



**JACYARA THAÍS TEIXEIRA**

**APROVEITAMENTO DE CABEÇA DE  
TILÁPIAS NILÓTICAS (*Oreochromis niloticus*)  
PARA A PRODUÇÃO DE ÓLEO DE PEIXE –  
OBTENÇÃO, REFINO E AVALIAÇÃO**

**LAVRAS – MG  
2018**

**JACYARA THAÍS TEIXEIRA**

**APROVEITAMENTO DE CABEÇA DE TILÁPIAS NILÓTICAS  
(*Oreochromis niloticus*) PARA A PRODUÇÃO DE ÓLEO DE PEIXE –  
OBTENÇÃO, REFINO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Carlos José Pimenta  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Sobrenome, Jacyara Thaís Teixeira.

Use of Nile tilapia head (*Oreochromis niloticus*) for the production of fish oil - obtaining, refining and quality evaluation / Jacyara Thaís Teixeira. – 2018.

111 p. : il.

Orientador: Carlos José Pimenta.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Resíduo de pescado. 2. Temperaturas. 3. Vida útil. I. Pimenta, Carlos José. II. Título.

**JACYARA THAÍS TEIXEIRA**

**APROVEITAMENTO DE CABEÇA DE TILÁPIAS NILÓTICAS  
(*Oreochromis niloticus*) PARA A PRODUÇÃO DE ÓLEO DE PEIXE –  
OBTENÇÃO, REFINO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE**

**USE OF NILE TILAPIA HEAD (*Oreochromis niloticus*) FOR THE  
PRODUCTION OF FISH OIL - OBTAINING, REFINING AND  
QUALITY EVALUATION**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 17 de maio de 2018.

Profa. Dra. Maria Emília de Sousa Gomes	UFLA
Profa. Dra. Laura Cristina Jardim Porto Pimenta	UFLA
Profa. Dra. Sabrina Bastos Carvalho	UFLA
Dra. Caroline Lima Angélico	EPAMIG

Prof. Dr. Carlos José Pimenta  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2018**

*Ao meu esposo Bruno e ao meu filho Dante, por serem calma-  
ria nos momentos  
de tempestade.*

***Dedico***

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre iluminar meus caminhos e permitir esta conquista.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), pela oportunidade concedida para a realização do Doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela bolsa de estudos concedida e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro para a pesquisa.

Ao meu orientador, professor Carlos José Pimenta e a minha coorientadora Maria Emilia de Souza Gomes, pela orientação, apoio, dedicação, paciência e ensinamentos que foram de grande valia para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha amiga Amanda que foi essencial durante todos esses anos. No momento em que eu mais precisei, ela esteve presente, apoiando-me e incentivando a seguir em frente!

Às professoras Laura Cristina Jardim Porto Pimenta e Sabrina Bastos Carvalho e à Dra. Caroline Lima Angélico, pela participação, pelos ensinamentos e sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

Aos meus pais e meus irmãos, pelo carinho, incentivo e dedicação.

Ao meu esposo Bruno, por toda a dedicação, amor e incentivo, e por ser extremamente paciente, bondoso, companheiro e zeloso! Amo você!

Ao meu filho Dante que chegou e mudou totalmente minha vida e, mesmo tão pequeno, foi capaz de entender minha ausência em alguns momentos... em seus olhos vejo o verdadeiro amor!

Aos meus familiares e amigos que torceram por mim.

A todos que, de alguma forma, contribuíram e estiveram ao meu lado para a realização deste trabalho.

*Muito Obrigada!*

## RESUMO GERAL

Os peixes podem ser submetidos a uma série de processamentos diferentes, tornando essa matéria prima uma excelente commodity alimentícia levando à obtenção de uma ampla gama de gostos e apresentações. Os resíduos são sobras e subprodutos que originam do processo de industrialização de um determinado produto. No caso da tilápia, o processo de filetagem gera uma quantidade de carne a ser comercializada que, geralmente, gira em torno de 17% a 30%, sendo que há alguns casos de aproveitamento de 34% a 45%. Os ácidos graxos presentes em outros óleos e gorduras também estão presentes no óleo de pescado, sendo eles os ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa. Ao longo do processo de industrialização e estocagem, dependendo da temperatura e da luminosidade, o óleo de pescado pode sofrer alterações, em razão da presença dos ácidos graxos, o que o deixa sujeito a processos oxidativos. As reações de oxidação ocorrem por formação de radicais livres e se caracterizam por um período de indução, seguido por uma absorção acelerada de oxigênio, e terminam com a produção de peróxidos, ranço, odor e outros produtos de polimerização. Uma forma de se evitar a autooxidação de gorduras e óleos seria reduzir a incidência de todos os fatores que a favorecem, mantendo ao mínimo os níveis de energia (temperatura e luz) que provocam o desencadeamento do processo de formação de radicais livres. Sendo assim, os objetivos do presente estudo foram extrair e purificar o óleo de tilápia nilótica, a partir de resíduos de cabeça, avaliando diferentes temperaturas de armazenamento em relação à extração bem como o tempo de armazenamento e o tipo de embalagem sobre sua qualidade. Foram realizadas as análises físico-químicas de peróxidos, saponificação, refração, acidez e iodo e ainda análises físicas de cor e reologia. Os resultados mostraram que as diferentes temperaturas avaliadas não interferiram no produto final e que a embalagem escura foi mais indicada para o armazenamento adequado do óleo prolongando sua vida útil.

**Palavras-chave:** Resíduo de pescado. Temperaturas. Vida útil. Embalagem.

## GENERAL ABSTRACT

Fish can undergo a number of different processing, making this raw material an excellent commodity food leading to a wide range of tastes and presentations. The residues are leftovers and by-products that originate from the process of industrialization of a given product. In the case of tilapia, the filleting process generates an amount of meat to be commercialized, which usually turns around 17% to 30%, and there are some cases of use of 34% to 45%. The fatty acids present in other oils and fats are also present in fish oil, which are polyunsaturated long chain fatty acids. Throughout the process of industrialization and storage, depending on temperature and luminosity, fish oil may suffer changes due to the presence of fatty acids, which leave it subject to oxidative processes. Oxidation reactions occur by formation of free radicals and are characterized by an induction period, followed by an accelerated absorption of oxygen, and end with the production of peroxides, rancidness, odor and other polymerization products. One way to avoid autoxidation of fats and oils would be to reduce the incidence of all the factors that favor it, keeping to the minimum the energy levels (temperature and light) that trigger the process of free radical formation. Thus, the objectives of the present study were to extract and purify nilotic tilapia oil from head residues evaluating different storage temperatures in relation to the extraction as well as storage time and the type of packaging on its quality. Physico-chemical analyzes of peroxides, saponification, refraction, acidity and iodine and physical color and rheology analyzes were performed. The results showed that the different temperatures evaluated did not interfere with the final product and that the dark package was more suitable for the adequate storage of the oil, thus prolonging its useful life.

**Keywords:** Fish waste. Temperatures. Shelflife. Packing.

## LISTA DE FIGURAS

### PRIMEIRA PARTE

- Figura 1 - Fluxograma geral de beneficiamento de peixe com a indicação do processamento (setas contínuas) e dos resíduos gerados (setas pontilhadas).....21
- Figura 2 - Esquema geral do mecanismo da oxidação lipídica. ....30

### SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

#### ARTIGO 2

- Figura 1** Densidade dos óleos de tilápia ao longo do tempo de armazenamento.  $F_t$  = Frasco transparente e  $F_e$  = Frasco escuro. ....88
- Figura 2** Índice de acidez dos óleos de tilápia ao longo do tempo de armazenamento.  $F_t$  = Frasco transparente e  $F_e$  = Frasco escuro. ....90
- Figura 3** Índice de peróxido dos óleos de tilápia ao longo do tempo de armazenamento.....93
- Figura 4** Oxidação lipídica dos óleos de tilápia ao longo do tempo de armazenamento.  $F_t$  = Frasco transparente e  $F_e$  = Frasco escuro. ....94
- Figura 5** Análise de componentes principais (PCA) para o perfil de ácidos graxos dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento.  $F_t$  = Frasco transparente e  $F_e$  = Frasco escuro.....97
- Figura 6** Parâmetro  $h^*$  dos óleos de tilápia ao longo do tempo de armazenamento.  $F_e$  = Frasco escuro;  $F_t$  = Frasco transparente. ....102

**Figura 7** Comportamento reológico dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento: (a) relação entre a tensão de cisalhamento (Pa) e a taxa de deformação ( $s^{-1}$ ), e (b) relação entre a viscosidade Newtoniana (Pa·s) e a taxa de deformação ( $s^{-1}$ ).  $F_t$  = Frasco transparente e  $F_e$  = Frasco escuro..... 104

## LISTA DE TABELAS

### SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

#### ARTIGO 1

Tabela 1	Médias para o rendimento dos óleos bruto e refinado com emprego de diferentes temperaturas de extração.....	54
Tabela 2	Caracterização química dos óleos bruto e refinado de tilápia com o emprego de diferentes temperaturas de extração.....	55
Tabela 3	Perfil de ácidos graxos dos óleos de cabeça de tilápia extraídos com o emprego de diferentes temperaturas .....	62

#### ARTIGO 2

<b>Tabela 1</b>	Análises microbiológicas do óleo obtido de cabeças de tilápia acondicionados em diferentes embalagens ao longo do período de armazenamento. ....	84
<b>Tabela 2</b>	Caracterização físico-química dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento. ....	87
<b>Tabela 3</b>	Perfil de ácidos graxos dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento.....	96
<b>Tabela 4</b>	Composição dos ácidos graxos dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento. ....	98
<b>Tabela 5</b>	Cor instrumental dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento. ....	101
<b>Tabela 6</b>	Parâmetro reológico dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento. ....	103

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	13
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	15
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	15
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	15
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
<b>3.1 Características gerais da tilápia, produção nacional e mundial</b> .....	17
<b>3.2 Resíduos do beneficiamento de Tilápia</b> .....	19
<b>3.3 Aproveitamento dos resíduos de peixes e seu valor nutricional</b> .....	23
<b>3.4 Método de extração do óleo de peixe</b> .....	24
<b>3.5 Composição química do óleo de peixe</b> .....	26
<b>3.6 Vida útil do óleo de peixe</b> .....	28
<b>4 CONCLUSÃO GERAL</b> .....	33
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35
<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS</b> .....	41
<b>ARTIGO 1 – OBTENÇÃO, REFINO E CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DA CABEÇA DE TILÁPIAS EXTRAÍDO SOB DIFERENTES TEMPERATURAS</b> .....	41
<b>ARTIGO 2 – EFEITO DO TEMPO DE ARMAZENAMENTO E TIPO DE EMBALAGEM SOBRE A QUALIDADE DE ÓLEO PROVENIENTE DA CABEÇA DE TILÁPIA DO NILO</b> .....	69

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

Os peixes constituem grande parte da proteína animal, visto que possuem significativo valor nutricional como proteínas de alto valor biológico, vitaminas, minerais e lipídeos e, por esse motivo, é um componente importante na dieta humana.

O aumento do consumo de peixe pela população tem promovido um maior desenvolvimento do setor, fazendo da indústria pesqueira uma grande responsável por gerar toneladas de resíduos (escamas, peles, carcaças, vísceras, cabeças), acarretando sérios problemas ambientais, em decorrência do excesso de lixo orgânico.

Muitas vezes, o desconhecimento do valor nutricional desse material que é rico em proteínas de alto valor biológico, faz com que seja descartado enquanto poderia ser aproveitado, agregando valor e interesse econômico, gerando novas perspectivas no setor.

Com a utilização de diversas tecnologias, esses resíduos podem ser melhor aproveitados possibilitando uma comercialização mais racional, de qualidade, aumentando a sua vida útil, com inúmeros produtos dos mais diferentes setores da indústria.

Nesse sentido, o aperfeiçoamento desse subproduto é de grande importância, pois aumenta o valor do produto final, gerando uma maior qualidade e atratividade.

A fabricação de farinha e óleo de pescado para alimentação animal é a principal forma de aproveitamento desses resíduos.

O óleo de peixe é fonte de ácidos graxos de alto valor nutricional como os da família ômega-3 (principalmente o ácido  $\alpha$ -linolênico, eicosapentaenoico e docosahexaenoico, bem como os da família ômega-6 (representados

principalmente pelo ácido linoleico e ácido araquidônico), são essenciais para a síntese de eicosanoides, leucotrienos, prostaglandinas, tromboxanos e outros fatores oxidantes, principais mediadores e reguladores da inflamação. Os ácidos graxos ômega-3 controlam a inflamação por meio da redução na proteína C-reativa (PCR), citocinas pró-inflamatórias eicosanoides, quimiocinas e outros mediadores inflamatórios. Além disso, eles apresentam efeitos benéficos na prevenção e no controle de doenças cardiovasculares, dislipidemias e *Diabetes mellitus*.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Aproveitar o resíduo de cabeças de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), para a produção de óleo de peixe, caracterizá-lo por meio da extração, refinar e avaliar os parâmetros de qualidade.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) aproveitar e agregar valor ao resíduo gerado por pisciculturas;
- b) a partir do resíduo de cabeça de tilápia do Nilo, obter uma massa e extrair o óleo bruto com o uso de três temperaturas diferentes (40°C, 50°C e 60°C);
- c) refino do óleo obtido;
- d) avaliar a qualidade dos óleos bruto e refinado em relação às temperaturas empregadas através de análises químicas e físico-químicas;
- e) extrair e refinar o óleo a partir de cabeças de tilápia com o uso da temperatura que foi definida no experimento anterior obtendo o óleo bruto;
- f) avaliar seu rendimento;
- g) estocar o óleo obtido em embalagens de cor transparente e escura;
- h) avaliar a vida útil do óleo, por um período de 6 meses, com base nas características obtidas durante o armazenamento por meio de análises químicas, físico-químicas e microbiológicas.



### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Características gerais da tilápia, produção nacional e mundial**

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO, 2016), publicou um importante dado com base nos levantamentos feitos pelo Estado Mundial da Pesca e Aquicultura. De acordo com tais dados, nos últimos cinquenta anos, houve um crescimento significativo em âmbito mundial, da produção de pescado em geral. Esse mesmo dado ainda estima que a pesca e agricultura brasileira deva registrar um aumento de 100% na produção até 2025. Entre os anos de 1961 e 2013, o consumo de pescado como fonte alimentar cresceu progressivamente em uma taxa média de 3,2% ao ano, e o consumo per capita saltou de 9,9kg em 1961 para 19,7 Kg em 2013.

Em relação ao consumo de tilápia, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2016) registraram a quantia de 219 mil toneladas no ano de 2015, sendo esse peixe o mais consumido no Brasil. Sua produção chega a 45% do total de pescados.

De acordo com Rodrigues et al. (2015), uma parte significativa da aquicultura brasileira é reservada à produção de peixes, representando 82,3% da produção no país. A espécie que contribuiu significativamente para o aumento da piscicultura brasileira foi a tilápia do Nilo. De fato, esta é a espécie mais cultivada no Brasil, é a quarta espécie mais cultivada no mundo (OLIVEIRA, 2016).

O consumidor demonstra que sua preferência pelo consumo de pescados parece estar vinculada às informações sobre o valor nutricional e sua associação com a melhoria à saúde, observada em populações que possuem pescados como base da sua alimentação (MACIEL et al., 2013).

Conforme a descrição apresentada por Popma e Phelps (1998), tilápia é o nome dado a uma série de peixes ciclídeos originários do centro-sul da África e vai até o norte da Síria. Esse mesmo dado é apresentado nas descrições e apontamentos de Fryer e Iles (1972), ao fomentarem que os territórios originários da tilápia são a África e o Oriente Médio. E, de acordo com Boscolo et al. (2001), a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), a tilápia mossâmbica (*O. mossambicus*) e a tilápia azul (*O. aureus*), são apenas algumas espécies, dentre cerca de 22 espécies de tilápia que são atualmente cultivadas.

É de se ficar claro que as 22 espécies ora referidas são as que são atualmente cultivadas, pois, conforme Lustosa Neto et al. (2016) existem cerca de 70 espécies de tilápias que já foram catalogadas taxonomicamente. Não obstante, maiores pesquisas e estudos no âmbito da aquicultura buscam abordar apenas quatro espécies: a tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus*; a tilápia de Moçambique, *Oreochromis mossambicus*; a tilápia azul ou áurea, *Oreochromis aureus*, e a tilápia de Zanzibar, *Oreochromis urolepis hornorum*.

Vale ressaltar ainda que algumas das características que colocaram as tilápias no pódio das principais espécies cultivadas comercialmente são: a facilidade de reprodução e obtenção de alevinos; a possibilidade de manipulação hormonal do sexo para obtenção de populações masculinas; a boa aceitação de diversos tipos de alimentos; a grande capacidade de aproveitar alimentos naturais em viveiros; conversão alimentar entre 1 a 1,8; bom crescimento em cultivo intensivo (5 a 500g em 4 a 5 meses); grande rusticidade, suportando bem o manuseio intenso e os baixos níveis de oxigênio dissolvido na produção e, sobretudo, sua grande resistência às doenças; a carne branca, de textura firme, sem espinhos, de sabor pouco acentuado e de boa aceitação (KUBITZA, 2000).

Na região Sudeste, a tilápia também foi à espécie que teve maior produção, sendo cultivada principalmente em tanques-rede. A despeito de São Paulo ser o estado que mais produz tilápias no Sudeste, os reservatórios de

Furnas em Minas Gerais são um polo de atividade relevante na produção da espécie (BRABO et al., 2016).

### **3.2 Resíduos do beneficiamento de Tilápia**

A aquicultura, de modo geral e, em especial, o setor pesqueiro, têm se preocupado em implementar as medidas propostas pelo movimento ZERI, acrônimo de Zero Emission Research & Initiative, cuja principal preocupação é o aproveitamento total dos resíduos oriundos do beneficiamento dos produtos orgânicos. Segundo tal concepção, os resíduos decorrentes de um processo de industrialização podem servir de insumos para outros procedimentos, de modo que ocorre uma agregação de valores (TESTOLINI, 2009).

