunter Associates Laboratory Inc, Faifers, Virginia, USA). Fonte: [http://catarinaantunesdesign.blogspot.com.br/2011\\_01\\_02\\_archive.html](http://catarinaantunesdesign.blogspot.com.br/2011_01_02_archive.html)

Para a estimacão da perda de peso por coco (PPC), de cada um dos três peixes abatidos por tanque, foi retirada da região cranial do filé esquerdo, uma subamostra íntegra com dimensões de aproximadamente 4,0 x 4,0 cm. A subamostra foi embalada em papel laminado, com a face opaca voltada para o meio externo. Uma chapa metlica dupla face foi aquecida e mantida a temperatura de 180°C, sobre a qual foram depositadas as subamostras de filés embaladas. A temperatura das subamostras dos filés foi então monitorada por meio de termmetro cuja haste foi introduzida até o centro das subamostras. Ao atingir a temperatura entre 75°C e 80°C, as subamostras foram retiradas da chapa, desembaladas, colocadas sobre papel toalha e aguardava-se o resfriamento em temperatura ambiente. Em seguida, as subamostras foram pesadas. A diferença entre o peso inicial (filé “in natura”) e final (filé cozido) foi adotada como a perda de peso por coco (Honikel, 1987).

As amostras utilizadas na análise de PPC foram em seguida utilizadas para a avaliao da força de cisalhamento. Para este procedimento foi utilizado texturômetro Stable Micro Systems TAXT 2 Plus, equipado com probe blade set V Warner Bratzler.

O equipamento foi calibrado com peso-padrão de 5 kg e padrão rastreável. A velocidade de descida e corte do dispositivo foi ajustada a 200 mm min<sup>-1</sup> (AMSA, 1995). As amostras foram dispostas sobre a mesa de corte do equipamento com as fibras musculares internas orientadas no sentido perpendicular à lâmina da probe Warner-Blatzler.

Vale ressaltar uma observação importante encontrada em testes prévios para utilização do texturômetro. A recomendação para verificação da força de cisalhamento é que a amostra seja disposta com as fibras em sentido perpendicular à lâmina de corte, obtendo assim a força máxima de cisalhamento. Contudo, levando em consideração o sentido das fibras mais externas (aquelas que estavam em contato com a pele), as leituras da textura eram muito menores do que aquelas realizadas quando as amostras estavam dispostas com as fibras no mesmo sentido da lâmina. As amostras que possuíam aproximadamente 2,0 cm de espessura foram então seccionadas transversalmente originando duas lâminas de tecido com 1,0 cm de espessura cada. Notou-se que, em profundidade, o sentido das fibras foi diferente daqueles observados na face mais externa do filé. A partir dessas observações optou-se por utilizar o critério que fornecesse as maiores forças de cisalhamento que condiziam com as fibras externas no mesmo sentido da lâmina.

#### **4.7 Perfil lipídico de resíduos da filetagem**

Foram considerados resíduos da filetagem: a cabeça, as vísceras e a espinha, que poderiam ser processados para utilização na alimentação humana e/ou animal. A pele não foi analisada por ser considerada um subproduto da filetagem que teria aplicação junto a indústria de curtume (Souza e Maranhão, 2001).

Para fins de definição, cabeça foi considerada como o conjunto de cabeça, opérculos e nadadeiras peitorais, destacada do corpo por meio corte contornado, por este resultar em maior rendimento de filé (Souza et al., 2000). Vísceras foram consideradas todas as estruturas presentes na cavidade celomática inclusive gônadas e depósitos de gordura (Silva et al., 2009). “Espinha” foi considerado como a porção corporal resultante da remoção da cabeça, pele, filés e vísceras (Petenuci et al., 2008), ou o equivalente ao tronco limpo descrito por Souza et al. (2000) desprovido de filé e acrescido de nadadeiras dorsal, pélvica e anal.

Os resíduos de 3 peixes de cada caixa foram individualmente congelados a -80°C por 72 horas. Após esse período, foram imediatamente transferidos para liofilizador para desidratação por 24 horas. Liofilizados, os resíduos foram separadamente moídos em peneira de 1,00 mm e homogeneizados por tanque e por tipo de resíduo. A composição de ácidos graxos foi analisada no Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) segundo as metodologias de Hartman e Lago (1973) e AOCS (1998).

Os dados foram apresentados como analisados, ou seja, como percentual dos ácidos graxos totais. Tendo em vista que existem trabalhos publicados com dados em percentual dos lipídeos totais, quando necessário, adotaram-se os fatores de correção descritos por Exler et al. (1975), sendo 0,9 para carne gorda de peixe (cabeça, espinha e vísceras) e 0,7 para carne magra de peixe (filé). Nestes casos, os valores analisados foram multiplicados pelo fator de correção correspondente, como se segue:

$$\% \text{ AGLT} = \% \text{ AGAGT} \times \text{FC}$$

onde:

% AGLT: percentual do ácido graxo em relação aos lipídeos totais

% AGAGT: percentual do ácido graxo em relação aos ácidos graxos totais

FC: fator de correção

#### **4.8 Análises estatísticas**

Para os dados de desempenho a unidade experimental foi considerada como o tanque contendo 20 peixes. Para as análises de qualidade de carne, composição bromatológica e perfil lipídico, a unidade experimental constitui-se de três peixes escolhidos aleatoriamente de cada tanque.

Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão, utilizando-se o programa computacional Statistical Analysis System (SAS), versão 9.4 para Windows, por meio dos procedimentos PROC GLM, para análise de variância e PROC REG, para análises de regressão (linear e quadrática).

Para comparar as médias do tratamento controle com os demais utilizou-se o teste de Dunnett, adotando-se o nível de 0,05 de probabilidade. Para a escolha dos modelos adotou-se a significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” até o nível de 0,05 de probabilidade, no coeficiente de determinação ( $R^2 = \text{SQregressão} / \text{SQtotal}$ ) e no comportamento biológico.

Para a estimação dos valores a partir da equação quadrática, considerou-se 95% da resposta como ótimo, pela superestimação do modelo quadrático (Euclides e Rostagno, 2001).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de qualidade da água durante o período experimental estão apresentados na Tabela 5. Com base nesses resultados e considerando que estes valores estão dentro do padrão de normalidade proposto por Timmos e Ebeling (2010), pode-se deduzir que a qualidade de água provavelmente não influenciou no desempenho dos animais.

Tabela 5. Média, desvio padrão e valores de referência das variáveis de qualidade da água de cultivo durante o período experimental

Variáveis	Média	Desvio padrão	Valores de referência
Nitrato NTD (mg/L N-NO <sub>3</sub> )	1,09	1,37	0 - 400
Amônia (mg/L)	0,07	0,06	< 3,0
Nitrito (mg/L)	0,32	0,32	< 1,0
Temperatura (°C)	27,68	1,12	> 20
Sólidos totais dissolvidos – TDS (mg/L)	109,80	38,48	< 400,0
Salinidade (mg/L)	0,07	0,02	< 0,50
pH	7,37	0,54	6,0 – 8,5
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,68	1,10	> 3,0

Com relação ao tratamento controle, a suplementação com a farinha de microalga *Schizochytrium* sp. na dieta para tilápia do Nilo, independente do período de fornecimento, não influenciou ( $P > 0,05$ ) nenhum dos parâmetros de desempenho avaliados bem como a taxa de sobrevivência dos peixes (Tabela 6).

Tabela 6. Médias<sup>1</sup> de desempenho, rendimento filé e taxa de sobrevivência de tilápias do Nilo alimentadas com dieta controle e contendo farinha de microalga *Schizochytrium* sp. por diferentes períodos.

ITEM	Período de oferecimento de dieta contendo farinha de microalga (dias)					EPM <sup>2</sup>	P valor		
	Controle	15	30	45	60		ANOVA	Linear	Quad. <sup>3</sup>
Consumo diário (g)	4,18	4,24	4,17	4,00	4,25	0,07	0,12	0,62	0,02
Peso Inicial (g)	173,82	171,86	172,86	169,80	172,66	1,14	0,21	0,11	0,45
Peso Final (g)	368,18	384,42	377,32	366,28	382,64	5,75	0,12	0,49	0,04
Ganho de Peso (g)	194,26	209,82	204,44	196,48	207,94	5,51	0,22	0,56	0,12
Conversão Alimentar	1,292	1,217	1,224	1,222	1,230	0,02	0,14	0,72	1,00
Rendimento de Filé (%)	34,46	35,82	33,46	35,09	35,10	0,68	0,16	0,86	0,07
Sobrevivência (%)	100,00	99,00	100,00	100,00	99,00	0,63	0,57	1,00	0,18

<sup>1</sup>Médias individuais de cinco caixas por tratamento. <sup>2</sup>Erro padrão da média. <sup>3</sup>Quadrático.

\*As médias seguidas por asterisco na mesma linha diferem da testemunha (controle) ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste Dunnett.

A exigência de ácidos graxos para tilápia foi determinada apenas para os ácidos graxos da família ômega 6 (NRC, 2011), sendo que a exigência foi de 0,5% da dieta na forma de ácido linoléico (LA) (Takeuchi et al., 1983). Nas dietas, controle e contendo microalga, do presente estudo, essas exigências foram atendidas, uma vez que na dieta controle havia 2,11% de ácido linoléico e na dieta contendo microalga 0,95% (Tabelas 2 e 3), o que justificaria o similar desempenho apresentado pelos peixes neste estudo.

A exigência de ácidos graxos da família ômega 3 ainda não foi estabelecida para tilápia (NRC, 2011). No entanto, em estudo conduzido por Chou e Shiau (1999), ficou evidenciada a exigência de tilápia por ômega 3 para o máximo crescimento. Contudo, esses autores não chegaram a conclusões sobre valores de tal exigência.

Embora o peso final dos animais não tenha sido influenciado significativamente pela suplementação da farinha de microalga *Schizochytrium* sp. na dieta, verificou-se que ocorreu aumento médio de 5,36% no seu valor absoluto quando comparado com os animais alimentados com a dieta controle. De forma semelhante, também foi constatado uma melhora média de 5,32% no valor absoluto da conversão alimentar nos peixes alimentados com dieta contendo farinha de microalga *Schizochytrium* sp. em relação aos que receberam a dieta controle.

O fato dos animais estarem em sistema de recirculação de água fechado e serem manuseados apenas no momento inicial e final do experimento para procedimentos de biometria, permitiu que o desafio sanitário e situações promotoras de estresse fossem minimizados. Sendo os ácidos graxos ômega 3 atenuantes da resposta imunológica e inflamatória (Yaqoob, 2010; Wall et al., 2010; Liu et al., 2012; Liu et al., 2014), a inclusão da farinha de microalga *Schizochytrium* sp., como fonte de ômega 3, provavelmente atenuou a resposta imune e inflamatória dos peixes, o que justifica a melhora, não significativa, na conversão alimentar dos animais alimentados com microalga em relação aos que receberam a dieta controle.

Sendo assim, é possível que em situações de campo, em que os animais estariam sendo submetidos a maior desafio imunológico e sanitário, comuns ao sistema de cultivo, uma atenuação da resposta imune pelo aumento de ômega 3 na dieta poderia ocasionar melhorias superiores no desempenho dos animais quando comparado a experimentos em laboratório.

Quanto aos períodos de alimentação com dieta contendo microalga, observou-se que o consumo de ração foi influenciado ( $P < 0,05$ ) tendo variado de forma quadrática, diminuindo até o período estimado de 37 dias segundo a equação  $\hat{y} = 0,000356x^2 - 0,0276x + 4,6$ ;  $R^2 = 0,66$  (Tabela 6). A princípio, não se encontraram na literatura consultada, fundamentos que justificassem o efeito negativo do período de 37 dias de suplementação de microalga na ingestão voluntária de alimento pelos peixes.

O peso final dos animais também foi influenciado ( $P < 0,05$ ) pelo período de suplementação com farinha de microalga tendo variado de forma quadrática, diminuindo até o período de 38 dias estimado pela equação  $\hat{y} = 0,026067x^2 - 2,0642x + 411,085$ ;  $R^2 = 0,75$  (Tabela 6). Os resultados obtidos diferem dos relatados por Miller et al. (2007) e Hoestenberghé et al. (2014) que não observaram diferença no desempenho dos peixes quando a microalga foi introduzida na dieta e de diversos trabalhos (Li et al., 2009; Watters et al., 2013; Saiyasaeng et al., 2014) que observaram melhoria no desempenho dos peixes quando alimentados com dieta suplementada com microalga *Schizochytrium* sp. por períodos iguais ou maiores que o do presente estudo. Os resultados de peso final dos peixes obtidos nesse estudo podem ser justificados pela variação ocorrida no consumo voluntário de ração pelos peixes.

Com relação à composição bromatológica do filé de tilápia, verificou-se que os conteúdos de umidade, proteína bruta, lipídeos totais e matéria mineral não variaram ( $P > 0,05$ ) quando foi incluída na dieta a farinha de microalga, independente do tempo de

oferecimento, quando comparado aos animais que receberam dieta controle (Tabela 7). Esses resultados são compatíveis com a composição das dietas, pois continham valores similares de umidade, proteína bruta, lipídeos totais e matéria mineral.

Tabela 7. Níveis de proteína bruta, lipídeos totais e matéria mineral, com base na matéria natural, no filé de tilápias do Nilo alimentadas com dietas contendo ou não 3% de farinha de microalga *Schizochytrium* sp. por diferentes períodos.

ITEM (g/100g)	Período de oferecimento de alga (dias)					EPM <sup>1</sup>	P valor		
	Controle	15	30	45	60		ANOVA	Linear	Quadrático
Umidade	81,23	80,97	80,68	81,08	80,21	0,20	0,52	0,31	0,49
Proteína bruta	16,53	16,28	16,99	16,10	16,26	0,18	0,07	0,09	0,41
Lipídeos totais	1,36	1,42	1,13	1,13	1,47	0,10	0,03	0,70	<0,01
Matéria mineral	1,10	1,13	1,26	1,10	1,14	0,05	0,19	0,37	0,54

<sup>1</sup>Erro padrão da média

\*As médias seguidas por asterisco na mesma linha diferem da testemunha (controle) ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste Dunnett.

A concentração de lipídeos totais no filé foi influenciado ( $P < 0,05$ ) pelo período de suplementação da dieta com microalga de modo quadrático, diminuindo até o período de 35 dias estimado pela equação  $\hat{y} = 0,0007x^2 - 0,0515x + 2,0375$ ;  $R^2 = 0,99$  (Tabela 7). Esse resultado possivelmente esteve relacionado ao comportamento do consumo da dieta contendo microalga, em que o menor consumo de dieta foi responsável pela menor deposição lipídica no filé. O consumo da dieta parece ter influenciado mais a composição lipídica que os teores de umidade, proteína e minerais do filé. Os níveis de proteína bruta e minerais nas dietas foram, provavelmente, suficientes para atender a taxa de deposição desses nutrientes no filé, mesmo quando o consumo foi reduzido.

