

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

MODULAÇÃO DO PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS EM FILÉS
DE TILÁPIAS UTILIZANDO ACASALAMENTOS
DIRIGIDOS E SUPLEMENTAÇÃO COM FONTE DE
ÔMEGA-3

Autor: Jailton da Silva Bezerra Júnior
Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Lopes de Oliveira
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Pereira Ribeiro

MARINGÁ
Estado do Paraná
Dezembro - 2019

MODULAÇÃO DO PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS EM FILÉS
DE TILÁPIAS UTILIZANDO ACASALAMENTOS
DIRIGIDOS E SUPLEMENTAÇÃO COM FONTE DE
ÔMEGA-3

Autor: Jailton da Silva Bezerra Júnior
Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Lopes de Oliveira
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Pereira Ribeiro

Tese apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá- Área de concentração Produção Animal.

MARINGÁ
Estado do Paraná
Dezembro – 2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

B574m	<p>Bezerra Júnior, Jailton Silva</p> <p>Modulação do perfil de ácidos graxos em filés de tilápias utilizando acasalamentos dirigidos e suplementação com fonte de ômega-3 / Jailton Silva Bezerra Júnior. -- Maringá, PR, 2019. 35 f.: il., figs., tabs.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Lopes de Oliveira. Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Pereira Ribeiro. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2019.</p> <p>1. Ômega-3. 2. Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>). 3. Tanque-rede. I. Oliveira, Carlos Antonio Lopes de, orient. II. Ribeiro, Ricardo Pereira, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.</p> <p>CDD 23.ed. 639.3774</p>
-------	---



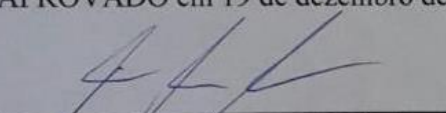
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

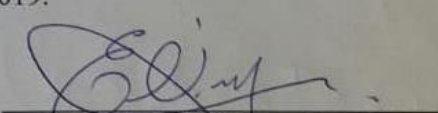
MODULAÇÃO DO PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS
EM FILÉS DE TILÁPIAS UTILIZANDO ACASALAMENTOS
DIRIGIDOS E SUPLEMENTAÇÃO COM
FONTE DE ÔMEGA 3

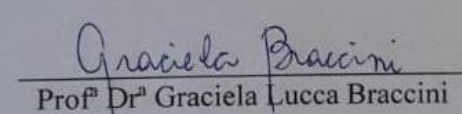
Autor: Jailton da Silva Bezerra
Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Lopes de Oliveira

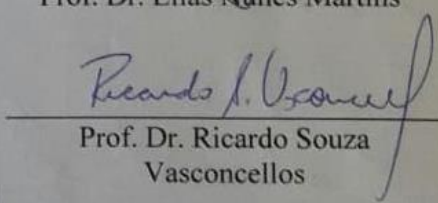
TITULAÇÃO: Doutor em Zootecnia - Área de Concentração Produção
Animal

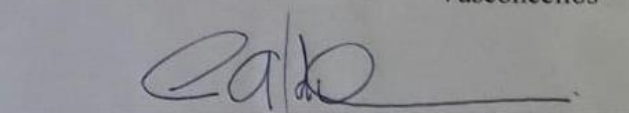
APROVADO em 19 de dezembro de 2019.


Prof. Dr. Ricardo Pereira Ribeiro


Prof. Dr. Elias Nunes Martins


Prof. Dr. Graciela Lucca Braccini


Prof. Dr. Ricardo Souza
Vasconcellos


Prof. Dr. Carlos Antonio Lopes de Oliveira
Orientador

*“Aqueles que temem o senhor aprenderão com ele o caminho que
devem seguir” (Salmos 25:12).*

Ao meu amado tio-avô, Pedro Júlio da Silva (*in memoriam*)

Ao meu filho, Pedro Kleszcz da Cruz Bezerra

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por toda a força e livramento que tem me dado para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

À Universidade Estadual de Maringá, pela oportunidade de realizar o curso de Pós-graduação em Zootecnia.

À CAPES, pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Antonio Lopes de Oliveira, pelos ensinamentos, conselhos, paciência e principalmente pela presença no momento em que mais precisei de ajuda. Gratidão!

Ao Prof. Dr. Ricardo Pereira Ribeiro, pela coorientação, amizade, disponibilidade para esclarecimentos de dúvidas e a oportunidade de conhecer um casal excepcional, Flávio Oliveira e Fabiana Yuri. Muito obrigado professor!

Aos colegas do grupo de pesquisa PeixeGen, funcionários da estação de piscicultura (CODAPAR) e da Unidade Demonstrativa de tanque-rede (Rio do Corvo, Diamante do Norte – PR) por toda ajuda e companheirismo na execução deste trabalho.

À minha amada avó Maria Ester, por todo seu carinho e amor.

Aos meus pais, Jailton e Margarete que apesar de sentirem muito com minha ausência diária sempre me apoiaram com bastante esforço para que nada me faltasse.

Às minhas queridas irmãs, Morgana, Mayara, Ana Carolina e Natália pelo apoio e incentivo.

Ao meu padrasto Flávio e madrastra Verônica, pela torcida para que tudo desse certo.

À Flavia Kleszcz da Cruz Bezerra (esposa) por todo carinho, ajuda e paciência nos momentos difíceis na reta final deste trabalho.

À minha família, tios (James e Antônio Jorge e Emmanuel), tias (Solange, Liduina, Marileide – *in memoriam*, Verônica e Adalgisa), primos (Handson Levi, Hudson, Jorge, Rodrigo e Luis Antônio) e primas (Christianne, Julianne, Lizianne, Luanda e Poliana), que de alguma forma contribuíram neste processo.

Aos amigos Carmen Couto, Carlos Jorge Couto, Karine Couto e Manoel Souza por todo incentivo e apoio.

Aos colegas do PPZ/UEM (Pedro Loesia, Fabiana Beochior, Johnny Martins, Jesus Cardozo, Jakeline Fernandes, Kariny Moreira, Rosileide Rohod, Natália Sitanaka, Isabelle Naemi e Alessandra Monteiro) pela amizade e momentos de descontrações.

À Solange, secretária do PPZ/UEM, pelo carinho, atenção e esclarecimentos de dúvidas sempre que precisei.

À Prof.^a Dr.^a Eliane Gasparino, pela oportunidade da realização do estágio a docência na disciplina de experimentação zootécnica.

À amiga Prof.^a Dr.^a Aline Zampar, pela amizade e suporte sempre que precisei.

À querida Prof.^a Dr.^a Angelina Bossi Fraga, pela excelente orientação na graduação e mestrado, desta forma, proporcionando condições para que pudesse enfrentar os desafios no doutorado.

Aos professores (Robson Rossi, Diogo Rossoni e Isolde Previdelli) e colegas (Omar Pereira e Felipe Barletta) do Departamento de Estatística da UEM, pelos ensinamentos, amizade e parceria profissional.

BIOGRAFIA

JAILTON DA SILVA BEZERRA JÚNIOR, filho de Jailton da Silva Bezerra e Margarete Betânia Cavalcante de Melo Bezerra, nasceu em Maceió-AL, no dia 22 de setembro de 1990.

Em agosto de 2013, concluiu a graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Alagoas.

Em março de 2014, iniciou no Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de mestrado, pela mesma instituição, submetendo-se aos exames finais de defesa de dissertação em fevereiro de 2016.

Em março de 2016, iniciou no Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, em Nível de doutorado, na Universidade Estadual de Maringá, realizando estudos na área de produção animal. Submeteu-se ao Exame Geral de Qualificação em dezembro de 2018.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Cenário da Tilapicultura.....	1
1.2. Melhoramento Genético na Tilapicultura.....	3
1.3. Ácidos Graxos Poli-insaturados.....	5
1.4. Referências.....	8
II. OBJETIVOS GERAIS.....	17
2.1. Objetivos específicos.....	17
III. OMEGA-3 SUPPLEMENTATION AND SELECTION FOR FAT CONTENT CAN ALTER THE FATTY ACID PROFILE OF TILAPIA FILLETS.....	18
Abstract.....	18
Introduction.....	19
Material and methods.....	20
Results.....	24
Discussion.....	25
Conclusion.....	27
Acknowledgements.....	27
Conflict of interest.....	27
References.....	27

LISTA DE TABELAS

	Página
III. Omega-3 supplementation and selection for fat content can alter the fatty acid profile of tilapia fillets	
Table 1. Fatty acid profile (mg/100g of sample) and proximate composition of the feed provided to the animals.....	32
Table 2. Recorded information and descriptive statistics.....	33
Table 3. Values (mean \pm SD) for body weight at slaughter (BWS), standard length (SL), fillet weight (FW), fillet yield (FY) and fat content (FAT) of Nile tilapias.....	34
Table 4. Values (mean \pm SD) of fatty acids profile (mg/100g of sample) in the Nile tilapia fillets at the last (genetic groups <i>vs.</i> supplementation) of the experiment period.....	35

RESUMO

O consumo da carne de peixes na alimentação humana é normalmente associado aos hábitos alimentares saudáveis, devido aos benefícios à saúde, principalmente no que se refere à melhora no sistema imunológico. Peixes cultivados em água doce quando comparados aos cultivados em água marinha apresentam baixos níveis de ômega-3 e altos níveis de ômega-6. Como alguns ácidos graxos são considerados essenciais para os seres humanos, os peixes são uma das principais alternativas para atender a essa necessidade. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de acasalamentos dirigidos e da suplementação com fonte rica em ômega-3 sobre as características de desempenho, composição química e perfil de ácidos graxos do filé de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Os acasalamentos dirigidos foram realizados entre machos da variedade Tilamax e fêmeas da variedade Aquaamerica[®] com alto valor genético (Grupo 1) e baixo valor genético (Grupo 2) para teor de gordura no filé. Após reversão sexual, 800 animais de cada grupo foram coletados aleatoriamente e depois distribuídos e cultivados em 16 tanques-rede de 1 m³, de janeiro a junho de 2017. Os peixes receberam ração sem suplementação e ração suplementada com produto comercial (All-G-Rich[®]) à base de farinha da microalga marinha *Schizochytrium* sp. rica em ácidos graxos ômega-3 (ácido docosahexaenóico-DHA) nos últimos 45 dias antes do abate. O All-G-Rich[®] foi adicionado à alimentação extrusada por pulverização em betoneira (M-120, Maqtron), assim foram adicionados 400 ml de óleo de soja como veículo de aplicação para cada 25 kg de ração comercial e misturados durante cinco minutos. A dieta controle recebeu apenas óleo de soja. O delineamento experimental inteiramente casualizado foi utilizado em um esquema fatorial 2x2, dois grupos genéticos e dois tipos

de dietas. As características estudadas foram: peso corporal ao abate, comprimento padrão, peso de filé, rendimento de filé e teor de gordura em filé. Avaliação antes da suplementação não foi verificada diferença no perfil dos ácidos graxos. Contudo, após o fornecimento da dieta suplementada com a fonte rica em ácidos graxos da série ômega-3, os resultados indicaram que o grupo genético selecionado para alto teor de lipídios no filé apresentou o peso médio à despesa (669,14g) inferior a 9,42% quando comparado ao grupo genético 2, no entanto, o rendimento de filé (%) de 37% foi similar entre os grupos. Para o teor lipídico total do filé, observou-se efeito isolado, com maiores teores para o grupo genético 1 (4,50%) e para os animais que receberam a dieta suplementada (4,50%). Houve aumento de 130% na concentração de DHA ($p < 0,05$) no grupo suplementado. Os resultados indicaram evidências que a seleção genética e a suplementação contribuíram para aumentar a porcentagem de lipídios totais nos filés e que a modulação do perfil dos ácidos graxos foi observada apenas com a dieta suplementada com ômega-3.