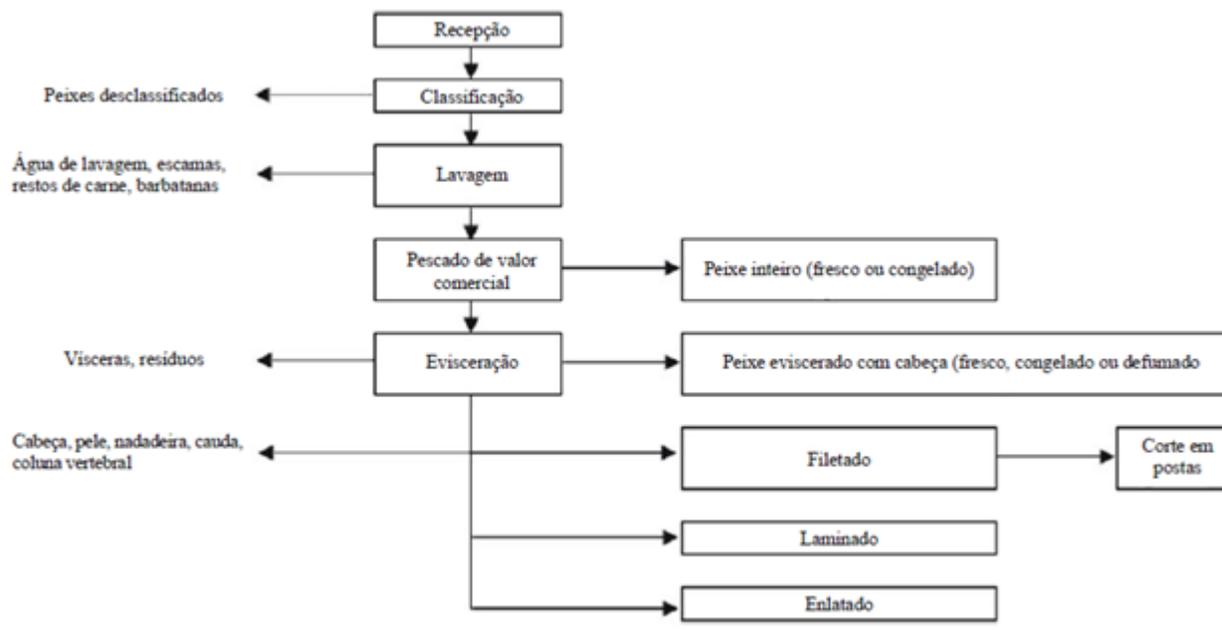
Desse modo, é de se constatar que o processo de beneficiamento de qualquer produto orgânico tende a gerar um amontoado de resíduos. Com a tilápia não é diferente, visto que os resíduos recorrentes de sua industrialização são ricos em substância de grande proveito tanto para o setor alimentício (consumo humano e animal) quanto para outros setores, como o industrial, químico, farmacêutico e outros, como a utilização de resíduos como insumos para a agricultura (TESTOLINI, 2009).

Conforme Figueiredo (2015), os resíduos são sobras e subprodutos que originam do processo de industrialização de um determinado produto. No caso da tilápia, o processo de filetagem gera uma quantia de carne a ser comercializada, que geralmente gira em torno de 17% a 30%, sendo que há alguns casos de aproveitamento de 34% a 45%. É de se considerar ainda que todas as substâncias empregadas no processo de beneficiamento da tilápia são consideradas resíduos, inclusive a água utilizada para realizar a lavagem do peixe. Todavia, consideram-se as partes do peixe, “os resíduos incluem cabeça, carcaça, vísceras, pele e escamas. Esses resíduos, se descartados no meio

ambiente sem controle, podem causar danos como, por exemplo, a eutrofização de corpos d'água”.

No ramo pesqueiro, existem duas maneiras de se comercializar o peixe: in natura ou industrializado. Conforme Feltes et al. (2010), os processos que envolvem a industrialização do peixe são a obtenção, conservação, processamento/elaboração, embalagem, transporte e comercialização. Feltes et al. (2010) ainda apresentam a seguinte figura que traz o fluxograma que aponta a obtenção dos resíduos em cada etapa:

Figura 1 - Fluxograma geral de beneficiamento de peixe com a indicação do processamento (setas contínuas) e dos resíduos gerados (setas pontilhadas).



Fonte: Nunes (2001) e Oetterer (2003).

Conforme se observa na Figura 1, o primeiro resíduo a ser obtido são os peixes desclassificados, que são considerados impróprios para o fim a que se destina o determinado processo de industrialização ou comercialização. Geralmente, esses peixes podem ser inteiros ou, até mesmo, ter alguma parte mutilada. Em um momento posterior, outra série de resíduos é decorrente da lavagem, e a água utilizada para esse procedimento pode ser aproveitada junto com as escamas, restos de carne e barbatanas, que advêm também dessa etapa. Em seguida, as vísceras são outra gama de resíduos, ao se realizar o processo de evisceração. Por fim, obtêm-se os resíduos da cabeça, pele, nadadeira, cauda e coluna vertebral (NUNES, 2001; OETTERER, 2003).

Dessa maneira, todos esses resíduos podem ser aproveitados e têm sua utilidade para uma série de aproveitamentos.

Segundo Feltes et al. (2010), inicialmente, no beneficiamento os peixes são selecionados por tamanho, sendo então lavados e submetidos a congelamento, caso não sejam processados imediatamente; podem ser comercializados inteiros, eviscerados com cabeça ou fracionados em filés ou lâminas. A eliminação das vísceras (coração e rins) objetiva a remoção das bactérias e enzimas estomacais responsáveis pela autólise do peixe, responsáveis pela alta perecibilidade de sua carne; as técnicas de conservação envolvem, sobretudo, o congelamento, a secagem e salga, defumação, fermentação e o enlatamento (NUNES, 2001). Os resíduos gerados no beneficiamento do peixe (cabeça, vísceras, nadadeira, cauda, coluna vertebral, barbatana, escamas e restos de carne) podem representar 50% da matéria- prima utilizada, variando conforme as espécies e o processamento.

### 3.3 Aproveitamento dos resíduos de peixes e seu valor nutricional

Os peixes podem ser submetidos a uma série de processamentos diferentes, tornando essa matéria- prima uma excelente commodity alimentícia levando a obtenção de uma ampla gama de gostos e apresentações (FAO, 2016).

São várias as alternativas existentes para que haja o bom aproveitamento dos resíduos de tilápia. Esse material decorrente do beneficiamento também pode ser utilizado na agricultura, pois a tilápia, conforme comentado por Testolini, “pode ser indicada para o sistema semi-intensivo, na forma de monocultivo, pois tem apresentado, neste modelo, um bom aproveitamento dos alimentos disponíveis nos viveiros, obtendo-se produções iguais e até mesmo superiores aos do policultivo” (TESTOLINI, 2009, p. 18).

Em razão das várias possibilidades de aproveitar os resíduos do beneficiamento da tilápia, há uma série de estudos e buscas a fim de explorar as várias alternativas para a utilização dos resíduos oriundos do processo de industrialização.

Conforme Feltes et al. (2010), as vísceras da tilápia são ricas em ácidos graxos (dentre os quais se insere o ômega-3) e em diversas proteínas. Os resíduos viscerais podem ser processados a fim de que se obtenha um óleo rico em nutrientes, podendo ser utilizado na alimentação animal e humana. Ao serem submetidas ao processo de lavagem, as vísceras desprendem uma gordura que pode se transformar em óleo de pescado, óleo esse que serve tanto para a alimentação quanto para o uso em motores, como o biodiesel.

De acordo com o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - RIISPOA (BRASIL, 1952), entende-se por "óleo de pescado" o subproduto líquido obtido pelo tratamento de matérias-primas pela cocção a vapor, separado por decantação ou centrifugação e filtração.

Segundo Aguiar, Limberger e Silveira (2014), os benefícios do óleo de peixe têm sido apontados em estudos recentes na alimentação de seres humanos e animais e isso está relacionado, pelo fato de este produto apresentar considerável interesse bioquímico, metabólico, nutricional e farmacêutico.

### **3.4 Método de extração do óleo de peixe**

De acordo com Peixoto, Souza e Mota (2002), os ácidos graxos presentes em outros óleos e gorduras também estão presentes no óleo de pescado, sendo eles os ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa. Ao longo do processo de industrialização e estocagem, dependendo da temperatura e da luminosidade, o óleo de pescado pode sofrer alterações, em razão da presença dos ácidos graxos, o que o deixa sujeito a processos oxidativos.

Em uma pesquisa realizada por Arruda (2004), sobre a extração de óleo dos resíduos resultantes do beneficiamento da tilápia, constatou-se o seguinte:

O óleo de tilápia contém, em mg/100g, 28,60; 16,30 e 3,10 dos ácidos oléico, linoléico e linolênico, respectivamente. A centrifugação demonstrou ser a melhor metodologia de extração, por preservar as características físico-químicas do óleo e propiciar maior rendimento. O conteúdo de lipídios na silagem de tilápias, com base na matéria úmida é de 3,99 g/100g, com a retirada da fração lipídica, por meio da centrifugação, restou na amostra apenas 1,54 g/100g de lipídios, o que é considerado um nível aceitável para inclusão em rações para animais.

Em outra pesquisa, realizada por Vidotti e Gonçalves (2006), aponta-se a extração de óleo de tilápia, após a mistura de todos os resíduos, por meio da cocção e prensagem, o que tornou possível obter um rendimento de 15%. Não obstante, por sua vez, utilizaram outro método de extração, o método de extração pelo Soxhlet, obtendo um rendimento médio de 16% em óleo de tilápia.

No entender de Martins (2012), o resíduo pelo qual se pode obter maior quantidade de óleo de tilápia é através das vísceras, pelo fato de elas serem passíveis de atividade enzimática, favorecendo a hidrose dos triacilgliceróis, o que libera ácidos graxos e aumenta o índice de acidez do óleo. Desse modo, o óleo pode ser tratado em uma etapa preliminar de esterilização a fim de que enzimas endógenas que se encontram nas vísceras do peixe possam ser neutralizadas, em um processo que ocorre em temperatura ambiente e com a homogeneização do material.

Ao extrair o óleo, obtêm-se um produto bruto que apresenta impurezas e outros compostos, o que podem torná-lo inadequado para consumo humano e trazer limitações na aplicação industrial. Para o uso desse óleo na alimentação humana deve-se realizar uma extração cuidadosa e aperfeiçoada, sendo necessário seu refino a fim de se produzir um óleo estável e refinado. Porém, esse é um processo extremamente intensivo em relação à produção de óleo de pescado para consumo animal que só passa pelo processo de lavagem e centrifugação (ARCHER; WATSON; DENTOW, 2001; CREXI; SOUZA-SOARES; PINTO, 2009; GRUNENVALDT; CREXI; PINTO, 2005; MORAIS et al., 2001).

Os valores encontrados nas análises de óleos e gorduras geralmente são chamados de índices, que são expressões de suas propriedades físicas ou químicas e não as porcentagens dos seus constituintes. São determinados os índices de peróxidos, saponificação, oxidação e as constantes físicas como cor. Esses índices, juntamente com as reações características, identificam e avaliam a maioria dos óleos e gorduras, sendo o resultado da análise baseado nesse conjunto de dados. Os métodos de cromatografia em fase gasosa são, há muito tempo, utilizados para o conhecimento da composição dos ácidos graxos destes compostos (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2018).

### 3.5 Composição química do óleo de peixe

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), alimentos funcionais, são aqueles que produzem efeitos metabólicos ou fisiológicos, por meio da atuação de um nutriente no crescimento, desenvolvimento, manutenção e em outras funções normais do organismo humano surgindo para melhorar a qualidade de vida, reduzir riscos de doenças crônico-degenerativas. Ressaltando que não possuem capacidade curativa, mas contribuem de maneira eficiente no atendimento primário de saúde, ou seja, podem prevenir enfermidades (BRASIL, 2004; VAZ et al., 2014).

O ômega 3 também é considerado um alimento funcional, podendo ser encontrado tanto em formas naturais (pescado) quanto artificiais (fármacos), sendo considerado um ácido graxo poliinsaturado ou essencial, pois age no organismo ajudando a reduzir os danos vasculares, evitando a formação de trombos e aterosclerose, reduzindo o colesterol total, além de desempenhar um importante papel nos processos inflamatórios (VIDAL et al., 2012).

Os ácidos graxos ômega-3 atuam no combate e prevenção de doenças cardiovasculares, distúrbios cerebrais e câncer (LANDS, 2005), dessa forma, os peixes são considerados alimentos funcionais (BRASIL, 2004; GUNSTONE; HARWOOD; PADLEY, 1994; SOCCOL; OETTERER, 2003).

Os dois dos mais importantes ácidos graxos poliinsaturados Ômega 3 de cadeia longa (PUFAs) (superior a 18 carbonos), naturalmente presentes em produtos de origem marinha, são o ácido eicosapentaenóico (EPA; C20:5) e o ácido docosahexaenóico (DHA;C22:6). Esses diferem entre si nos efeitos de muitas das suas atividades protetoras. O ácido graxo DHA parece ser mais responsável pelo efeito no benéfico na redução de lipídios e lipoproteínas, na pressão sanguínea, na variabilidade da frequência cardíaca, no controle da

glicemia, em comparação com o EPA. Juntos atuam no metabolismo dos triglicerídeos, na função plaquetária e endotelial, na pressão arterial, na excitabilidade cardíaca, em níveis de estresse oxidativo, de citosinas pró e inflamatórias e na função imune (LIMA, 2004; PIOVESAN, 2010).

Os resíduos do beneficiamento do pescado em termos de valor nutricional são ricos em proteínas e em ácidos graxos da série ômega-3, incentivando o desenvolvimento de produtos para a alimentação humana. O uso de tecnologias com essa finalidade aumenta a capacidade da indústria da pesca responder não só à demanda por produtos diferenciados, mas também à tendência da busca por alimentos saudáveis e com alto valor nutritivo, suprimindo as necessidades nutricionais – em especial de proteínas animais, dos setores mais carentes da população, por um preço acessível (JORGE, 1997; MIRANDA et al., 2003).

Segundo Neves, Mira e Marquez (2004), as proteínas musculares dos peixes possuem elevado valor biológico, com uma composição balanceada em aminoácidos, particularmente aqueles limitantes em proteínas de origem vegetal, como a metionina e a cisteína e conforme a FAO (2016) a proteína de peixes, crustáceos e moluscos representa cerca de 20% das fontes alimentares de proteína animal consumidas no mundo.

Em geral, o óleo de peixe é composto de uma variedade de ácidos graxos (saturados, mono e poli-insaturados) e alto teor de vitaminas, em especial a vitamina A (LANDS, 2005; PACHECO; BARRERA-ARELLANO, 1994; PESSATTI, 2001; SHAHIDI; SHUKLA, 1996; WARD, 1995).

Mahgoub et al. (2002), destacaram que a qualidade nutricional e sensorial da carne é influenciada pela composição dos ácidos graxos presentes nos lipídios, sendo que um maior grau de saturação implica em uma menor qualidade, em virtude dos efeitos negativos à saúde humana.

### 3.6 Vida útil do óleo de peixe

As reações de oxidação ocorrem por formação de radicais livres e se caracterizam por um período de indução, seguido por uma absorção acelerada de oxigênio, e terminam com a produção de peróxidos, ranço, odor e outros produtos de polimerização (BOBBIO; BOBBIO, 1992).

Dentre os principais efeitos da oxidação sobre o valor nutritivo dos alimentos está a degradação lipídica a produtos primários como os hidroperóxidos e reações subsequentes, que alteram diversas propriedades biologicamente importantes, como a qualidade sensorial (STEVANATO et al., 2007).

A rancidez é umas das principais causas de degradação de óleos e gorduras o que em termos organolépticos representam sabores e odores estranhos além de alterações na cor o que demonstra que os lipídeos podem ser oxidados por diversos caminhos:

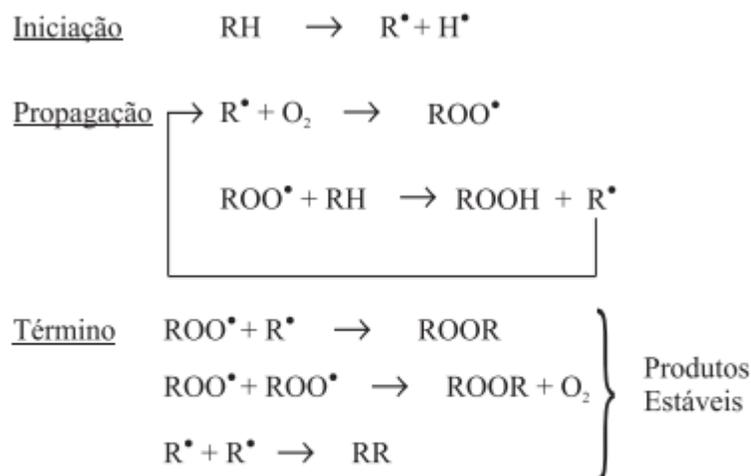
- a) Reações hidrolíticas que ocorrem pela ação da umidade e calor ou pela enzima lipase com a formação de ácidos graxos livres (BARRERA-ARELLANO, 1993; RAMALHO; JORGE, 2006);
- b) Oxidação enzimática tem a ação da enzima lipoxigenase atuando nos ácidos graxos poliinsaturados, catalizando a adição de oxigênio à cadeia hidrocarbonada poliinsaturada formando peróxidos e hidroperóxidos com duplas ligações conjugadas, podendo participar de diferentes reações de degradação (RAMALHO; JORGE, 2006);
- c) Fotoxidação existe a ação direta do oxigênio singlete aos ácidos graxos insaturados que reage diretamente com as duplas ligações presentes no óleo gerando hidroperóxidos conjugados e não conjugados. Pode-se dizer que a forma mais importante de geração

do oxigênio singlete é a presença de luz (COLTRO; BURATIN, 2004; LABUZA, 1971);

d) Autoxidação está associada à reação do oxigênio com ácidos graxos insaturados e pode ocorrer em três estágios (FIGURA 2):

- Iniciação – ocorre a formação dos radicais livres do ácido graxo em decorrência da retirada de um hidrogênio do carbono alílico na molécula, em condições favorecidas por luz e calor;
- Propagação – os radicais livres que são prontamente susceptíveis ao ataque do oxigênio atmosférico, são convertidos em outros radicais, aparecendo os produtos primários de oxidação (peróxidos e hidroperóxidos). Os radicais livres formados atuam como propagadores da reação, resultando em um processo autocatalítico;
- Término – dois radicais combinam com a formação de produtos estáveis (produtos secundários de oxidação) obtidos por cisão e rearranjo dos peróxidos (epóxidos, compostos voláteis e não voláteis).

Figura 2 - Esquema geral do mecanismo da oxidação lipídica.



onde: RH - Ácido graxo insaturado;  $R^{\bullet}$  - Radical livre;  
 $ROO^{\bullet}$  - Radical peróxido e ROOH - Hidroperóxido

Fonte: Dados do autor (2018).

Coltro e Buratin (2004) relatam ainda que as reações de fotoxidação, nos alimentos, encurtam a vida útil do produto causando desde a desnaturação das proteínas, oxidação e alterações sensoriais.

Uma forma de se evitar a autoxidação de gorduras e óleos seria reduzir a incidência de todos os fatores que a favorecem, mantendo ao mínimo os níveis de energia (temperatura e luz) que provocam o desencadeamento do processo de formação de radicais livres, evitando ao máximo o contato com oxigênio e bloqueando a formação de radicais livres, por meio de antioxidantes, os quais, em pequenas quantidades, atuam interferindo nos processos de oxidação de lipídios (COLTRO; BURATIN, 2004; JORGE; GONÇALVES, 1998).

A indústria alimentícia, ao selecionar o tipo de antioxidante a ser utilizado, analisa as seguintes propriedades: que seja eficaz em baixas concentrações (0,001 a 0,01%), que não altere a cor, odor, sabor e qualquer

característica do produto, fácil manuseio, que seja estável em todos os processos de produção, que não seja tóxico.