Conforme classificação de Ackman (1989), os peixes do presente estudo podem ser considerados peixes de muito baixo teor de gordura (abaixo de 2,0%). Os teores de lipídeos totais encontrados (1,13% a 1,47%) estiveram próximos aos relatados para tilápia do Nilo recebendo até 5,0% de óleo de linhaça como fonte de ômega 3 (Visentainer et al., 2005). Esses baixos teores podem estar relacionados, além da genética, principalmente à dieta, já que no caso da tilápia do Nilo a nutrição pode ser o

principal fator determinante da taxa lipogênica (Ribeiro et al., 2008). Tecidos com baixos teores de gordura intramuscular tendem a apresentar maiores teores ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (LC-PUFAs), como os ômega 3 e 6 de cadeia longa (Cortinas et al., 2004; Ribeiro et al., 2013). Desse modo, os filés de tilápia deste experimento atenderiam a um dos principais atributos da carne de peixe, baixo teor de gordura e, possivelmente, com perfil de ácidos graxos mais favorável à saúde.

De todas variáveis utilizadas para avaliar as características da carne do filé de tilápia, apenas a variável “b”, indicativa da cor amarela variou na porção ventral da face lateral do filé ( $P < 0,05$ ) (Tabela 8). Entretanto, não foi detectada influencia ( $P > 0,05$ ) do período de alimentação com dieta contendo microalga sobre a variável “b” no filé de tilápia. Observou-se apenas que esta variável foi maior no filé dos animais que receberam dieta contendo microalga por 30 dias em relação aos alimentados com dieta controle ( $P < 0,05$ ). Isso poderia ser explicado pela presença de  $\beta$ -carotenóides e cantaxantinas na microalga *Schizochytrium* sp., que conferem a farinha de microalga a tonalidade amarelo-dourado (Barclay et al., 1994; Ribeiro et al., 2013). Entretanto, não fica claro o motivo para somente aos 30 dias ter sido diferente e não nos demais períodos de alimentação com dieta contendo microalga e essa diferença ter se manifestado em uma única região do filé.

Embora não tenha sido detectada diferença significativa ( $P > 0,05$ ), observou-se aumento no valor absoluto médio da capacidade de retenção de água (CRA) no filé dos animais alimentados com dieta contendo farinha de microalga, independente do período de oferecimento. Comparado ao filé dos animais alimentados com dieta controle (56,96% x 58,47%), o filé dos animais alimentados com dieta contendo microalga apresentou aumento de 2,65% na CRA (Tabela 8).

Tabela 8. Qualidade de carne do filé de tilápia em função do período de alimentação com dietas contendo ou não 3,0% de farinha de microalga *Schizochytrium* sp.

ITEM	Período de oferecimento de farinha de microalga <i>Schizochytrium</i> sp. (dias)					EPM <sup>1</sup>	P valor		
	Controle	15	30	45	60		ANOVA	Linear	Quad. <sup>2</sup>
Textura (Kgf/g)	1,38	1,24	1,36	1,28	1,27	0,12	0,90	0,95	0,58
Perda de peso por cozimento (%)	14,91	18,10	18,24	18,18	17,26	1,05	0,47	0,62	0,65
pH	6,08	6,04	6,11	6,03	6,04	0,03	0,18	0,53	0,37
Capacidade de retenção de água (%)	56,96	58,19	58,82	57,72	59,14	0,73	0,39	0,65	0,65
<b>COR</b>									
<b>Face lateral do filé</b>									
Porção Dorsal									
Luminosidade	42,52	42,50	42,38	42,53	41,94	0,48	0,63	0,53	0,81
“a” (tendência ao vermelho)	1,58	2,12	1,62	1,69	1,58	0,22	0,43	0,38	0,93
“b” (tendência ao amarelo)	-3,47	-2,85	-2,95	-3,50	-3,38	0,32	0,48	0,23	0,97
Músculo Vermelho									
Luminosidade	41,15	41,07	40,91	41,17	42,29	0,88	0,81	0,32	0,47
“a” (tendência ao vermelho)	9,72	9,35	9,20	9,35	9,08	0,75	0,98	0,85	0,94
“b” (tendência ao amarelo)	-1,42	-0,78	-0,86	-0,97	-1,12	0,32	0,66	0,44	0,92
Porção Ventral									
Luminosidade	46,57	47,68	47,94	48,08	47,14	0,66	0,47	0,63	0,39
“a” (tendência ao vermelho)	5,10	5,77	5,86	5,25	5,10	0,44	0,59	0,19	0,79
“b” (tendência ao amarelo)	0,85	1,91	2,48*	1,43	1,24	0,45	0,11	0,16	0,44
<b>Face medial do filé</b>									
Luminosidade	42,52	42,50	42,38	42,53	41,94	0,48	0,89	0,49	0,64
“a” (tendência ao vermelho)	1,58	2,12	1,62	1,69	1,58	0,22	0,36	0,12	0,39
“b” (tendência ao amarelo)	-3,47	-2,85	-2,95	-3,50	-3,38	0,32	0,45	0,16	0,75

<sup>1</sup>Erro padrão da média. <sup>2</sup>Quadrático.

\*As médias seguidas por asterisco na mesma linha diferem da testemunha (controle) ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste Dunnett.

Hoestenbergh et al. (2014) de modo semelhante, não verificaram influencia da suplementação de 5,5% de farinha de *Schizochytrium* sp. na dieta durante 10 semanas nos teores de umidade, proteína e lipídeos totais do músculo branco de perca (*Scortum barcoo*).

Em estudo conduzido com bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) alimentado com dietas contendo até 2,0% da microalga *Schizochytrium* sp. por 9 semanas, Li et al. (2009) também não verificaram variação significativa na composição bromatológica ou qualidade de carne, avaliada em análise sensorial de preferência global e detecção de acentuado flavor (odor e sabor) de peixe (fishy taste), indicativo de não frescor.

Embora não tenham sido realizadas análises sensoriais, o teor adotado de 3,0% de farinha de microalga *Schizochytrium* sp., foi similar aos valores descritos na literatura como seguro, do ponto de vista sensorial, para diferentes espécies (Mooney et al., 1998; Li et al., 2009; Ribeiro et al., 2013). Além disso, as demais variáveis físico-químicas analisadas reafirmam o não comprometimento da qualidade da carne dos peixes recebendo dieta contendo microalga em relação aqueles que receberam dieta controle, constituída por ingredientes usualmente utilizados em dietas comerciais.

Com relação ao perfil lipídico do filé de tilápia, verificou-se que o total de ácidos graxos saturados (entre 36,49 e 38,50%) não foi influenciado ( $P > 0,05$ ) pela suplementação de microalga *Schizochytrium* sp. na dieta (Tabela 9) e foi similar (35,38%) ao encontrado por Ferreira et al. (2011) em tilápia do Nilo recebendo por 160 dias dieta contendo óleo de peixe.

Tabela 9. Perfil de ácidos graxos em relação aos ácidos graxos totais no filé de tilápias do Nilo alimentadas com dietas contendo ou não 3% de farinha de microalga *Schizochytrium* sp. por diferentes períodos

ITEM (%)	Período suplementação de farinha de microalga <i>Schizochytrium</i> sp. (dias)					EPM <sup>1</sup>	P valor		
	Controle	15	30	45	60		ANOVA	Linear	Quad <sup>2</sup>
Mirístico (C14:0)	2,70	2,54	2,36	2,52	2,34	0,13	0,31	0,44	0,99
Pentadecanoico (C15:0)	0,26	0,30*	0,32*	0,36*	0,34*	0,01	<0,01	<0,01	0,01
Palmítico (C16:0)	24,67	25,49	25,56	26,32*	26,14*	0,22	<0,01	0,03	0,60
Esteárico (C18:0)	8,34	7,82	7,41*	8,53	7,93	0,17	<0,01	0,04	0,49
Araquídico (C20:0)	0,22	0,22	0,20	0,22	0,22	0,004	0,06	0,09	0,02
Lignocérico (C24:0)	0,83	0,77	0,64*	0,55*	0,48*	0,02	<0,01	<0,01	0,16
<b>ΣSFA<sup>2</sup></b>	<b>37,02</b>	<b>37,14</b>	<b>36,49</b>	<b>38,50</b>	<b>37,45</b>	0,38	0,03	0,13	0,73
Miristoleico (C14:1n9)	0,16	0,27	0,14	0,14	0,13	0,04	0,09	0,04	0,17
Palmitoleico (C16:1n9)	4,17	3,97	4,04	4,06	4,03	0,07	0,48	0,46	0,40
Elaídico (C18:1n9t)	0,50	0,37*	0,30*	0,39	0,39	0,03	0,01	0,12	0,13
t-vacênico (C18:1n7t)	0,19	0,15	0,11*	0,20	0,17	0,02	0,02	0,08	0,71
Oleico (C18:1n9)	29,70	28,92	27,09*	29,68	29,29	0,22	<0,01	<0,01	0,01
Vacênico (C18:1n7)	2,85	2,72	2,51*	2,74	2,66	0,05	<0,01	0,82	0,27
Eicosanoico (C20:1)	1,62	1,24*	1,04*	1,18*	1,24*	0,06	<0,01	0,52	0,02
Erúcido (C22:1n9)	0	0	0	0	0,15*	0,02	0,03	0,03	0,08
<b>ΣMUFA<sup>3</sup></b>	<b>39,19</b>	<b>37,64*</b>	<b>35,23*</b>	<b>38,39</b>	<b>38,06</b>	0,23	<0,01	0,04	<0,01
Linoleico - LA (C18:2n6)	14,52	14,90	16,33	12,60*	13,60	0,46	<0,01	<0,01	0,67
α-linolênico - ALA (C18:3n3)	0,91	0,92	1,10*	0,77*	0,87	0,03	<0,01	0,02	0,34
Araquidônico - AA (C20:4n6)	1,59	1,52	1,58	1,22*	1,03*	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
Docosohexanoico -DHA (C22:6n3)	0,64	1,65*	3,12*	2,89*	3,45*	0,13	<0,01	<0,01	0,01
<b>ΣPUFA<sup>4</sup></b>	<b>17,66</b>	<b>18,99</b>	<b>22,13*</b>	<b>17,48</b>	<b>18,95</b>	0,38	<0,01	0,02	0,07
<b>Não identificados</b>	<b>6,13</b>	<b>6,23</b>	<b>6,15</b>	<b>5,63</b>	<b>5,54</b>				
<b>Σn3</b>	<b>1,55</b>	<b>2,57*</b>	<b>4,22*</b>	<b>3,66*</b>	<b>4,32*</b>	0,10	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Σn6</b>	<b>16,11</b>	<b>16,42</b>	<b>17,91</b>	<b>13,82*</b>	<b>14,63</b>	0,44	<0,01	<0,01	0,49
<b>Σn6/Σn3</b>	<b>10,39</b>	<b>6,39*</b>	<b>4,24*</b>	<b>3,78*</b>	<b>3,39*</b>	0,22	<0,01	<0,01	<0,01
<b>SFA/PUFA</b>	<b>2,10</b>	<b>1,96</b>	<b>1,65*</b>	<b>2,20</b>	<b>1,98</b>	0,04	<0,01	0,02	0,40

<sup>1</sup>Erro padrão da média; <sup>2</sup>SFA= ácidos graxos saturados; <sup>3</sup>MUFA= ácidos graxos monoinsaturados; <sup>4</sup>PUFA= ácidos graxos poli-insaturados. <sup>5</sup>Quadrático.

\*As médias seguidas por asterisco na mesma linha diferem da testemunha (controle) ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste Dunnett.

O ácido erúcido (C22:1n9) não foi constatado nas dietas, mas somente no filé de animais que receberam por 60 dias dieta contendo a farinha de microalga. Entretanto,

ressalta-se a farinha de microalga *Schizochytrium* sp. possuía 0,53% de ácido erúico em sua composição (Tabela 1), o que justificaria o aparecimento de 0,15% desse ácido no filé desses animais.

Tilápias do Nilo recebendo dieta contendo 3,75% de óleo de linhaça por até 30 dias apresentaram níveis de ácido erúico no filé entre 0,10% e 0,12% (Justi et al., 2003), próximo aos encontrados no presente trabalho.

Há controvérsias sobre benefícios e malefícios do ácido erúico nos alimentos, pois ao mesmo tempo em que atuaria como fator antinutricional ele seria também um componente bioativo com propriedades benéficas à saúde (NRC, 2011). Prevenção de doenças cardíacas foram relatadas em estudo epidemiológico por Rastogi et al. (2004), mas lesões cardíacas e acúmulo de lipídeos foram encontrados em ratos recebendo altas concentrações de ácido erúico (McCutcheon et al., 1976). No caso de peixes, foram descritos efeitos negativos histopatológicos e de desempenho em salmão alimentado com dieta contendo 6 e 12% de óleo de colza (Hendricks, 2002), que contém até 60% de ácido erúico (NRC, 2011). Verificou-se, portanto que, no presente estudo não foram encontrados níveis significativos de ácido erúico na dieta, o que não comprometeria o desempenho dos animais. Além disso, o nível detectado no filé somente aos 60 dias de alimentação com microalga de apenas 0,15% está muito abaixo dos relatados como maléficis para ratos, que foram de 26-30% do óleo em dietas com 20% de lipídeos (McCutcheon et al., 1976). Desse modo, o nível encontrado no filé não comprometeria sua utilização na alimentação humana, podendo até mesmo ser benéfico (NRC, 2011).

O somatório de ácidos graxos monoinsaturados encontrados no filé de tilápia apresentou efeito quadrático ( $\hat{y} = 0,0023x^2 - 0,1439x + 38,825$ ,  $R^2 = 0,33$ ) (Tabela 9), sendo aos 30 dias alcançados os menores teores (36,58%).

A composição de ácidos graxos dos tecidos depende diretamente da composição de ácidos graxos da dieta (Sretenović et al., 2009). A dieta contendo farinha de microalga possuía 61,44% mais ácidos graxos saturados (SFA) que a dieta controle. O somatório de ácidos graxos saturados no filé foi estaticamente igual tanto para os animais do tratamento controle quanto para aqueles que continham microalga na dieta por diferentes períodos de oferecimento.

Já em relação aos teores de ácidos graxos monoinsaturados (MUFA), a dieta contendo microalga possuía 19,10% menos ácidos graxos monoinsaturados em relação ao controle. Diferença ( $P < 0,05$ ) de monoinsaturados no filé foi encontrada para animais alimentados por até 30 dias com dieta contendo microalga pelo teste Dunnet.

Dentre os períodos de alimentação com a dieta contendo microalga, verificou-se que a partir de 45 dias de alimentação, não foram detectadas diferenças na composição de MUFA no filé dos animais quando comparados aos alimentados com a dieta controle (Tabela 9). Resultado semelhante foi observado para o filé de tilápia recebendo 7,0% de óleo de linhaça (Tonial et al., 2009).