Palavras-chave: ômega-3, *Oreochromis niloticus*, tanque-rede.

ABSTRACT

The consumption of fish meat, in turn, is high, if the interest rate is healthy, on average, for health rates, especially with regard to improvement in the immune system. Freshwater fish compared to those grown in marine water have low levels of omega-3 and high levels of omega-6. As some fatty acids are considered essential for humans, fish are one of the main alternatives to meet this need. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of directed mating and supplementation with omega-3 rich source on the performance traits, chemical composition and fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillet. The mating was conducted between males of the Tilamax[®] variety and females of the Aquaamerica[®] variety with high genetic value (Group 1) and low genetic value (Group 2) for fat content in the fillet. After sexual reversion, 800 animals from each group were randomly collected and then distributed and cultured in 16 floating cages of 1 m³, from January to June 2017. The fishes received ration without supplementation and feed supplemented with a commercial product (All-G-Rich[®]) based on flour of the marine microalga *Schizochytrium* sp. rich in omega-3 fatty acids (docosahexaenoic-DHA fatty acid) in the last 45 days prior to slaughter. The ALL-G-RICH[®] was added to the extruded feed by spraying in concrete mixer (M-120, Maqtron), thus 400 ml of soybean oil was added as application vehicle for each 25 kg of commercial feed and mixed for five minutes. The control diet received only soybean oil. The a complete randomized design was used in a factorial scheme (2x2), two genetic groups and two types of diets. The traits studied were: body weight at slaughter, standard length, fillet weight, fillet yield and fat content in fillet. Evaluation before the supplementation, no difference in the fatty acid profile was verified.

However, after supplying the diet supplemented with the source rich in omega-3 fatty acids, the results indicated that the genetic group selected for high fat content in the fillet had the mean slaughter weight (669.14g) lower than 9.42% when compared to the genetic group 2, however, fillet yield (%) of 37% was similar between the groups. For the fat content of the fillet, there was an isolated effect, with higher levels for the genetic group 1 (4.50%) and for the animals that received the supplemented diet (4.50%). There was a 130% increase in DHA concentration ($p < 0.05$) in the supplemented group. The results indicated evidence that genetic selection and supplementation contributed to increase the percentage of total lipids in fillets and that the modulation of the fatty acid profile was observed only with the diet supplemented with omega-3.

Keywords: omega-3, *Oreochromis niloticus*, floating cages.

I. INTRODUÇÃO

1.1. Cenário da tilapicultura

A tilápia é o nome comum dado para as várias espécies de peixes pertencentes à família dos ciclídeos nativas da África, disseminada em vários países de clima tropical ou subtropical, onde foram introduzidas de forma deliberada ou acidental (Ribeiro, 2001). De acordo com Popma e Masser (1999), na aquicultura os gêneros mais utilizados são: *Oreochromis*, *Sarotherodon* e *Tilapia*.

No Brasil, o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS realizou na década de 1970 a primeira introdução oficial de tilápia (*Bouaké*) proveniente do Centro de Pesquisa de Piscicultura, localizado em Bouaké na Costa do Marfim – África. As dificuldades de conhecimentos básicos sobre o manejo produtivo e reprodutivo das tilápias aliada com as dificuldades na realização da avaliação genética e o número reduzido de exemplares avaliados, podem ter ocasionado redução no desempenho e conseqüentemente a elevação da ocorrência de anomalias genéticas (Castagnolli, 1992; Figueiredo Junior e Valente Junior, 2008). A segunda importação ocorreu em 1996 pelo *Asian Institute of Technology* com a doação de 20.800 alevinos da variedade *tailandesa* ou *chitralada* para o estado do Paraná (Associação dos Alevinocultores do Paraná – ALEVINOPAR) (Zimmermann e Fitzsimmons, 2004).

Em 2002, a empresa privada Aquabel importou a variedade GenoMar Supreme, pertencente a empresa Norueguesa – Genomar (Resende et al., 2010). Por fim, a última importação oficial realizada até os dias atuais foi em 2005, quando a Universidade

Estadual de Maringá mediante parceria com a *WorldFish Center* da Malásia e apoio da antiga Secretaria Especial da Aquicultura e Pesca da Presidência da República - SEAP recebeu representantes de 30 famílias da variedade GIFT - Genetically Improved Farmed Tilápia (Ribeiro et al., 2012).

O processo de seleção da variedade GIFT surgiu entre os anos de 1988 e 1989 através de variedades de tilápias capturadas da natureza no Egito, Gana, Quênia e Senegal e tilápias de variedades utilizadas em sistemas de produção, provenientes de Israel, Singapura, Tailândia e Taiwan (Bentsen et al., 1998).

Atualmente, entre as principais espécies de peixes cultivados em 2016, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é a quarta maior com produção de 4,5 milhões de toneladas (FAO, 2018). No ranking dos países com maior produção, o Brasil se posiciona como o quarto maior produtor de tilápia do mundo, atrás da China, Indonésia e Egito, respectivamente (PeixeBR e Intrafish, 2018).

Em 2018, a piscicultura brasileira registrou aumento de pouco mais de 4% quando comparado ao ano anterior, produzindo 722.756 toneladas (PeixeBR, 2019). Ainda de acordo com a Associação Brasileira da Piscicultura em 2018, a produção de tilápia representou 55,4% da produção nacional, com 400.280 toneladas. Os estados do Paraná, São Paulo, Santa Catarina, Minas Gerais e Bahia foram responsáveis por aproximadamente 71% da produção nacional (Figura 1). Acredita-se, que com a liberação do cultivo de tilápias nos estados do Tocantins e Mato Grosso, por exemplo, a expectativa nos próximos anos é de que, a piscicultura e/ou tilapicultura possam ter crescimento maior.

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) se apresenta como uma das espécies de maior interesse econômico na aquicultura (FAO, 2017). São múltiplas as razões que destacam a tilápia, dentre eles, biologia reprodutiva, hábitos alimentares onívoros, excelentes índices zootécnicos (ex.: ganho de peso e conversão alimentar), adaptabilidade às condições de ambientes variáveis, resistência a doenças e baixos níveis de oxigênio dissolvido na água, fácil filetagem, carne branca de textura firme, ausência da espinha “Y” e de odor desagradável e facilidade de comercialização (Vannuccini, 1999; Fitzsimmons, 2000; Ribeiro, 2001; Souza, 2002).

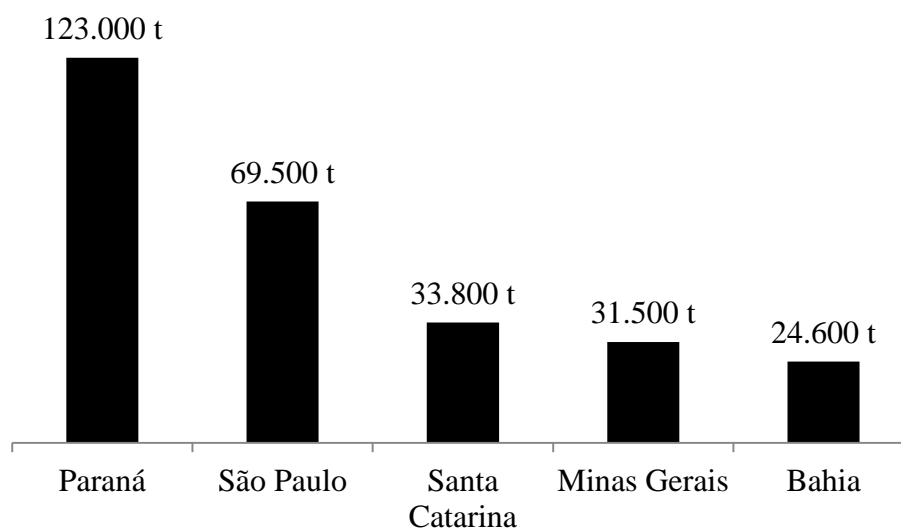


Figura 1. Maiores produtores de tilápias do Brasil (toneladas).

Fonte: Adaptado de PeixeBR (2019).

1.2. Melhoramento Genético na Tilapicultura

Se levar em consideração a produção nacional de tilápia por ano e a quantidade de água disponível com potencial para ser explorada a atividade é possível notar que a produção é baixa. Uma alternativa para alavancar a produção em quantidade e qualidade e conseqüentemente atender o mercado interno e externo, pode ser o investimento em melhoramento genético, ou seja, através do cruzamento ou acasalamentos e a seleção dos indivíduos superiores para a característica avaliada (Eknath et al., 1993; Gjedrem, 1998; Ponzoni et al., 2007; Hamzah et al., 2016; Neira et al., 2016).

A tilápia do Nilo foi introduzida há vários anos no Brasil. Entretanto, embora seja a espécie mais cultivada no país, até o ano de 2004, não havia um programa de melhoramento genético estabelecido que avaliasse os animais, com metodologias apropriadas (Resende et al., 2010). Em março de 2005, após a parceria com a *WorldFish Center* da Malásia, a Universidade Estadual de Maringá (UEM) iniciou o primeiro Programa de Melhoramento Genético de Tilápias/GIFT (PMGT/UEM) do Brasil, avaliado em condições brasileiras de cultivo, baseado na informação individualizada e no uso de avaliação genética a partir de metodologias estatísticas já

aplicadas em outras espécies domésticas (Lupchinski Júnior et al., 2008; Ribeiro et al., 2012; Oliveira et al., 2014).