Dentre os antioxidantes mais utilizados pela indústria, o BHT que é um antioxidante sintético, possui estrutura fenólica que permite a doação de um próton a um radical livre, fazendo com que regenere a molécula de acilglicerol interrompendo o mecanismo de oxidação por radicais livres. Dessa forma os derivados fenólicos transformam-se em radicais livres, os quais podem se estabilizar sem promover ou propagar reações de oxidação (RAMALHO; JORGE, 2006).



#### **4 CONCLUSÃO GERAL**

O aproveitamento de resíduos provenientes de pisciculturas gera impactos positivos tanto ambientais quanto industriais. A melhor forma de se destinar produtos de descarte é, por meio do desenvolvimento de novos produtos como é o caso da obtenção do óleo de peixe extraído a partir de cabeças de tilápia.. Dessa forma, torna-se relevante avaliar a qualidade e durabilidade do óleo obtido, pelo uso de diferentes temperaturas de extração, simulando sua vida útil com a execução de análises que possam avaliar os processos de oxidação do produto final.



## REFERÊNCIAS

AGUIAR, G. P. S.; LIMBERGER, G. M.; SILVEIRA, E. L. Alternativas tecnológicas para o aproveitamento de resíduos provenientes da industrialização de pescados. **Interdisciplinar**: revista eletrônica da UNIVAR, Barra das Graças, v. 1, n. 11, p. 229-225, jan. 2014.

ARCHER, M.; WATSON, R.; DENTON, J. W. Fish waste production in the United Kingdom –the quantities produced and opportunities for better utilisation. **Seafish Report**, United Kingdom, n. SR537, p. 1-57, Nov. 2001.

ARRUDA, L. **Aproveitamento do resíduo do beneficiamento da tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) para obtenção de silagem e óleo como subprodutos**. 2004. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BARRERA-ARELLANO, D. Estabilidade de óleos e gorduras. **Óleos e Grãos**, S. Caetano do Sul, n. 13, p. 10-13, jul./ago. 1993.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Varela, 1992. 223 p.

BOSCOLO, W. R. et al. Desempenho e características de carcaça de machos revertidos de Tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), linhagens tailandesa e comum, nas fases inicial e de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 1391-1396, set./out. 2001.

BRABO, M. F. et al. Cenário atual da produção de pescado no mundo, no Brasil e no estado do Pará: ênfase na aquicultura. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, Essex, v. 4, n. 2, p. 50-58, 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária- ANVISA. Resolução – RDC Nº 216, de 15 de Setembro de 2004. Estabelece procedimentos de boas Práticas para serviço de alimentação, garantindo as condições higiênico-sanitárias do alimento preparado. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 set. 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto n° 30.691, de 29 de março de 1952. Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 7 jul. 1952. Seção 1, p. 10785.

COLTRO, L.; BURATIN, A. E. P. Garrafas de PET para óleo comestível: avaliação da barreira à luz. **Polímeros: ciência e tecnologia**, São Carlos, v. 14, n. 3, p. 206-211, jul./set. 2004.

CREXI, V. T.; SOUZA SOARES, L. A.; PINTO, L. A. Carp (*Cyprinus carpio*) oils obtained by fishmeal and ensilage processes: characteristics and lipid profiles. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 44, n. 8, p. 1642-1648, Aug. 2009.

FELTES, M. M. C. et al. Alternativas para a agregação de valor aos resíduos da industrialização de peixe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 669-677, 2010.

FIGUEIREDO, G. I. **Elaboração de compósitos de nanohidroxiapatita e colágeno proveniente de resíduos do beneficiamento de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2015. 70 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **The state of food and agriculture. Food aid for food security?** Rome: FAO, 2016. 168 p.

FRYER, G.; ILES, T. D. **The cichlid fishes of the Great Lakes of Africa, their biology and evolution**. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1972. 641 p.

GRUNENVALDT, F. L.; CREXI, V. T.; PINTO, L. A. A. **Refino de óleos de pescado provenientes dos processos de silagem ácida e termomecânico de produção de farinha**. Rio Grande: PIBIC/CNPq/FURG, 2005. 5 p.

GUNSTONE, F. D.; HARWOOD, J. L.; PADLEY, F. B. Marine oils: fish and whale oils. In: GUNSTONE, F. D. **The lipid handbook**. London: Chapman & Hall, 1994. cap. 3, p. 167-171.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Óleos e gorduras. In: \_\_\_\_\_. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. cap. 16, 2008. p. 589-625.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa pecuária municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

JORGE, N.; GONÇALVES, L. A. G. Aditivos utilizados em óleos e gorduras de frituras. **Boletim SBCTA**, Viçosa, v. 32, p. 40, 1998.

JORGE, S. **Desenvolvimento de macarrão a base de pescado lavado, desodorizado (surimi) destinado à alimentação institucional e avaliação da sua qualidade protéica**. 1997. 94 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

KUBITZA, F. Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade. Parte I. **Panorama da Aqüicultura**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 59, p. 44-53, maio/jul. 2000.

LABUZA, T. F. Kinetics of lipid oxidation in foods. **Critical Review in Food Technology**, New York, v. 2, n. 3, p. 355, Oct. 1971.

LANDS, W. E. M. **Fish, omega-3 and human health**. 2. ed. Champaign: AOCS Press, 2005. 220 p.

LIMA, M. F. Ácido Graxo ômega 3 docosahexaenoico (DHA C22:6 n-3) desenvolvimento neonatal: aspectos relacionados a sua essencialidade e suplementação. **Nutrire**, São Paulo, v. 28, p. 65-77, 2004.

LUSTOSA-NETO, A. D. et al. Elaboração, rendimento e custo de almôndegas de tilápia do Nilo e pirarucu cultivados: aplicação na merenda escolar. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, Essex, v. 4, n. 2, p. 101-109, 2016.

MACIEL, E. D. S. et al. Relationship between the price of fish and its quality attributes: a study within a community at the University of São Paulo, Brazil. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 33, n. 3, p. 451-456, jul./set. 2013.

MAHGOUB, O. et al. Fatty acid composition of muscle and fat tissues of Omán Jebel Akhdar goats of different sexes and weights. **Meat Science**, Barking, v. 61, n. 4, p. 381-387, Aug. 2002.

MARTINS, G. I. **Potential extraction of fish oil for biodiesel production**. 2012. 93 p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

MIRANDA, F. F. et al. Processo tecnológico destinado à obtenção de flocos de corvina (*Micropogon furnieri*). In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12., 2003, Pelotas. **Resumos...** Pelotas: UFPel, 2003. 1 CD ROM.

MORAIS, M. M. et al. Estudo do processo de refino do óleo de pescado. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 60, n. 1, p. 23-33, 2001.

NEVES, R. A. M.; MIRA, N. V. M. de; MARQUEZ, U. M. L. Caracterização de hidrolisados enzimáticos de pescado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 1, p. 101-108, jan./mar. 2004.

NUNES, A. J. P. Alimentação para camarões marinhos – parte II. **Panorama da Aqüicultura**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 63, p. 13-23, fev. 2001.

OETTERER, M. et al. Monitoring the sardine, *Sardinella brasiliensis*, fermentation process to obtain anchovies. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 511-517, jul./set. 2003.

OLIVEIRA, M. de. A vez da tilápia. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, n. 249, nov. 2016. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2016/11/18/a-vez-da-tilapia/>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

PACHECO, M. T. B.; BARRERA-ARELLANO, D. Fraccionamiento del aceite de hígado de tiburón azul (*Prionace glauca*) y su estabilización con antioxidantes. **Grasas y Aceites**, Sevilla, v. 45, n. 3, p. 155-160, June 1994.

PEIXOTO, M. R. S.; SOUSA, C. L.; MOTA, E. S. da. Utilização de pescada (*Macrodon ancylodon*) de baixo valor comercial para obtenção de surimi empregado na elaboração de salsicha com sabor de camarão. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 16, n. 99, p. 95-101, 2002.

PESSATTI, M. L. **Aproveitamento dos sub-produtos do pescado**. Itajaí: MAPA, 2001. 130 p.

PIOVESAN, C. H. **Efeito da modificação do estilo de vida sobre a qualidade da dieta em indivíduos com síndrome metabólica**. 2010. 71 p. Dissertação (Mestrado em Medicina e Ciências da Saúde) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

POPMA, T. J., PHELPS, R. P. Status report to commercial tilápia producers on monose x fingerling productions techniques. In: **AQUICULTURA BRASIL**, 10., 1998, Recife. **Anais...** Recife: SIMBRAQ, 1998. p. 127-145.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 755-760, 2006.

RODRIGUES, R. B. et al. Tecnologia de bioflocos no cultivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Acta Tecnológica**, São Luís, v. 10, n. 2, p. 75-89, 2015.

SHAHIDI, F.; SHUKLA, V. K. S. Nontriacylglycerol constituents of fats, oils. **Inform**, Silver Spring, v. 7, n. 11, p. 1227-1232, Nov. 1996.

SOCCOL, M. C. H.; OETTERER, M. Seafood as functional food. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 46, n. 3, p. 443-454, jun. 2003.

STEVANATO, S. B. et al. Avaliação química e sensorial da farinha de resíduo de tilápia na forma de sopa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 567-571, jul./set. 2007.

TESTOLIN, G. **Avaliação da alface hidropônica usando água de piscicultura misturada com diferentes porcentagens de soluções nutritivas**. 2009. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

VAZ, D. S. S. et al. A importância do Ômega 3 para a saúde humana: um estudo de revisão. **Revista Uningá Review**, Maringá, v. 20, n. 2, p. 48-54, out./dez. 2014.

VIDAL, A. M. et al. A ingestão de alimentos funcionais e sua contribuição para a diminuição da incidência de doença. **Cadernos de Graduação - Ciências Biológicas e da Saúde**, Aracaju, v. 1, n. 15, p. 43-52, out. 2012.

VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, G. S. **Produção e caracterização de silagem, farinha e óleo de tilápia e sua utilização na alimentação animal**. São Paulo: Instituto de Pesca, 2006. 19 p.

WARD, O. P. Microbial production of long-chain pufas. **Inform**, Silver Spring, v. 6, n. 6, p. 683-688, 1995.



**SEGUNDA PARTE - ARTIGOS**

**ARTIGO 1 – OBTENÇÃO, REFINO E CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO  
DA CABEÇA DE TILÁPIAS EXTRAÍDO SOB DIFERENTES  
TEMPERATURAS**

**(VERSÃO PRELIMINAR)**

Normas da Revista Científica: Ciência e Tecnologia de Alimentos  
ISSN: 1678-457X

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência dos Alimentos,  
Laboratório de Tecnologia de Pescado, Caixa Postal 3037, 37200-000,  
Lavras/Minas Gerais, Brasil.

\*Autor para correspondência:

Tel: (+55) (35) 3829.1023

E-mail:

## Resumo

Para o crescimento pleno da indústria de pescado, existe uma série de desafios a serem solucionados sendo necessário melhorar a organização do setor produtivo, compartilhando os resultados e os conhecimentos gerados no meio profissional, estimulando a entrada de novas empresas no mercado, aumentando o nível de desenvolvimento tecnológico para reduzir o custo produtivo e melhorar a qualidade do pescado. Dentre as inúmeras espécies de pescado cultivadas, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) se destaca pois a utilização dos resíduos de seu processamento tem contribuído muito para minimizar os danos ambientais decorrentes da atividade. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi a extração do óleo de cabeças de tilápias nilóticas (*Oreochromis niloticus*) empregando três temperaturas diferentes (40°C, 50°C e 60°C) e caracterização química dos óleos bruto e refinado obtidos, por meio dos índices de peróxido, de saponificação, de refração, de acidez, de iodo e perfil de ácidos graxos. Os resultados mostraram que as temperaturas de 40°C, 50°C e 60°C pouco influenciaram na qualidade de óleo e que o maiores índices de significância foram encontrados quando comparados os óleos bruto e refinado.

Palavras-chave: Óleo. Refino. Temperaturas.

### Abstract

For the full growth of the fish industry, there are a number of challenges to be solved, with the need to improve the organization of the productive sector, sharing the results and knowledge generated in the professional environment, stimulating the entry of new companies into the market, increasing the level of technological development to reduce production costs and improve fish quality. Among the many species of fish cultivated, the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) stands out because the use of the residues of its processing has contributed much to minimize the environmental damages resulting from the activity. In this sense, the objective of this work was the extraction of oil of nilotic tilapia heads (*Oreochromis niloticus*) using three different temperatures (40°C, 50°C and 60°C) and chemical characterization of the crude and purified oils obtained by means of the peroxide indices of saponification, refraction, acidity, iodine and fatty acid profile. The results showed that temperatures of 40°C, 50°C and 60°C had little influence on oil quality and that the highest indices of significance were found when compared to crude and purified oils .

**Key-words:** Oil. Purification. Temperatures

## 1. Introdução

Estimativas apontam que a aquicultura será o setor produtor de alimentos que mais crescerá no mundo. Essa atividade é praticada em vários países, sendo uma importante fonte de renda e de proteína animal, com papel bastante relevante na segurança alimentar (FAO, 2011).

Para o crescimento pleno da indústria de pescado, existe uma série de desafios a serem solucionados sendo necessário melhorar a organização do setor produtivo, compartilhando os resultados e os conhecimentos gerados no meio profissional, estimulando a entrada de novas empresas no mercado, aumentando o nível de desenvolvimento tecnológico para reduzir o custo produtivo e melhorar a qualidade do pescado (KUBO, 2014).

Um dos desafios que exige solução urgente é o aproveitamento dos resíduos gerados no beneficiamento do pescado. Esses têm em sua composição uma gama de compostos orgânicos e inorgânicos, que causam impactos ambientais negativos em decorrência do descarte indevido, diretamente no ambiente (FELTES et al, 2010).

Dentre as inúmeras espécies de pescado cultivadas, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) se destaca pois a utilização dos resíduos de seu processamento tem contribuído muito para minimizar os danos ambientais decorrentes da atividade (Oliveira, 2015) e para disponibilizar ao consumidor final produtos derivados com excelente valor nutricional.

A extração do óleo de subprodutos do processamento de tilápia tem sido uma forma bastante interessante de aproveitamento de resíduos sólidos devido aos seus potenciais benefícios à saúde humana. Pode fornecer, por exemplo, ácidos graxos polinsaturados  $\omega$ -3, especialmente dos ácidos graxos eicosapentaenoico (EPA) e docosahexaenoico (DHA) (BLANCO, 2010). Sua utilização na formulação de alimentos e suplementos dietéticos, em especial para fins nutracêuticos (FAO, 2011), pode causar efeitos no perfil lipídico, prevenindo e/ou minimizando o risco de doenças cardiovasculares, diminuindo a hipertensão arterial e os processos inflamatórios (DIN, NEWBY e FLAPAN, 2004).

Apesar de existirem vários estudos sobre a obtenção de óleo de peixe, muito pouco se sabe sobre processos alternativos utilizando resíduos do beneficiamento como matéria-prima. Desta forma, surgem questões simples que precisam ser elucidadas, para viabilizar o processo.

Na extração física do óleo de cabeça de tilápias um dos principais problemas é o controle da temperatura utilizada, pois a temperatura é considerada um dos principais catalisadores do processo de oxidação em óleos e gorduras durante o processamento, causando perdas de nutrientes essenciais (KUBO, 2014).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi extrair o óleo de cabeças de tilápias nilóticas (*Oreochromis niloticus*) empregando três temperaturas

diferentes (40°C, 50°C e 60°C) caracterizando quimicamente os óleos bruto e refinado, por meio dos índices de peróxido, saponificação, acidez e perfil de ácidos graxos.

## 2. Material e métodos

O presente estudo foi realizado na Universidade Federal de Lavras (UFLA) localizada no Município de Lavras – MG. Foram utilizadas as estruturas e equipamentos do Laboratório Central de Análises e da Planta Piloto de Processamento de Pescado, do Departamento de Ciência dos Alimentos DCA.

### 2.1. Matéria-prima

A matéria-prima utilizada foi composta por cabeças provenientes de resíduos da filetagem de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), fornecidas pela Piscicultura Cristalina, localizada na cidade Fartura, São Paulo. Estas foram embaladas a vácuo no local e transportadas por caminhão frigorífico até a Planta Piloto de Processamento de Pescado Laboratório de Tecnologia de Pescado onde foram mantidas em freezer. Ao iniciar o trabalho, as cabeças foram lavadas em água tratada e posteriormente, moídas em moedor elétrico de carne modelo C.A.F. 10I. À massa obtida adicionou-se 0,01%p/p de BHT/Kg. A quantidade total obtida foi dividida em porções de 5g e armazenadas em freezer (-18°C) para posterior extração do óleo.

## 2.2. Extração e obtenção do óleo bruto

A massa total após descongelamento foi dividida em três porções onde foram aplicadas três temperaturas diferentes (40°C, 50°C e 60°C) para extração do óleo bruto da seguinte forma: A cada extração foram descongeladas, sob refrigeração, porções que totalizavam 1 kg de massa de cabeça moída. Após o descongelamento, três porções de massa eram cozidas em banho-maria (em sua respectiva temperatura) durante 60 min (OLIVEIRA, 2015). Ao fim do cozimento, essa massa era transferida para tubos Falcon e centrifugada por 20 min a 10.000 rpm. O óleo bruto sobrenadante era pipetado e congelado para posteriores análises e etapas.

## 2.3. Processo de refino do óleo bruto

Realizou-se o processo de refino do óleo bruto obtido a partir de cabeças de tilápia, executando-se a metodologia adaptada por Moraes et al. (2001) para óleo de pescado, conforme descrito a seguir.

### 2.3.1. Degomagem do óleo bruto

O processo de degomagem visa à remoção, eliminação e inativação de fosfolipídios (também chamados de fosfatídios), proteínas e substâncias coloidais do óleo bruto, além da eliminação de outras impurezas, como sabões e

íons metálicos. Estes componentes devem ser removidos para evitar sua precipitação durante a estocagem do óleo.

Sendo assim, o óleo foi colocado em um béquer e levado para o agitador magnético. Com o auxílio de uma bailarina permaneceu sob agitação constante até que atingisse uma temperatura de 70°C por 30 min.

### 2.3.2. Etapa de Lavagem

Ao estabilizar a temperatura da etapa de degomagem, foram adicionados 3% de água destilada a 70°C continuando sob agitação por 30 min. Ao final desse período, e após a mistura atingir a temperatura ambiente, foi transferida para tubos Falcon e centrifugada a 10.000 rpm/5min para a separação da fase aquosa. O óleo sobrenadante foi pipetado e transferido para um béquer para a próxima fase. Ao final desta etapa o índice de acidez foi mensurado. A partir do resultado desta análise, a etapa de neutralização não foi necessária, pois o produto obtido apresentou índice de acidez mínimo.