Diante dessas informações, pode-se inferir que, tilápias do Nilo recebendo dieta contendo microalga, foram eficientes na conversão de ácidos graxos saturados em monoinsaturados, como em outras espécies de água doce (Sargent et al., 2002). Uma possível explicação para o fato poderia estar relacionada às diferenças na afinidade enzimática por substratos.

A afinidade das enzimas elongases e, principalmente, dessaturases é maior para as série ômega 3 em relação à serie ômega 6, e ambas são maiores que a afinidade enzimática para série ômega 9 (Sargent et al., 2002). A dieta contendo microalga possuía altos teores de ômega 3 e baixos teores de ômega 6 (Tabela 4). Contudo, a forma preponderante de ômega 3 na dieta contendo microalga foi em forma de DHA (C22:6n3), um ácido graxo prontamente disponível de cadeia longa e com grande número de insaturações, e pouco mais de 1% sob as formas de ALA (C18:3n3) e EPA (C20:5n3), as quais exigem enzimas para alongação e dessaturação. Sendo assim, as enzimas responsáveis pela alongação e dessaturação dos ácidos graxos saturados e que pertencem a série ômega 9, estariam ativas para transformação de ácidos graxos de cadeia curta em cadeia longa e de saturados em insaturados.

Os ácidos graxos monoinsaturados tem se constituído como fontes primárias de energia derivada dos lipídeos em peixes, enquanto os PUFA têm sido preferencialmente depositados nos tecidos, onde executariam suas funções como maiores constituintes das biomembranas (Henderson e Tocher, 1987). Possivelmente, aos 30 dias houve a máxima mobilização de monoinsaturados para geração de energia, culminando com os menores teores desses ácidos graxos no filé dos peixes. Essa observação pode ser sustentada pela maior presença de PUFA no filé dos animais que receberam a dieta contendo microalga por 30 dias, demonstrando claro efeito poupador dos PUFA para deposição nos tecidos (Tabela 9).

Todos os ácidos graxos poli-insaturados encontrados no filé, linoléico (LA),  $\alpha$ -linolênico (ALA), araquidônico (AA), docosahexaenoico (DHA) e total de PUFAs, foram afetados ( $P < 0,05$ ) pela presença de microalga na dieta (Tabela 9).

Efeito linear foi observado para as concentrações de LA ( $\hat{y} = -0,0509x + 16,265$ ;  $R^2 = 0,37$ ) e ALA ( $\hat{y} = -0,0032x + 1,035$ ;  $R^2 = 0,20$ ) no filé dos animais recebendo por diferentes períodos a dieta contendo farinha de microalga *Schizochytrium* sp. O aumento no período de oferecimento de dieta contendo microalga levou à redução nos níveis de LA (C18:2n6) e ALA (C18:3n3) no filé. Observou-se, entretanto que aos 30 dias houve um pico nos teores de ambos ácidos graxos no filé, que foi diferente ao comportamento de redução, o que provavelmente culminou nos baixos valores de coeficientes de determinação,  $R^2$ , encontrados.

A presença de LA e ALA no filé foi devida exclusivamente à presença destes ácidos graxos na dieta, uma vez que não podem ser sintetizados a partir de precursores pela ausência das enzimas dessaturases  $\Delta 12$  e  $\Delta 15$  em animais vertebrados (NRC, 2011). A elevação nos teores de LA e ALA aos 30 dias não poderia então ser relacionada a processos de alongamento ou dessaturação de ácidos graxos de menor cadeia. Sendo assim, é possível que aos 30 dias de fornecimento, quando foram detectados nos filés menores teores de MUFA, por terem sido possivelmente mais utilizados como fonte de energia, tenha ocorrido um desvio de LA e ALA da dieta para serem preferencialmente depositados nos tecidos e não como fonte energética.

Os teores de LA foram aproximadamente o dobro na dieta controle comparado à dieta contendo microalga (Tabela 4), devido ao alto teor desse ácido graxo no óleo de soja (Rostagno et al., 2011) presente somente na dieta controle. A proporção dessa diferença observada nas dietas não foi manifestada nos filés.

Possivelmente, o LA presente na dieta foi convertido em AA (Wall et al., 2010) e assim depositado no filé. O AA, que não estava presente nas dietas, no filé apresentou efeito quadrático ( $\hat{y} = -0,000278x^2 + 0,008633x + 1,4825$ ;  $R^2 = 0,91$ ) com valores máximos (1,55%), atingidos aos 15 dias de alimentação com dieta contendo microalga. Provavelmente, a alimentação do tratamento 15 por um período de 45 dias de dieta controle contendo óleo de soja e, portanto altos teores de LA pode ter influenciado mais a composição do filé que o oferecimento por apenas 15 dias de alimentação com dieta contendo microalga. Observou-se que à medida que o tempo de oferecimento de dieta controle foi reduzindo, menores foram os teores de AA no filé, indicando que a origem do AA no filé pode ter sido o LA das dietas (Wall et al., 2010).

A redução dos teores de ALA no filé dos animais recebendo dieta contendo microalga poderia ser explicada por sua baixa concentração na dieta contendo microalga que foi aproximadamente um terço daquela presente na dieta controle (Tabela 4) e

também que na dieta contendo microalga, os ácidos graxos ômega 3 estavam majoritariamente sob a forma de DHA, que já é biodisponível e dessa maneira haveria maior disponibilidade de dessaturases e alongases para conversão de ALA em DHA, ocasionando menores teores de ALA e maiores de DHA no filé (Tabela 9).

Embora presente nas dietas, o ácido eicosapentaenóico (EPA) não foi detectado nos filés. Provavelmente, esse ácido graxo pode ter sido utilizado como precursor de eicosanóides, como prostaglandinas, leucotrienos, lipoxinas e resolvinas (Calder, 2006) e/ou ter sido alongado e dessaturado em DHA. Como os animais não estavam submetidos a desafio sanitário que justificasse aumento na produção de resposta imune ou inflamatória, possivelmente o EPA da dieta foi convertido em DHA nos tecidos.

O teor de DHA no filé foi influenciado ( $P < 0,05$ ) de modo quadrático ( $\hat{y} = -0,0010x^2 + 0,1103x + 0,3475$ ;  $R^2 = 0,83$ ). O período mínimo estimado foi de 52 dias de oferecimento de dieta contendo microalga para máxima deposição de DHA (3,38%) no filé.

A dieta contendo microalga possuía significativamente (0,67% x 7,27%) mais DHA que a dieta controle (Tabela 4). O aumento no período de oferecimento da dieta contendo microalga resultou em aumento nos teores de DHA no filé até o valor estimado de 52 dias, a partir do qual se estabilizou, indicando a saturação da capacidade de deposição de DHA, semelhante ao relatado por Watters et al. (2013). Determinadas respostas biológicas tendem após uma fase de crescimento, atingir valores máximos e se estabilizarem e, continuado o estímulo para crescimento, tendem a decair (Sakomura e Rostagno, 2007). Esse comportamento também foi observado para tilápia (*O. honorum*) alimentadas por 6 meses com a microalga *Schizochytrium* sp. (Watters et al., 2013). Os autores encontraram estabilização no teor de EPA+DHA do tempo 0 até 2 meses, seguido de aumento até 4 meses e finalmente queda entre 4 e 6 meses. Embora aos 4 meses de alimentação com dieta contendo *Schizochytrium* sp. maiores foram os teores de EPA+DHA e melhor foi o desempenho quando comparado a outras fontes de óleo, como milho e óleo de peixe, os autores afirmaram que esse tempo não pode ser considerado como ótimo para dietas 100% vegetais. Antes do início do experimento tais animais foram alimentados com dieta contendo farinha de peixe, rica em ácidos graxos ômega 3 e podem então ter influenciado nos resultados ao se comparar com dietas formuladas apenas por ingredientes de origem vegetal, sugerindo que novos estudos fossem feitos nesse sentido (Watters et al., 2013). De fato, observou-se no presente estudo, que os níveis máximos foram atingidos em 52 dias, aproximadamente metade

do período relatado por Watters et al. (2013) e com ampla variação entre 15 e 60 dias (de 1,65% para 3,45%), contrário a estabilização encontrada pelos autores nos dois primeiros meses de inclusão da microalga na dieta.

A redução nos teores de ALA do filé à medida que se aumentou o período de oferecimento de dieta foi acompanhada por aumento nos teores de DHA até aos 52 dias de oferecimento, ao mesmo tempo em que o EPA presente na dieta, não foi detectado no filé. Essa observação permite inferir que a utilização da microalga *Schizochytrium* sp. na dieta de tilápia por pelo menos 52 dias parece ter induzido a conversão de ALA preferencialmente em DHA ao invés de EPA. Ao contrário do observado, tilápia do Nilo recebendo por 5 meses dieta contendo altos níveis de óleo de linhaça (5,0%), como fonte de ALA, aumentou em maior percentual a quantidade de EPA em relação a DHA no filé (Visentainer et al., 2005). O mesmo comportamento descrito pelos autores foi observado na cabeça de tilápia do Nilo recebendo 3,75% de óleo de linhaça na dieta por 30 dias (Visentainer et al., 2003).

O total de ômega 3 no filé (Tabela 9) apresentou efeito quadrático ( $\hat{y} = -0,0011x^2 + 0,1138x + 1,2825$ ;  $R^2 = 0,70$ ). Estimou-se que aos 49 dias de oferecimento de dieta contendo microalga, maior foi o somatório de ômega 3 (3,22%) no filé dos animais.

Para o somatório de ácidos graxos ômega 6 no filé de tilápia, efeito linear foi observado ( $\hat{y} = -0,0631x + 18,06$ ;  $R^2 = 0,44$ ). O aumento no período de oferecimento de dieta contendo microalga reduziu os teores de ácidos graxos ômega 6 no filé de tilápia do Nilo.

A relação entre o somatório de ômega 6 e o somatório de ômega 3 ( $\sum 6/\sum 3$ ) no filé apresentou efeito quadrático ( $\hat{y} = 0,0020x^2 - 0,2097x + 9,015$ ;  $R^2 = 0,98$ ). Estimou-se que aos 50 dias de alimentação com dieta contendo microalga, menor foi a relação ômega 6/ômega 3 no filé, aproximadamente 3,5. Essa relação está dentro da recomendada para manutenção de boa saúde, que é de até 4 (Simopoulos, 2006).

O total de ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) no filé de tilápia apresentou efeito linear ( $\hat{y} = -0,031x + 20,58$ ), porém com baixo ajuste do modelo ( $R^2 = 0,10$ ). Observou-se, contudo, que aos 30 dias de alimentação com dieta contendo microalga, maior foi o somatório de PUFA (22,13%). Esse efeito pode estar relacionado à maior utilização de MUFA para produção energia, poupando-se PUFA para deposição nos tecidos.

A relação SFA/PUFA no filé de tilápia apresentou efeito linear ( $\hat{y} = 0,0041x + 1,795$ ;  $R^2 = 0,12$ ). Esse efeito foi devido ao aumento linear no teor de PUFA acompanhado pela não variação no teor de SFA à medida que o período de fornecimento de dieta contendo microalga aumentou.

O período de oferecimento de dieta contendo 3,75% de óleo de linhaça afetou diretamente no perfil de ácidos graxos do filé de tilápia do Nilo em estudo realizado por Justi et al. (2003). O aumento no período de fornecimento (0, 10, 20 e 30 dias) da dieta adicionada de óleo de linhaça foi acompanhado pela redução nos níveis de LA (de 30,8% para 26,6%), na relação  $\sum 6/\sum 3$  (de 10,9 para 4,34) e aumento de ALA (de 1,04 para 4,06) e do  $\sum 3$  (de 3,64% para 7,77%), sem alterar AA, EPA, DHA, PUFA, MUFA, SFA e relação SFA/PUFA (Justi et al., 2003). Verificou-se que o período de oferecimento de dieta contendo óleo de linhaça foi capaz de alterar basicamente a composição de precursores (LA e ALA), mas não das moléculas biologicamente ativas (AA, EPA e DHA) (Justi et al., 2003). De modo distinto, observou-se no presente trabalho que a melhoria promovida pela inclusão de farinha de microalga por pelo menos 15 dias na dieta foi capaz de promover semelhante nível de DHA (1,65%) e quase metade do AA (1,52%) daquele observado para 30 dias de inclusão do óleo de linhaça por Justi et al. (2003).

Procurando determinar o tempo de oferecimento de óleo de linhaça na dieta para elevar o conteúdo de ômega 3 no filé de tilápia do Nilo, Tonial et al. (2009) adicionaram à dieta comercial: 7,0% de óleo de soja na dieta controle e 7,0% de óleo de linhaça na dieta teste. Os peixes, com peso inicial de  $158 \pm 33$  g, foram alimentados pelos seguintes períodos: 0, 15, 30, 45 60 e 90 dias (Tonial et al., 2009). Os autores concluíram que 45 dias de alimentação com dieta comercial adicionada de 7,0% de óleo de linhaça aumentou o conteúdo de ácidos graxos ômega 3 de cadeia longa. A partir de 45 dias de oferecimento de dieta contendo óleo de linhaça, os autores verificaram que os teores tanto de ômega 3 quanto ômega 6 se estabilizaram no filé. Cabe salientar que o aumento no teor de n3 foi em grande parte devido ao aumento nos teores de ALA (0,4% no tempo zero para 6,3% no tempo 45 dias) e de ácido eicosatrienoico (C20:3n3), pois o nível de EPA permaneceu constante ao longo do tempo (0,1%) e o pico de DHA aos 45 dias (1,2%) foi na verdade estatisticamente igual ao observado em 15 e 30 dias (1,0%) (Tonial et al., 2009). Por outro lado, os autores constataram significativa redução tanto nos teores de LA (de 8,7% no tempo zero para 9,1% aos 45 dias) quanto de AA (de 1,9% no tempo zero para 0,2% aos 45 dias), o que culminou na diminuição da relação

$\Sigma 6/\Sigma 3$  de 7,6 no tempo zero para 1,1 aos 45 dias e mais ainda quando comparado ao de animais recebendo óleo de soja que foi de 11,3.