Desde sua criação, o PMGT/UEM conta com 10 gerações avaliadas, contribuiu para a tilapicultura dos países do Uruguai e Cuba e continua contribuindo para o desenvolvimento da tilapicultura brasileira, deixando a disposição material genético de qualidade comprovada, com ganhos genéticos médios para características de produção de 4% por geração, rendimento de filé médio de 38%, além da redução de 21 dias para tempo de cultivo e custo de produção (Massago et al., 2009; Santos, 2009; Oliveira et al., 2012; Ribeiro, 2012; Oliveira et al., 2016; Yoshida et al., 2018).

Vários pontos devem ser levados em consideração na elaboração de um programa de melhoramento genético, entre eles, os objetivos e critérios de seleção. Os objetivos são as características que se pretendem melhorar (ex.: velocidade de crescimento). O critério de seleção são as características (ex.: ganho em peso diário) utilizadas que irão proporcionar os ganhos genéticos, deve ser de fácil mensuração e estar fortemente relacionado com o objetivo.

A taxa de crescimento ou velocidade de crescimento tem sido o objetivo de seleção de maior ponderação em programas de melhoramento genético de tilápias (Hulata et al., 1986; Gall and Bakar, 2002; Ponzoni et al., 2005; Oliveira et al., 2016).

Contudo, além da velocidade de crescimento, alguns programas têm proposto à avaliação genética associada às características reprodutivas (Trong et al., 2013; Yoshida et al., 2015), a aspectos sanitários, como por exemplo, resistência as bactérias *Streptococcus iniae* e *Agalactiae* (Shoemaker et al., 2017) e a qualidade do filé, principalmente no que se refere ao rendimento, teor de lipídios totais e perfil de ácidos graxos do filé (Nguyen et al., 2010; Hamzah et al., 2016; Garcia et al., 2017).

Em se tratando do perfil de ácidos graxos, embora o melhoramento genético para algumas espécies apresente variação genética que nos permita fazer seleção, a resposta é baixa e, limitada pelas análises necessárias para incluir o perfil de ácidos graxos como uma variável dentro de um programa de melhoramento genético (Nguyen et al., 2010).

1.3. Ácidos Graxos Poli-insaturados

Os lipídios consistem de moléculas orgânicas insolúveis em água e são considerados fontes de ácidos graxos essenciais, que auxiliam no crescimento dos peixes, devido as funções energéticas, estruturais, hormonais e precursores dos ácidos graxos com 20 carbonos das famílias ômega 3 e 6 que ele possui (Nelson and Cox, 2014).

Os ácidos graxos essenciais são moléculas de cadeias carbônicas e que fazem parte de vários tipos de lipídeos, podendo ser divididos em ácidos graxos saturados e insaturados. Além disso, são classificados de acordo com a presença de duplas ligações entre as cadeias de carbono (Youdim et al., 2000). O ácido graxo insaturado, subdividi em monoinsaturado (ômega-9) e poli-insaturados (ômega-3 e 6).

Os ácidos docosahexanoico (DHA) e eicosapentaenoico (EPA) são fontes de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa da série ômega-3 que por sua vez, são considerados de suma importância, já que esses ácidos graxos são considerados essenciais à lactantes (Henderson e Tocher, 1987) e estão intimamente ligados a uma série de benefícios a saúde humana e animal, tais como: crescimento, desenvolvimento e manutenção cerebral e da retina, profilaxia e tratamento de doenças cardiovasculares, inflamatórias, autoimunes e cancerígenas (Horrocks and Yeo, 1999; Almeida and Bueno Franco, 2006; Cockbain et al., 2012; Mozaffarian and Wu, 2012; Calder, 2013).

Com a industrialização, houve aumento no consumo de alimentos ricos em ácidos graxos linoleico (LA, 18:2n-6) e uma diminuição da ingestão de ácidos graxos ômega-3. Esta situação tem sido motivo de bastante discussão, principalmente no que se trata da quantidade ideal a ser ingerida e as causas ou profilaxias de doenças. Antes da alimentação moderna, as razões ômega-6/ômega-3 eram em torno de 1:1 a 2:1, atualmente esta razão varia de 15:1, chegando até 40:1 na dieta ocidental (Simopoulos, 2002, 2006). Países e instituições recomendam valores diferentes para o bom equilíbrio da razão ômega-6/ômega-3 na alimentação, a Organização Mundial da Saúde (1995), por exemplo, recomenda a razão de 5:1 podendo chegar até 10:1. Uma alternativa para diminuir a razão ômega-6/ômega-3 é aumentar a ingestão de ácidos graxos ômega-3, EPA e DHA (FAO, 2010).

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, são os órgãos responsáveis no Brasil pela regulamentação e inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal (Brasil, 1952, 2001). No entanto, não possuem uma legislação que determine e/ou recomende a razão ideal dos ácidos graxos ômega-6 e 3 a ser ingeridos diariamente através dos alimentos.

A procura pelos pescados é grande, principalmente quando se pretende adotar uma alimentação saudável, já que os peixes quando comparados com outras fontes de proteínas de origem animal disponível a alimentação humana, podem apresentar elevados teores de ácidos graxos poli-insaturados da série ômega-3, que se destacam pelos vários benefícios à saúde (Tabela 1).

Tabela 1. Concentrações de ácidos graxos poli-insaturados (%).

Alimento	18:2n-6 (LA)	18:3n-3 (ALA)	20:5n-3 (EPA)	22:6n-3 (DHA)	Autores
Tambaqui	8,90	0,50	0,10	0,80	Maia and Rodriguez-Amaya (1992)
Merluza	2,00	-	6,30	25,70	Méndez and González (1997)
Carne bovina	7,62	0,73	0,71	0,12	Prado et al. (2009)
Tilápia	29,20	1,20	-	2,00	Souza et al. (2007)
Ovos (galinha)	11,37	0,23	-	0,22	Khan et al. (2017)
Leite de vaca	1,66	0,14	-	-	Meneses et al. (2015)
Carne suína	7,39	0,81	0,08	0,50	Dugan et al. (2015)

LA: Ácido Linoleico; ALA: Ácido Alfa Linolênico; EPA: Ácido Eicosapentaenoico; DHA: Ácido Docosaenoico

Os peixes cultivados em água doce quando comparados aos cultivados em água marinha apresentam baixos níveis de ômega-3 e altos níveis de ômega-6. A maior parte destes nutrientes em peixes de água salgada (peixes de captura) é porque a base alimentar é formada por alimentos ricos em lipídios, do qual a maior parte é composto pelos ácidos graxos poli-insaturados, eicosapentaenoico (EPA, 20:5n-3) e docosaenoico (DHA, 22:6n-3) (Henderson e Tocher, 1987), entretanto, algumas limitações podem interferir na disponibilização aos consumidores e na composição lipídica, entre elas, a sazonalidade da captura. Na aquicultura, esta limitação não é considerada, pela possibilidade de mudança no perfil de ácidos graxos por meio do

melhoramento genético e modulação por meio da dieta (Nguyen et al., 2010; Carbonera et al., 2014).

Os aspectos sensoriais e nutricionais da carne dependem da composição físico-química do peixe, que podem ser afetados por inúmeros fatores, entre eles, a espécie, idade, sexo, temperatura, salinidade, alimentação e composição da dieta (Huss, 1995; Haliloglu et al., 2004; Grigorakis, 2007).

Em virtude dos peixes e os seres humanos não sintetizarem os ácidos graxos essenciais, a manipulação da dieta com fonte rica em ômega-3 é excelente alternativa para melhorar a composição de ácidos graxos dos alimentos de origem animal sem prejudicar o desempenho zootécnico (Souza et al., 2007).

O processo de biossíntese para a obtenção dos ácidos graxos poli-insaturados das séries ômega 6 e 3 inicia-se a partir do fornecimento de dietas contendo os ácidos linoleico (18:2 n-6) e alfa-linolênico (18:3 n-3) e pela ação das enzimas alongase e dessaturase, sendo esta primeira enzima responsável por adicionar dois átomos de carbono à parte inicial da cadeia e a segunda enzima agindo de tal forma, que oxida e remove dois carbonos da cadeia (β -oxidação) (Figura 2). No caso de pacientes com anormalidades nos peroxissomos, não haverá reação da β -oxidação, e conseqüentemente será impedida a síntese de DHA (Martinez et al., 2000).

A utilização do óleo de peixe é o principal ingrediente contendo ácidos graxos ômega-3 utilizado na dieta dos peixes. No entanto, por causa da elevação no custo e até na dificuldade de obtenção deste produto, nos últimos anos, a busca por alternativas que possam substituir o óleo de peixe e contribuir para melhoria do perfil de ácidos graxos da série ômega-3 em peixes cultivados em água doce, tem sido motivo de vários estudos.

Em tilápias, a suplementação utilizando fontes lipídicas de origem vegetal com alto teor de ácido α -linolênico, que é precursor DHA, em substituição ao óleo de peixe, por exemplo, farinha de microalgas, óleo de linhaça, chia e perilla tem demonstrado que além de fornecer uma dieta que atenda aos requisitos de ácidos graxos da tilápia, houve melhoria na qualidade nutricional da carne (Justia et al., 2003; Souza et al., 2007; Tonial et al., 2009; Carbonera et al., 2014; Nishiyama et al., 2014; Santos et al., 2014; Silva et al., 2014; Fernandes et al., 2018).