### 2.3.3. Clarificação

O óleo obtido na fase de lavagem foi aquecido novamente até que atingisse a temperatura de 80°C, em seguida foram adicionados 2g argila e 0,2 g de carvão ativado para cada 100g de óleo. Com o auxílio de uma bailarina, a

mistura permaneceu em agitação por 30 min. Após esse período foi realizada a filtração com o uso de papel filtro quantitativo.

#### 2.3.4. Secagem

Após a etapa de clarificação o óleo já refinado permaneceu em estufa a 40°C Por 12 h para a secagem de possíveis partículas aquosas que possam não ter sido eliminadas nas fases anteriores.

### 2.4. Caracterização físico-química dos óleos obtidos

Para caracterização química dos óleos foram realizadas análises dos índices de acidez, de saponificação, de peróxido, de refração e de iodo, além do perfil de ácidos graxos. Foram submetidos a essas análises tanto os óleos brutos como os óleos refinados.

#### 2.4.1. Rendimento

A determinação do rendimento do óleo bruto foi feita por diferença de massa, entre o peso da amostra inicial e o peso do óleo após a extração, fornecendo a quantidade de óleo obtida para cada temperatura utilizada. Para expressar o resultado, foram calculadas as médias. O rendimento do óleo refinado foi calculado baseado no volume total de óleo bruto em relação ao volume do óleo refinado obtido, sendo o resultado expresso pelas médias.

#### 2.4.2. Índice de Peróxido

Foram pesadas 1,5 g de amostra, adicionados 6 mL de ácido acético e 4 mL de clorofórmio permanecendo sobre agitação até a dissolução da amostra. Em seguida foi adicionado 0,5 mL de solução saturada de iodeto de potássio recém-preparado. Agitou-se rapidamente e ficou em repouso por 1 minuto ao abrigo da luz. Adicionou-se 10 mL de água e 0,5 mL de solução de amido 1% (previamente solubilizado em água quente). A titulação foi feita com tiosulfato de sódio 0,005 M até a completa descoloração da cor escura. Foi realizado um ensaio em branco nas mesmas condições (AOCS, 2009). Para os cálculos foi utilizada a seguinte fórmula:

$$IP (meq O_2 / kg) = \frac{M_{Na_2S_2O_3} * (volume_{amostra} - volume_{branco}) * 1000}{massa_{amostra}} \quad (1)$$

#### 2.4.3. Índice de Saponificação

Pesou-se 0,8 g de amostra em um balão de fundo redondo. Foram adicionados 10 mL de solução alcoólica de hidróxido de potássio 0,5 M. O balão foi adaptado ao condensador de refluxo e colocado no banho-maria em ebulição por 60 min. Ao final desse período foram adicionadas 2 gotas de indicador fenolftaleína. A titulação foi feita com ácido clorídrico 0,5 M até que a cor

rosada desaparecesse. Foi efetuado um branco nas mesmas condições. Para o cálculo foi utilizada a seguinte fórmula:

$$IS \text{ (mg KOH / g)} = \frac{56,1 * M_{HCl} * (volume_{branco} - volume_{amostra})}{massa_{amostra}} \quad (2)$$

#### 2.4.4. Índice de Acidez

É definido pela quantidade de álcali, expressa em miligramas de KOH por g de amostra que é necessário para atingir o ponto de viragem da titulação da amostra. Este ponto informa o quanto há de ácidos graxos livres, provenientes de triacilgliceróis hidrolisados na amostra original (CUNHA, 2008). A conservação do óleo também é indicada por este índice, sendo que a decomposição dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz, e a rancidez é quase sempre acompanhada pela formação de ácido graxo livre.

Para a análise pesou-se 2 g de amostra em frasco Erlenmeyer. Foram adicionados 25 mL de solução hexano-álcool na proporção de 2:1. Adicionou-se duas gotas do indicador fenolftaleína. Titulou-se com solução de hidróxido de sódio 0,1 M até o aparecimento da coloração rósea, a qual deveria persistir por 30 segundos, foi feito um branco (AOCS, 2009). Para o cálculo usou-se seguinte equação:

$$IA \text{ (mg KOH / g)} = \frac{V * M * F * 56,11}{m} \quad (3)$$

Onde IA é o índice de acidez, V é o volume (mL) gasto de NaOH 0,1 M na titulação da amostra, M é a molaridade de NaOH 0,1 M, F é o fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 M e m é a massa (g) da amostra (óleo de cabeça de tilápia do Nilo).

#### 2.4.5. Índice de iodo

Cerca de 0,2g do óleo foram pesados em vidro de relógio e, logo após, transferidos a erlenmeyer contendo 10 mL de clorofórmio. Ao material foram adicionados 25 mL da solução de Wijs, o qual foi deixado em repouso, ao abrigo de luz, por 30 minutos, após o repouso, adicionaram-se 10 mL de solução de iodeto de potássio (15%) e 100 mL de água recentemente fervida e esfriada. Titulou-se o material com tiosulfato de sódio (0,1N) até fraca coloração amarela. Os resultados foram expressos em gI/100g (AOCS, 2009).

#### 2.4.6. Perfil de ácidos graxos

Os ácidos graxos foram extraídos de acordo com a metodologia de Folch et al. (1957) e metilados segundo METCALFE, SCHMITZ E PELKA, (1966). A análise cromatográfica foi realizada em cromatógrafo a gás (Shimadzu), com detector de ionização de chama (FID) e coluna capilar modelo DB-FFAP

Megabore, com fase estacionária: nitrotereftálico modificado por polietilenoglicol.

#### 2.4.7. Análise estatística

Para avaliação química dos diferentes índices, utilizou-se um delineamento experimentalcasualizado (DIC) com um fatorial 3x2 (3 temperaturas de extração x 2 tipos de armazenamento do óleo), com 4 repetições.

O papel dos ácidos graxos foi avaliado por estatística descritiva sem comparação aprofundada entre os dois tipos de óleo obtidos (bruto e refinado).

Os resultados obtidos foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e teste de média (*Tukey*,  $P < 0,05$ ) para os diferentes tratamentos, utilizando o pacote estatístico Statistical Analysis System (SAS, 2016).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Rendimento dos óleos obtidos

Os resultados obtidos para a análise de rendimento dos óleos bruto e refinado encontram-se na tabela 1 e demonstram que houve diferença significativa ( $P < 0,01$ ) para rendimento quando aplicadas diferentes temperaturas de extração.

Tabela 1 Médias para o rendimento dos óleos bruto e refinado com emprego de diferentes temperaturas de extração

Temperaturas de extração	Rendimento	
	Ob	Or
40°C	43,64aA	21,33aC
50°C	44,88aB	21,18aB
60°C	44,86aB	20,71aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ). Ob=óleo bruto; Or=óleo refinado.

Os maiores rendimentos foram observados para as temperaturas de extração 50 e 60°C (em média 44,70%). Quando o óleo bruto foi extraído a 40°C foi observado um menor rendimento ( $P < 0,01$ ) e, portanto, considerando essa variável isoladamente, podemos concluir que as melhores temperaturas para obtenção do óleo bruto, dentre as testadas, foram 50 e 60°C.

Com as mesmas amostras obtidas para avaliação do rendimento em óleo bruto, determinou-se o rendimento em óleo refinado. E, portanto, para cada óleo bruto extraído em determinada temperatura, foi avaliado o rendimento em óleo refinado.

Da mesma forma que observado acima, houve efeito altamente significativo ( $P < 0,01$ ) da temperatura de extração do óleo bruto, sobre o rendimento em óleo refinado, uma vez que o processo utilizado para refino foi o mesmo.

O maior rendimento em óleo refinado foi observado quando se utilizou a temperatura de extração do óleo bruto de 40° C. Valores intermediários foram encontrados para a extração a 50° C e o pior resultado foi encontrado quando se

utilizou a temperatura de extração do óleo bruto igual a 60° C demonstrando que apesar da quantidade de óleo bruto extraído por meio do emprego das temperaturas de 50 e 60° C ter se destacado, estas temperaturas de extração resultaram em menor quantidade de óleo refinado, quando comparadas à temperatura de extração de 40° C.

### 3.1. Qualidade dos óleos de peixe obtidos

Os resultados obtidos para os índices de peróxidos, saponificação, acidez e iodo encontram-se na tabela 2. É evidente a diferença entre os óleos bruto e refinado para todos os índices avaliados ( $P < 0,01$ ).

Tabela 2 Caracterização química dos óleos bruto e refinado de tilápia com o emprego de diferentes temperaturas de extração

Temperaturas de extração	Índice de Peróxido (meq/kg)		Índice de Saponificação (mg KOH/g)		Índice de Acidez (%)		Índice de Iodo (gI/100g)	
	Ob	Or	Ob	Or	Ob	Or	Ob	Or
40°C	2,52a	2,04a	214,34a	148,51a	1,52a	1,70b	137,84a	185,20a
50°C	2,59a	1,98a	219,86a	143,27a	1,57a	1,74b	136,86a	176,30a
60°C	2,71a	2,09a	192,77a	145,67a	1,58a	0,41a	133,20a	176,01a
CV	9,20	5,76	6,42	2,93	5,24	3,89	1,44	4,60

Ob = Óleo bruto; Or = Óleo refinado.

Em relação ao óleo bruto, pode-se verificar que não houve diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre os valores médios dos diferentes índices (peróxidos, saponificação, acidez e iodo) e que a temperatura de extração do óleo bruto não

influenciou nos valores médios encontrados para os índices de peróxidos, de saponificação, de acidez e de iodo, sendo que os valores variaram de 2,52 a 2,71, 192,77 a 219,86, 1,52 a 1,58 e 133,20 a 137,84, respectivamente para os índices citados acima.

Para o óleo refinado não foi observada diferença significativa ( $P > 0,05$ ) com o uso de diferentes temperaturas de extração sobre os índices de peróxidos, de saponificação e de iodo. Observou-se, entretanto, diferença significativa ( $P < 0,01$ ) para o índice de acidez, sendo que esse índice permite avaliar o estado de conservação do óleo, pois com o passar do tempo pode ocorrer hidrólise, resultando no aparecimento de ácidos graxos livres. O ideal, portanto, é um baixo índice de acidez, inferior a 3%, que é considerado como o limite máximo (ANVISA, 1999).

A temperatura de extração do óleo bruto a 60° C, resultou em um óleo refinado com índice de acidez médio de 0,41% em ácido oleico, extremamente baixo, denotando bom estado de conservação, indicando que o processo de refino, para um óleo bruto extraído a 60° C, elimina grande quantidade dos ácidos graxos livres presentes, resultando em um óleo de melhor qualidade.

Os valores médios obtidos para óleo bruto e refinado, para todos os índices, foram estatisticamente diferentes ( $P < 0,01$ ), para todas as temperaturas de extração, indicando que o processo de refino modificou profundamente as características do óleo e removeu grande quantidade dos ácidos graxos livres e

impurezas, concentrando o percentual de ácidos graxos insaturados que fazem parte do óleo.

Com relação ao índice de peróxido foram encontrados os valores 2,60 meq/kg e 2,03 para os óleos refinado e bruto, respectivamente, sendo que observou-se diferença significativa marcante ( $P < 0,01$ ) entre os óleos bruto e refinado em todas as temperaturas de extração. O índice de peróxido indica, dentre outras coisas, o estágio deteriorativo do óleo e o valor qualitativo da matéria-prima que deu origem ao mesmo. Todos os valores encontrados no presente estudo são bem inferiores ao limite aceitável de 10 meq/kg referenciado para óleos (BORAN, KARAÇAM e BORAN, 2006), indicando mínima oxidação e boa qualidade.

Os peróxidos são os primeiros compostos formados durante o processo de degradação oxidativa dos óleos. Dessa forma, a medida do nível dessas substâncias reflete o estado oxidativo da amostra e, portanto, o seu estado de conservação (ARAÚJO, 2004).

Em um estudo realizado por Oliveira (2015), avaliando índices de peróxidos de óleos brutos e refinados, obtidos a partir das silagens ácidas elaboradas com diferentes frações dos resíduos observou que nos óleos brutos, os valores médios dos índices de peróxidos foram menores para o tratamento T2- 100% de cabeças e após o refino a variação foi de 1,42 meq/kg a 2,08 meq/kg.

O óleo de pescado refinado para consumo humano, para ser considerado de boa qualidade não deve apresentar valor de índice de peróxido superior a 10 meq/kg óleo (BORAN, KARACAM e BORAN, 2006).

Pravinkumar et al. (2015), em um estudo com extração aquosa de óleo de sardinha utilizando o mesmo método do presente estudo, obteve o índice de peróxido de 2,78 mEq/kg para óleo bruto e 2,94 mEq/Kg para o óleo refinado, respectivamente.

O índice de saponificação, por sua vez, pode estabelecer o grau de deterioração e a estabilidade do óleo. Em outras palavras, quanto maior o índice de saponificação, menor o peso molecular dos ácidos graxos presentes. Em média, os índices de saponificação dos óleos brutos (208,99 mg KOH/g) foram superiores àqueles encontrados para os óleos refinados (145,81 mg KOH/g). Para diferentes óleos vegetais comestíveis, a ANVISA (1999) estabelece limites específicos desse índice. Por exemplo, para o óleo de milho está entre 187 – 195. Tomando como base esse exemplo, nota-se, portanto, elevada proporção de ácidos graxos de baixo peso molecular nos óleos brutos e, em contrapartida, elevada proporção de ácidos graxos de alto peso molecular nos óleos refinados.

Segura (2012), em vísceras de peixes de água doce, extraiu e caracterizou óleos e obtendo resultados para os índices de saponificação de 226,49 mgKOH.g-1 para a truta arco-íris; para o pacu foi 237,80 mgKOH.g-1 e para o curimatá foi de 234,23 mgKOH.g-1.

Em um estudo realizado por Carmo (2009), utilizando o mesmo tipo de matéria-prima do presente estudo para extração de óleo, obteve resultados que variaram entre 164,50 a 168,89 mgKOH/g de saponificação.

Pravinkumar et al. (2015), obteve índices de saponificação de óleo extraído de sardinha de 211,9 mg KOH/g para óleo bruto e 213,42 mg KOH/g para óleo refinado do que a anterior, valores bem próximos aos obtidos no presente estudo.

Quanto ao índice de acidez em ácido oleico, o comportamento foi bastante peculiar. Para os óleos extraídos a 40 e 50° C, observou-se que, após o refino, valores médios superiores ( $P < 0,01$ ) para esse índice, porém ainda inferiores aos 3%, considerados como limite máximo (BRASIL, 1997). Quanto à temperatura de extração a 60° C, a diferença entre os valores médios para óleo bruto e refinado foi muito grande, indicando mais uma vez que o processo de refino, para o óleo submetido a essa condição de extração, resulta em um óleo de melhor qualidade, pois quanto maior o índice de acidez, maior a presença de ácidos graxos livres e conseqüentemente, maior o grau de decomposição dos lipídios, pois a acidez alta indica a ação de reações hidrolíticas (MORETTO e FETT, 1998)

A evolução dos níveis de ácidos graxos livres é favorável já que o processo de refinamento procura a redução da acidez (SEGURA, 2012).

Oliveira (2015), ao extrair óleo de tilápia nilótica a partir de silagens ácidas obtidas com o aproveitamento de diferentes tipos de resíduos obteve resultados para o óleo extraído com o uso de 100% cabeças, variando de 2,09 a 2,57 % para óleo bruto e 0,41 a 0,56% para óleo refinado.

Martins (2012), ao extrair o óleo de vísceras de corvina obteve um índice de acidez de 0,19 mgKOH/g, resultado inferior ao do presente estudo, podendo ser justificado pela diferença nas espécie que deu origem ao resíduo.

Com relação ao índice de iodo, os valores médios obtidos para óleo bruto e refinado foram de 135,96 g I/100g e 179,17 g I/100g, respectivamente, indicando que o processo de refino removeu grande quantidade dos ácidos graxos livres e impurezas, concentrando o percentual de ácidos graxos insaturados que fazem parte do óleo.

Os óleos refinados de peixe apresentaram índices de iodo semelhantes ao encontrado na literatura, Barlow e Yong (1996) que reportam valores de 155 mgI<sub>2</sub>/100g, sugerindo essa maior concentração de ácidos graxos polinsaturados.

Pravinkumar et al. (2015), relatou que nas análises do óleo obtido em seu estudo o valor de iodo no óleo refinado reduziu de 223 mgI<sub>2</sub>/100g para 192 mgI<sub>2</sub>/100g o que pode indicar poucas das ligações duplas no óleo saturado, valores esses superiores aos obtidos pelo presente estudo.

Em termos gerais, os índices encontrados indicam que os óleos produzidos apresentaram boa qualidade, dentro dos limites aceitáveis pela

legislação, com mínima oxidação e com baixa proporção de ácidos graxos de baixo peso molecular, possivelmente devido ao processo de extração e refino terem sido adequados, independente da temperatura de extração empregada.

O óleo de peixe, por conter alto nível de ácidos graxos polinsaturados, pode tornar-se instável à deterioração oxidativa a uma velocidade variável, dependendo fortemente das condições de extração e das quantidades detectadas no perfil de ácidos graxos (FUENTES, 2011).

Em geral, o óleo de peixe está ligado à matriz proteica. Conforme relatado por Rubio-Rodríguez et al. (2010), o método de extração aquosa é apropriado quando se utiliza subprodutos de peixe com alto teor de óleo como o uso de cabeças de tilápia do presente estudo.

Rubio-Rodríguez et al. (2010) relataram que o óleo de peixe obtido por extração aquosa é menos exposto a condições de oxidação do que o óleo extraído por outros métodos podendo obter um óleo de alta qualidade proveniente de subprodutos utilizando temperaturas moderadas como por exemplo, as temperaturas empregadas no presente estudo.

Os teores de ácidos graxos (AG), saturados e insaturados, dos óleos de tilápia analisados foram expressos em g/100g (Tabela 3). De um modo geral os valores encontrados apresentaram quantidades consideráveis de ácidos graxos (sobretudo poli-insaturados), com o emprego de diferentes temperaturas,

corroborando os valores médios encontrados para o índice de iodo apresentados previamente.