Diferentes fontes lipídicas adicionadas em 5,0% à dietas semipurificadas foram testadas por 160 dias em tilápia do Nilo (Ferreira et al., 2011). O presente estudo com 52 dias de oferecimento de dieta contendo 1,5% de óleo de microalga (3,0% de farinha de microalga contendo 50% de lipídeos) apresentou teor de EPA+DHA de 3,38% no filé. Comparado a tradicional fonte de ômega 3, o óleo de peixe adicionado em 5,0% à dieta por 160 dias proporcionou maior teor de EPA+DHA (11,75%) (Ferreira et al., 2011). Percebe-se que, embora menor nos animais alimentados com dieta contendo microalga, o nível de EPA+DHA encontrado no filé manteve-se em proporção semelhante quando considerado o tempo oferecimento, a despeito da quantidade 3 vezes maior de óleo de peixe utilizado em relação à microalga. Por outro lado, enquanto o óleo de peixe proporcionou aos filés 5,80% de AA (Ferreira et al., 2011), a dieta contendo microalga produziu filés contendo no máximo 1,55% com 15 dias de alimentação, sendo este valor reduzido a 1,03% aos 60 dias de alimentação com dieta contendo microalga. Quando os autores utilizaram a linhaça, uma alternativa ao óleo de peixe, o somatório EPA+DHA foi de 6,31% para animais recebendo por 160 dias dieta contendo 5,0% de óleo de linhaça (Ferreira et al., 2011). Estes valores correspondem ao dobro do valor encontrado no presente estudo (3,38%), mas que demandou um período de alimentação e uma inclusão de óleo à dieta três vezes maior.

Estudos demonstraram que partes usualmente não comestíveis de peixes poderiam ser úteis na alimentação humana, por possuírem alto valor nutritivo (Visentainer et al., 2003; Aguiar et al., 2007; Betancor et al., 2014) e que muitas vezes estariam sendo descartados (Visentainer et al., 2003). São exemplos de resíduos da filetagem de tilápia: cabeça, espinha e vísceras.

O total de ácidos graxos saturados ( $\Sigma$ SFA) na cabeça de tilápia apresentou efeito linear ( $\hat{y} = 0,0412x + 32,57$ ;  $R^2 = 0,89$ ), com concentrações crescentes à medida que se aumentou o tempo de oferecimento de dieta contendo microalga (Tabela 10). Esses resultados estão alinhados com os maiores teores de ácidos graxos saturados na dieta contendo microalga (Tabela 4).

Tabela 10. Perfil de ácidos graxos em relação aos ácidos graxos totais na cabeça de tilápias do Nilo alimentadas com dietas contendo ou não 3% de farinha de microalga *Schizochytrium* sp. por diferentes períodos

ITEM (%)	Período suplementação de farinha de microalga <i>Schizochytrium</i> sp. (dias)					EPM <sup>1</sup>	P valor		
	Controle	15	30	45	60		ANOVA	Linear	Quad <sup>2</sup>
Mirístico (C14:0)	3,22	3,03*	3,23	3,19	3,04	0,04	0,02	0,96	0,01
Pentadecanoico (C15:0)	0,21	0,24*	0,33*	0,34*	0,36*	0,004	<0,01	<0,01	<0,01
Palmítico (C16:0)	22,16	23,15*	24,38*	24,47*	25,46*	0,09	<0,01	<0,01	0,31
Esteárico (C18:0)	5,65	5,64	5,43	5,37*	5,47	0,05	0,03	0,06	0,03
Araquídico (C20:0)	0,20	0,20	0,21	0,20	0,21	0,004	0,14	0,27	0,23
Lignocérico (C24:0)	0,79	0,77	0,61*	0,63*	0,54*	0,01	<0,01	<0,01	0,10
<b>ΣSFA<sup>2</sup></b>	<b>32,21</b>	<b>33,01*</b>	<b>34,19*</b>	<b>34,19*</b>	<b>35,07*</b>	0,09	<0,01	<0,01	0,22
Miristoleico (C14:1n9)	0,20	0,19*	0,18*	0,17*	0,17*	0,002	<0,01	<0,01	0,37
Palmitoleico (C16:1n9)	5,19	5,22	5,04*	5,02*	5,13	0,02	<0,01	0,02	<0,01
Elaídico (C18:1n9t)	0,51	0,48	0,45	0,45	0,43*	0,02	0,06	0,12	0,89
Oleico (C18:1n9)	31,33	30,77*	29,18*	29,68*	29,70*	0,11	<0,01	<0,01	<0,01
Vacênico (C18:1n7)	2,85	2,63	2,51*	2,51*	2,37*	0,05	<0,01	<0,01	0,84
Eicosanoico (C20:1)	1,74	1,63*	1,51*	1,53*	1,52*	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>ΣMUFA<sup>3</sup></b>	<b>41,80</b>	<b>40,91*</b>	<b>38,86*</b>	<b>39,35*</b>	<b>39,30*</b>	0,05	<0,01	<0,01	<0,01
Linoleico - LA (C18:2n6)	16,74	15,93*	16,06*	15,45*	14,51*	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
α-linolênico - ALA (C18:3n3)	1,08	1,06	1,08	1,03*	0,98*	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Araquidônico - AA (C20:4n6)	0,98	0,96	0,89*	0,82*	0,75*	0,01	<0,01	<0,01	0,72
Docosaheptaenoico - DHA (C22:6n3)	0,27	1,27*	2,36*	2,75*	3,34*	0,05	<0,01	<0,01	0,01
<b>ΣPUFA<sup>4</sup></b>	<b>19,05</b>	<b>19,20</b>	<b>20,37*</b>	<b>20,04*</b>	<b>19,57*</b>	0,07	<0,01	0,09	<0,01
<b>Não identificados</b>	<b>6,95</b>	<b>6,89</b>	<b>6,59</b>	<b>6,42</b>	<b>6,07</b>				
<b>Σn3</b>	<b>1,34</b>	<b>2,31*</b>	<b>3,43*</b>	<b>3,78*</b>	<b>4,32*</b>	0,05	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Σn6</b>	<b>17,72</b>	<b>16,89*</b>	<b>16,94*</b>	<b>16,27*</b>	<b>15,25*</b>	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Σn6/Σn3</b>	<b>13,23</b>	<b>7,33*</b>	<b>4,95*</b>	<b>4,31*</b>	<b>3,54*</b>	0,16	<0,01	<0,01	0,01
<b>SFA/PUFA</b>	<b>1,69</b>	<b>1,72</b>	<b>1,68</b>	<b>1,71</b>	<b>1,80*</b>	0,01	<0,01	<0,01	<0,01

<sup>1</sup>Erro padrão da média; <sup>2</sup>SFA= ácidos graxos saturados; <sup>3</sup>MUFA= ácidos graxos monoinsaturados; <sup>4</sup>PUFA= ácidos graxos poli-insaturados.

\*As médias seguidas por asterisco na mesma linha diferem da testemunha (controle) ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste Dunnett.

Todos ácidos graxos monoinsaturados presentes na cabeça de tilápia do Nilo foram afetados pela presença de microalga na dieta ( $P < 0,05$ ) (Tabela 10). Para o somatório de ácidos graxos monoinsaturados efeito quadrático ( $\hat{y} = 0,002222x^2 - 0,1956x + 43,19$ ;  $R^2 = 0,80$ ) foi observado. Estimou-se que aos 42 dias de alimentação com dieta contendo microalga, maior foi o teor (38,89%) de ácidos graxos monoinsaturados na cabeça de tilápia.

Efeito quadrático ( $\hat{y} = -0,001189x^2 + 0,0567x + 15,3675$ ;  $R^2 = 0,99$ ) foi observado para as concentrações de ácido linoléico (LA) na cabeça de tilápia do Nilo recebendo dieta contendo microalga por até 60 dias. Estimou-se que aos 23 dias de alimentação com dieta contendo microalga, maior foi a concentração (14,04%) de LA na cabeça de tilápia do Nilo.

Tilápias do Nilo com peso médio inicial de  $41,66 \pm 056$  g foram alimentadas com dietas contendo 3,75% de óleo de linhaça por diferentes períodos (0, 10, 20 e 30 dias) e apresentaram redução (embora não significativa) progressiva dos teores de LA (32,11% a 29,66%) (Visentainer et al., 2003). Os autores sugeriram ainda que a alimentação por período superior a 30 dias possivelmente reduziria os níveis de LA. Verificou-se no presente estudo que, ao alimentar as tilápias com dieta contendo microalga, os valores máximos observados (14,04%) foram menores que a metade observada por Visentainer et al. (2003) e isso com apenas 23 dias de alimentação com a microalga. Levando-se em consideração a importância do LA como precursor de uma das moléculas mais potentes na geração de substâncias pro-inflamatórias, o ácido araquidônico (Wall et al., 2010), evidenciou-se os benefícios gerados pela utilização da microalga mesmo por períodos inferiores a 30 dias.

Os teores de ácido  $\alpha$ -linolênico (ALA) na cabeça de tilápia do Nilo recebendo por até 60 dias dieta contendo microalga apresentaram efeito quadrático ( $\hat{y} = -0,000078x^2 + 0,0039x + 1,0225$ ;  $R^2 = 0,95$ ). Estimou-se que o oferecimento de dieta contendo microalga por 24 dias promoveu a máxima deposição de ALA (1,07%) na cabeça dos animais. Observou-se que o percentual de ALA na cabeça de tilápia alimentada por 24 dias com dieta contendo microalga foi semelhante aquele encontrado na dieta. A alimentação por período superior a 24 dias tende a reduzir os teores ALA na cabeça, possivelmente por estar ocorrendo a conversão de ALA em DHA, cujos níveis foram crescentes no período analisado e não foi detectada a presença de EPA (Tabela 10).

Verificou-se que os teores máximos de ALA encontrados para animais alimentados por 24 dias com dieta contendo 1,5% de óleo de microalga (3,0% de farinha com 50% de lipídeos totais) do presente trabalho foram semelhantes aos descritos por Visentainer et al. (2003) para tilápia do Nilo recebendo por 30 dias dieta contendo uma mistura de 5,0% de óleo de girassol com 1,25% de óleo de linhaça, mas inferiores aos encontrados para animais recebendo 3,75% de óleo de linhaça (3,80% de ALA). A explicação estaria no fato da farinha de microalga não possuir ALA em quantidades significativas (Tabela 1) e a pequena concentração na dieta (1,08%) ser oriunda dos demais ingredientes. Por outro lado, a linhaça é caracterizada por conter 35% de óleo do qual 55% é constituído por ALA (Carter, 1993) e esse alto conteúdo de ALA foi refletido na carcaça à medida que o tempo de oferecimento de dieta contendo linhaça aumentou (Visentainer et al., 2003).

No caso do conteúdo de ácido araquidônico (AA) na cabeça de tilápia do Nilo alimentada com dieta contendo microalga houve efeito linear ( $\hat{y} = -0,0047x + 1,03$ ;  $R^2 = 1,0$ ) em função do tempo de oferecimento. O aumento no período de oferecimento de dieta contendo microalga, por até 60 dias, reduziu os teores de AA na cabeça de tilápia do Nilo. Tanto a redução no nível de LA (precursor de AA) na dieta contendo microalga quanto o efeito inibidor exercido pelo maior conteúdo de ômega 3 na dieta contendo microalga sobre as enzimas responsáveis pela transformação de LA em AA poderiam explicar o comportamento observado.

Redução nos teores de AA na cabeça de tilápia do Nilo também foi observada para animais recebendo dieta contendo 3,75% de óleo de linhaça por até 30 dias (de 0,71% para o tratamento controle para 0,56% com 30 dias de oferecimento de dieta contendo linhaça) (Visentainer et al., 2003).

Foi observado efeito ( $P < 0,05$ ) do período de fornecimento de dieta contendo microalga na concentração de DHA na cabeça dos peixes que aumentou de forma linear segundo a equação  $\hat{y} = 0,044x + 0,78$  com  $R^2 = 0,95$ . Embora os teores de DHA na cabeça tenham sido similares aos encontrados no filé, o período para atingir a máxima concentração na cabeça foi maior.

Visentainer et al. (2003) encontraram aumento no teor de DHA (de 0,20% para 0,29%) na cabeça de tilápia com apenas 10 dias de oferecimento de dieta contendo óleo de linhaça. Contudo, os autores constataram que prolongando a alimentação com essa dieta por até 30 dias, houve estabilização nos teores de DHA na cabeça. Por outro lado, no presente estudo, a alimentação por até 60 dias promoveu aumento considerável no

teor de DHA na cabeça (de 0,27% para dieta sem microalga para 3,34% para dieta contendo microalga). Possivelmente, os valores de DHA na cabeça de tilápia encontrados por Visentainer et al. (2003) estejam relacionados ao semelhante conteúdo de DHA na dieta (0,28%) e muito pouco pela conversão de ALA em DHA. Isso pode ter ocorrido, pois na dieta utilizada pelos autores, havia baixo percentual de EPA (0,11%) enquanto na cabeça esse percentual foi aumentado com o aumento no período de fornecimento da dieta contendo linhaça (de 0,21% para 0,53%), reafirmando a hipótese de que o ALA foi convertido em maior proporção em EPA do que em DHA. Comparado ao presente estudo, em que o aumento no período de oferecimento de dieta contendo microalga promoveu redução de ALA, EPA não foi detectado e aumento de DHA, é possível que a conversão de ALA em DHA foi mais eficiente em tilápia recebendo dieta com microalga do que aquelas recebendo óleo de linhaça.

O total de ácidos graxos poli-insaturados na cabeça de tilápia do Nilo apresentou efeito quadrático ( $\hat{y} = -0,001822x^2 + 0,141867x + 17,55$ ;  $R^2 = 0,88$ ) quando alimentada por até 60 dias com dieta contendo microalga (Tabela 10). Estimou-se que a alimentação por 38 dias com dieta contendo microalga promoveu os maiores teores de PUFA (20,31% dos ácidos graxos totais).

O somatório de ácidos graxos ômega 3 na cabeça de tilápia do Nilo apresentou efeito linear ( $\hat{y} = 0,0425x + 1,865$ ;  $R^2 = 0,93$ ) ao receber por diferentes períodos dieta contendo microalga (Tabela 10). O aumento no período de oferecimento de dieta contendo microalga, por até 60 dias, elevou o somatório de ômega 3 na cabeça de tilápia do Nilo.

Para o total de ácidos graxos ômega 6 na cabeça de tilápia do Nilo, efeito quadrático ( $\hat{y} = -0,001189x^2 + 0,0519x + 16,3975$ ;  $R^2 = 0,99$ ) foi observado. Estimando-se o ponto de máximo, tem-se que aos 21 dias de oferecimento de dieta contendo microalga, maiores foram os teores de ômega 6 (16,96% do total de ácidos graxos) na cabeça de tilápia do Nilo.

A relação entre o total de ácidos graxos ômega 6 ( $\sum n_6$ ) / total de ácidos graxos ômega 3 ( $\sum n_3$ ) na cabeça de tilápia apresentou efeito quadrático ( $\hat{y} = 0,001789x^2 - 0,214233x + 10,0475$ ;  $R^2 = 0,97$ ). A menor relação  $\sum n_6 / \sum n_3$  (3,6) na cabeça de tilápia do Nilo foi estimada em 57 dias de alimentação com dieta contendo microalga.