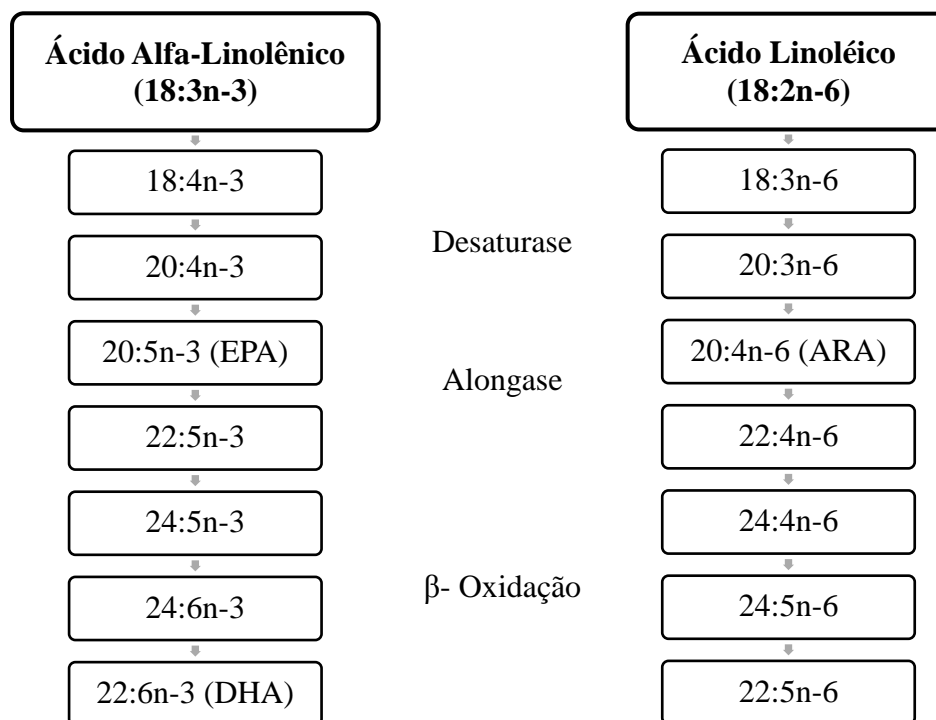


Figura 2. Biossíntese dos ácidos graxos das famílias ômega-3 e ômega-6.

Fonte: Adaptado de Innis (2003).

1.4. Referências

- Almeida, N.M., Bueno Franco, M.R., 2006. Influência da dieta alimentar na composição de ácidos graxos em pescado: aspectos nutricionais e benefícios à saúde humana. *Rev. Inst. Adolfo Lutz* 65, 7-14.
- Associação Brasileira da Piscicultura - PeixeBR., 2019. Anuário Brasileiro da Piscicultura. <https://www.peixebr.com.br/Anuario2019/AnuarioPeixeBR2019.pdf> (accessed 01 September 2018).
- Bentsen, H.B., Eknath, A.E., Palada-de Vera, M.S., Danting, J.C., Bolivar, H.L., Reyes, R.A., Dionisio, E.E., Longalong, F.M., Circa, A.V., Tayamen, M.M., Gjerde, B., 1998. Genetic improvement of farmed tilapias: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 160, 145–173. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00230-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00230-5).

- Brasil, 1952. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Decreto-Lei n. 30.691, de 29 de 1952. <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1950-1959/decreto-30691-29-marco-1952-339586-normaatualizada-pe.pdf> (accessed 01 September 2018).
- Brasil, 2001. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – RDC n. 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos. http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_12_2001.pdf/15ffddf6-3767-4527-bfac-740a0400829b (accessed 01 September 2018).
- Calder, P.C., 2013. n-3 Fatty acids inflammation and immunity: new mechanism to explain old actions. *Proc. Nutr. Soc.* 72, 326-336. <https://doi.org/10.1017/S0029665113001031>.
- Carbonera, F., Bonafe, E.G., Martin, C.A., Montanher, P.F., Ribeiro, R.P., Figueiredo, L.C., Almeida, V.C., Visentainer, J.V., 2014. Effect of dietary replacement of sunflower oil with perilla oil on the absolute fatty acid composition in Nile tilapia (GIFT). *Food Chem.* 148, 230–234. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.038>.
- Castagnolli, N., 1992. Criação de peixes de água doce, first ed. Funep, São Paulo.
- Cockbain, A.J., Toogood, G.J., Hull, M.A., 2012. Omega-3 polyunsaturated fatty acids for the treatment and prevention of colorectal cancer. *Gut*, 61, 135-149. <https://doi.org/10.1136/gut.2010.233718>.
- Dugan, M.E.R., Vahmani P., Turner, T.D, Mapiye, C., Juárez, M., Prieto, N., Beaulieu, A.D., Zijlstra, R.T., Patience, J.F., Aalhus, J.L., 2015. Pork as a source of omega-3 (n-3) fatty acids. *J. Clin. Med.* 4, 1999-2011. <https://doi.org/10.3390/jcm4121956>.
- Eknath, A.E., Tayamen, M.M., Palada-de-Vera, M.S., Danting, J.C., Reyes, R.A., Dionisio, E.E., Capili, J.B., Bolivar, H.L., Abella, T.A., Circa, A.V., Bentsen, H.B., Gjerde, B., Gjedrem, T., Pullin, R.S.V., 1993. Genetic improvement of farmed tilapias: the growth performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in different farm environments. *Aquaculture* 111, 171-188. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90035-W](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90035-W).

- Fernandes, A.A., Brignol, F.D., Filler, K., Pettigrew, J., Fracalossi, D.M., 2018. *Aurantiochytrium* sp. meal as DHA source in Nile tilapia diet, part I: Growth performance and body composition. *Aquac. Res.* 50, 1-10. <https://doi.org/10.1111/are.13887>
- Figueiredo Junior, C.A., Valente Junior, A.S., 2008. Cultivo de Tilápias no Brasil. Origens e cenário atual. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco
- Fitzsimmons, K., 2000. Tilapia: the most important aquaculture species of the 21st century. In: International Symposium on Tilapia Aquaculture. Rio de Janeiro, 3-8 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, 2010. Fats and fatty acids in human nutrition. <http://foris.fao.org/preview/25553-0ece4cb94ac52f9a25af77ca5cfba7a8c.pdf> (accessed 01 September 2018).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, 2017. Fisheries statistics. <https://www.fao.org/fishery/statistics> (accessed 01 September 2018).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. <http://www.fao.org/3/i9540es/I9540ES.pdf> (accessed 01 September 2019).
- Gall, G.A.E., Bakar, Y., 2002. Application of mixed-model techniques to fish breed improvement: analysis of breeding value selection to increase 98-day body weight in tilapia. *Aquaculture* 212, 93–113. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00024-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00024-8).
- Garcia, A.L.S., Oliveira, C.A.L., Karim, H.M., Sary, C., Todesco, H., Ribeiro, R.P., 2017. Genetic parameters for growth performance, fillet traits, and fat percentage of male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *J. Appl. Genet.* 58, 527–533. <https://doi.org/10.1007/s13353-017-0413-6>.
- Gjedrem, T., 1998. Developments in fish breeding and genetics. *Acta Agric. Scand.* 28, 19–26.
- Grigorakis, K., 2007. Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors

affecting it: A review. *Aquaculture* 272, 55-75.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.062>.

Halililoglu, H.I., Bayir, A., Sirkecioglu, A.N., Aras, N.M., Atamanalp, M., 2004. Comparison of fatty acid composition in some tissues of rainbow trout (*oncorhynchus mykiss*) living in seawater and freshwater. *Food Chem.* 86, 55-59.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.028>.

Hamzah, A., Nguyen, N.H., Mekkawy, W., Ponzoni, R.W., Khaw, H.L., Yee, H.Y., Bakar, K.R. A., Nor, S.A.M., 2016. Flesh characteristics: estimation of genetic parameters and correlated responses to selection for growth rate in the GIFT strain. *Aquac. Res.* 47, 2139–2149. <https://doi.org/10.1111/are.12667>.

Henderson, R.J., Tocher, D.R., 1987. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Prog. Lipid. Res.* 26, 281–347. [https://doi.org/10.1016/0163-7827\(87\)90002-6](https://doi.org/10.1016/0163-7827(87)90002-6).

Horrocks, L.A., Yeo, Y.K., 1999. Health benefits of docosahexaenoic acid DHA. *Pharmacol. Res.* 40, 211-225. <https://doi.org/10.1006/phrs.1999.0495>.

Hulata, G., Wohlfarth, G., Halevy, A., 1986. Mass selection for growth rate in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 57, 177-184.
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90195-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90195-X).

Huss, H.H., 1995. Quality and a quality changes in fresh fish. FAO, Rome.

Innis, S.M., 2003. Perinatal biochemistry and physiology of long-chain polyunsaturated fatty acids. *J. Pediatr.* 143, 1-8. [https://doi.org/10.1067/S0022-3476\(03\)00396-2](https://doi.org/10.1067/S0022-3476(03)00396-2).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2018. Pesquisa Pecuária Municipal. https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2017_v45_br_informativo.pdf (accessed 01 September 2018).

Justia, K.C., Hayashib, C., Visentainera, J.V., Souza, N.E., Matsushitaa, M., 2003. The influence of feed supply time on the fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on a diet enriched with n-3 fatty acids. *Food Chem.* 80, 489-493.
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00317-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00317-5).

- Khan, S.A., Khan, A., Khan, S.A., Beg, M.A., Ali, A., Damanhour, G., 2017. Comparative study of fatty-acid composition of table eggs from the Jeddah food market and effect of value addition in omega-3 bio-fortified eggs. *Saudi J. Biol. Sci.* 24, 929-935. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.11.001>.
- Lupchinski Júnior, E., Vargas, L., Povh, J.A., Ribeiro, R.P., Mangolim, C.A., Loperabarrero, N.M., 2008. Avaliação da variabilidade das gerações G0 e F1 da linhagem GIFT de tilapia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) por RAPD. *Acta Sci. Anim. Sci.* 30, 233-240. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v30i2.4708>.
- Maia, E.L., Rodriguez-Amaya, D.B., 1992. Fatty acid composition of the total, neutral and phospholipids of the Brazilian freshwater fish *Colossoma macropomum*. *FSHN.* 29, 633-642. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-88834-1.50057-0>.
- Martinez, M., Vázquez, E., Silva, M.T.G., Manzanares, J., Bertran, J.M., Castelló, F., Mougán, I., 2000. Therapeutic effects of docosahexaenoic acid ethyl ester in patients with generalized peroxisomal disorders. *J. Clin. Nutr.* 71, 376-385. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.1.376s>.
- Massago, H., Ribeiro, R.P., Barrero, N.L., Povh, J.A., Castagnolli, N., Gomes, P., 2009. Diversidade genética de quatro linhagens de *Oreochromis niloticus* utilizando o marcador RAPD. *Biosci. J.* 25, 142-151.
- Méndez, E., González, R.M., 1997. Seasonal changes in the chemical and lipid composition of fillets of the Southwest Atlantic hake (*Merluccius hubbsi*). *Food Chem.* 59, 213-217. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00225-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00225-7).
- Meneses, M.A., Silva, F.F., Silva, R.R., Schio, A.R., Silva, G.M., Rodrigues, E.S. O., Porto Junior, A.F., Souza, D.D., Ponde, W.P.S.T.S., Oliveira, J.S.O., Pimentel, L.R., 2015. Composição em ácidos graxos do leite de vacas alimentadas com glicerina de baixa pureza. *Semina: Ciênc. Agrár.* 36, 971-984. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p971>.
- Mozaffarian, D., Wu, J.H.Y., 2012. (n-3) Fatty acids and cardiovascular health: are effects of EPA and DHA shared or complementary? *J. Nutr.* 142, 614S-625S. <https://doi.org/10.3945/jn.111.149633>.