Tabela 3 Perfil de ácidos graxos dos óleos de cabeça de tilápia extraídos com o emprego de diferentes temperaturas

Ácidos Graxos (AG) (g/100g)	Temperaturas de extração					
	40°C		50°C		60°C	
	Ob	Or	Ob	Or	Ob	Or
<b>AG Saturados</b>						
<b>C14:0 Mirístico</b>	2,69	3,02	2,57	2,99	3,10	3,00
<b>C15:0 Pentadecílico</b>	0,14	1,00	0,23	0,99	0,22	0,78
<b>C16:0 Palmítico</b>	20,79	1,98	19,79	2,10	17,74	2,0
<b>18:0 Esteárico</b>	6,13	8,55	5,98	8,90	7,70	8,66
<b>C20:0 Araquídico</b>	1,00	0,86	1,48	0,80	1,24	0,88
<b>C21:0 Heneicosanóico</b>	1,46	0,68	2,07	0,62	1,96	0,64
<b>C22:0 Behênico</b>	0,22	0,60	0,38	0,60	0,42	0,58
<b>∑AG Saturados</b>	<b>32,43</b>	<b>17,09</b>	<b>32,50</b>	<b>17,40</b>	<b>32,38</b>	<b>16,92</b>
<b>AG monoinsaturados</b>						
<b>C16:1</b>	5,36	3,90	7,40	3,90	6,14	3,79
<b>C22:1n-9</b>	0,22	0,19	0,21	0,19	0,22	0,20
<b>C23:1 n-9</b>	0,23	0,11	0,27	0,12	0,35	0,12
<b>∑AG monoinsaturados</b>	<b>5,81</b>	<b>4,19</b>	<b>7,88</b>	<b>4,21</b>	<b>6,71</b>	<b>4,11</b>
<b>AG Poli-insaturados</b>						
<b>C18:2n-6</b>	16,51	6,82	16,87	6,76	17,81	7,94
<b>C18:3n-3</b>	2,73	1,36	2,70	1,35	2,63	1,31
<b>C20:2</b>	0,49	0,05	0,48	0,05	0,43	0,08
<b>C20:3 n-3</b>	0,77	0,28	0,98	0,29	0,54	0,24
<b>C20:4 n-6 Araquidônico</b>	1,58	0,59	1,26	0,52	1,95	0,59
<b>C20:5 n-3 EPA</b>	0,66	0,15	0,74	0,14	0,69	0,14
<b>C22:6 n-3 DHA</b>	0,76	0,26	0,72	0,22	0,77	0,23
<b>C23: n6</b>	0,55	0,55	0,70	0,70	0,65	0,45
<b>∑AG Poli-insaturados</b>	<b>24,05</b>	<b>10,06</b>	<b>24,46</b>	<b>10,03</b>	<b>25,56</b>	<b>10,99</b>
<b>C 18:1 n-9c</b>	35,17	3,51	39,44	3,19	38,44	3,18
<b>C 18:1 n-9t</b>	2,99	<del>0,50</del>	3,11	<del>0,52</del>	2,43	<del>0,43</del>

Valores médios. Ob = Óleo bruto; Or = Óleo refinado. EPA=Eicosapentaenóico, DHA=Docosahexaenóico

O ácido graxo alfa-linolênico e os poliinsaturados estão presentes em alimentos de origem animal, como peixes, sendo as suas quantidades muito dependentes da dieta a que esses animais foram submetidos (SIMOPOULOS, 2004). Nessa caracterização ficou evidente uma quantidade levemente maior de ácidos graxos poli-insaturados da série ômega-6, provavelmente resultante do perfil lipídico das rações consumidas pelos peixes que originaram esse resíduo.

Essa caracterização mostrou também, diminuições nas quantidades de ácidos graxos durante o processo de refino o que era esperado, pois no óleo refinado as quantidades de ácidos graxos estão menos concentradas. Os ácidos graxos ômega-3 (C18:3 n-3) e ômega-6 (C18:2 n-6) foram melhor preservados após o processo de refino a temperatura de 60°C, o que mostra que temperaturas mais baixas de extração podem não ser tão efetivas quanto a preservação da quantidade de ácidos graxos presentes no óleo obtido, sendo encontrados os seguintes valores para C18:3 n-3 (óleo bruto 2,63 e 1,31 refinado) e para C18:2 n-6 (17,8 óleo bruto e óleo refinado 7,94).

Pesquisas indicam que os ácidos graxos pertencentes à família ômega-3, particularmente o EPA, interferem na produção de prostaglandina trombótica e tromboxano transformados em prostaglandinas antitrombóticas já o ácido graxo DHA é o maior constituinte da porção fosfolipídica das células receptoras e está presente na retina, no cérebro humano e segundo Albertos et al., (2018) a

presença desses ácidos graxos indica uma melhor qualidade nutricional do produto.

Desta forma, considerando todos os métodos de extração de óleo bruto empregados, bem como a qualidade dos óleos obtidos, pode-se inferir que, apesar do rendimento em óleo ter sido um pouco inferior, ao se empregar a temperatura de extração de 60° C, nenhuma alteração negativa da qualidade foi observada, além desse processo resultar em um menor índice de acidez e em uma melhor preservação dos ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa das séries ômega-3 e ômega-6 no óleo refinado.

#### 4. Conclusão

Conclui-se que o emprego de diferentes temperaturas para a extração do óleo de cabeças de tilápias nilóticas foi efetivo, sendo que a avaliação da qualidade dos óleos bruto e refinado demonstrou que a temperatura de 60°C propiciou um óleo de melhor qualidade, principalmente pelo índice de acidez apresentado e pelas quantidades de ácidos graxos.

## 7. Referências Bibliográficas

ALBERTOS, I., MARTIN-DIANA, A. B., JAIME, I., AVENA-BUSTILLOS, R. J., MCHUGH, T. H., TAKEOKA, G. R., ... RICO, D. (2018). Antioxidant effect of olive leaf powder on fresh Atlantic horse mackerel (*Trachurus trachurus*) minced muscle. **Journal of Food Processing and Preservation**, 42, 13397.

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. Champaign, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>. Acesso em: 14 mar. 2018.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. 478 p.

BRASIL. Decreto no 30.691 de 29/03/1952 e Decreto no 2.244 de 04/06/97. RIISPOA - **Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA)**. Brasília-DF.

BARLOW, S.M.; YOUNG, V. World Fish Oils: an Update. **International Fishmeal and Oils Manufacturers Association**, 1996, p. 33-37.

BLANCO, F. J. 2D-NMR reveals different populations of exposed lysine residues in the apoB-100 protein of electronegative and electropositive fractions of LDL particles. *JLipid Res*, v. 51, n. 6, p. 1560-5, Jun 2010.

BORAN, G.; KARAÇAM, H.; BORAN, M. Changes in the quality of fish oils due to storage temperature and time. **Food Chemistry**, London, v. 98, p. 693-698, 2006.

CARMO, J. R. **Qualidade de silagens ácidas de resíduos da filetagem de tilápia (*Oreochromis niloticus*) elaboradas com ácidos orgânicos**. 2009. 157 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

CUNHA, M. E. **Caracterização de biodiesel produzido com misturas binárias de sebo bovino, óleo de frango e óleo de soja**. 2008. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DIN, J. N., NEWBY, D. E., FLAPAN, A. D. Omega 3 fatty acids and cardiovascular disease: fishing for a natural treatment. *BMJ*. 2004; 328(7430):30-5.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Global aquaculture production statistics 2009. Rome: FAO, 2011. 256 p.

FOLCH, J.; LEES, M.; SLOANE-STANLEY, G. H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **The Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 226, n. 1, p. 497-509, May 1957.

FELTES, M. M. C.; CORREIA, J. F. G.; BEIRÃO, L. H.; BLOCK, J. M.; NINOW, J. L.; SPILLER, V. R. Alternativas para a agregação de valor aos resíduos da industrialização de peixe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, Campina Grande, 2010.

FUENTES, P. H. A. **Avaliação da qualidade de óleos de soja, canola, milho e girassol durante o armazenamento**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

KUBO, E. Pescados e derivados. In: MADI, L. F.; REGO, R. (Org.). **Sustentabilidade e sustentação da produção de alimentos no Brasil: agroindústria de alimentos**. Brasília: CGEE, 2014. v. 4. cap. 5, p. 75-84.

MARTINS, G. **Potencial de extração de óleo de peixe para produção de biodiesel**. Cascavel: UNIOESTE, 2012.

METCALFE, L. D., SCHMITZ, A. A., PELKA, J. R. Rapid preparation of fatty acid esters from lipids for gas liquid chromatography. **Anal Chem** 38(3): 514-515. 1966.

MORAIS, M.M.; PINTO, L. A. A.; ORTIZ, S.C.A.; CREXI, V.T.; SILVA, R.L., SILVA, J. D. Estudo do processo de refino do óleo de pescados. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, 2001, v.60, n.1, p.23-33.

MORETTO, E.; FETT, R. Tecnologia de óleos e gorduras vegetais: na indústria de alimentos. São Paulo: Varela, 1998. 150 p.

OLIVEIRA, R. M. E. **Caracterização de óleos e farinhas, obtidos da silagem ácida de resíduos da filetagem de tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras – UFLA, 171 p., 2015.

OLIVEIRA, E., MAIA, C., MARIANO, E., MOURA, S. M. A. **Extração e caracterização do óleo das vísceras do peixe tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) produzido no Açude Castanhão-CE.** Congresso Norte e Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas, Tocantins, 2012.

PRAVINKUMAR, M., EUGIEN, L. X., VISWANATHAN, C., RAFF, S. M. Extraction of fish body oil from *Sardinella longiceps* by employing direct steaming method and its quantitative and qualitative assessment. **Journal of Coastal Life Medicine.** 2015; 3(12): 962-966.

RUBIO-RODRÍGUEZ, N., BELTRÁN, S., JAIME, I., DIEGO, S. M., SANZ, M. T., & ROVIRA, C. J. (2010). Production of omega-3 polyunsaturated fatty acid concentrates: A review. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 11(1), 1-12.

SAS Institute. SAS® University Edition vApp. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2016. Disponível em: [http://www.sas.com/pt\\_br/software/university-edition.html](http://www.sas.com/pt_br/software/university-edition.html). Acesso em: 04 ago. 2017.

SIMOPOULOS, A. P. Omega-6/Omega-3 essential fatty acid ratio and chronic diseases. **Food Rev Inter.** 2004; 20(1):77-90.

SEGURA, J. G. **Extração e Caracterização de Óleos de Resíduos de Peixes de Água Doce.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Paulo, Pirassununga, 2012.



**ARTIGO 2 – EFEITO DO TEMPO DE ARMAZENAMENTO E TIPO DE  
EMBALAGEM SOBRE A QUALIDADE DE ÓLEO PROVENIENTE DA  
CABEÇA DE TILÁPIA DO NILO**

**(VERSÃO PRELIMINAR)**

Normas da Revista Científica: LWT - Food Science and Technology  
ISSN: 0023-6438

<sup>1</sup>Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência dos Alimentos,  
Laboratório de Tecnologia de Pescado, Caixa Postal 3037, 37200-000,  
Lavras/Minas Gerais, Brasil

\*Autor para correspondência:

Tel: (+55) (35) 3829.1023

E-mail:

## RESUMO

A indústria pesqueira colabora para o fornecimento de uma vasta variedade de produtos e subprodutos para o consumo, onde o peixe é o principal componente representando quase 17% do consumo de proteína no mundo. Dentre os peixes a tilápia (*Oreochromis niloticus*) tem sido submetida a vários estudos de aproveitamento, principalmente objetivando aumentar seu consumo. Uma das utilizações mais promissoras para esta parte do resíduo, especificamente, é a obtenção do óleo de peixe ser composto por uma variedade de ácidos graxos (saturados, mono e poli-insaturados) contendo os mesmos tipos de ácidos graxos que outros óleos e gorduras, os quais se diferem apenas em relação ao seu conteúdo de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa. As reações de oxidação ocorrem por formação de radicais livres e se caracterizam por um período de indução, seguido por uma absorção acelerada de oxigênio, e terminam com a produção de peróxidos, ranço, odor e outros produtos de polimerização. O objetivo do presente estudo foi avaliar o comportamento do óleo refinado proveniente de cabeças de tilápia nilótica durante 180 dias de armazenamento em diferentes embalagens (escura e transparente) por meio de análises microbiológicas, físico-químicas e físicas. Conclui-se que o comportamento do óleo refinado durante os 180 dias de armazenamento apresentou uma melhor qualidade quando armazenado em embalagem escura.

**Palavras-chave:** Oxidação. Óleo refinado. Embalagem.

## 1 Introdução

A indústria pesqueira colabora para o fornecimento de uma vasta variedade de produtos e subprodutos para o consumo, onde o peixe é o principal componente (GONÇALVES, 2011), representando quase 17% do consumo de proteína no mundo (SOFIA, 2014).

Esta fonte proteica tem sido muito valorizada devido aos inúmeros benefícios que proporciona à saúde, visto que seus nutrientes apresentam elevada importância fisiológica, metabólica e nutricional (GODOY et al., 2010; OGAWA e MAIA, 1999).

Em resumo destaca-se pela quantidade e qualidade de suas proteínas que contêm todos os aminoácidos essenciais, pela presença de vitaminas e minerais e, sobretudo por ser fonte considerável de ácidos graxos essenciais, da família ômega-3. Estudos apontam que o consumo desses lipídeos auxilia na redução do risco das doenças cardiovasculares e está associado a funções importantes nas fases iniciais do desenvolvimento humano (SARTORI e AMANCIO, 2012).

Dentre os peixes a tilápia (*Oreochromis niloticus*) tem sido submetida a vários estudos de aproveitamento, principalmente objetivando aumentar seu consumo. Na obtenção do filé, que é o principal produto para a comercialização, grandes quantidades de resíduos são produzidas e como o rendimento em filé é

considerado baixo (30 a 35%), a porcentagem de resíduo gerado fica em torno de 65% (GARDUÑO-LUGO et al., 2003).

Um atributo importante do resíduo gerado pela filetagem de tilápias, as cabeças correspondem a 14 a 18%. Uma das utilizações mais promissoras para esta parte do resíduo, especificamente, é a obtenção do óleo de peixe por ser composto por uma variedade de ácidos graxos (saturados, mono e poli-insaturados) (FELTES et al., 2010), alto teor de vitaminas, em especial a vitamina A (LANDS, 2005). De acordo com o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – (BRASIL, 2017), entende-se por "óleo de pescado" o subproduto líquido obtido pelo tratamento de matérias-primas pela cocção a vapor, separado por decantação ou centrifugação e filtração. Permite-se também, o tratamento por simples prensagem e decantação, ou por qualquer outro processo adequado.

Os principais ácidos graxos desta classe são o eicosapentaenoico (EPA) e docosaexaenoico (DHA), responsável por até 26% dos ácidos graxos presentes em óleos de peixe. A utilização de ácidos graxos da série  $\omega$ -3 apresenta grande influência no metabolismo dos triacilgliceróis, nos níveis de colesterol LDL, além da interferência na agregação plaquetária reduzindo o risco de doenças cardiovasculares (GRUNDY, 1994; STANSBY, 1990).

Dado o nível de insaturação dos seus ácidos graxos, os óleos de peixes são muito susceptíveis a processos oxidativos, que comprometem a integridade

das duplas ligações, a concentração e a funcionalidade dos ácidos graxos EPA e DHA, além de colocarem em risco a saúde humana (SHAHIDI, 1998). Para evitar os processos peroxidativos, a embalagem utilizada deve apresentar boa barreira ao oxigênio, à umidade e às radiações luminosas. Quanto mais insaturações possuírem os lipídios, maior deverá ser a proteção da embalagem, preservando a saúde do consumidor (COUTINHO, 2003).

As reações de oxidação ocorrem por formação de radicais livres e se caracterizam por um período de indução, seguido por uma absorção acelerada de oxigênio, e terminam com a produção de peróxidos, ranço, odor e outros produtos de polimerização (BOBBIO e BOBBIO, 1992).

Desse modo o objetivo do presente estudo foi avaliar as características químicas do óleo refinado proveniente de cabeças de tilápia nilótica durante 180 dias de armazenamento em diferentes embalagens (escura e transparente) por meio de análises microbiológicas, físico-químicas e físicas.

## **2 Material e Métodos**

O presente estudo foi realizado na Universidade Federal de Lavras (UFLA) localizada no Município de Lavras – MG. Foram utilizadas as estruturas e equipamentos do Laboratório Central de Análises, da Planta Piloto de Processamento de Pescado, Laboratório de Refrigeração, todos do Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA) e também as estruturas e cromatógrafo no

Departamento de Química (DQI). Os ensaios microbiológicos foram conduzidos no Laboratório de Microbiologia da Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), localizada no município de Alfenas, MG.

## **2.1 Matéria-prima**

A matéria-prima (resíduos) utilizada foi composta por resíduos da filetagem de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) (cabeça), fornecidos pela Piscicultura Cristalina, localizada na cidade Fartura, São Paulo. Os resíduos foram congelados separadamente, embalados a vácuo no local e transportados por caminhão frigorífico até a Planta Piloto de Processamento de Pescado onde foram mantidos em freezer.

## **2.2 Preparação da matéria-prima para a extração do óleo**

Ao iniciar o trabalho, os resíduos foram lavados em água tratada e em seguida moídos em moedor elétrico de carne modelo C.A.F. 10I. À massa obtida adicionou-se 0,01% p/p de BHT/kg (Oliveira, 2015) e armazenadas em freezer (-18°C)

## **2.3 Extração e obtenção do óleo bruto**

Para cada extração foram descongeladas, *overnight* sob refrigeração, porções que totalizavam 1 kg de massa de cabeça moída. Após o descongelamento, a massa foi cozida em banho-maria a temperatura de 60 °C

durante 60 min. Ao fim do cozimento, essa massa foi transferida para tubos Falcon e centrifugada por 20 min a 10000 rpm. O óleo sobrenadante foi pipetado e congelado para posteriores etapas de refino.

## **2.4 Processo de refino do óleo bruto**

O processo de refino do óleo bruto, obtido a partir de cabeças de tilápia, foi executado por meio da metodologia adaptada de Morais et al. (2001) para óleo de pescado.

### *2.4.1 Degomagem do óleo bruto*

O processo de degomagem visa à remoção, eliminação e inativação de fosfolipídios (também chamados de fosfatídios), proteínas e substâncias coloidais do óleo bruto, além da eliminação de outras impurezas, como sabões e íons metálicos. Estes componentes devem ser removidos para evitar sua precipitação durante a estocagem do óleo. Sendo assim, o óleo foi colocado em um béquer e levado para o agitador magnético. Com o auxílio de uma bailarina permaneceu sob agitação constante até que atingisse uma temperatura de 70 °C por 30 min.

#### 2.4.2 *Etapa de Lavagem*

Ao estabilizar a temperatura da etapa de degomagem, foram adicionados 3% de água destilada a 70 °C continuando sob agitação por 30 min. Ao final desse período, e após a mistura atingir a temperatura ambiente, foi transferida para tubos Falcon e centrifugada a 10000 rpm por 5 min para a separação da fase aquosa. O óleo sobrenadante foi pipetado e transferido para um béquer para a próxima fase. Por fim, o índice de acidez foi mensurado e a partir do resultado desta análise, constatou-se que a etapa de neutralização não era necessária, pois o produto obtido apresentou índice de acidez mínimo (< 3 %) de acordo com Brasil (1997).

#### 2.4.3 *Clarificação*

O óleo obtido na fase de lavagem foi aquecido novamente até que atingisse a temperatura de 80 °C, em seguida foram adicionados 2 g argila e 0,2 g de carvão ativado para cada 100 g de óleo. Com o auxílio de uma bailarina, a mistura permaneceu sob agitação por 30 min. Após esse período foi realizada a filtração com o uso de papel filtro quantitativo.

#### 2.4.4 Secagem

Após a etapa de clarificação o óleo já refinado permaneceu em estufa a 40 °C *overnight* para a secagem de possíveis partículas aquosas que possam não ter sido eliminadas nas fases anteriores.