Efeito quadrático ( $\hat{y} = 0,000144x^2 - 0,009033x + 1,8225$ ;  $R^2 = 0,99$ ) foi observado para a relação entre o total de saturados / total de poli-insaturados (SFA/PUFA) na cabeça de tilápia do Nilo recebendo por até 60 dias dieta contendo

microalga. Estimou-se que aos 30 dias de alimentação com dieta contendo microalga menor (1,68) foi a relação SFA/PUFA na cabeça de tilápia do Nilo. Isso ocorreu possivelmente pelo aumento considerável no teor de PUFA na cabeça aos 30 dias de alimentação com dieta contendo microalga.

Não foi detectado efeito do tempo de oferecimento de dieta sobre o conteúdo de  $\Sigma$ SFA,  $\Sigma$ MUFA,  $\Sigma$ PUFA,  $\Sigma$ n6 nem na relação SFA/PUFA na cabeça de tilápia do Nilo alimentada por até 30 dias com dieta contendo óleo de linhaça (Visentainer et al., 2003). Contudo, os autores verificaram que o  $\Sigma$ n3 bem como a relação  $\Sigma$ n6/ $\Sigma$ n3 foram influenciados pelo tempo de oferecimento da dieta. Maior  $\Sigma$ n3 (4,74%) e menor relação  $\Sigma$ n6/ $\Sigma$ n3 (6,98) foram encontrados aos 20 dias de alimentação com dieta contendo óleo de linhaça e que foram estatisticamente iguais aos observados para animais alimentados por 30 dias (Visentainer et al., 2003). Embora o  $\Sigma$ n3 (4,74%) de animais alimentados por 30 dias com óleo de linhaça tenha sido superior aos animais alimentados por 30 dias com dieta contendo microalga (2,31%), o somatório EPA + DHA, que são as moléculas biologicamente ativas, no primeiro caso correspondem a 0,82%, enquanto que para os alimentados com microalga correspondem a 1,27%. Deve-se ainda levar em conta, a estabilização do  $\Sigma$ n3 aos 20 dias nos animais recebendo óleo de linhaça, enquanto no caso na microalga, os níveis foram crescentes até 60 dias, atingindo 4,32% nesse momento e um somatório de EPA + DHA de 3,34%. Já para a relação  $\Sigma$ n6/ $\Sigma$ n3 mínima encontrada para animais recebendo óleo de linhaça por até 30 dias de 6,53 (estatisticamente igual a 6,98) foi próxima a encontrada em animais alimentados com dieta contendo microalga por 30 dias (7,33), mas aproximadamente o dobro quando comparada aquela presente nos animais alimentados por 60 dias com dieta contendo microalga (3,54). A cabeça de tilápia alimentada por 60 dias com dieta contendo microalga atenderia a relação  $\Sigma$ n6/ $\Sigma$ n3 recomendada como ótima para manutenção da saúde proposta por Simopoulos (2006) de até 4:1.

Na composição de ácidos graxos das vísceras de tilápia do Nilo foi detectado, além dos ácidos graxos encontrados nas demais regiões corporais, o ácido behênico (C22:0) em teores que não se diferenciaram pela presença da microalga na dieta ( $P < 0,05$ ) (Tabela 11). Os níveis encontrados foram semelhantes aos relatados para tilápia mossambica, de 0,29% (Jabeen e Chaudhry, 2011). Como no fígado ocorrem as principais reações de alongamento e dessaturação de cadeias de ácidos graxos (Henderson e Tocher, 1987; NRC, 2011), é possível que o ácido behênico encontrado fosse um ácido graxo intermediário dessas reações (Kayma et al., 1963).

Tabela 11. Perfil de ácidos graxos em relação aos ácidos graxos totais nas vísceras de tilápias do Nilo alimentadas com dietas contendo ou não 3% de farinha de microalga *Schizochytrium* sp. por diferentes períodos

ITEM (%)	Período suplementação de farinha de microalga <i>Schizochytrium</i> sp (dias)					EPM <sup>1</sup>	P valor		
	Controle	15	30	45	60		ANOVA	Linear	Quad <sup>5</sup>
Mirístico (C14:0)	3,69	3,72	3,57	3,55	3,38*	0,06	0,06	0,01	0,87
Pentadecanoico (C15:0)	0,20	0,36*	0,25*	0,36*	0,39*	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Palmítico (C16:0)	25,84	29,82*	27,42*	27,82*	29,20*	0,18	<0,01	0,14	<0,01
Esteárico (C18:0)	8,07	8,19	7,39*	7,41*	7,58*	0,08	<0,01	<0,01	<0,01
Araquídico (C20:0)	0,27	0,27	0,24	0,27	0,26	0,01	0,13	0,87	0,32
Behênico (C22:0)	0,30	0,22	0,23	0,32	0,30	0,04	0,26	0,04	0,62
Lignocérico (C24:0)	0,29	0,13*	0,32	0,25	0,22	0,02	<0,01	0,08	<0,01
<b>ΣSFA<sup>2</sup></b>	<b>38,64</b>	<b>42,69*</b>	<b>39,40</b>	<b>39,97*</b>	<b>41,32*</b>	0,21	<0,01	0,02	<0,01
Miristoleico (C14:1n9)	0,22	0,18*	0,20	0,19*	0,19*	0,04	<0,01	0,27	0,01
Palmitoleico (C16:1n9)	5,48	5,21*	5,59	5,46	5,45	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
Elaídico (C18:1n9t)	0,55	0,52	0,50	0,48	0,48	0,04	0,78	0,59	0,81
Oleico (C18:1n9)	33,29	30,45*	31,57*	31,42*	31,26*	0,18	<0,01	0,06	0,03
Vacênico (C18:1n7)	3,10	2,96	3,03	2,70*	2,67*	0,04	<0,01	<0,01	0,28
Eicosanoico (C20:1)	1,95	1,65	1,69	0,95	1,66	0,36	0,46	0,71	0,45
<b>ΣMUFA<sup>3</sup></b>	<b>44,56</b>	<b>40,96*</b>	<b>42,56</b>	<b>41,19*</b>	<b>41,70*</b>	0,51	0,02	0,76	0,38
Linoleico - LA (C18:2n6)	10,37	10,23	11,38*	11,01*	10,23	0,10	<0,01	0,47	<0,01
α-linolênico - ALA (C18:3n3)	0,45	0,43	0,56*	0,50*	0,47	0,01	<0,01	0,21	<0,01
Araquidônico - AA (C20:4n6)	0,58	0,36*	0,52	0,50	0,45	0,04	0,05	0,15	0,03
Docosahexaenoico -DHA (C22:6n3)	0,17	0,42	0,62	0,94*	1,02*	0,15	0,04	0,04	0,72
<b>ΣPUFA<sup>4</sup></b>	<b>11,55</b>	<b>11,43</b>	<b>13,07*</b>	<b>12,95*</b>	<b>12,17</b>	0,26	0,02	0,17	0,01
<b>Não identificados</b>	<b>5,28</b>	<b>4,92</b>	<b>4,97</b>	<b>5,96</b>	<b>4,83</b>				
<b>Σn3</b>	<b>0,61</b>	<b>0,85</b>	<b>1,18</b>	<b>1,44*</b>	<b>1,48*</b>	0,15	0,03	0,04	0,43
<b>Σn6</b>	<b>10,94</b>	<b>10,59</b>	<b>11,89*</b>	<b>11,51</b>	<b>10,69</b>	0,13	<0,01	0,89	<0,01
<b>Σn6/Σn3</b>	<b>17,93</b>	<b>14,61</b>	<b>10,08</b>	<b>7,99</b>	<b>7,23</b>	2,42	0,10	0,12	0,52
<b>SFA/PUFA</b>	<b>3,35</b>	<b>3,74*</b>	<b>3,02</b>	<b>3,09</b>	<b>3,40</b>	0,08	<0,01	0,05	<0,01

<sup>1</sup>Erro padrão da média; <sup>2</sup>SFA= ácidos graxos saturados; <sup>3</sup>MUFA= ácidos graxos monoinsaturados; <sup>4</sup>PUFA= ácidos graxos poli-insaturados. <sup>5</sup>Quadrático.

\*As médias seguidas por asterisco na mesma linha diferem da testemunha (controle) ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste Dunnett.

A suplementação da microalga na dieta de tilápia do Nilo por até 60 dias influenciou o somatório de ácidos graxos saturados ( $\Sigma$ SFA) nas vísceras dos animais (Tabela 11). Verificou-se efeito quadrático ( $\hat{y} = 0,005156x^2 - 0,410267x + 47,53$ ;  $R^2 = 0,92$ ) para o  $\Sigma$ SFA nas vísceras de tilápia do Nilo, com valores mínimos (39,38% do total de ácidos graxos) estimados nas vísceras de animais alimentados por 38 dias com dieta contendo microalga.

O total de ácidos graxos monoinsaturados encontrados nas vísceras de tilápia do Nilo foi, de forma geral, reduzido pela presença de microalga na dieta, independente do tempo de oferecimento (Tabela 11).

Para os teores de ácido linoléico (LA) nas vísceras de tilápia do Nilo efeito quadrático ( $\hat{y} = -0,002144x^2 + 0,158367x + 8,3925$ ;  $R^2 = 0,93$ ) foi verificado para animais recebendo por diferentes períodos dieta contendo microalga. Estimou-se que a alimentação com dieta contendo microalga por 35 dias promoveu o maior teor de LA (11,31% do total de ácidos graxos) nas vísceras de tilápia do Nilo.

O ácido  $\alpha$ -linolênico (ALA) presente nas vísceras de tilápia do Nilo apresentou efeito quadrático ( $\hat{y} = -0,000178x^2 + 0,013733x + 0,275$ ;  $R^2 = 0,73$ ) quando os animais receberam por até 60 dias dieta contendo microalga. A concentração máxima de ALA foi estimada em 0,54% do total de ácidos graxos aos 37 dias de oferecimento de dieta contendo microalga.

No caso do ácido araquidônico, que apresentou efeito quadrático ( $\hat{y} = -0,000233x^2 + 0,019167x + 0,1325$ ;  $R^2 = 0,92$ ), estimou-se os maiores teores (0,53% do total de ácidos graxos) foram encontrados aos 39 dias de alimentação com dieta contendo microalga.

Os teores de DHA nas vísceras de tilápia do Nilo alimentadas por diferentes períodos com dieta contendo microalga apresentaram efeito linear ( $\hat{y} = 0,0141x + 0,22$ ;  $R^2 = 0,95$ ). O aumento no período de oferecimento de dieta contendo microalga, por até 60 dias, aumentou a concentração de DHA nas vísceras de tilápia do Nilo. Observou-se que os valores encontrados nas vísceras estiveram muito abaixo dos encontrados para o filé, cabeça e espinha mesmo quando os animais receberam dieta controle (Tabelas 9 a 12). Isso poderia ser explicado pelo fato do conteúdo de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (EPA, DPA e DHA) ser mais facilmente alterado em tecidos com baixo teor de gordura (Kouba et al., 2003). A tilápia deposita a maior parte da gordura na cavidade celomática aderida as vísceras (Hanley, 1991) o que justificaria a baixa

variação de DHA nas vísceras do presente estudo. Entretanto, Souza et al. (2005) encontrou altos teores de ômega 3 nas vísceras de tilápia.

O somatório de ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) nas vísceras de tilápia do Nilo apresentou efeito quadrático ( $\hat{y} = -0,002689x^2 + 0,215667x + 8,855$ ;  $R^2 = 0,96$ ). Estimou-se que peixes alimentados por 38 dias teriam maiores teores (13,17% do total de ácidos graxos) de PUFA.

Efeito linear ( $\hat{y} = 0,0143x + 0,7$ ;  $R^2 = 0,91$ ) foi observado para o somatório de ômega 3 ( $\sum n3$ ) nas vísceras de tilápia do Nilo alimentadas com dieta contendo microalga por diferentes períodos. O aumento no período de fornecimento de dieta contendo microalga, por até 60 dias, promoveu aumento no  $\sum n3$  nas vísceras de tilápia (Tabela 11).

Entretanto, efeito quadrático ( $\hat{y} = -0,002356x^2 + 0,176133x + 8,54$ ;  $R^2 = 0,93$ ) foi verificado para o total de ácidos graxos ômega 6 ( $\sum n6$ ) nas vísceras de tilápia do Nilo recebendo dieta contendo microalga. Estimou-se que o oferecimento de dieta contendo microalga por 36 dias proporcionou o maior  $\sum n6$  (11,83% do total de ácidos graxos) nas vísceras dos peixes.

A relação entre o somatório de ômega 6 e o somatório de ômega 3 ( $\sum n6/\sum n3$ ) nas vísceras de tilápia não foi influenciado ( $P > 0,05$ ) pela inclusão de microalga na dieta. Contudo, os animais alimentados com dieta contendo microalga apresentaram, em média de valores absolutos, redução de 44,3% na relação  $\sum n6/\sum n3$  (9,98 x 17,93) nas vísceras quando comparado aos animais alimentados com dieta controle.

Já para a relação entre o total de ácidos graxos saturados e o total de ácidos graxos poli-insaturados (SFA/PUFA) nas vísceras de tilápia do Nilo alimentadas por até 60 dias com dieta contendo microalga, efeito quadrático foi observado ( $\hat{y} = 0,001144x^2 - 0,092167x + 4,8375$ ;  $R^2 = 0,95$ ). Estimou-se que a alimentação por 38 dias com dieta contendo microalga promoveu a menor relação SFA/PUFA (2,99) nas vísceras dos animais.

Maiores teores de  $\sum SFA$  (29,5% dos lipídeos totais),  $\sum PUFA$  (25,3% dos lipídeos totais),  $\sum n3$  (4,0) e menores relações  $\sum n6/\sum n3$  (5,5) e SFA/PUFA (1,17) foram descritas para vísceras de tilápia do Nilo com peso médio de  $292,20 \pm 41,80$  g criada em cativeiro no sul do Brasil (Souza et al., 2005). No referido estudo, não foi apresentada a tabela de composição da dieta, nem da temperatura da água de cultivo, fatores estes que podem influenciar diretamente na composição de ácidos graxos de resíduos de tilápia (Rasoarahona et al., 2005; Aguiar et al., 2007). Há tendência de maior depósito de

PUFA e menor de SFA em temperaturas mais baixas de modo a manter a fluidez das membranas celulares (Bolgova et al., 1983; Nanton e Castell, 1999). Pela localização do experimento (estado do Paraná), na região Sul do país provavelmente ocorreram temperaturas mais baixas que as do presente trabalho e, portanto justificaria a maior presença de PUFA e menor de SFA. Embora Souza et al. (2007) tenha encontrado a relação  $\sum n6/\sum n3$  de 5,5, verificou-se que no presente estudo, aos 60 dias de alimentação com dieta contendo microalga, a relação foi de aproximadamente 6,5 [7,23 x 0,9 (fator de correção) = 6,51], muito próxima a relatada pelos autores. Esse resultado está relacionado à menor concentração de  $\sum n6$  observada no presente estudo que foi aproximadamente a metade daquela observada por Souza et al. (2007). Denotou-se a importância desses resultados, uma vez que torna-se fundamental não somente aumentar os teores de  $\sum n3$ , mas também reduzir os teores de ômega 6 de modo a reduzir a relação  $\sum n6/\sum n3$ , o que foi possível com a inclusão de microalga na dieta.