- Neira, R., Garcia, X., Lhorente, J.P., Filp, M., Yáñez, J.M., Cascante, A.M., 2016. Evaluation of the growth and carcass quality of diallel crosses of four strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 451, 213-222. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.08.033>
- Nelson, D.L., Cox, M.M., 2014. *Princípios de bioquímica de Lehninger*, sixth ed. Artmed, Porto Alegre.
- Nguyen, N.H., Ponzoni, R.W., Yee, H.Y., Abu-Bakar, K.R., Hamzah, A., Khaw, H. L., 2010. Quantitative genetic basis of fatty acid composition in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) selected for high growth. *Aquaculture* 309, 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.08.034>.
- Nishiyama, M.F., Souza, A.H.P., Gohara, A.K., Santos, H.M.C., Oliveira, A.C.L., Ribeiro, R.P., Souza, N.E., Gomes, S.T.M., Matsushita, M., 2014. Chemometrics applied to the incorporation of omega-3 in tilapia fillet feed flaxseed flour. *Food Sci. Technol.* 34, 449-455. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.6341>.
- Oliveira, C.A.L., Ribeiro, R.P., Streit Jr, D.P., Povh, J.A., Resende, E.K., 2012. Melhoramento genético de peixes. Uma realidade para a piscicultura brasileira. *Revista Panorama Aquicultura* 22, 38-47.
- Oliveira, C.A.L., Ribeiro, R.P., Yoshida, G.M., Kunita, N.S., Rizzato, G.S., Oliveira, S.N., Santos, A. I., Nguyen, N.H., 2016. Correlated changes in body shape after five generations of selection to improve growth rate in a breeding program for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* in Brazil. *J. Appl. Genet.* 57, 487-493. <https://doi.org/10.1007/s13353-016-0338-5>.
- Oliveira, S.N., Oliveira, C.A.L., Alexandre Filho, L., Resende, E.K., Barrero, N.M.L., Kunita, N.M., Santander, V.F.A., Ribeiro, P.R., 2014. Genetic parameters and morphometric characteristics of two generations from the GIFT strain of the Nile tilapia. *Semina: Ciênc. Agrár.* 35, 3457-3468. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n6p3457>.
- Ponzoni, R.W., Hamzah, A., Tan, S., Kamaruzzaman. N., 2005. Genetic parameters and response to selection for live weight in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis*

niloticus). Aquaculture 247, 203-210.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.02.020>.

Ponzoni, R.W., Khaw, H.I., Nguyen H.N., 2007. Investment appraisal of genetic improvement programs in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 269, 187-199. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.054>.

Popma, T., Masser, M., 1999. Tilapia: Life history and biology. Southern Regional Aquaculture Center Pub. SRAC-283, pp 4. http://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_283_tilapia_life_history_and_biology.pdf (accessed 01 September 2018).

Prado, R.M., Prado, I.N., Marques, J.A., Rotta, P.P., Visentainer, J.V., Silva, R.R., Souza, N.E., 2009. Meat quality of the Longissimus muscle of bulls and steers (½ Nellore vs ½ Simmental) finished in feedlot. J. Anim. Feed Sci., 18, 221-230. <https://doi.org/10.22358/jafs/66386/2009>.

Resende, E.K., Oliveira, C.A.L., Legat, A.P., Ribeiro, R.P., 2010. Melhoramento animal no Brasil: uma visão crítica espécies aquáticas. In: Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal. Maringá, 11 p.

Ribeiro, R.P., 2001. Espécies exóticas. In: Moreira H.L.M., Vargas L., Ribeiro R.P., Zimmermann S. (Eds.), Fundamentos da aquicultura moderna. Ulbra, Canoas, pp. 91-121.

Ribeiro, R.P., Oliveira, C.A.L., Resende, E.K., Vargas, L., Alexandre Filho, L., Legat, A.P., 2012. Tilápias do Nilo têm programa de melhoramento genético em curso. <http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va11-genetica-ereproducao01.pdf> (accessed 01 September 2018).

Santos, A.I., 2009. Avaliação genética e interação genótipo-ambiente em tilápias (*Oreochromis niloticus*). Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá.

Santos, H.M.C., Nishiyama, M.F., Bonafe, E.G., Oliveira, C.A.L., Matsushita, M., Visentainer, J.V., Ribeiro, R.P., 2014. Influence of a diet enriched with perilla seed bran on the composition of omega-3 fatty acid in Nile tilapia. J. Am. Oil. Chem. Soc. 91, 1939–1948. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2545-8>.

- Shoemaker, C.A., Lozano, C.A., LaFrentz, B.R., García, J.C., Soto, E., Xu, D-H., Beck, B.H., Rye, M., 2017. Additive genetic variation in resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to *Streptococcus iniae* and *S. agalactiae* capsular type Ib: Is genetic resistance correlated? *Aquaculture* 468, 193-198. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.10.022>.
- Silva, B.C., Santos, H.M.C., Montanher, P.F., Boeing, J.S., Almeida, V.C., Visentainer, J.V., 2014. Incorporation of omega-3 fatty acids in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed chia (*Salvia hispanica* L.) Bran. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 91, 429–437. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2391-0>.
- Simopoulos, A.P., 2002. The importance of the ratio of omega-6/ omega-3 essential fatty acids. *Biomed. Pharmacother.* 56, 365-79. [https://doi.org/10.1016/S0753-3322\(02\)00253-6](https://doi.org/10.1016/S0753-3322(02)00253-6).
- Simopoulos, A.P., 2006. Evolutionary aspects of diet, the omega-6/ omega-3 ratio and genetic variation: nutritional implications for chronic diseases. *Biomed. Pharmacother.* 60, 502-507. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2006.07.080>.
- Souza, M.L.R., 2002. Comparação de seis métodos de filetagem, em relação ao rendimento de filé e de subprodutos do processamento da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). *R. Bras. Zootec.* 31, 1076-1084.
- Souza, N.E., Matsushita, M., Oliveira, C.C., Franco, M.R.B., Visentainer, J.V., 2007. Manipulation of fatty acid composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets with flaxseed oil. *J. Sci. Food Agric.* 87, 1677-1681. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2877>.
- Tonial, I.B., Stevanato, F.B., Matsushita, M., Souza, N.E., Furuya, W.M., Visentainer, J.V., 2009. Optimization of flaxseed oil feeding time length in adult Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) as a function of muscle omega-3 fatty acids composition. *Aquac. Nutr.* 15, 564-568. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00623.x>.
- Trọng, T.Q., Arendonk, J.A.M., Komen, H., 2013. Genetic parameters for reproductive traits in female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): II. Fecundity and fertility. *Aquaculture* 416–417, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.08.031>.

- Vannuccini, S., 1999. El enfoque del nuevo mercado de tilapia; en el mundo Occidental. *Panorama Acuícola* 4, 22-25.
- World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations – WHO, FAO, 1994. *Fats and oils in human nutrition*. Rome.
- Yoshida, G.M., Oliveira, C.A.L., Kunita, N.M., Rizzato, G.S., Ribeiro, R.P., 2015. Reproduction performance of female Nile tilapia under different environments and age classes. *Acta Sci. Anim. Sci.* 37, 221-226.
- Yoshida, G.M., Yáñez, J.M., Oliveira, C.A.L., Ribeiro, R.P., Lhorente, J.P., Queiroz, S.A., Carvalheiro, R., 2018. Mate selection allows changing the genetic variability of the progeny while optimizing genetic response and controlling inbreeding. *Aquaculture* 495, 409-414. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.011>.
- Youdim, K.A., Martin, A., Joseph, J.A., 2000. Essential fatty acids and the brain: possible health implications. *Int. J. Dev. Neurosci.* 18, 383-399. [https://doi.org/10.1016/S0736-5748\(00\)00013-7](https://doi.org/10.1016/S0736-5748(00)00013-7).
- Zimmermann, S., Fitzsimmons, K., 2004. Tilapicultura intensiva. In: Cyrino, J.E.P., Urbinati, E.C., Fracalosi, D.M., Castagnoli, N. (Eds.), *Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva*. TecArt., São Paulo, pp. 239-266.

II. OBJETIVOS GERAIS

Avaliar o efeito da seleção e da suplementação com uma fonte rica em ômega-3 nas características de desempenho, composição química e no perfil de ácidos graxos do filé de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em diferentes grupos genéticos.

2.1. Objetivos Específicos

- Avaliar o efeito do uso de acasalamentos dirigidos na deposição de gordura e na alteração do perfil de ácidos graxos do filé de tilápia do Nilo;
- Examinar as diferenças na composição química e no perfil de ácidos graxos dos filés de peixes suplementados ou não com uma fonte rica em ômega-3;
- Identificar a existência da interação entre grupos genéticos e de dieta no perfil de ácidos graxos de filés de tilápias do Nilo.

III. Omega-3 supplementation and selection for fat content can alter the fatty acid profile of tilapia fillets

Mating and diet for quality tilapia fillet

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effects of directional mating and omega-3 supplementation on performance traits, proximate composition, chemical composition and fatty acid profile of Nile tilapia fillets. Directional mating was carried out using animals with High Estimated Breeding Values (group 1) and Low Estimated Breeding Values (group 2) for fat content in the fillet. Eight hundred animals from each group were randomly chosen and raised in 16 floating cages of 1 m³, from January to June 2017. Animals were fed a basal diet and diet supplemented with All-G-Rich[®]. Fillet fat content, was influenced by supplementation and genetic group. Genetic group 1 presented 9% higher fat content than genetic group 2. The same difference was observed between supplemented and unsupplemented tilapia. There was a significant increase in DHA (*P< 0.05) with supplementation. There is an evidence that with omega-3 supplementation alters the fatty acids profile of tilapia fillets.

Keywords: animal breeding, meat quality, omega-3, *Oreochromis niloticus*

1. Introduction

Brazilian fish farming has stood out in recent years, with a production of 722,560 tonnes (Peixe BR, 2019). However, the vast coastal area and large freshwater bodies, is not fully explored. For instance, Chile which has a smaller coastal area than Brazil, has an annual fish production higher in the same period (FAO, 2018). Tilapia, a freshwater fish, is the major fish farming species in Brazil. About 400 thousand tonnes of tilapia were produced in 2018 (Peixe BR, 2019).