### 2.5 Embalagem e conservação do óleo

O óleo extraído e refinado foi armazenado em frascos plásticos, transparentes e escuros, acondicionados em BOD com temperatura controlada entre 22 e 24 °C com fotoperíodo de 12 h. Os efeitos do tipo de embalagem e do tempo de armazenamento foram avaliados a cada 30 dias totalizando 180 dias.

### 2.6 Análise microbiológica

Foram retiradas assepticamente uma amostra de óleo de cada embalagem em todos os períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias) para a determinação da contagem total de bolores e leveduras e da contagem de coliformes (35 °C e 45 °C).

## 2.7 Análises físico-químicas dos óleos

### 2.7.1 Índice de acidez

Definido pela quantidade de álcali, expressa em miligramas de KOH por g de amostra que é necessário para atingir o ponto de viragem da titulação da amostra. Este ponto informa o quanto há de ácidos graxos livres, provenientes de triacilgliceróis hidrolisados na amostra original (Cunha, Crexi e Pinto, 2009). Para a análise, 2 g de amostra foram pesadas em frasco *Erlenmeyer* e diluídas com 25 mL de solução hexano-álcool na proporção de 2:1. Duas gotas do indicador fenolftaleína foram adicionadas à mistura, que foi titulada com solução de hidróxido de sódio 0,1 M até o aparecimento da coloração rósea, a qual deveria persistir por 30 segundos (AOCS, 1998). Um ensaio em branco foi realizado nas mesmas condições. O índice de acidez foi determinado pela Equação 2:

$$IA \text{ (mg KOH / g)} = \frac{V * M * F * 56,11}{m} \quad (2)$$

Onde IA é o índice de acidez, V é o volume (mL) gasto de NaOH 0,1 M na titulação da amostra, M é a molaridade de NaOH 0,1 M, F é o fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 M e m é a massa (g) da amostra (óleo de cabeça de tilápia do Nilo).

### 2.7.2 Índice de saponificação

O índice de saponificação está relacionado à quantidade relativa de ácidos graxos de alto e baixo peso molecular. Para a realização da análise 0,8 g de amostra foi pesada em um balão de fundo redondo, onde foram adicionados 10 mL de solução alcoólica de hidróxido de potássio 0,5 M. O balão foi adaptado ao condensador de refluxo e colocado no banho-maria em ebulição por 60 min. Ao final desse período foram adicionadas 2 gotas de indicador fenolftaleína e a titulação foi feita com ácido clorídrico 0,5 M até que a cor rosada desaparecesse. Um branco foi realizado nas mesmas condições. No cálculo do índice de saponificação foi utilizada a Equação 3:

$$IS \text{ (mg KOH / g)} = \frac{56,1 * M_{HCl} * (volume_{branco} - volume_{amostra})}{massa_{amostra}} \quad (3)$$

### 2.7.3 Índice de peróxido

O índice de peróxido expressa, em miliequivalentes de oxigênio ativo, a quantidade de peróxido em 1000 g de amostra. Para análise foram pesadas 1,5 g de amostra, adicionados 6 mL de ácido acético e 4 mL de clorofórmio permanecendo sobre agitação até a dissolução da amostra. Em seguida foi adicionado 0,5 mL de solução saturada de iodeto de potássio recém-preparado. Agitou-se rapidamente e a mistura permaneceu em repouso por 1 minuto ao abrigo da luz. Adicionou-se 10 mL de água e 0,5 mL de solução de amido 1%

(previamente solubilizado em água quente). A titulação foi feita com tiosulfato de sódio 0,005 M até a completa descoloração da cor escura. Um ensaio em branco foi feito na mesma condição. Para os cálculos foi utilizada a Equação 4:

$$IP \text{ (meq O}_2 \text{ / kg)} = \frac{M_{Na_2S_2O_3} * (volume_{amostra} - volume_{branco}) * 1000}{massa_{amostra}} \quad (4)$$

#### 2.7.4 Oxidação lipídica

Para a análise de oxidação lipídica foi utilizada a determinação de TBARS (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico), conforme metodologia descrita por Tarladgis et al. (1960) com algumas modificações.

#### 2.7.5 Perfil de ácidos graxos

Os ácidos graxos foram extraídos de acordo com a metodologia de Folch, Lee e Sloane-Stanley (1957) e metilados segundo Metcalfe, Schmitz e Pelka (1966). A análise cromatográfica foi realizada em cromatógrafo a gás (Shimadzu), com detector de ionização de chama (FID) e coluna capilar modelo DB-FFAP Megabore, com fase estacionária: nitrotereftálico modificado por polietilenoglicol.

## 2.8 Análises físicas

### 2.8.1. Densidade

Um balão volumétrico de 10 mL foi pesado vazio e, em seguida, completado com o óleo. Após a aferição do volume, o balão foi pesado cheio. Para o cálculo da densidade ( $\rho$ ), expressa em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ), usou-se a seguinte Equação 1:

$$\rho \text{ (g / cm}^3\text{)} = \frac{\textit{massa}_{\textit{balão cheio}} - \textit{massa}_{\textit{balão vazio}}}{\textit{volume}_{\textit{balão}}} \quad (1)$$

### 2.8.2. Rendimento

A determinação do teor/rendimento de óleo refinado foi feita por diferença de massa, entre o peso da amostra inicial (massa obtida após a moagem das cabeças) e o peso após a etapa final do refino (fração líquida). Para expressar o resultado, os dados foram transformados em porcentagem, em relação ao peso inicial da matéria-prima.

### 2.8.3. Determinação da cor

A determinação da cor, foi realizada segundo James e Berry (1997), em colorímetro CM-5 Konica Minolta (reflectância, 30mm SCI – brilho incluído), operando no sistema CIE (Comission Internationate de L'Eclairage), para medir os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ . Para o cálculo do ângulo *Hue* os valores  $a^*$  e  $b^*$

foram convertidos conforme a Equação:  $H_{ue} = \tan^{-1} (b^*/a^*)$  e o cálculo da saturação (Croma C) conforme a Equação  $CromaC = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ .

#### 2.8.4. *Comportamento reológico*

O teste reológico foi realizado na temperatura de 25 °C usando o reômetro HAAKE Rheostress 6000 (ThermoScientific, Karlsruhe, Alemanha), equipado com banho termostático HAAKE A10 (ThermoScientific) e um sistema de controle de temperatura universal HAAKE UTM Controller (ThermoScientific). Um conjunto de sensores de geometria de cilíndricos concêntricos (copo CCB25 DIN e rotor CC25 DIN Ti) com um gap de 5,3 mm e um volume de 16.1 mL para cada amostra foram utilizados.

Para quebrar a tixotropia, eliminando a influência do tempo no comportamento do escoamento dos óleos de tilápia, cada amostra foi submetida a uma rampa contínua de taxa de deformação na faixa de 0 a 300 s<sup>-1</sup>, durante 2 minutos para a curva ascendente e 2 minutos para a curva descendente. Após este procedimento, gerou-se a curva de fluxo, para a caracterização reológica de cada amostra, por meio da aplicação de uma curva de escoamento variando-se a taxa de deformação de 0 a 300 s<sup>-1</sup> por 3 minutos. Os modelos Lei de Newton (Eq. 5), Lei da Potência (Eq. 6) e *Herschell-Buckley* (Eq. 7) foram ajustados aos dados experimentais das curvas de fluxo.

$$\sigma = \mu \dot{\gamma} \quad (5)$$

$$\sigma = K \dot{\gamma}^n \quad (6)$$

$$\sigma = \sigma_0 + K \dot{\gamma}^n \quad (7)$$

Onde  $\sigma$  é a tensão de cisalhamento (Pa),  $\mu$  é a viscosidade Newtoniana (Pa·s),  $\dot{\gamma}$  é a taxa de deformação ( $s^{-1}$ ),  $K$  é o índice de consistência (Pa·s<sup>n</sup>),  $n$  é o índice de comportamento de fluxo (adimensional), e  $\sigma_0$  é a tensão inicial (Pa).

## 2.9 Análise estatística

Os resultados obtidos foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e teste de média (*Tukey*,  $P < 0,05$ ) para os diferentes tratamentos, e por análise de variância (ANOVA) seguida de regressão em casos significativos ( $P < 0,05$ ) para os diferentes tempos, utilizando o pacote estatístico Statistical Analysis System (SAS University Edition, Cary, USA, 2016). A Análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicada ao conjunto de dados referentes ao perfil de ácidos graxos, a fim de facilitar a visualização dos dados. Os dados foram dispostos em uma matriz de  $i$  linhas (3 tratamentos) e  $j$  colunas (28 ácidos graxos). Os dados foram padronizados (matriz de correlação) e submetidos a PCA por meio do software Sensomaker versão 1.8 (Pinheiro, Nunes e Vietoris, 2013). Os modelos foram ajustados aos dados experimentais das curvas de fluxo por meio do programa estatístico SAS University (2016) e os gráficos foram

plotados usando o programa SigmaPlot 11.0 (Systat Software Inc., Califórnia, EUA, 2008).

### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Análises microbiológicas

Nas análises microbiológicas, para a detecção de bolores, leveduras e coliformes (35 °C e 45 °C), não foi verificada a presença destes para todos os tratamentos analisados em todos os tempos de armazenamento (Tabela 1).

#### Tabela 1

Análises microbiológicas do óleo obtido de cabeças de tilápia acondicionados em diferentes embalagens ao longo do período de armazenamento.

Tratamento	Tempo de armazenamento 0 - 30 - 60 - 90 - 120 - 150 - 180 (dias)		
	Bolores e Leveduras (UFC/g)	Coliformes 35°C (NMP/g)	Coliformes 45°C (NMP/g)
<b>F<sub>t</sub></b>	-	< 3	< 3
<b>F<sub>e</sub></b>	-	< 3	< 3

F<sub>t</sub> = frasco transparente, F<sub>e</sub> = frasco escuro, (-) = Ausência.

O regulamento técnico sobre padrões microbiológicos de produtos à base de pescado de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), por meio da Resolução - RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001, para Coliformes 35 °C e 45 °C é de no máximo 10<sup>3</sup> NMP/g (ANVISA, 2001). A Legislação Brasileira não especifica nem cita limites de tolerância, detecção e quantificação de fungos filamentosos e leveduras. Aguiar e Goulart (2014), ao

analisarem microbiologicamente a produção de óleo, proveniente de resíduos de escamas e de couro da região do Araguaia, obtiveram resultados negativos para coliformes a 35 °C e 45 °C. Quanto aos bolores e leveduras, foi observado um crescimento de  $1,58 \times 10^5$  UFC/g na amostra acondicionada a 24°C por 5 dias.

Os resultados encontrados no presente trabalho demonstram que durante todo o processo, desde a recepção da matéria prima, obtenção e refino do óleo bem como durante o período de armazenamento, a qualidade microbiológica foi preservada demonstrando que em condições de armazenamento adequadas com controle de temperatura e condições higiênicas satisfatórias, o produto obtido torna-se seguro e livre de contaminações.

### *3.2 Análises físico-químicas e químicas*

Na Tabela 2 encontram-se os resultados das análises físico-química (densidade) e químicas (índice de acidez, índice de saponificação, índice de peróxido e oxidação lipídica) dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempo de armazenamento. Com base nos resultados foi constatada a influência ( $p < 0,05$ ) do tempo de armazenamento sobre a densidade, índice de peróxido e oxidação lipídica das amostras. Em relação ao índice de acidez tanto a embalagem como o tempo de armazenamento apresentaram efeito ( $p < 0,05$ ) sobre as amostras analisadas. Já o índice de saponificação não apresentou

diferença estatística em seus valores ( $p > 0,05$ ) ao longo do armazenamento e em relação ao tipo de frasco usado para o acondicionamento do óleo refinado.

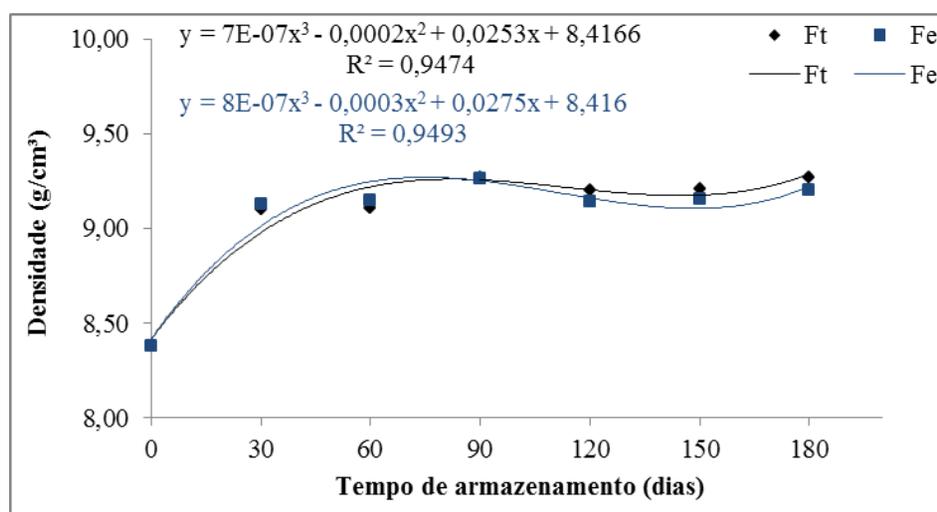
**Tabela 2**

Caracterização físico-química dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento.

Análises	Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)							P > F
		0	30	60	90	120	150	180	
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	F <sub>t</sub>	0,8377 <sup>a</sup> (±0,016)	0,9102 <sup>a</sup> (±0,023)	0,9105 <sup>a</sup> (±0,018)	0,9273 <sup>a</sup> (±0,032)	0,9204 <sup>a</sup> (±0,018)	0,9207 <sup>a</sup> (±0,012)	0,9272 <sup>a</sup> (±0,022)	0,0201*
	F <sub>e</sub>	0,8377 <sup>a</sup> (±0,016)	0,9130 <sup>a</sup> (±0,014)	0,9149 <sup>a</sup> (±0,036)	0,9262 <sup>a</sup> (±0,021)	0,9145 <sup>a</sup> (±0,038)	0,9156 <sup>a</sup> (±0,027)	0,9200 <sup>a</sup> (±0,010)	0,0191*
Índice de Acidez (%)	F <sub>t</sub>	1,263 <sup>a</sup> (±0,003)	1,297 <sup>a</sup> (±0,038)	1,331 <sup>a</sup> (±0,041)	1,292 <sup>a</sup> (±0,006)	1,334 <sup>a</sup> (±0,008)	1,393 <sup>b</sup> (±0,111)	1,458 <sup>b</sup> (±0,010)	0,0185*
	F <sub>e</sub>	1,263 <sup>a</sup> (±0,003)	1,296 <sup>a</sup> (±0,035)	1,314 <sup>a</sup> (±0,011)	1,223 <sup>a</sup> (±0,025)	1,299 <sup>a</sup> (±0,006)	1,115 <sup>a</sup> (±0,076)	1,097 <sup>a</sup> (±0,120)	0,0475*
Índice de Saponificação (mg KOH/g)	F <sub>t</sub>	54,646 <sup>a</sup> (±1,022)	64,626 <sup>a</sup> (±2,673)	78,861 <sup>a</sup> (±3,324)	47,286 <sup>a</sup> (±3,470)	52,885 <sup>a</sup> (±2,902)	51,229 <sup>a</sup> (±1,806)	56,897 <sup>a</sup> (±0,776)	0,4368
	F <sub>e</sub>	54,646 <sup>a</sup> (±1,022)	64,298 <sup>a</sup> (±2,431)	69,608 <sup>a</sup> (±1,501)	44,525 <sup>a</sup> (±3,271)	51,601 <sup>a</sup> (±2,482)	48,189 <sup>a</sup> (±2,928)	54,781 <sup>a</sup> (±1,107)	0,3615
Índice de Peróxido (meq/kg)	F <sub>t</sub>	0,618 <sup>a</sup> (±0,230)	0,830 <sup>a</sup> (±0,278)	1,249 <sup>a</sup> (±0,428)	2,059 <sup>a</sup> (±0,274)	2,992 <sup>a</sup> (±0,474)	3,587 <sup>a</sup> (±0,436)	6,050 <sup>a</sup> (±0,363)	0,0005*
	F <sub>e</sub>	0,618 <sup>a</sup> (±0,230)	0,745 <sup>a</sup> (±0,070)	0,903 <sup>a</sup> (±0,267)	1,593 <sup>a</sup> (±0,276)	2,924 <sup>a</sup> (±0,153)	3,524 <sup>a</sup> (±0,377)	5,720 <sup>a</sup> (±0,430)	0,0002*
Oxidação Lipídica (mg MDA/kg)	F <sub>t</sub>	0,063 <sup>a</sup> (±0,021)	1,089 <sup>a</sup> (±0,065)	1,948 <sup>a</sup> (±0,179)	2,451 <sup>a</sup> (±0,079)	2,832 <sup>a</sup> (±0,031)	2,958 <sup>a</sup> (±0,016)	3,607 <sup>a</sup> (±0,021)	0,0003*
	F <sub>e</sub>	0,063 <sup>a</sup> (±0,021)	0,868 <sup>a</sup> (±0,034)	1,392 <sup>a</sup> (±0,043)	1,827 <sup>a</sup> (±0,138)	2,097 <sup>a</sup> (±0,032)	2,422 <sup>a</sup> (±0,084)	2,909 <sup>a</sup> (±0,049)	0,0001*

Valores médios ± desvio padrão (n = 5). Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste *Tukey* ( $P > 0,05$ ). \*Significativo ( $P < 0,05$ ) na linha. F<sub>t</sub> = Frasco transparente e F<sub>e</sub> = Frasco escuro.

A densidade do óleo de tilápia do Nilo aumentou em relação ao período de armazenamento. Em geral, os valores variaram de 0,8377 a 0,9272 g/cm<sup>3</sup> para o óleo acondicionado em frasco transparente e de 0,8377 a 0,9200 g/cm<sup>3</sup> para o óleo acondicionado em frasco escuro. Menegazzo, Petunuci e Fonseca (2014), em pesquisa com óleos provenientes de resíduos de tilápia do Nilo, afirmaram que estes valores são característicos de óleos. Os modelos de regressão ajustados com os respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), para os resultados desta variável em relação ao tempo de armazenamento, encontram-se na Figura 1.



**Figura 1** Densidade dos óleos de tilápia ao longo do tempo de armazenamento. Ft = Frasco transparente e Fe = Frasco escuro.