O oferecimento de ômega 3 sob a forma de ALA através da inclusão do óleo de linhaça em níveis crescentes (0 a 5%) à dieta de tilápia do Nilo aumentou o conteúdo de EPA e DHA no fígado dos animais (Aguiar et al., 2007). Embora nas dietas não fossem detectados EPA e DHA, altas concentrações foram encontradas no fígado dos peixes à medida que se aumentou o nível de inclusão de óleo de linhaça (Aguiar et al., 2007). Os autores atribuíram esses resultados ao fato de no fígado ocorrerem as principais reações de alongamento e dessaturação de ácidos graxos e, portanto o ALA da dieta seria convertido em EPA e DHA ao invés de ser estocado. Como no presente estudo, baixos foram os teores de ALA na dieta, possivelmente houve reflexo no baixo teor de DHA encontrado nas vísceras quando comparado ao filé ou mesmo aos outros resíduos. Por outro lado, evidencia-se as diferenças nos tempos de oferecimento de dietas enriquecidas com ômega 3. Enquanto no presente estudo o tempo máximo de inclusão de microalga foi de 2 meses, Aguiar et al. (2007) utilizaram a dieta contendo óleo de linhaça por 5 meses, o que pode ter favorecido o acúmulo de ALA e sua possível conversão em EPA e DHA.

A composição lipídica da espinha de tilápia alimentada com dieta contendo ou não microalga por um período de 60 dias está apresentada na Tabela 12.

Tabela 12. Perfil de ácidos graxos em relação aos ácidos graxos totais na espinha de tilápias do Nilo alimentadas com dietas contendo ou não 3% de farinha de microalga *Schizochytrium sp.* por diferentes períodos

ITEM (%)	Período suplementação de farinha de microalga <i>Schizochytrium sp.</i> (dias)					EPM <sub>1</sub>	P valor		
	Controle	15	30	45	60		ANOVA	Linear	Quad <sup>5</sup>
Mirístico (C14:0)	3,27	3,19	3,28	3,26	3,21	0,04	0,52	0,86	0,18
Pentadecanoico (C15:0)	0,19	0,23*	0,32*	0,33*	0,36*	0,004	<0,01	<0,01	<0,01
Palmitico (C16:0)	22,21	23,65*	24,59*	24,44*	25,81*	0,11	<0,01	<0,01	0,15
Esteárico (C18:0)	5,75	5,61	5,41*	5,37*	5,49	0,06	0,04	0,18	0,04
Araquídico (C20:0)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,004	0,74	1,00	0,23
Lignocérico (C24:0)	0,74	0,73	0,59	0,59*	0,58*	0,01	<0,01	<0,01	0,04
<b>ΣSFA<sup>2</sup></b>	<b>32,34</b>	<b>33,59*</b>	<b>34,38*</b>	<b>34,18*</b>	<b>35,53*</b>	0,14	<0,01	<0,01	0,14
Miristoleico (C14:1n9)	0,21	0,19	0,18*	0,19	0,18*	0,004	0,07	0,56	1,00
Palmitoleico (C16:1n9)	5,26	5,36	5,20	5,24	5,35	0,03	0,04	0,94	0,01
Elaídico (C18:1n9t)	0,49	0,48	0,43*	0,43*	0,42*	0,06	<0,01	<0,01	0,03
Oleico (C18:1n9)	31,16	30,24*	28,90*	29,44*	29,31*	0,14	<0,01	0,03	0,02
Vacênico (C18:1n7)	2,93	2,79	2,58*	2,49*	2,43*	0,07	<0,01	0,02	0,37
Eicosanoico (C20:1)	1,76	1,62*	1,51*	0*	0*	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>ΣMUFA<sup>3</sup></b>	<b>41,79</b>	<b>40,68*</b>	<b>38,80*</b>	<b>37,78*</b>	<b>37,69*</b>	0,09	<0,01	<0,01	<0,01
Linoleico - LA (C18:2n6)	16,65	15,76*	15,97*	15,29*	14,25*	0,09	<0,01	<0,01	<0,01
α-linolênico - ALA (C18:3n3)	1,10	1,06*	1,06*	1,02*	0,97*	0,01	<0,01	<0,01	0,02
Araquidônico - AA (C20:4n6)	1,05	0,96*	0,89*	0,86*	0,74*	0,01	<0,01	<0,01	0,08
Docosaheptaenoico-DHA (C22:6n3)	0,29	1,26*	2,62*	3,07*	3,56*	0,05	<0,01	<0,01	<0,01
<b>ΣPUFA<sup>4</sup></b>	<b>19,08</b>	<b>19,04</b>	<b>20,53*</b>	<b>20,23*</b>	<b>19,51</b>	0,13	<0,01	0,15	<0,01
<b>Não identificados</b>	<b>6,79</b>	<b>6,70</b>	<b>6,30</b>	<b>7,83</b>	<b>7,29</b>				
<b>Σn3</b>	<b>1,38</b>	<b>2,32*</b>	<b>3,67*</b>	<b>4,09*</b>	<b>4,53*</b>	0,05	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Σn6</b>	<b>17,70</b>	<b>16,72*</b>	<b>16,86*</b>	<b>16,14*</b>	<b>14,98*</b>	0,10	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Σn6/Σn3</b>	<b>12,83</b>	<b>7,21*</b>	<b>4,60*</b>	<b>3,95*</b>	<b>3,31*</b>	0,06	<0,01	<0,01	<0,01
<b>SFA/PUFA</b>	<b>1,70</b>	<b>1,77</b>	<b>1,68</b>	<b>1,69</b>	<b>1,83*</b>	0,04	<0,01	0,09	<0,01

<sup>1</sup>Erro padrão da média; <sup>2</sup>SFA= ácidos graxos saturados; <sup>3</sup>MUFA= ácidos graxos monoinsaturados; <sup>4</sup>PUFA= ácidos graxos poli-insaturados. <sup>5</sup>Quadrático.

\*As médias seguidas por asterisco na mesma linha diferem da testemunha (controle) ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste Dunnett.

O somatório de ácidos graxos saturados na espinha de tilápia do Nilo foi influenciado ( $P > 0,05$ ) pelo período de oferecimento de dieta contendo microalga de modo linear segundo a equação  $\hat{y} = 0,0375x + 33,015$ ;  $R^2 = 0,79$  (Tabela 12). O aumento no período de oferecimento de dieta contendo microalga promoveu aumento nos teores de ácidos graxos saturados na espinha de tilápia. Isso pode estar relacionado ao maior conteúdo de ácidos graxos saturados na dieta contendo microalga.

Para o total de ácidos graxos monoinsaturados na espinha de tilápia do Nilo observou-se efeito ( $P < 0,05$ ) quadrático ( $\hat{y} = 0,001989x^2 - 0,215767x + 43,4725$ ;  $R^2 = 0,99$ ) quando alimentadas por até 60 com dieta contendo microalga. Estimou-se que aos 52 dias de alimentação com dieta contendo microalga, menor foi a concentração de MUFA (37,63% do total de ácidos graxos) na espinha de tilápia. Verificou-se que esse mesmo período de alimentação com dieta contendo microalga forneceu maior concentração de DHA no filé. Possivelmente a máxima deposição de DHA esteve ligada a maior utilização dos MUFA como fonte de energia no período citado.

Todos ácidos graxos poli-insaturados presentes na espinha de tilápia do Nilo foram influenciados ( $P < 0,05$ ) pela inclusão de microalga na dieta (Tabela 12).

O ácido linoléico (LA) na espinha de tilápia alimentada por até 60 dias com dieta contendo microalga apresentou efeito ( $P < 0,05$ ) quadrático ( $\hat{y} = -0,001389x^2 + 0,069433x + 15,0575$ ;  $R^2 = 0,99$ ). O nível máximo (16,69%) foi estimado aos 24 dias de alimentação com dieta contendo microalga. A partir desse período observou-se redução nos teores de LA, como resultado do maior período de utilização de dieta contendo microalga, que possuía baixa concentração desse ácido graxo.

Efeito ( $P < 0,05$ ) quadrático ( $\hat{y} = -0,000056x^2 + 0,002100x + 1,0425$ ;  $R^2 = 0,99$ ) foi observado para os teores de ácido  $\alpha$ -linolênico (ALA) na espinha de tilápia do Nilo alimentada com dieta contendo microalga por diferentes períodos. Estimou-se que 18 dias de alimentação com dieta contendo microalga promoveram maior teor de ALA (1,06%) na espinha de tilápia do Nilo.

Por outro lado, o ácido araquidônico (C20:4n6) apresentou efeito ( $P < 0,05$ ) linear ( $\hat{y} = -0,0046x + 1,035$ ;  $R^2 = 0,94$ ). O aumento no período de oferecimento de dieta contendo microalga por até 60 dias promoveu redução no teor de AA na espinha de tilápia do Nilo.

Efeito ( $P < 0,05$ ) linear ( $\hat{y} = 0,049x + 0,79$ ;  $R^2 = 0,92$ ) foi verificado para os níveis de DHA na espinha de tilápia do Nilo alimentada com dieta contendo microalga

por diferentes períodos. O aumento no período de fornecimento, por até 60 dias, de dieta contendo microalga elevou o conteúdo de DHA na espinha de tilápia do Nilo.

O somatório de ácidos graxos poli-insaturados na espinha de tilápia do Nilo apresentou efeito ( $P < 0,05$ ) quadrático ( $\hat{y} = -0,002456x^2 + 0,191567x + 16,7875$ ;  $R^2 = 0,93$ ) com níveis máximos (20,51%) estimados aos 37 dias de alimentação com dieta contendo microalga.

O total de ácidos graxos ômega 3 na espinha de tilápia, alimentada por diferentes períodos com dieta contendo microalga, apresentou efeito ( $P < 0,05$ ) linear ( $\hat{y} = 0,047x + 1,89$ ;  $R^2 = 0,90$ ). O aumento no período de alimentação com dieta contendo microalga, por até 60 dias, aumentou o somatório de ácidos graxos ômega 3 na espinha de tilápia.

Já para o somatório de ácidos graxos ômega 6 na espinha de tilápia do Nilo, alimentada por diferentes períodos com dieta contendo microalga, houve efeito ( $P < 0,05$ ) quadrático ( $\hat{y} = -0,001444x^2 + 0,068733x + 16,035$ ;  $R^2 = 0,99$ ). Estimou-se que o oferecimento por 23 dias de dieta contendo microalga promoveu os menores teores de ácidos graxos ômega 6 (16,85%).

A relação entre o somatório de ômega 6 e o somatório de ômega 3 ( $\sum n6/\sum 3$ ) na espinha de tilápia, alimentada por diferentes períodos com dieta contendo microalga, apresentou efeito ( $P < 0,05$ ) quadrático ( $\hat{y} = 0,002189x^2 - 0,2465x + 10,3175$ ;  $R^2 = 0,97$ ). Estimou-se que a menor relação  $\sum n6/\sum 3$  (3,4) foi encontrada aos 53 dias de alimentação com dieta contendo microalga.

A relação entre o total de ácidos graxos saturados (SFA) e o total de poli-insaturados (PUFA) na espinha de tilápia do Nilo apresentou efeito ( $P < 0,05$ ) quadrático ( $\hat{y} = 0,000256x^2 - 0,0179x + 1,9825$ ;  $R^2 = 0,99$ ). A menor relação SFA/PUFA (1,67), foi encontrada aos 33 dias de alimentação com dieta contendo microalga. Esse resultado foi relacionado ao aumento de PUFA verificado na carcaça próximo aos 30 dias, como consequência da maior utilização de MUFA como fonte energética, poupando-se PUFA para deposição nos tecidos.

Como pode ser visto o perfil lipídico da espinha, muito se assemelha aquele observado na cabeça de tilápia recebendo dietas com farinha de microalga (Tabelas 10 e 12) e ambas poderiam ser processadas para se constituírem possíveis fontes de ômega 3.

Um exemplo desse aproveitamento pode ser visto no trabalho de Petenuci et al. (2008). Os autores produziram uma farinha com espinha da tilápia do Nilo que recebeu dieta comercial por 6 meses. A análise bromatológica revelou teores 14,2% de umidade,

40,8% de proteína, 18,3% de cinzas e 25,3% de lipídios totais (Petenuci et al., 2008). Além da composição bromatológica, o perfil lipídico demonstrou que a única fonte de ômega 3 da dieta, o ALA (presente em 1,89% dos lipídeos totais) foi convertido em EPA+DHA e assim depositado neste resíduo (Petenuci et al., 2008). Os resultados demonstraram níveis interessantes de ALA (2,99% dos lipídeos totais), EPA (0,33% dos lipídeos totais) e DHA (1,29% dos lipídeos totais) na farinha de espinha (Petenuci et al., 2008). Além disso, foram descritos baixos teores de AA (0,05% dos lipídeos totais), baixa relação  $\Sigma 6/\Sigma 3$  (2,8) e teores de PUFA (17,5% dos lipídeos totais) semelhantes aos encontrados no presente estudo, caracterizando assim um produto com alto valor nutricional e com possível aplicação na nutrição humana (Petenuci et al., 2008) e animal.

Além da excelente composição nutricional, há de ressaltar ainda o volume representativo de resíduo gerado que, após processamento poderia se constituir como importante ingrediente tanto na alimentação humana quanto animal, mas que normalmente tem sido descartado (Souza et al., 2000). Tilápias na mesma classe de peso (250-400g) dos animais do presente estudo apresentaram rendimentos de 2,45% para o músculo abdominal ventral e de 3,75% do músculo hipaxial profundo em relação ao peso total dos animais (Souza et al., 2000). Estes músculos fazem parte do resíduo espinha.

Petenuci et al. (2010) avaliaram ainda a farinha produzida a partir da espinha de tilápia quanto a estabilidade dos ácidos graxos e a qualidade microbiológica. Os autores concluíram que o armazenamento a 4°C por até 60 dias não alterou a composição de nenhum ácido graxo, nem o índice de acidez ou análises microbiológicas.

Desse modo, a utilização não somente da espinha, mas dos resíduos da filetagem de tilápia como um todo, pode ser útil para produção de alimento seja para a população humana ou animal. Caracteriza-se por ser uma alternativa ambientalmente correta, geradora de renda ao produtor/abatedouro e ainda poderia contribuir para suprir necessidades nutricionais.