Fish consumption in human diets is commonly associated with healthy eating habits, due to the various benefits, such as prevention of cardiovascular, inflammatory, autoimmune diseases, cancerous and mental health as well as brain and retinal maintenance (Simopoulos, 2011; Mozaffarian and Wu, 2012).

Freshwater fish have higher levels of omega-6 (*n*-6) fatty acids and lower levels of omega-3 (*n*-3) than marine fish (Henderson and Tocher, 1987). As some fatty acids are considered essential for humans, fish are excellent one of the main alternatives to meet this need. Although tilapia has a non-optimal *n*-6/*n*3 ratio, studies have demonstrated that it possible to modulate its fatty acid profile through dietary supplementation (Carbonera et al., 2014; Santos et al., 2014; Silva et al., 2014). Another strategy to increase the amount and the quality of the lipid composition in tilapia fillets, is the use of these traits as selection criteria in breeding programs, since through cross-breeding and selection it is possible to identify genetically superior individuals for a given trait (Nguyen et al., 2010a; Hamzah et al., 2016; Neira et al., 2016) .

The objective of this study was to evaluate the effect of *n*-3 fatty acid supplementation on the performance traits, composition proximate and fatty acid profile at the fillet of two genetic groups of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*).

2. Material and methods

2.1 Study site

The experiment was carried out at the Cages Production Unit the State University of Maringá (22°39'24.8"S 52°46'49.1"W), Diamante do Norte, PR, Brazil. Proximate composition were performed at the Meat Quality Laboratory (Department of Animal Science) and fatty acid profile analyses at the Laboratory of Lipids, Esters and Antioxidants (Department of Chemistry) of the State University of Maringa, Maringá, PR, Brazil.

This research was approved by the animal ethics committee of the accordance with the State University of Maringá (protocol no.8249200318).

2.2 Animals and experimental design

A total of 1,600 Nile tilapia fingerlings from two genetic group (group 1 and group 2) were used in the experiments. Group 1 fingerlings were produced by mating females of high estimated breeding values (HEBV) for fillet fat content with Tilamax[®] males, and group 2 fingerlings were obtained from females of low estimates breeding values (LEBV) for fillet fat content and Tilamax[®] males. Male fish were randomly

sampled from the Tilamax[®] breeding nucleus of the State University of Maringá. Details about the breeding program can be found in Oliveira et al. (2016). Females were kindly provided by the AquaAmerica[®] breeding program (AquaAmerica Ltd., MG, Brazil). Information on heritability and genetic correlations for fat content in the AquaAmerica[®] breeding nucleus can be found in Garcia et al. (2017). Both breeding programs use the animal model and methodology Best Linear Unbiased Predictor (BLUP) in their routine evaluations, to estimate the breeding values and then select animals with the highest genetic merit for the desired traits (Henderson, 1975).

A completely randomized 2×2 factorial design was used. The factors were genetic group (1 and 2) and diet (supplemented and unsupplemented).

Sex-reversed fish were randomly collected from group 1 ($n = 800$) and group 2 ($n = 800$) and reared in 16 floating cages (1 m^3), from January to June 2017. For analysis of fillet fatty acid profile, samples of 16 animals from each treatment were collected and analyzed individually, totaling 64 animals.

The amount of feed provided was established based on water temperature (26 - 32°C) and fish total biomass (10 - 2%). For this, daily (morning and afternoon) was monitored the water temperature and monthly was performed biometrics (live weight) to monitor the growth and adjust the amount of feed to be offered. The fish were fed six times a day initially at 10% of the total biomass (5-20g), four times a day in the initial growth phase of the 5% total biomass (20-150g), twice a day in a growth phase of the 4% of biomass, (150 - 500g) and twice a day in the final phase at 2% of the total biomass (500g until slaughter).

All animals were raised under similar conditions for 150 days. At 45 days before slaughter, the fish received basal diet (control) and basal diet supplemented with 1.2%

All-G-Rich[®] (Treatment). The proximal and fatty acid composition of diets are shown in Table 1.

All-g-Rich[®] (Alltech Inc., Nicholasville, KY, USA) is an animal feed supplement based on marine microalgal (*Schizochytrium* sp.) biomass. It contains 140 g of docosahexaenoic fatty acid (DHA) and 500 g of total lipids per kilogram.

About 25 kg of commercial extruded fish feed (PoliNutri Alimentos, Osasco, SP, Brazil) was coated with 300 g of All-G Rich[®] dissolved in 400 mL of soybean oil by spraying, and the mixture was homogenized for 5 min in a concrete mixer (M-120, Maqtron, Joaçaba, SC, Brazil). The control diet was coated with soybean oil only. The proximate and fatty acid composition of the diets is presented in Table 1.

At the end of the growing period, in total 221 animals were slaughtered. Body, carcass, and fillet weights were measured using an electronic scale (Toledo do Brasil, São Bernardo do Campo, SP, Brazil). Fillets were vacuum-packed (DZ400T, Cetro, São Paulo, SP, Brazil) and stored in a chest freezer at -18°C until analysis.

2.3 Fatty acid profile and proximate composition

Fat content and fatty acids profile were extracted from fillet by the Bligh–Dyer method (Bligh and Dyer, 1959). Fatty acid methyl esters were prepared according to ISO 5509 (1978). Methyl esters were separated by gas chromatography using a TRACE Ultra gas chromatograph (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) equipped with a flame ionization detector (FID) and a CP-7420 Select FAME fused silica capillary column (100 m \times 0.25 mm i.d., 0.25 μm cyanopropyl) (Martin et al., 2008). Gas flow rates were 1.2 mL min⁻¹ for the carrier gas (H₂), 30 mL min⁻¹ for the makeup gas (N₂);

and 35 and 350 mL min⁻¹ for flame gases (H₂ and synthetic air, respectively). The split ratio was 1:80. The sample aliquot was 2 µL, the injection temperature was 230°C, and the detector temperature was 240°C. Column temperature was set at 165°C for 7 min, raised to 185°C at 4°C min⁻¹, and kept at this temperature for 4.67 min. Then, the temperature was increased to 235°C at 6°C min⁻¹ and maintained for 5 min, totaling 30 min of chromatographic run. Retention times and peak area percentages were determined by ChromQuest version 5.0. The concentration of fatty acids was calculated using the formula $FA = A \times D_F \times F \times 1000/W$, where FA is the concentration of fatty acids, A is the peak area of fatty acids, D_F is the decimal factor (0.91), F is the percentage of total fat, and W is the sample weight.

Dry matter, crude protein, mineral matter, gross energy (Parr[®] Instrument Co. AC6200), and fat content in feed samples were determined according to Silva and Queiroz (2002).

2.4 Statistical analysis

The dependent variables were body weight at harvest, standard length, fillet weight, fillet yield, and fillet fat content (Table 2).

The experimental unit was fillet. A statistical model was generated to determine the effects of genetic group, diet, and their interaction on dependent variables.

A two-way model was adjusted for the studied characteristics (Table 2). However, due to the asymmetry of the fatty acid variable, a Gamma model was adopted. Mean values were compared by the *p value* by the 5% significance level (* $P < 0.05$) using the

Statistical Analysis System program, procedure GLM SAS Enterprise Guide 7.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

3. Results

There was a significant effect of genetic group on performance variables ($*P < 0.05$), except fillet yield, which did not between treatments (37%). Group 1 had lower body weight, standard length and fillet weight than group 2 ($*P < 0.05$). Fillet fat content was significantly influenced by group genetic and diet: group 1 animals (4.50%) and supplemented fish had higher fillet fat content than group 2 animals (4.12%) and unsupplemented fish, respectively. The interaction effects of diet and genetic group were not significant (Table 3).

A total of 25 fatty acids were identified in the composition of tilapia fillets before starting to supply the diet enriched with an *n*-3 fatty acid. In general, fillets fatty acids quantification showed no significant difference between the genetic groups ($*P < 0.05$) (Table 4). No effect was observed in the fatty acids composition ($*P < 0.05$), between genetic groups (Table 4). However, the effect of the diet was statistically significant ($*P < 0.05$), with the supplemented diet presenting higher concentrations of saturated fatty acids (15:0), monosaturated (17:1*n*-9 and 18:1*n*-9) and polyunsaturated (18:3*n*-3, 20:3*n*-6, 22: 5*n*-6 and 22:6*n*-3) than the basal diet as well as higher total lipids. The supplemented diet also affected the concentration of *n*-3, however the ratio between *n*-6:*n*-3 did not presented significant difference ($*P < 0.05$). The interaction effect of diet and selection on fatty acid content was not significant.

4. Discussion

Tilapia in group 1 had lower body weight, standard length and weight than fish in group 2, probably because their parents were selected only for the fat content of the fillet. Garcia et al. (2017) observed a negative genetic correlation ($r = -0.10$) between growth and fillet fat content, suggesting that selection for high fillet fat content does not lead to enhanced growth performance.

Fillet yield did not differ between genetic groups or diets. The mean fillet yield (37%) was similar to that reported by Rutten et al. (2005) and higher than that reported by Nguyen et al. (2010b) (33.60%).

Selection had a significant effect on fillet fat content. High-EBV fish (group 1) had a 9% higher fillet fat content than low-EBV fish (group 2). Garduño-Lugo et al. (2003) and Kayan et al. (2015) reported fillet fat contents of 2.07 and 6.47%, respectively. The genetic correlation between fillet yield and fillet fat content in Nile tilapia was considered moderate to high ($r = 0.60$); that is, the use of fillet fat content as a selection criterion in breeding programs can promote genetic gains in fillet yield (Garcia et al., 2017). Fillet fat content is can used as an indicator of tilapia meat quality, but it is still underexplored as a selection criterion in breeding programs. Only Hamzah et al. (2016) and Garcia et al. (2017) reported estimates of heritability for fillet fat content in Nile tilapia: h^2 of 0.11 and 0.20, respectively.

Consumers have increased the demand for fillets with high nutritional quality. Dietary supplementation with All-G Rich[®] altered the fatty acid composition of tilapia fillets. There was a 130% increase in DHA levels with supplementation. DHA is important for fetal, brain, and retinal development, as this fatty acid is not production by

the human body. DHA participates in the same enzymatic pathways as arachidonic acid (AA, 20:4n-6) but can inhibit the oxidation of AA to prostaglandins by cyclooxygenase and the conversion of AA to leukotrienes by 5-lipoxygenase, thereby preventing inflammatory responses associated with series-2 and -4 eicosanoids (Ferrucci et al., 2006; Bhangle and Kolasinski, 2011; Borges et al., 2014).