O aumento nos valores de densidade, segundo Nunes (2013), está relacionado ao processo de oxidação lipídica dos ácidos graxos. Com a evolução das reações de degradação de um óleo as quebras das ligações duplas originam

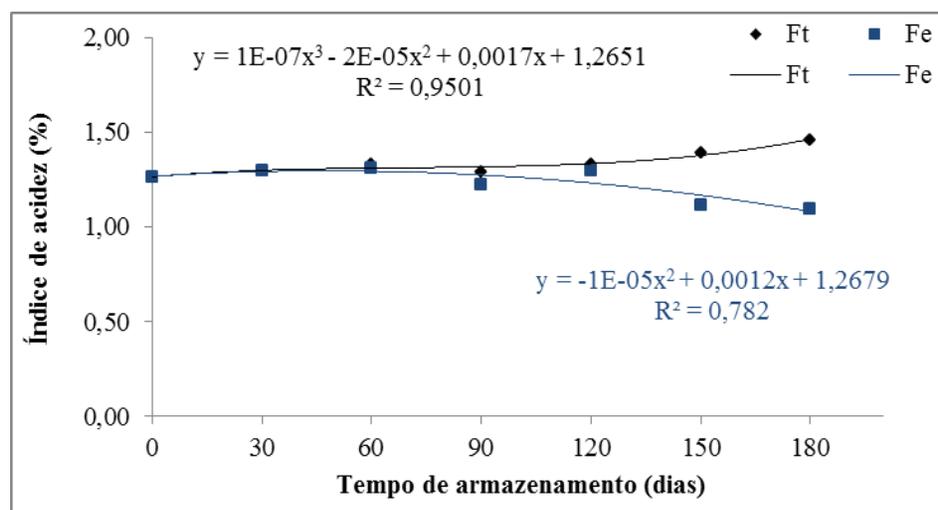
moléculas mais saturadas, facilitando o agrupamento espacial, assim, a quantidade de moléculas por unidade de volume aumenta na composição do óleo, resultando no aumento da densidade (Damodaran, Parkin e Fennema, 2010).

A conservação do óleo também é indicada pelo índice de acidez. Os valores correspondentes para o índice de acidez demonstraram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) ao longo dos 180 dias de armazenamento e para os diferentes frascos após 150 dias (Tabela 2). Este índice está relacionado com a quantidade de hidróxido de potássio em miligramas necessários para neutralizar os ácidos graxos livres em um grama de amostra, e de acordo com o Regulamento e Inspeção Industrial e Sanitária de produtos de Origem (RIISPOA), o óleo de pescado deve apresentar no máximo 3% de acidez de ácido oleico livre (BRASIL, 2017).

Neste sentido os valores encontrados para acidez no presente trabalho variaram, em geral, de 1,3 a 1,5% de ácido oleico, o que indica que as condições experimentais (embalagem e ambiente) podem ter evitado a ocorrência da hidrólise dos triglicerídeos. Menegazzo, Petunuci e Fonseca (2014), determinaram valor de índice de acidez de 1,12% para óleos provenientes de resíduos oriundos de tilápia do Nilo.

Santos et al. (2001) classificam os óleos em: Tipo I para valores de índice de acidez abaixo de 1%; Tipo II para índice de acidez de no máximo

2,5%; e Tipo III para índice de acidez acima de 2,5%. Desta forma, é possível classificar os óleos refinados obtidos neste estudo em Tipo II ( $1,3 < IA < 1,5\%$ ). Conforme descrito por Moretto e Fett (1998), estes índices estão diretamente ligados a qualidade e a natureza da matéria-prima, a qualidade da gordura, ao tipo de processamento e a conservação deste óleo. Na Figura 2 estão representadas as curvas de variação da acidez do óleo refinado obtido em função do tempo de armazenamento.



**Figura 2** Índice de acidez dos óleos de tilápia ao longo do tempo de armazenamento. Ft = Frasco transparente e Fe = Frasco escuro.

Por meio da Figura 2 é possível notar visualmente que o óleo presente em frasco transparente apresentou maiores valores de índice de acidez após 150 dias de armazenamento, demonstrando uma menor proteção ao produto ao longo do tempo. De acordo com Cunha, Crexi e Pinto (2009), a decomposição dos

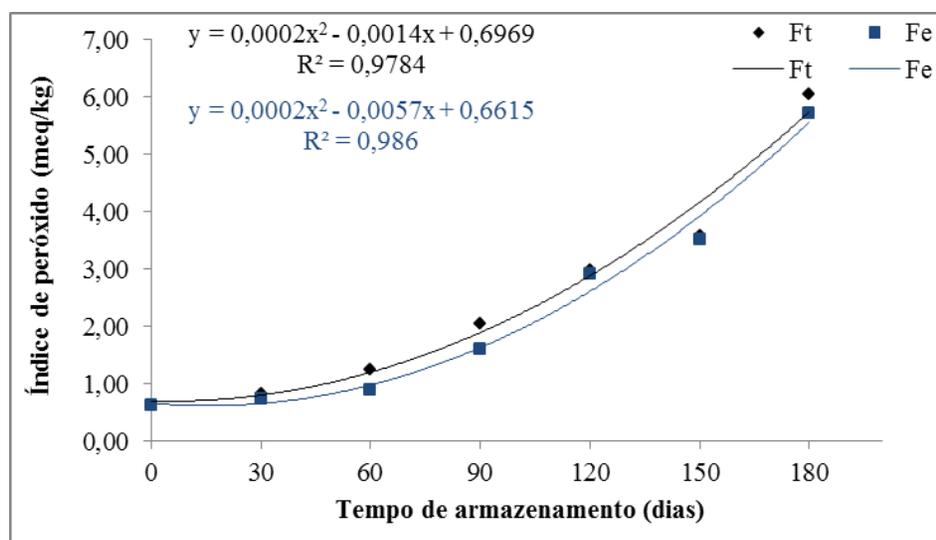
glicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz, e a rancidez é quase sempre acompanhada pela formação de ácido graxo livre.

Em relação ao índice de saponificação, os teores encontrados mantiveram-se entre 54 e 79 mg KOH/g, valores abaixo aos encontrados por Campestre (2007) que determinaram índices entre 189 a 193 mg KOH/g para óleo de peixe. Souza, Melo Filho e Barreto (2007), também encontraram valor superior de índice de saponificação de 189,34 mg KOH/g em óleo de peixe por extração a frio. Por ser um indicativo da qualidade do óleo, os valores obtidos quando comparados com outros estudos demonstram que possivelmente o grau de deterioração e estabilidade do óleo de tilápia não foi tão prejudicado pela embalagem e tempo de armazenamento. Em adição, Menegazzo, Petunuci e Fonseca (2014) afirmam que baixos índices de saponificação são indicativos de que o processo de refino do óleo bruto foi realizado corretamente.

Os peróxidos são os primeiros compostos formados durante o processo de degradação oxidativa dos óleos, assim, a medida do nível dessas substâncias reflete o estado oxidativo da amostra e, portanto, o seu estado de conservação (Machado, Chaves e Antoniassi, 2006). Os índices de peróxido dos óleos apresentaram aumento ( $p < 0,05$ ), independentemente do frasco analisado, ao longo do período de armazenamento. Os valores determinados variaram entre 0,618 e 6,050 meq/kg de amostra, no entanto, o limite de peróxido referido por EFSA (2010) é de 3 a 20 meq/kg de amostra. Em adição, estes valores

encontram-se abaixo do nível exigido para consumo humano de 8 meq/kg de amostra (Boran, Karaçam e Boran, 2006); superior aos índices relacionados aos óleos obtidos por ensilagem (2,8 meq/kg) ou extraídos da farinha de peixe (3,5 meq/kg) (Crexi, Souza e Pinto, 2009); e próximos ao valor encontrado por Menegazzo, Petunuci e Fonseca (2014) que obtiveram o 5,60 meq/kg de óleos de resíduos de tilápia.

A Figura 3 representa o comportamento do índice de peróxido ao longo dos 180 dias de armazenamento.

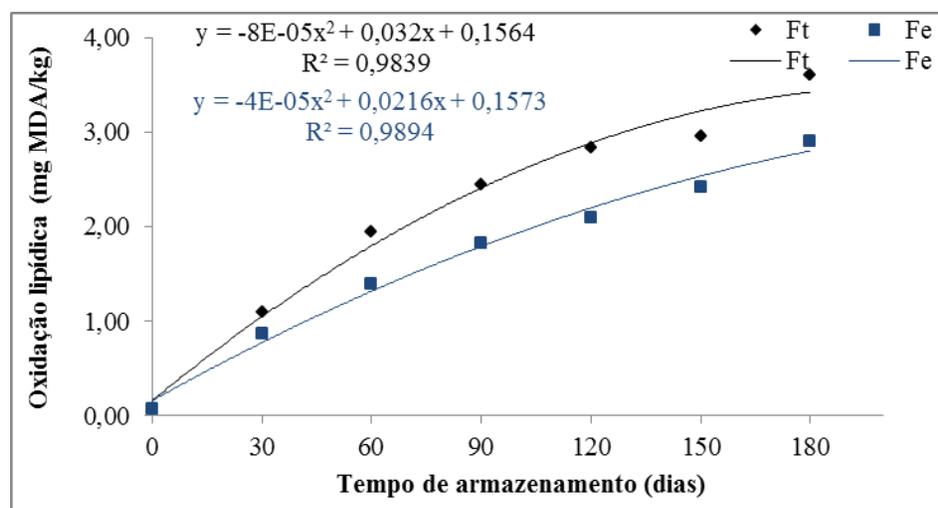


**Figura 3** Índice de peróxido dos óleos de tilápia ao longo do tempo de armazenamento. Ft = Frasco transparente e Fe = Frasco escuro.

Conforme descrito por Araújo (2015), na maioria das vezes as condições de armazenamento e a manipulação do produto durante o processamento podem influenciar na sua qualidade, minimizando possíveis deteriorações ou aumentando a vida útil do produto. Por serem produtos primários da oxidação, os peróxidos se degradam facilmente dando origem a produtos secundários como cetonas, aldeídos, álcoois entre outros. Portanto, um baixo índice de peróxido não significa que realmente há uma boa estabilidade oxidativa.

Durante o processo oxidativo ocorre a formação de malonaldeído. Considerado como um dos principais produtos de decomposição dos hidroperóxidos de ácidos graxos poliinsaturados, pode ser quantificado pela análise de TBARS, substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (St Angelo et al.,

1996). Na Tabela 2 e Figura 4, verifica-se que o período de armazenamento exerceu efeito ( $p < 0,05$ ) sobre a oxidação lipídica das amostras.



**Figura 4** Oxidação lipídica dos óleos de tilápia ao longo do tempo de armazenamento. Ft = Frasco transparente e Fe = Frasco escuro.

A legislação vigente não indica um limite de oxidação lipídica avaliada pelo índice de TBARS para produtos a base de pescado. No entanto, Araújo (2015) afirma que a oxidação é responsável por uma série de alterações que proporcionam: perda do valor nutricional; rejeição do produto devido às mudanças nas suas características sensoriais (surgimento de odor e sabor de ranço); e, eventualmente, formação de compostos tóxicos (aldeídos, cetonas, álcool, ácidos e hidrocarbonetos). As concentrações de malonaldeído dos óleos, variaram entre 0,063 a 3,607 mg MDA/kg (frasco transparente) e entre 0,063 a 2,909 mg MDA/kg (frasco escuro). Segundo Al-Kahtani et al. (1996), produtos

derivados de pescado podem ser considerados inapropriados quando apresentarem valores acima de 3 mg MDA/kg de amostra. Portanto, mesmo que estatisticamente tenha sido considerado que não houve diferença ( $p > 0,05$ ) entre os óleos acondicionados nos diferentes frascos, é possível afirmar que o frasco escuro pode ser considerado mais apropriado para o armazenamento dos óleos de cabeça de tilápia.

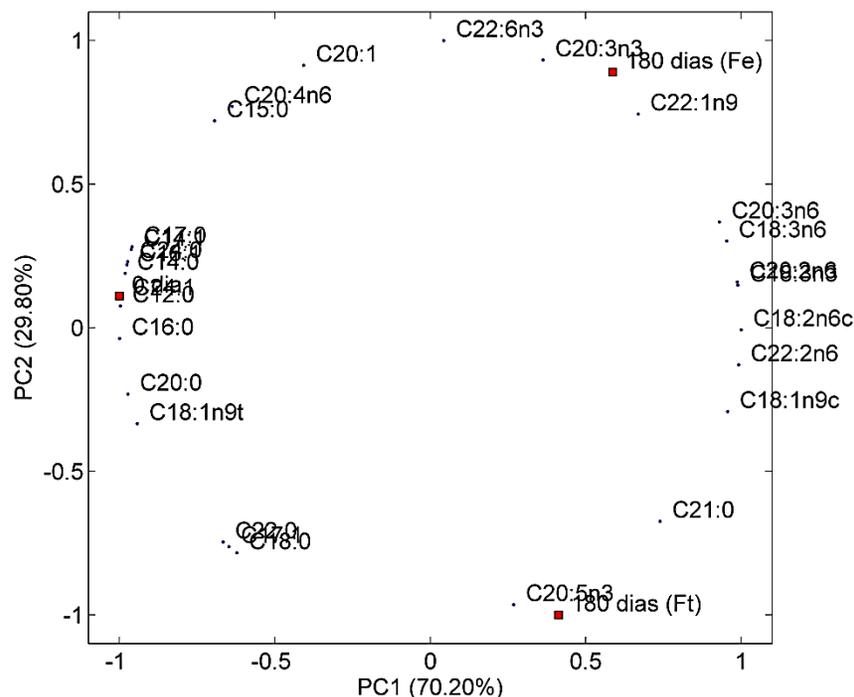
Os teores de ácidos graxos (AG), saturados e insaturados, dos óleos de tilápia analisados foram expressos em g/100g (Tabela 3). De modo geral, os óleos apresentaram quantidades consideráveis de ácidos graxos ao longo do período de armazenamento. Ao todo 28 ácidos graxos foram identificados para o óleo refinado. A exploração adicional do perfil de ácidos graxos foi realizada pela PCA (Figura 5).

**Tabela 3**

Perfil de ácidos graxos dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento.

Ácidos Graxos (AG) (g/100g)	Tempo de armazenamento (dias)		
	0	F <sub>t</sub> 180	F <sub>e</sub> 180
<b>C12:0 Láurico</b>	0,078 (±0,012)	0,064 (±0,008)	0,064 (±0,003)
<b>C14:0 Mirístico</b>	3,530 (±0,071)	3,024 (±0,025)	3,074 (±0,042)
<b>C14:1 Miristoléico</b>	0,221 (±0,002)	0,189 (±0,002)	0,195 (±0,001)
<b>C15:0 Pentadecílico</b>	0,182 (±0,009)	0,175 (±0,003)	0,180 (±0,007)
<b>C16:0 Palmítico</b>	24,552 (±0,273)	24,155 (±0,170)	24,086 (±0,100)
<b>C16:1 Palmitoléico</b>	5,537 (±0,061)	4,957 (±0,025)	5,033 (±0,026)
<b>C17:0 Margárico</b>	0,289 (±0,001)	0,267 (±0,011)	0,271 (±0,019)
<b>C17:1 Margaroléico</b>	0,251 (±0,002)	-	0,229 (±0,009)
<b>C18:0 Esteárico</b>	6,090 (±0,021)	6,081 (±0,005)	5,917 (±0,031)
<b>C18:1n9t Oléico <i>trans</i></b>	0,509 (±0,007)	0,481 (±0,006)	0,459 (±0,013)
<b>C18:1n9c Oléico <i>cis</i></b>	36,845 (±0,065)	37,104 (±0,015)	37,051 (±0,146)
<b>C18:2n6c Linoléico <i>cis</i></b>	15,215 (±0,055)	16,590 (±0,039)	16,748 (±0,019)
<b>C18:3n3 <math>\alpha</math>-Linolênico</b>	0,851 (±0,013)	0,969 (±0,051)	1,010 (±0,035)
<b>C18:3n6 <math>\gamma</math>-Linolênico</b>	0,937 (±0,024)	0,985 (±0,022)	1,017 (±0,019)
<b>C20:0 Araquídico</b>	0,247 (±0,009)	0,239 (±0,001)	0,236 (±0,001)
<b>C20:1 Gadoléico</b>	1,628 (±0,010)	1,603 (±0,053)	1,628 (±0,066)
<b>C20:2n6 Eicosadienóico</b>	0,685 (±0,025)	0,739 (±0,039)	0,758 (±0,008)
<b>C20:3n3 Dihomo <math>\alpha</math>-Linolênico</b>	0,126 (±0,002)	0,119 (±0,007)	0,147 (±0,003)
<b>C20:3n6 Dihomo <math>\gamma</math>-Linolênico</b>	0,651 (±0,043)	0,658 (±0,001)	0,665 (±0,004)
<b>C20:4n6 Araquidônico</b>	0,850 (±0,007)	0,794 (±0,019)	0,835 (±0,011)
<b>C20:5n3 EPA</b>	0,034 (±0,018)	0,043 (±0,020)	0,033 (±0,013)
<b>C21:0 Heneicosanóico</b>	0,033 (±0,009)	0,037 (±0,001)	0,035 (±0,010)
<b>C22:0 Behênico</b>	0,258 (±0,003)	0,237 (±0,003)	0,074 (±0,023)
<b>C22:1n9 Erúico</b>	0,052 (±0,020)	0,053 (±0,001)	0,061 (±0,009)
<b>C22:2n6 Docosadienóico</b>	0,020 (±0,002)	0,026 (±0,008)	0,026 (±0,006)
<b>C22:6n3 DHA</b>	0,341 (±0,020)	0,331 (±0,002)	0,350 (±0,007)

Valores médios  $\pm$  desvio padrão (n = 2). EPA = Eicosapentaenóico, DHA = Docosaheptaenóico, F<sub>t</sub> = Frasco transparente e F<sub>e</sub> = Frasco escuro.



**Figura 5** Análise de componentes principais (PCA) para o perfil de ácidos graxos dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento. F<sub>t</sub> = Frasco transparente e F<sub>e</sub> = Frasco escuro.

Dentre os ácidos graxos encontrados, o ácido oleico *cis* (C18:1n9c) foi majoritário com 36,845 a 37,104%, seguido do ácido palmítico (C16:0) com 24,086 a 24,086 e linoléico *cis* (C18:2n6c) com 15,215 a 16,748%. Em geral, houve discreto decréscimo dos valores de ácidos graxos após 180 dias de armazenamento. Em adição, o frasco escuro pode ser considerado como melhor recipiente para a armazenagem dos óleos, uma vez que por meio do PCA é possível constatar melhores resultados em comparação ao frasco transparente.

Na Tabela 4 está representado a composição dos ácidos graxos dos óleos de tilápia refinados. Albertos et al. (2018) mencionaram que quanto maiores os valores de AGMI (ácidos graxos monoinsaturados) e AGPI (ácidos graxos poliinsaturados), melhor a qualidade do nutricional do produto. Segundo os mesmos autores, os AG pertencentes à família ômega-3, como o ácido  $\alpha$ -linolênico (C18: 3n3) e, particularmente, o ácido eicosapentaenóico (EPA) e o ácido docosahexaenóico (DHA), devem receber mais atenção. Foi possível identificar o ácido  $\alpha$ -linolênico, o EPA e o DHA nos óleos obtidos, mesmo que em pequenas quantidades.

**Tabela 4**

Composição dos ácidos graxos dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento.