Sem fazer distinção da localização anatômica, observou-se que ácido láurico (C12:0) presente na dieta contendo microalga não foi detectado na composição corporal (filé, cabeça, espinha e vísceras) da tilápia do Nilo (Tabelas 9 a 12). Provavelmente, este ácido foi alongado em ácidos de maior cadeia carbônica, já que processos de alongação de cadeia de ácidos graxos foram eficientes em tilápias do Nilo (Olsen et al., 1990) e

houve aumento nos teores de vários ácidos graxos saturados com o aumento no período de fornecimento de dieta contendo microalga.

Da mesma forma, o ácido lignocérico (C24:0) embora não presente nas dietas foi detectado na composição corporal (filé, cabeça, espinha e vísceras) da tilápia do Nilo (Tabelas 9 a 12). O aumento do período de oferecimento de dieta contendo farinha de microalga promoveu redução linear nos teores de ácido lignocérico, exceto para vísceras que variou em função quadrática. Sua origem pode estar ligada aos processos de alongamento de cadeia ou processos de lipogênese a partir de fontes não lipídicas, como carboidratos e proteínas (Olsen et al., 1990; Henderson et al., 1996; Ribeiro et al., 2008), e portanto não estar diretamente ligado ao perfil lipídico da dieta.

O ácido miristoleico (C14:1n9) que não estava presente na dieta foi detectado na composição corporal (filé, cabeça, espinha e vísceras) da tilápia do Nilo (Tabelas 9 a 12). É possível que o ácido mirístico da dieta possa ter sido alongado em outros ácidos de maior cadeia carbônica e/ou dessaturado pela enzima microsomal  $\Delta 9$  em ácido miristoléico (Sargent et al., 2002; NRC, 2011). Essa possibilidade é sustentada pelo fato da dieta contendo farinha de microalga possuir mais que o dobro da concentração de ácido mirístico (C14:0) comparado à dieta controle (Tabela 4) e o aumento desse ácido graxo não foi observado na composição corporal dos animais alimentados com dieta contendo microalga, exceto para as vísceras, em que foi observado efeito quadrático.

Levando em conta o teor de PUFA e ômega 3, a cabeça e espinha constituem melhores fontes quando comparadas às vísceras.

## 6 CONCLUSÕES

A suplementação de 3,0% de farinha de microalga *Schizochytrium* sp., em dietas isentas de produtos de origem animal por 38 dias reduz o consumo de alimento e o peso final da tilápia do Nilo na fase adulta, bem como o teor de lipídeos totais do filé dos peixes.

O oferecimento, por 49 dias, de dieta isenta de produtos de origem animal, contendo farinha de microalga *Schizochytrium* sp. aumenta o total de ácidos graxos ômega 3 sem alterar a qualidade de carne do filé de tilápia do Nilo na fase adulta.

A suplementação de microalga *Schizochytrium* sp. na dieta por 60 dias aumenta o somatório de ácidos graxos ômega 3 na cabeça, vísceras e espinha de tilápia do Nilo na fase adulta.

## 7 BIBLIOGRAFIA

ABRIL, R.; GARRETT, J.; ZELLER, S.G.; SANDER, W.J.; MAST, R.W. Safety assessment of DHA-rich microalgae from *Schizochytrium* sp. Part V: target animal safety/toxicity study in growing swine. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, 37:73–82, 2003.

ACKMAN, R. G. Nutritional composition of fats in seafood. **Progress in Food and Nutrition Science**, 13:161-241, 1989.

AGUIAR, A.C.; MORAIS, D.R.; SANTOS, L.P.; STEVANATO, F.B.; VISENTAINER, J.E.L.; SOUZA, N.E.; VISENTAINER, J.V. Effect of flaxseed oil in diet on fatty acid composition in the liver of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, 57(3): 273-277, 2007.

AHA - American Heart Association. The American Heart Association's diet and lifestyle recommendations. Available at: [http://www.heart.org/HEARTORG/GettingHealthy/NutritionCenter/HealthyEating/The-American-Heart-Associations-Diet-and-Lifestyle-Recommendations\\_UCM\\_305855\\_Article.jsp](http://www.heart.org/HEARTORG/GettingHealthy/NutritionCenter/HealthyEating/The-American-Heart-Associations-Diet-and-Lifestyle-Recommendations_UCM_305855_Article.jsp). Acessado em 07 de dezembro de 2015.

AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY (AOCS). Official methods recommended practices of the American oil Chemists Society. 5<sup>th</sup> edition. Champaign, 1998. 2v. Métodos ce 1f-96 e 1c-89.

AMSA. American Meat Science Association. Research guidelines for cookery sensory and instrumental tenderness measurement of fresh meat. Chicago, 1995.

ANDRADE, P.M.M.; CARMO, M.G.T. Ácidos graxos n-3: um link entre eicosanóides, inflamação e imunidade. **mn- metabólica**, 8(3):135-143, 2006.

APT, K.E. e BEHRENS, P.W. Commercial developments in microalgal biotechnology. **Journal of Phycology**, 35: 215–226, 1999.

AZAVACHE, V.; CUEVAS, C.; BOSCH, R.V. ¿Funciona el tejido adiposo marrón como un depósito de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga durante el desarrollo postnatal del cerebro? **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, 57(1): 5-9, 2007.

BANG, H.O.; DYERBERG, J.; NIELSEN, A.B. Plasma lipid and lipoprotein pattern in Greenlandic West-Coast Eskimos. **The Lancet**, 1:1143-1145, 1971.

BANG, H.O. e DYERBERG, J. Plasma lipids and lipoproteins in Greenlandic west coast Eskimos. **Acta Medica Scandinavica**, 192 (1-6):85–94, 1972.

BANG, H.O.; DYERBERG, J; SINCLAIR, H.M. The composition of the Eskimo food in the north western Greenland. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 33: 2657-2661, 1980.

BARCLAY, W.R.; MEAGER, K.M. ABRIL, J.R. Heterotrophic production of long chain omega-3 fatty acids utilizing algae and algae-like microorganisms. **Journal of Applied Phycology**, v.6, p.123-129, 1994.

BETANCOR, M.B.; HOWARTH, F.J.E.; GLENCROSS, B.D.; TOCHER, D.R. Influence of dietary docosahexaenoic acid in combination with other long-chain polyunsaturated fatty acids on expression of biosynthesis genes and phospholipid fatty acid compositions in tissues of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part B, 172–173: 74–89, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal. Associação Nacional dos Fabricantes de Rações. **Compêndio brasileiro de alimentação animal**. São Paulo: ANFAR/CBNA/SDR, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Brasília: 2007, 154p.

BRENNAN, J.T.; SALEM JR, N.; SINCLAIR, A.J.; CUNNANE, S.C.  $\alpha$ -Linolenic acid supplementation and conversion to n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in humans. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, 80:85–91, 2009.

BURDGE, G.C. Metabolism of  $\alpha$ -linolenic acid in humans. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, 75:161–168, 2006.

BURR, G.O. e BURR, M.M. A new deficiency disease produced by the rigid exclusion of fat from the diet. **The Journal of Biological Chemistry**, 82:345-367, 1929.

CALDER, P.C. n-3 Polyunsaturated fatty acids, inflammation, and inflammatory diseases. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 83(suppl):1505S–1519S, 2006.

CAMPOS, D. M. B.; F. FILHO, D. E.; TORRES, K. A. A.; FURLAN, R. L.; MACARI, M. . Desenvolvimento da mucosa intestinal e a substituição do milho por sorgo na dieta de pintainhos de corte. **Revista de Ciências Veterinárias**, 5: 44-48, 2007.

CAPANNI, M.; CALELLA, F.; BIAGINI, M.R.; GENISE, S.; RAIMONDI, L.; BEDOGNI, G.; SVEGLIATI-BARONI, G.; SOFI, F.; MILANI, S.; ABBATE, R.; SURRENTI, C.; CASINI, A. Prolonged n-3 polyunsaturated fatty acid supplementation ameliorates hepatic steatosis in patients with non-alcoholic fatty liver disease: a pilot study. **Alimentary Pharmacology Therapeutics**, 23:1143–1151, 2006.

CARTER, J.F. Potential of flaxseed and flaxseed oil in baked goods and other products in human nutrition. **Cereal Foods World**, 38: 753-759, 1993.

CASTRO-GONZÁLEZ, M.I.; MAAFS-RODRÍGUEZ, A.G.; ROMO, F.P.G. Evaluación de diez especies de pescado para su inclusión como parte de la dieta renal, por su contenido de proteína, fósforo y ácidos grasos. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, 62(2): 127-136, 2012.

CHOU, B.S. e SHIAU, S.Y. Both n-6 and n-3 fatty acids are required for maximal growth of juvenile hybrid. **North American Journal of Aquaculture**, 61:13-20, 1999.

COSTA, M.L.S.; MELO, F.P.; CORREIA, E.S. Efeitos de diferentes níveis protéicos da ração no crescimento na tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1757), variedade chitralada, criadas em tanques-rede. **Boletim do Instituto de Pesca**, 35(2): 285-294, 2009.

DYERBERG, J.; BANG, H.O.; HJORNE, N. Fatty acid composition of the plasma lipids in Greenland Eskimos. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 28:958-966, 1975.

DYERBERG, J.; BANG, H.O.; STOFFERSEN, E.; MONCADA, S.; VANE, J.R. Eicosapentaenoic acid and prevention of thrombosis and atherosclerosis? **The Lancet**, 15(2): 117-119, 1978.

ESPINOSA, A.; VALENZUELA B., R.; GONZÁLEZ-MAÑÁN, D. Prevention of liver steatosis through fish oil supplementation: correlation of oxidative stress with insulin resistance and liver fatty acid content. **Archivos latinoamericanos de nutrición**, 63(1): 29-36, 2013.

EUCLYDES, R.F.; ROSTAGNO, S.H. Estimativas dos níveis nutricionais via experimentos de desempenho. Nutrição de Aves e Suínos. In: WORKSHOP LATIN-AMERICANO AJINOMOTO BIOLATINA, 1., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: 2001. p.77- 88.

EXLER, J.; KINSELLA, J.E.; WATT, B.K. Lipids and Fatty Acids of Important Finfish: New Data for Nutrient Tables. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 52: 154-159, 1975.

FERREIRA, M.W.; ARAUJO, F.G.; COSTA, D.V.; ROSA, P.V.; FIGUEIREDO, H.C.P.; MURGAS, L.D.S. Influence of dietary oil sources on muscle composition and plasma lipoprotein concentrations in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, 42(1): 24-33, 2011.

FOTUHI, M.; MOHASSEL P.; YAFFE, K. Fish consumption, long-chain omega-3 fatty acids and risk of cognitive decline or Alzheimer disease: a complex association. *Nature clinical practice neurology*, 5(3): 140-152, 2009.

FURUYA, W.M. Tabelas Brasileiras para a Nutrição de Tilápias. Toledo: GFM, 2010, 100p.

GANUZA, E.; BENÍTEZ-SANTANA, T.; ATALAH, E.; VEGA-ORELLANA, O.; GANGA, R.; IZQUIERDO, M.S. Cryptocodium cohnii and Schizochytrium sp. as potential substitutes to fisheries-derived oils from seabream (*Sparus aurata*) microdiets. **Aquaculture**, 277: 109–116, 2008.

GIBSON R.A; MUHLHAUSLER, B.; MAKRIDES, M. Conversion of linoleic acid and alpha-linolenic acid to long-chain polyunsaturated fatty acids (LCPUFAs), with a focus on pregnancy, lactation and the first 2 years of life. **Maternal and Child Nutrition**, 7 (Suppl. 2): 17–26, 2011.

HAKIM, A.R. The potential of heterotrophic microalgae (*Schizochytrium* sp.) as a source of DHA. **Squalen**, 7(1): 29-38, 2012.

HANLEY, F. Effects of feeding supplementary diets containing varying levels of lipid on growth, food conversion, and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). **Aquaculture**, 93: 323-334, 1991.

HAMM, R. Biochemistry of meat hydration. **Advances in Food Research**, 10(2): 335-443, 1960.

HAREL, M.; KOVEN, W.; LEIN, I.; BAR, Y.; BEHRENS, P.; STUBBLEFIELD, J.; ZOHAR, Y.; PLACE, A.R. Advanced DHA, EPA and ArA enrichment materials for marine aquaculture using single cell heterotrophs. **Aquaculture**, 213: 347–362, 2002.

HARTMAN, L.; LAGO, R.C.A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, v.22, p. 475-476, 1973.

HENDERSON, R.J. e TOCHER, D.R.. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. **Progress in Lipid Research**, 26: 281-347, 1987.

HENDERSON, R.J. Fatty acid metabolism in freshwater fish with particular reference to polyunsaturated fatty acids. *Archiv für Tierernährung*, 49(1): 5-22, 1996.

HOESTENBERGHE, S.V.; FRANSMAN, C.A. LUYTEN, T.; VERMEULEN, D.; ROELANTS, I.; BUYSSENS, S.; GODDEERIS, B.M. Schizochytrium as a replacement for fish oil in a fishmeal free diet for jade perch, *Scortum barcoo* (McCulloch & Waite). **Aquaculture Research**, 1–14, 2014.

HOLUB, D.J. e HOLUB, B.J. Omega-3 fatty acids from fish oils and cardiovascular disease **Molecular and Cellular Biochemistry** 263: 217–225, 2004.

HONIKEL, K. O. Influence of chilling on meat quality attributes of fast glycolysing pork muscles. In: TARRANT, P. V.; EIKELENBOOM, G.; MONIN, G. (Ed.). Evaluation and control of meat quality in pigs. Dordrecht: Martinus Nijhoff, p.273-283, 1987.

INNIS, S.M. Perinatal biochemistry and physiology of long-chain polyunsaturated fatty acids. **The Journal of Pediatrics**, 143:S1-S8, 2003.

JABEEN, F.; CHAUDHRY, A.S. Chemical compositions and fatty acid profiles of three freshwater fish species. **Food Chemistry**, 125: 991–996, 2011.

KARAPANAGIOTIDIS, I.T.; BELL, M.V.; LITTLE, D.C. Replacement of dietary fish oils by alpha-linolenic acid-rich oils lowers omega 3 content in tilapia flesh. **Lipids**, 42: 547–559, 2007.

KAYMA, M.; TSUCHIYA, Y.; NEVENZEL, J.C.; FULCO, A.; MEAD, J.F. Incorporation of linolenic-1-C<sup>14</sup> acid into eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids in fish. **The Journal of the American Oil Chemists' Society**, 40: 499-502, 1963.

KOUBA, M.; ENSER, M.F.; WHITTINGTON, M.; NUTE, G.R.; WOOD, J. D. Effect of a high-linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig. **Journal of Animal Science**, 81(8): 1967-1979, 2003.

LAVANIEGOS, E.; LOPEZ-CORTES, D. Fatty acid composition and community structure of plankton from the San Loranzo Channel, Gulf of California. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, 45(6): 845-854, 1997.