Although supplemented tilapia had a higher concentration of alpha-linolenic acid (18:3n-3) than unsupplemented fish, the n-3/n-6 ratio did not differ between groups. Tilapia has limited ability to elongate and desaturate alpha-linolenic and linoleic fatty acids in long-chain polyunsaturated fatty acids (Olsen et al., 1990; Teoh et al., 2011). Teoh et al. (2011) assessed the whole-body fatty acid composition of red hybrid tilapia and GIFT tilapia fed diets containing fish and vegetable oils. The authors found that GIFT tilapia are more efficient in fatty acid neogenesis and bioconversion than red hybrid tilapia.

Nguyen et al. (2010a) showed that there is a positive genetic correlation between fillet fat content and DHA levels ($r = 0.21-0.99$) but that heritability for DHA is very low ($h^2 = 0.004$). Therefore, selection for high fillet fatty acid content does not necessarily lead to an improvement in fillet fatty acid profile. We highlight that the fish evaluated in this study were the first generation of selection for fillet fat content. It is possible that long-term selective breeding may result in genetic gains.

Selection for growth does not affect fillet fatty acid composition. However, Nguyen et al. (2010a) suggested periodic monitoring of changes in quality traits in long-term breeding programs, as there may be negative genetic correlations between growth and meat quality, leading to reduced fatty acid content in tilapia over time.

5. Conclusion

Fillet fat content was significantly influenced by genetic breeding and *n*-3 fatty acid supplementation. However, selection for fillet fat content did not alter fatty acid composition. A DHA-rich diet can alter the fatty acid composition and increase *n*-3 content in tilapia fillets.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank PeixeGen team at Maringa State University, Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance code 001, Meat Quality Laboratory team at Maringa State University, Alltech and Aquaamerica company for their financial support and fellowships.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflicts of interest.

REFERENCES

- Associação Brasileira de Piscicultura – Peixe BR, 2019. Produção de peixes cultivados no Brasil. <https://www.peixebr.com.br> (accessed 02 October 2019).
- Bhangle, S., Kolasinski, S.L., 2011. Fish oil in rheumatic diseases. *Rheum. Dis. Clin. North. Am.* 37, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.rdc.2010.11.003>.

- Bligh, E.G., Dyer, W.J., 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Phys.* 37, 911–917. <http://dx.doi.org/10.1139/o59-099>.
- Borges, M.C., Santos, F.M.M., Telles, R.W., Correia, M.I.T.D., Lanna, C.C.D., 2014. Ácidos graxos poli-insaturados ômega-3 e lúpus eritematoso sistêmico: o que sabemos? *Rev. Bras. Reumatol.* 54, 459–466. <https://doi.org/10.1016/j.rbre.2013.12.002>.
- Carbonera, F., Bonafe, E.G., Martin, C.A., Montanher, P.F., Ribeiro, R.P., Figueiredo, L.C., Almeida, V.C., Visentainer, J.V., 2014. Effect of dietary replacement of sunflower oil with perilla oil on the absolute fatty acid composition in Nile tilapia (GIFT). *Food Chem.* 148, 230–234. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.038>.
- Ferrucci, L., Cherubini, A., Bandinelli, S., Bartali, B., Corsi, A., Lauretani, F., Martin, A., Andres-Lacueva, C., Senin, U., Guralnik, J.M., 2006. Relationship of plasma polyunsaturated fatty acids to circulating inflammatory markers. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 91, 469-446. <https://doi.org/10.1210/jc.2005-1303>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, 2018. The State of world fisheries and aquaculture. <http://www.fao.org/3/i9540en/i9540en.pdf> (accessed 01 September 2019).
- Garcia, A.L.S., Oliveira, C.A.L., Karim, H.M., Sary, C., Todesco, H., Ribeiro, R.P., 2017. Genetic parameters for growth performance, fillet traits, and fat percentage of male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *J. Appl. Genet.* 58, 527–533. <https://doi.org/10.1007/s13353-017-0413-6>.
- Garduño-Lugo, M., Granados-Alvarez, I., Olvera-Novoa, M.A., Muñoz-Córdova, G., 2003. Comparison of growth, fillet yield and proximate composition between Stirling

- Nile tilapia (wild type) (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus) and red hybrid tilapia (Florida red tilapia x Stirling red *O. niloticus*) males. *Aquac. Res.* 34, 1023-1028. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00904.x>.
- Hamzah, A., Nguyen, N.H., Mekkawy, W., Ponzoni, R.W., Khaw, H.L., Yee, H.Y., Bakar, K.R. A., Nor, S.A.M., 2016. Flesh characteristics: estimation of genetic parameters and correlated responses to selection for growth rate in the GIFT strain. *Aquac. Res.* 47, 2139–2149. <https://doi.org/10.1111/are.12667>.
- Henderson, C.R., 1975. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. *Biometrics.* 31, 423-447. <https://doi.org/10.2307/2529430>.
- Henderson, R.J., Tocher, D.R., 1987. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Prog. Lipid. Res.* 26, 281–347. [https://doi.org/10.1016/0163-7827\(87\)90002-6](https://doi.org/10.1016/0163-7827(87)90002-6).
- ISO. Animal and Vegetable Fats and Oils – Preparation of methyl esters of fatty acids. Geneve: ISO. Method ISO 5509, 1978. p.1-6.
- Kayan, A., Boontan, I., Jaturssitha, S., Wicke, M., Kreuzer, M., 2015. Effect of slaughter weight on meat quality of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Agriculture and Agricultura Science Procedia.* 5, 159–163. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.024>.
- Martin, C.A., Oliveira, C.C., Visentainer, J.V., Matsushita, M., Souza, N.E., 2008. Optimization of the selectivity of a cyanopropyl stationary phase for the gas chromatographic analysis of trans fatty acids. *J. Chromatogr. A.* 1194, 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2008.04.033>.

- Mozaffarian, D., Wu, J.H.Y., 2012. (n-3) fatty acids and cardiovascular health: are effects of EPA and DHA shared or complementary? *J. Nutr.* 142, 614S–625S. <https://doi.org/10.3945/jn.111.149633>.
- Neira, R., García, X., Lhorente, J.P., Filp, M., Yáñez, J.M., Cascante, A.M., 2016. Evaluation of the growth and carcass quality of diallel crosses of four strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 451, 213–222. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.08.033>.
- Nguyen, N.H., Ponzoni, R.W., Abu-Bakar, K.R., Hamzah, A., Khaw, H.L., Yee, H.Y., 2010b. Correlated response in fillet weight and yield to selection for increased harvest weight in genetically improved farmed tilapia (GIFT strain), *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 305, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.007>.
- Nguyen, N.H., Ponzoni, R.W., Yee, H.Y., Abu-Bakar, K.R., Hamzah, A., Khaw, H. L., 2010a. Quantitative genetic basis of fatty acid composition in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) selected for high growth. *Aquaculture* 309, 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.08.034>.
- Oliveira, C.A.L., Ribeiro, R.P., Yoshida, G.M., Kunita, N.S., Rizzato, G.S., Oliveira, S.N., Santos, A. I., Nguyen, N.H., 2016. Correlated changes in body shape after five generations of selection to improve growth rate in a breeding program for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* in Brazil. *J. Appl. Genet.* 57, 487-493. <https://doi.org/10.1007/s13353-016-0338-5>.
- Olsen, R.E., Henderson, R.J., McAndrew, B.J., 1990. The conversion of linoleic-acid and linolenic acid to longer chain polyunsaturated fatty-acids by tilapia (*Oreochromis niloticus*) in vivo. *Fish Physiol Biochem.* 3, 261–270. <https://doi.org/10.1007/BF00004465>.

- Rutten, M.J.M., Bovenhuis, H., Komen, H., 2005. Genetic parameters for fillet traits and body measurements in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture* 246, 125-132. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.01.006>.
- Santos, H.M.C., Nishiyama, M.F., Bonafe, E.G., Oliveira, C.A.L., Matsushita, M., Visentainer, J.V., Ribeiro, R.P., 2014. Influence of a diet enriched with perilla seed bran on the composition of omega-3 fatty acid in Nile tilapia. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 91, 1939–1948. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2545-8>.
- Silva, B.C., Santos, H.M.C., Montanher, P.F., Boeing, J.S., Almeida, V.C., Visentainer, J.V., 2014. Incorporation of omega-3 fatty acids in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed chia (*Salvia hispanica* L.) bran. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 91, 429–437. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2391-0>.
- Silva, D.J., Queiroz, A.C., 2002. *Análises de alimentos: Métodos químicos e biológicos*, third ed., Viçosa.
- Simopoulos, A.P. 2011. Evolutionary aspects of diet: the omega-6/omega-3 ratio and the brain. *Mol. Neurobiol.* 44, 203–215. <https://doi.org/10.1007/s12035-010-8162-0>.
- Teoh, C.Y, Turchini, G.M, Ng, W.K., 2011. Genetically improved farmed Nile tilapia and red hybrid tilapia showed differences in fatty acid metabolism when fed diets with added fish oil or a vegetable oil blend. *Aquaculture* 312, 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.018>.

Table 1. Fatty acid profile (mg/100g of sample) and proximate composition of the feed provided to the animals.

Fatty Acid	Control^g	Treatment^h
14:0	29.61	54.09
15:0	6.62	18.42
16:0	722.23	1010.55
16:1	25.47	24.25
17:0	19.39	21.82
18:0	312.73	302.81
18:1n-9	1255.60	1228.83
18:1n-7	54.26	53.35
18:2n-6 (LA)	1553.11	1813.19
18:3n-3 (LNA)	6.27	9.49
20:0	23.11	150.34
20:1n-9	17.04	24.01
20:5n-3 (EPA)	nd ^a	nd ^a
20:3n-6	14.90	16.38
20:4n-6 (ARA)	nd ^a	nd ^a
22:6n-3 (DHA)	nd ^a	131.81
Total		
SFA ^b	1113.69	1558.03
MUFA ^c	1352.37	1330.44
PUFA ^d	1574.28	1970.87
n-6 ^e	1568.01	1829.57
n-3 ^f	6.27	141.30
n-6/n-3	250.08	12.95
FAT (%) ⁱ	4.44	5.34
Proximate Composition		
Dry matter (%)	92.33	92.46
Crude protein (%)	34.53	33.22
Mineral material (%)	11.51	11.52
Gross energy (kcal/kg)	4.28	4.37
Ether extract (%)	5.41	6.10

Note: LA = linoleic acid; LNA= linolenic acid; EPA = eicosapentaenoic acid; ARA = arachidonic acid; DHA = docosahexaenoic acid.

^and = not detected; ^bSFA = total of saturated FA; ^cMUFA = total of monounsaturated FA; ^dPUFA = total of polyunsaturated FA; ^en-6 = total n-6 FA; ^fn-3 = total n-3 FA

^gBasal diet (Composition: Soybean meal, ground whole corn, wheat meal, meat and bone meal, fish meal, degummed soybean oil. Vitamin and mineral mix (guarantee levels per kilogram): Calcium 15 g, Phosphorus 4000 mg, Sodium 2000 mg, Copper 15 mg, Manganese 40 mg, Zinc 60 mg, Cobalt 0.75 mg, Iodine 0.75 mg, Selenium 0.3 mg, Vitamin A 7000 UI, Vitamin D3 2000 UI, Vitamin E 90 UI, Vitamin K3 12 mg, Vitamin B1 20 mg, Vitamin B2 20 mg, Vitamin B6 20 mg, Vitamin B12 mcg, Niacin 100 mg, Calcium Pantothenate 50 mg, Folic Acid 5mg, Biotin 0.15, Vitamin C 300 mg, Choline Chloride 1350 mg, Inositol 30 mg. Source: manufacturer – Poli Nutri (Osasco, SP, Brazil).

^hSupplemented diet with flour of the marine microalga *Schizochytrium* sp. (All-G-Rich[®])

ⁱFat content

Table 2. Recorded information and descriptive statistics.

Traits (unit)	n	Minimum	Maximum	Mean \pm SD	CV (%)
BWS (g)					
Group 1 ^a	221	338.00	1351.00	697.10 \pm 222.83	31.97
Group 2 ^b	221	340.00	1190.00	749.80 \pm 184.66	24.63
Control ^c	221	338.00	1351.00	718.10 \pm 198.59	27.65
Treatment ^d	221	347.00	1193.00	728.40 \pm 214.03	29.38
SL (cm)					
Group 1 ^a	221	19.40	29.20	24.25 \pm 2.10	8.66
Group 2 ^b	221	19.50	29.20	25.30 \pm 1.81	7.15
Control ^c	221	19.40	29.20	24.64 \pm 1.94	7.87
Treatment ^d	221	19.80	29.20	24.84 \pm 2.10	8.45
FW (g)					
Group 1 ^a	221	118.00	528.00	259.50 \pm 86.87	33.47
Group 2 ^b	221	116.00	474.00	281.00 \pm 74.58	26.54
Control ^c	221	116.00	528.00	267.90 \pm 77.67	28.99
Treatment ^d	221	119.00	485.00	272.40 \pm 85.54	31.40
FY (%)					
Group 1 ^a	221	31.48	43.47	37.06 \pm 1.68	4.55
Group 2 ^b	221	31.94	41.30	37.30 \pm 1.53	4.10
Control ^c	221	32.48	43.47	37.17 \pm 1.60	4.30
Treatment ^d	221	31.48	40.65	37.19 \pm 1.64	4.39
FAT (%)					
Group 1 ^a	104	2.04	8.50	4.50 \pm 1.27	28.22
Group 2 ^b	104	2.01	7.00	4.12 \pm 1.30	31.39
Control ^c	104	2.01	6.67	4.12 \pm 1.24	30.16
Treatment ^d	104	2.01	8.50	4.50 \pm 1.32	29.26

Note: BWS = body weight at slaughter; SL = standard length; FW = fillet weight; FY = fillet yield; FAT = fat content; CV = coefficient of variation

^aAnimals with high genetic value for fat content in the fillet

^bAnimals with low genetic value for fat content in the fillet

^cBasal diet

^dSupplemented diet with flour of the marine microalga *Schizochytrium* sp. (All-G-Rich[®])

Table 3. Values (mean \pm SD) for body weight at slaughter (BWS), standard length (SL), fillet weight (FW), fillet yield (FY) and fat content (FAT) of Nile tilapias.

	Genetic Group (GG)		Diet		P-value		
	Group 1 ^a	Group 2 ^b	Control ^c	Treatment ^d	GG	Diet	GG x Diet
BWS (g)	669.14 \pm 221.70	738.75 \pm 185.10	703.79 \pm 198.75	712.64 \pm 212.09	*	NS	NS
SL (cm)	24.08 \pm 2.40	25.08 \pm 1.98	24.50 \pm 1.85	24.65 \pm 1.94	*	NS	NS
FW (g)	254.76 \pm 86.10	281.73 \pm 74.49	268.24 \pm 78.04	271.35 \pm 85.39	*	NS	NS
FY (%)	37.03 \pm 1.64	37.09 \pm 1.66	36.94 \pm 1.85	37.06 \pm 1.71	NS	NS	NS
FAT (%)	4.50 \pm 1.27	4.12 \pm 1.30	4.12 \pm 1.24	4.50 \pm 1.37	*	*	NS

Note: *P < 0.05; NS = not significant

^aAnimals with high genetic value for fat content in the fillet

^bAnimals with low genetic value for fat content in the fillet

^cBasal diet

^dSupplemented diet with flour of the marine microalga *Schizochytrium* sp. (All-G-Rich[®])

Table 4. Values (mean \pm SD) of fatty acids profile (mg/100g of sample) in the Nile tilapia fillets at the last (genetic groups vs. supplementation) of the experiment period.

FA	Group 1 ^a	Group 2 ^b	Control ^c	Treatment ^d	P-value		
					GG	Diet	GG x Diet
14:00	73.04 \pm 28.05	67.14 \pm 29.58	68.48 \pm 26.99	71.70 \pm 31.02	NS	NS	NS
15:00	4.92 \pm 1.62	4.97 \pm 1.66	4.44 \pm 1.47	5.45 \pm 1.63	NS	*	NS
16:00	954.62 \pm 312.50	936.07 \pm 297.28	874.58 \pm 267.08	1016.10 \pm 323.33	NS	NS	NS
17:00	136.69 \pm 56.36	130.12 \pm 57.55	124.69 \pm 54.41	142.12 \pm 58.25	NS	NS	NS
18:00	307.23 \pm 116.16	309.18 \pm 117.04	281.24 \pm 89.61	335.17 \pm 132.90	NS	NS	NS
20:00	38.09 \pm 38.81	30.55 \pm 37.23	24.57 \pm 31.61	43.42 \pm 41.39	NS	NS	NS
21:00	25.05 \pm 8.99	21.06 \pm 11.71	20.57 \pm 9.76	26.08 \pm 10.64	NS	NS	NS
24:00	30.14 \pm 10.09	28.63 \pm 10.25	27.34 \pm 10.80	31.42 \pm 9.09	NS	NS	NS
SFA	1569.78	1527.72	1425.91	1671.46			
14:01	4.37 \pm 1.98	4.10 \pm 2.02	4.06 \pm 2.10	4.40 \pm 1.89	NS	NS	NS
16:01	26.70 \pm 35.04	23.41 \pm 23.08	27.61 \pm 37.18	22.50 \pm 19.24	NS	NS	NS
17:1n-9	10.38 \pm 3.51	10.69 \pm 3.38	9.62 \pm 2.97	11.48 \pm 3.64	NS	*	NS
18:1n-9	1356.32 \pm 454.35	1376.53 \pm 419.84	1256.84 \pm 378.93	1476.02 \pm 463.17	NS	*	NS
18:1n-7	99.65 \pm 32.18	97.81 \pm 30.17	91.61 \pm 27.22	106.11 \pm 33.26	NS	NS	NS
20:1n-9	47.43 \pm 33.17	53.11 \pm 30.64	53.09 \pm 27.06	47.45 \pm 36.15	NS	NS	NS
24:1n-9	5.82 \pm 2.04	5.34 \pm 1.91	5.16 \pm 2.11	5.98 \pm 1.77	NS	NS	NS
MUFA	1550.67	1570.99	1447.99	1673.94			NS
18:2n-6 (LA)	508.01 \pm 161.08	493.63 \pm 176.65	462.76 \pm 144.36	537.51 \pm 183.40	NS	NS	NS
18:3n-6	25.21 \pm 9.47	26.51 \pm 9.66	24.04 \pm 9.45	27.68 \pm 9.37	NS	NS	NS
18:3n-3(LNA)	24.88 \pm 9.92	24.80 \pm 9.32	22.50 \pm 8.82	27.18 \pm 9.81	NS	*	NS
20:2n-6	12.72 \pm 8.43	14.41 \pm 6.39	12.97 \pm 7.49	14.16 \pm 7.49	NS	NS	NS
20:5n-3 (EPA)	12.80 \pm 10.98	9.92 \pm 10.27	11.35 \pm 9.79	11.37 \pm 11.65	NS	NS	NS
20:3n-6	32.44 \pm 8.54	28.99 \pm 8.84	27.97 \pm 8.88	33.45 \pm 7.93	NS	*	NS
20:4n-6	26.08 \pm 19.91	27.56 \pm 16.49	25.47 \pm 17.33	28.17 \pm 19.12	NS	NS	NS
20:3n-3	15.88 \pm 11.08	16.22 \pm 11.03	16.22 \pm 10.21	15.87 \pm 11.84	NS	NS	NS
22:5n-6	32.22 \pm 8.79	33.85 \pm 6.82	30.98 \pm 7.90	35.06 \pm 7.33	NS	*	NS
22:6n-3 (DHA)	13.95 \pm 8.26	14.10 \pm 8.97	8.49 \pm 4.53	19.55 \pm 8.06	NS	*	NS
PUFA	704.19	690.99	644.12	750.00			
n-6	636.68 \pm 197.02	624.95 \pm 190.91	584.19 \pm 179.67	676.03 \pm 208.25	NS	NS	NS
n-3	67.51 \pm 5.48	65.04 \pm 6.22	58.56 \pm 6.13	73.97 \pm 6.69	NS	*	NS
n-6/n-3	9.43 \pm 3.77	9.61 \pm 3.87	9.97 \pm 3.46	9.13 \pm 4.15	NS	NS	NS

Note: *P < 0.05; NS = not significant. FA = fatty acids; SFA = total of saturated FA; MUFA = total of monounsaturated FA; PUFA = total of polyunsaturated FA; n-6 = total n-6 FA; n-3 = total n-3 FA. LA = linoleic acid; LNA = linolenic acid; EPA = eicosapentaenoic acid; DHA = docosahexaenoic acid.

^aAnimals with high genetic value for fat content in the fillet.

^bAnimals with low genetic value for fat content in the fillet.

^cBasal diet

^dSupplemented diet with flour of the marine microalga *Schizochytrium* sp. (All-G-Rich[®])