LEWIS, T.E.; NICHOLS, P.D.; McMEEKIN, T.A. The biotechnological potential of thraustochytrids. **Journal of Marine Biotechnology**, 1: 580-587, 1999.

LI, M.H.; ROBINSON, E.H.; TUCKER, C.S.; MANNING, B.B.; KHOO, L. Effects of dried algae *Schizochytrium* sp., a rich source of docosahexaenoic acid, on growth, fatty acid composition, and sensory quality of channel catfish *Ictalurus punctatus*. **Aquaculture**, 292: 232–236, 2009.

LIU, Y.; CHEN, F.; ODLE, J.; LIN, X.; JACOBI, S.K.; ZHU, H.; WU, Z.; HOU, Y. Fish oil enhances intestinal integrity and inhibits TLR4 and NOD2 signaling pathways in weaned pigs after LPS challenge. **The Journal of Nutrition**, 142: 2017–2024, 2012.

LIU, G.; AN, S.; YUAN, J.; GUO, Y.; LIU, D.; CHEN, H.; HUANG, R. Dietary Fish Oil and Zinc Reduced Plasma Prostaglandin E2 Content by Inhibiting Phospholipase A<sub>2</sub> Production in Broilers. **Japan Poultry Science Association**, 51: 66-70, 2014.

LOVELL, R. T. Use of soybean products in diets for aquaculture species. **American Soybean Association Technical Bulletin**, v.AQ21-90 6/7, p.1-16, 1984.

MAAZOUZI, C.; MASSON, G.; IZQUIERDO, M.S.; PIHAN, J.C. Midsummer heat wave effects on lacustrine plankton: Variation of assemblage structure and fatty acid composition. **Journal of Thermal Biology**, 33: 287-296, 2008.

MAKI, K.C.; YURKO-MAURO, K.; DICKLIN, M.R.; SCHILD, A.L.; GEOHAS, J.G. A new, microalgal DHA-and EPA-containing oil lowers triacylglycerols in adults with mild-to-moderate hypertriglyceridemia. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, 91: 141–148, 2014.

McCUTCHEON, J.S.; UERMURA, T.; BHATNAGAR, M.K.; WALKER, B.L. Cardiopathogenicity of rapeseed oils and oil blends differing in erucic, linoleic, and linolenic acid content. **Lipids**, 11(7): 545-552, 1976.

MEGANATHAN, M.; GOPAL, K.M.; SASIKALA, P.; MOHAN, J.; GOWDHAMAN, N.; BALAMURUGAN, K.; NIRMALA, P.; SANTHAKUMARI, S.; SAMUEL, V.

Evaluation of Hepatoprotective Effect of Omega 3-Fatty Acid against Paracetamol Induced Liver Injury in Albino Rats. **Global Journal of Pharmacology**, 5(1): 50-53, 2011.

MILLER, M.R.; NICHOLS, P.D.; CARTER, C.G. Replacement of fish oil with thraustochytrid Schizochytrium sp. L oil in Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L) diets. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part A, 148: 382–392, 2007.

MORAIS, S.; MONROIG, Ó.; ZHENG, X.; LEAVER, M.J.; TOCHER, D.R. Highly unsaturated fatty acid synthesis in Atlantic salmon: characterization of ELOVL5- and ELOVL2- like elongases. **Marine Biotechnology**, 11: 627–639, 2009.

MOONEY, J.W.; HIRSCHLER, E.M.; KENNEDY, A.K.; SAMS, A.R.; VAN ELSWYK, M.E. Lipid and flavour quality of stored breast meat from broilers fed marine algae. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 78(1): 134–140, 1998.

NANTON D.A.; CASTELL, J.D. The effects of temperature and dietary fatty acids on the fatty acid composition of harpacticoid copepods, for use as a live food for marine fish larvae. **Aquaculture**, 175: 167–181, 1999.

NAYLOR, R.L.; GOLDBURG, R.J.; PRIMAVERA, J.H.; BEVERIDGE, M.C.M.; CLAY, J. FOLKE, C.; LUBCHENCO, J.; MOONEY, H.; TROELL, M. Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature**, 205: 1017-1024, 2000.

NIELSEN, N.S.; GOTTSCHKE, J.R.; HOLM, J.; XU, X.; MU, H.; JACOBSEN, C. Effect of structured lipids based on fish oil on the growth and fatty acid composition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, 250: 411-423, 2005.

NRC – National Research Council. **Nutrient requirements of fish and shrimp**, Washington, 376p. 2011.

OLIVEIRA, J.R.; CARMO, J.L.; OLIVEIRA, K.K.C.; SOARES, M.C.F. Cloreto de sódio, benzocaína e óleo de cravo-da-índia na água de transporte de tilápia-do-Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 38(7): 1163-1169, 2009.

OLSEN, R.E.; HENDERSON, R.J.; MCANDREW, B.J. The conversion of linoleic acid and linolenic acid to longer chain polyunsaturated fatty acids by Tilapia (*Oreochromis nilotica*) in vivo. **Fish Physiology and Biochemistry**, 8(3): 261-270, 1990.

PARK, J.H.; UPADHAYA, S.D.; KIM, I. H. Effect of Dietary Marine Microalgae (*Schizochytrium*) Powder on Egg Production, Blood Lipid Profiles, Egg Quality, and Fatty Acid Composition of Egg Yolk in Layers. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 28(3): 391-397, 2015.

PETENUCCI, M.E.; STEVANATO, F.B.; VISENTAINER, J.E.L.; MATSUSHITA, M.; GARCIA, E.E.; SOUZA, N.E.; VISENTAINER, J.V. Fatty acid concentration, proximate composition, and mineral composition in fishbone flour of Nile Tilapia. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, 58(1): 87-90, 2008.

PETENUCCI, M.E.; STEVANATO, F.B.; MORAIS, D.R.; SANTOS, L.P.; SOUZA, N.E.; VISENTAINER, J.V. Composição e estabilidade lipídica da farinha de espinhaço de tilapia. **Ciência e Agrotecnologia**, 34(5): 1279-1284, 2010.

RASOARAHONA, J.R.E.; BARNATHAN, G.; BIANCHINI, J.P.; GAYDOU, E.M. Influence of season on the lipid content and fatty acid profiles of three tilapia species (*Oreochromis niloticus*, *O. macrochir* and *Tilapia rendalli*) from Madagascar. **Food Chemistry**, 91: 683–694, 2005.

RASTOGI, T; REDDY, K.S.; VAZ, M.; SPIEGELMAN, D.; PRABHAKARAN, D.; WILLETT, W.C.; STAMPFER, M.J.; ASCHERIO, A. Diet and risk of ischemic heart disease in India. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 79(4): 582-92, 2004.

RIBEIRO, P.A.P.; LOGATO, P.V.R. PAULA, D.A.J.P.; COSTA, A.C.; MURGAS, L.D.S.; FREITAS, R.T.F. Efeito do uso de óleo na dieta sobre a lipogênese e o perfil lipídico de tilápias-do-nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 37(8): 1331-1337, 2008.

RIBEIRO, P.A.P.; ROSA, P.V.; VIEIRA, J.S.; GONÇALVES, A.C.S.; FREITAS, R.T.F. Perfil lipídico e composição química de tilápias nilóticas em diferentes

condições de cultivo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 12(1): 199-208, 2011.

RIBEIRO, T.; LORDELO, M.M.; ALVES, S.P.; BESSA, R.J.B.; COSTA, P.; LEMOS, J.P.C.; FERREIRA, L.M.A.; FONTES, C.M.G.A.; PRATES, J.A.M.. Direct supplementation of diet is the most efficient way of enriching broiler meat with n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids. **British Poultry Science**, 54(6): 753-765, 2013.

RODRÍGUEZ, C.; PÉREZ, J.A.; BADÍA, P.; IZQUIERDO, M.S.; FERNÁNDEZ-PALACIOS, H.; LORENZO HERNÁNDEZ, A. The n-3 highly unsaturated fatty acids requirements of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) larvae when using an appropriate DHA/EPA ratio in the diet. **Aquaculture**, 169: 9–23, 1998.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P.C; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T.; EUCLIDES, R.F. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. 3.ed. VIÇOSA: UFV, Departamento de Zootecnia, 2011. 252p.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep, 2007, 283p.

SAIYASAENG, S.; YUANGSOI, B.; WIRIYAPATTANASUB, P.; WONGMANEEPRATEEP, S. Effects of dietary Schizochytrium sp. supplementation on morphological characters and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Khon Kaen Agriculture Journal**, 42(1): 44-50, 2014.

SARGENT, J.R.; TOCHER, D.R.; BELL, G.B. The Lipids. In: HALVER, J.E. E HARDY, R.W. Fish Nutrition. San Diego: Academic Press, 2002. Cap.4, p.181-257.

SARKER, P.K.; GAMBLE, M.M.; KELSON, S.; KAPUSCINSKI, A.R.. Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) show high digestibility of lipid and fatty acids from marine Schizochytrium sp. and of protein and essential amino acids from freshwater Spirulina sp. feed ingredients. **Aquaculture Nutrition**, p.1-11, 2015.

SCHERR, C.; GAGLIARDI, A.C.M.; MINAME, M.H.; SANTOS, R.D. Concentração de ácidos graxos e colesterol de peixes habitualmente consumidos no Brasil. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia** [online].ahead print, PP.0-0, 2014.

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

SILVA, J.H.V; LIMA, R.B.; LACERDA, P.B.; OLIVEIRA, C.A. Digestão e absorção de lipídeos. In: SAKOMURA, N.K.; SILVA, J.H.V.; COSTA, F.G.P.; et al. Nutrição de Não-ruminantes. Jaboticabal: Funep, 2014. Cap. 2, p.64-76.

SIMÕES, L. N.; PAIVA, G. e GOMES, L.C. Óleo de cravo como anestésico em adultos de tilápia-do-nilo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 45(12): 1472-1477, 2010.

SIMOPOULOS, A.P. Omega-3 fatty acids in inflammation and autoimmune diseases. **Journal of the American College Nutrition**, 21(6): 495-505, 2002.

SIMOPOULOS, A.P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids **Biomed Pharmacother**, 56: 365–379, 2002a.

SIMOPOULOS, A.P. Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: nutritional implications for chronic diseases. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, 60:502–507, 2006.

SIMOPOULOS, A.P. The omega-6/omega-3 fatty acid ratio, genetic variation, and cardiovascular disease. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**,;17 (1):131-134, 2008.

SOUZA, M.L.R.; MACEDO-VIEGAS, E.M.; KRONKA, S.N. Influência do método de filetagem e categorias de peso sobre rendimento de carcaça da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, 28:1-6, 1999.

SOUZA, M.L.R.; MARENGONI, N.G.; PINTO, A.A.; CAÇADOR, W.C. Rendimento do processamento da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*): tipos de corte da cabeça em duas categorias de peso. **Acta Scientiarum**, 22(3): 701-706, 2000.

SOUZA, M.L.R.; MARANHÃO, T.C.F. Rendimento de carcaça, filé e subprodutos da filetagem da tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L), em função do peso corporal. **Acta Scientiarum**, 23(4): 897-901, 2001.

SOUZA, N.E.; MATSUSHITA, M.; FRANCO, M.R.B.; PRADO, I.N.; VISENTAINER, J.V. Composição química, perfil de ácidos graxos e quantificação dos ácidos  $\alpha$ -linolênico, eicosapentaenóico e docosahexaenóico em vísceras de tilápias (*Oreochromis niloticus*). **Acta Scientiarum. Technology**, 27(1): 73-76, 2005.

SRETENOVIĆ, LJ.; PANTELIĆ, V.; NOVAKOVIĆ, Ž.. Importance of utilization of omega-3 fatty acids in human and animal nutrition. **Biotechnology in Animal Husbandry**, 25 (5-6): 439-449, 2009.

STANSBY, M.E. Introduction in fish oils in nutrition. In: STANBY, M.E. **Fish oils in nutrition**. New York: V.N. Reinhold, 1990. 313p.

STEFFENS, W. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Zaragoza: Ed. Acribia. 272p., 1997.

STOUGH, C., DOWNEY, L.; SILBER, B. The effects of 90-day supplementation with the Omega-3 essential fatty acid docosahexaenoic acid (DHA) on cognitive function and visual acuity in a healthy aging population. **Neurobiology of Aging**, 33: 824.e1–824.e3, 2012.

TAKEUCHI, T.; SATOH, S.; WATANABE, T. Requirement of *Tilapia nilotica* for essential fatty acids. **Bulletin Japan Society Science Fish**, 49: 1127-1134, 1983.

TIMMONS MB, EBELING JM. Recirculating aquaculture. 2nd Edition. New York: NRAC Publication N° 401-2010 Cayuga Aqua Ventures; 2010.

TUR, J.A.; BIBILONI, M.M.; SUREDA, A.; PONS, A. Dietary sources of omega 3 fatty acids: public health risks and benefits. **British Journal of Nutrition**, 107: S23–S52, 2012.

VAN LAACK, R. L. J. M.; LIU, C. H.; SMITH, M. O.; LOVEDAY, H. D. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. **Poultry Science**, 79(7): 1057- 1061, 2000.

VISENTAINER, J.V.; GOMES, S.T.M.; HAYASHI, C.; SANTOS-JUNIOR, O.O.; SILVA, A.B.M.; JUSTI, K.C.; SOUZA, N.E.; MATSUSHITA, M. Efeito do tempo de fornecimento de ração suplementada com óleo de linhaça sobre a composição físico-química e de ácidos graxos em cabeças de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 23(3): 478-484, 2003.

VISENTAINER, J.V.; SOUZA, N.E.; MAKOTO, M.; HAYASHI, C.; FRANCO, M.R.B. Influence of diets enriched with flaxseed oil on the  $\alpha$ -linolenic, eicosapentaenoic and docosahexaenoic fatty acid in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Food Chemistry**, 90: 557–560, 2005.

WALL, R.; ROSS, R.P.; FITZGERALD, G.F. e STANT, C. Fatty acids from fish: the anti-inflammatory potential of long-chain omega-3 fatty acids of long-chain omega-3 fatty acids. **Nutrition Reviews**, 68(5): 280–289, 2010.

WATTERS, C.A.; ROSNER, L.S.; ADRIAN, A.F.; DOMINY, W.G.; KLINGER-BOWEN, R.; TAMARU, C.S. Nutritional Enhancement of Long-Chain Omega-3 Fatty Acids in Tilapia (*Oreochromis honorum*). **The Israeli Journal of Aquaculture**, 7 pages, 2013.

WU, S.T.; YU, S.T.; LIN, L.P. Effect of culture conditions on docosahexaenoic acid production by *Schizochytrium* sp. S31. **Process Biochemistry**, 40: 3103–3108, 2005.

YAQOOB, P. Session 3: Fatty acids and the immune system Mechanisms underlying the immunomodulatory effects of n-3 PUFA. **Proceedings of the Nutrition Society**, 69: 311–315, 2010.