Ácidos Graxos (AG) (g/100g)	Tempo de armazenamento (dias)		
	0	F <sub>t</sub> 180	F <sub>e</sub> 180
$\Sigma AGS$	35,362	34,361	34,022
$\Sigma AGMI$	45,060	44,616	44,227
$\Sigma AGPI$	19,710	21,254	21,589
$\Sigma AGPI / \Sigma AGS$	0,557	0,618	0,635
$\Sigma n6$	18,358	19,792	20,049
$\Sigma n3$	1,352	1,462	1,540
$\Sigma n6 / \Sigma n3$	13,580	13,538	13,019
<i>EPA + DHA</i>	0,375	0,374	0,382
<i>Índice de Aterogenicidade (IA)</i>	0,598	0,551	0,552
<i>Índice de Trombogenicidade (IT)</i>	0,953	0,907	0,896

$\Sigma AGS$  = Somatório dos ácidos graxos saturados,  $\Sigma AGMI$  = Somatório dos ácidos graxos monoinsaturados,  $\Sigma AGPI$  = Somatório dos ácidos graxos poliinsaturados,  $\Sigma n6$  = Somatório dos ácidos graxos da família ômega 6,  $\Sigma n3$  = Somatório dos ácidos graxos da família ômega 3, EPA = Eicosapentaenóico, DHA = Docosahexaenóico, F<sub>t</sub> = Frasco transparente e F<sub>e</sub> = Frasco escuro.

De acordo com o Wood et al. (2004), dietas com relação  $\frac{\sum \text{AGPI}}{\sum \text{AGS}}$  acima de 0,45 são consideradas nutricionalmente saudáveis para humanos. Portanto, os óleos obtidos podem ser considerados de excelente qualidade nutricional. A relação dos AGPI  $\frac{\sum n6}{\sum n3}$  apresentou valores entre 13,019 e 13,580%. Esta razão encontrada é semelhante ao resultado determinado para óleo de pacu (13,87%) e menor que o valor obtido o óleo de truta arco-íris (16,41%) segunda pesquisa realizada por Segura (2012). No entanto, conforme sugerido pela FAO (1994), as quantidades desejáveis à dieta, para a prevenção de riscos cardiovasculares, devem ser abaixo de 10,0%. Portanto, a dieta deverá ser complementada com outras fontes potencias de ômega-3.

Barros et al. (2013), apontam que a redução dos índices de aterogenicidade (IA) e de trombogenicidade (IT) é de suma importância, visto que indica que ocorreu tanto o decréscimo das concentrações dos AG láurico, mirístico e palmítico (aterogênicos e trombogênicos) quanto o aumento dos AGPI considerados benéficos à saúde humana. Segundo Tonial, Oliveira e Bravo (2010), quanto menores os valores de IA e IT, maior é a quantidade de AG antiaterogênicos presentes em determinado óleo e, conseqüentemente, maior é a capacidade de prevenção ao aparecimento de doença coronarianas. Desta forma, a diminuição desses índices demonstra o potencial que existe para o uso do óleo de cabeça de tilápia para a saúde humana.

### 3.3 Análises físicas

O total do rendimento foi de 53%, calculado pela diferença do peso da amostra inicial (massa obtida após a moagem das cabeças) e do peso final do óleo extraído após a etapa para a obtenção do óleo refinado. Esse valor foi superior aos valores encontrados por Oliveira (2015) de 16,3 % a 31% que obteve o óleo de peixe a partir de silagem ácida de cabeças de tilápia utilizando uma extração química com o uso do solvente hexano. Segundo O'Brien (2009), ao adicionar solução alcalina ao óleo bruto na etapa de neutralização o álcali reage com os ácidos graxos livres formando sabões, além dos fosfolipídios e gomas absorverem o álcali e serem degradados justificando o baixo rendimento. Desta maneira o resultado obtido no presente trabalho demonstrou que a extração aquosa além de oferecer um melhor rendimento, pode ser um processo menos oneroso colaborando com o meio ambiente e proporcionando um produto final mais saudável.

Em relação à cor, os valores obtidos dos parâmetros  $L^*$  (luminosidade),  $C^*$  (grau de saturação ou pureza da cor) e  $h^*$  (ângulo *hue* de tonalidade) dos óleos refinados de cabeça de tilápia do Nilo, estão representados na Tabela 5. Em geral, os óleos refinados apresentaram valores de  $L^*$  entre 50,638 e 53,750 e  $C^*$  entre 20,302 e 27,744, não sendo determinado efeito do tempo e do frasco de armazenamento ( $p > 0,05$ ) sobre estes parâmetros. Quanto mais distante do valor 0 mais clara ( $L^*$ ) é a amostra e maior é a sua intensidade ( $C^*$ ).

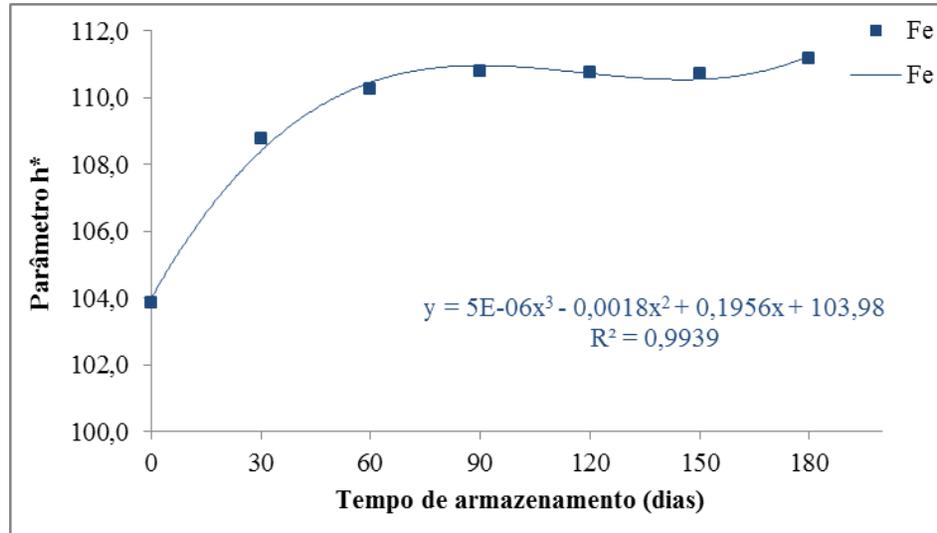
**Tabela 5**

Cor instrumental dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento.

Análises	Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)							P > F
		0	30	60	90	120	150	180	
L*	F <sub>t</sub>	50,638 <sup>a</sup> (±0,089)	52,666 <sup>a</sup> (±0,327)	51,532 <sup>a</sup> (±1,317)	48,274 <sup>a</sup> (±0,134)	49,406 <sup>a</sup> (±0,362)	50,508 <sup>a</sup> (±0,094)	52,816 <sup>a</sup> (±0,068)	0,6601
	F <sub>e</sub>	51,756 <sup>a</sup> (±0,594)	54,200 <sup>a</sup> (±0,174)	56,220 <sup>a</sup> (±0,972)	50,582 <sup>a</sup> (±0,053)	51,472 <sup>a</sup> (±0,394)	53,058 <sup>a</sup> (±0,611)	53,750 <sup>a</sup> (±0,208)	0,9588
C*	F <sub>t</sub>	23,366 <sup>a</sup> (±0,081)	24,080 <sup>a</sup> (±0,322)	27,744 <sup>a</sup> (±0,407)	20,821 <sup>a</sup> (±0,168)	20,779 <sup>a</sup> (±0,178)	20,828 <sup>a</sup> (±0,066)	20,824 <sup>a</sup> (±0,135)	0,1591
	F <sub>e</sub>	22,845 <sup>a</sup> (±0,450)	23,924 <sup>a</sup> (±0,446)	26,056 <sup>a</sup> (±0,447)	20,717 <sup>a</sup> (±0,243)	20,302 <sup>a</sup> (±0,492)	21,463 <sup>a</sup> (±0,469)	21,086 <sup>a</sup> (±0,307)	0,1376
h*	F <sub>t</sub>	103,510 <sup>a</sup> (±0,301)	108,760 <sup>a</sup> (±0,156)	109,442 <sup>a</sup> (±0,316)	107,903 <sup>a</sup> (±0,092)	108,197 <sup>a</sup> (±0,105)	108,249 <sup>a</sup> (±0,142)	108,762 <sup>a</sup> (±0,618)	0,2306
	F <sub>e</sub>	104,186 <sup>a</sup> (±0,709)	108,756 <sup>a</sup> (±0,342)	110,260 <sup>a</sup> (±0,389)	110,806 <sup>a</sup> (±0,235)	110,745 <sup>a</sup> (±0,365)	110,729 <sup>a</sup> (±0,921)	111,159 <sup>a</sup> (±0,540)	0,0008*

Valores médios ± desvio padrão (n = 5). Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste *Tukey* ( $p > 0,05$ ). \*Significativo ( $P < 0,05$ ) na linha. F<sub>t</sub> = Frasco transparente e F<sub>e</sub> = Frasco escuro.

Em relação ao parâmetro  $h^*$ , os valores determinados para o óleo armazenado em frasco escuro apresentaram acréscimo ( $p < 0,05$ ) de 104,186 e 111,159 ao longo do período de armazenamento, o que proporcionou uma cor amarela mais intensa para o produto final, assim como o óleo armazenado em frasco transparente. O comportamento desta variável assim como o modelo e o  $R^2$  podem ser observado na Figura 6.



**Figura 6** Parâmetro  $h^*$  dos óleos de tilápia ao longo do tempo de armazenamento.  $F_e$  = Frasco escuro;  $F_t$  = Frasco transparente.

Dentre os modelos empregados para descrever o comportamento reológico das emulsões, a Lei de Newton apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais, com altos valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e baixos valores de erro do quadrado médio (RMSE). Os dados de viscosidade ( $\mu$ )

determinados pelo modelo Lei de Newton foram significativos ( $p < 0,05$ ) entre os tempos e os tratamentos testados (Tabela 6).

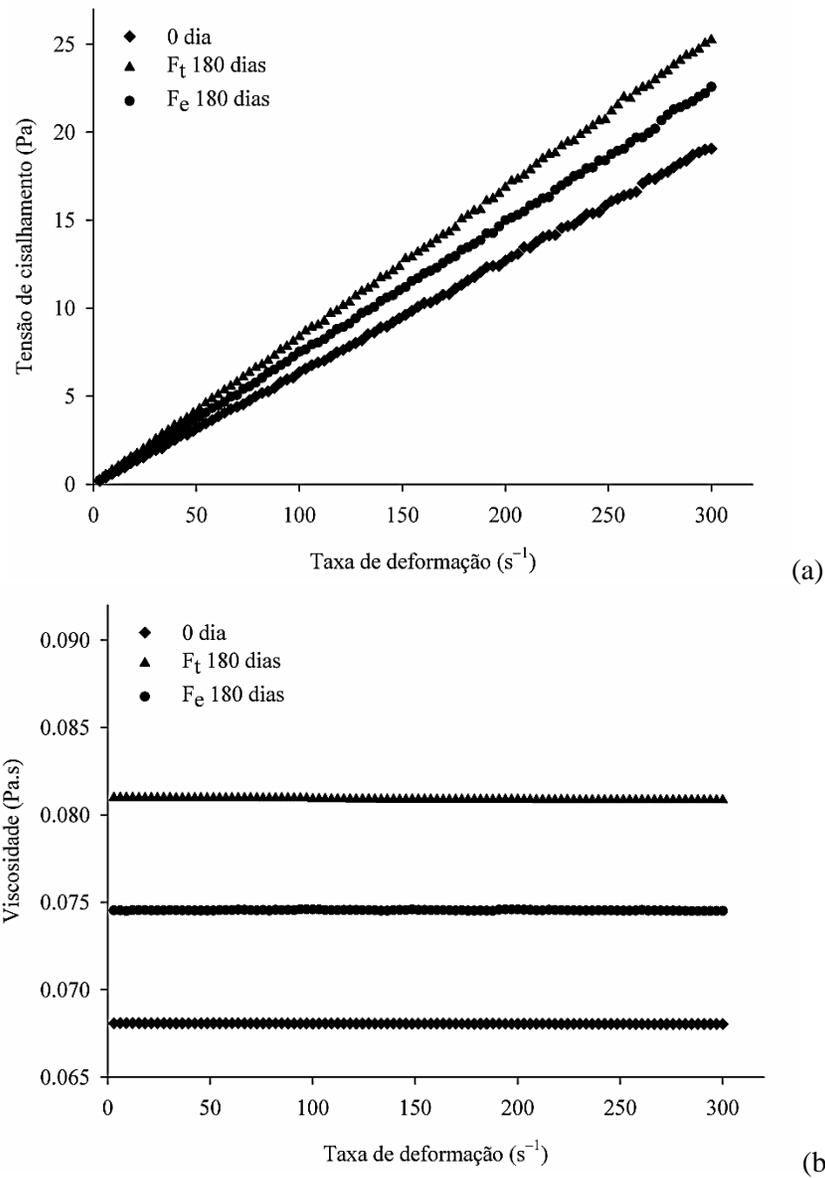
**Tabela 6**

Parâmetro reológico dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento.

Tempo de armazenamento (dias)	Lei de Newton		
	$\mu$ (Pa·s)	RMSE	R <sup>2</sup>
0	0,0680 <sup>a</sup> ( $\pm 0,0002$ )	0,1443	0,9999
F <sub>t</sub> 180	0,0808 <sup>c</sup> ( $\pm 0,0009$ )	0,1570	0,9995
F <sub>e</sub> 180	0,0745 <sup>b</sup> ( $\pm 0,0005$ )	0,1596	0,9994

Valores médios  $\pm$  desvio padrão (n = 3). Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste *Tukey* ( $P > 0,05$ ). F<sub>t</sub> = Frasco transparente e F<sub>e</sub> = Frasco escuro.

Os valores de viscosidade Newtoniana variaram entre 0.0680 a 0.0808 Pa·s. O comportamento reológico dos óleos de tilápia e o efeito do tempo de armazenamento juntamente com o tipo de embalagem utilizada podem ser vistos nas Figuras 7a e 7b, que demonstram a relação entre as variações de tensão de cisalhamento (Pa) e viscosidade (Pa·s) em função da taxa de deformação (s<sup>-1</sup>), respectivamente. Em geral, os fluidos mantiveram sua característica newtoniana, entretanto, com viscosidades superiores, quando comparadas com o tratamento analisado no 0 dia.



**Figura 7** Comportamento reológico dos óleos de tilápia em diferentes frascos e tempos de armazenamento: (a) relação entre a tensão de cisalhamento (Pa) e a taxa de deformação ( $s^{-1}$ ), e (b) relação entre a viscosidade Newtoniana (Pa.s) e a taxa de deformação ( $s^{-1}$ ).  $F_t$  = Frasco transparente e  $F_e$  = Frasco escuro.

A tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação demonstrou uma tendência linear, comportamento típico de fluídos Newtonianos (Figura 8a). Tal comportamento sugere que, para uma dada temperatura, a viscosidade permanecerá constante, independentemente do tempo e da taxa de deformação (Gonçalves et al., 2017; Wei et al., 2017), o que foi observado em nosso estudo (Figura 8b). A viscosidade relaciona-se à resistência ao fluxo, sendo importante para diversas aplicações como avaliação de processos e controle de qualidade de óleos (Canciam, 2010).

Após o armazenamento, índices de acidez e peróxido elevados provocam alterações na estrutura molecular dos triglicerídeos gerando ácidos graxos livres e outros polímeros que influenciam a resistência dos óleos ao fluxo, aumentando a viscosidade (Ribeiro, 2004). Tal afirmação corrobora com os resultados encontrados neste estudo, uma vez que foi observado maior valor de viscosidade no tratamento armazenado em frasco transparente. Este tratamento após 180 dias apresentou maiores valores de índices de acidez e peróxido, como observado na Tabela 2.

Em conjunto com a viscosidade, a densidade também é um fator de suma importância para a empregabilidade de óleos, visto que, em valores baixos, estes índices conferem bom fluxo ao óleo (Silva, 2012). Assim, nota-se que também houve uma relação entre a viscosidade e a densidade (Tabela 2), sendo possível observar que quanto maior a densidade dos óleos de tilápia maior a

viscosidade: Ft 180 dias > Fe 180 dias > 0 dia. É possível afirmar que o frasco escuro contribuiu para a melhor qualidade dos óleos, por proporcionar uma menor viscosidade do produto final após o período de estocagem, em comparação ao óleo armazenado em frasco transparente.

#### **4 Conclusão**

Conclui-se que o comportamento do óleo refinado durante os 180 dias de armazenamento apresentou uma melhor qualidade quando armazenado em embalagem escura.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG, Brasil), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) apoio para esta pesquisa.

## Referências

AGUIAR, G. P. S.; GOULART, G. A. S. Produção de óleo e farinha a partir de coprodutos de pescado provenientes da bacia Tocantins-Araguaia. *Revista Eletrônica Interdisciplinar, Barra do Garça*, v. 1, n. 11, p. 67-71, 2014.

ALBERTOS, I., MARTIN-DIANA, A. B., JAIME, I., AVENA-BUSTILLOS, R. J., MCHUGH, T. H., TAKEOKA, G. R., ... RICO, D. (2018). Antioxidant effect of olive leaf powder on fresh Atlantic horse mackerel (*Trachurus trachurus*) minced muscle. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42, 133-97.

AL-KAHTANI, H. A.; ABUTARBOUSH, H. M.; BAJABER, A. S.; ATIA, M.; ABOU-ARAB, A. A.; EL-MOJADDIDI, M. A. Chemical changes after irradiation and post-irradiation storage in tilapia and spanish mackerel. *Journal of Food Science, Chicago*, v. 61, n. 4, p. 729-733, 1996.

ANVISA. (2001). Resolução – RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o regulamento técnico sobre os padrões microbiológicos para alimentos. *Diário Oficial da União, Brasília*. <http://goo.gl/YI4uzr/> Accessed 04 April 2018.

ARAÚJO, J. M. A. (2015). *Química de alimentos: teorica e prática*. Viçosa, MG: Ed. UFV. 668p.

AOCS, 1998. Method Ca 5a-40: Free Fatty Acids. In: Firestone, D. (Eds.), *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*, fifth edition, American Oil Chemists' Society, Champaign, IL, USA.

BARROS, P. A. V., GLÓRIA, M. B. A., LOPES, F. C. F., GAMA, M. A. S., SOUZA, S. M., MOURTHE, M. H. F., LEÃO, M. I. (2013). Qualidade nutricional e estabilidade oxidativa de manteigas produzidas do leite de vacas alimentadas com cana-de-açúcar suplementada com óleo de girassol. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 65, 1545-1553.

BORAN, G., KARAÇAM, H., BORAN, M. (2006). Changes in the quality of fish oils due to storage temperature and time. *Food Chemistry*, 98(4), 693–698.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº9.013, de 29 de março de 2017. Aprova o novo Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. **Diário Oficial [da] Republica Federativa do Brasil**, Brasília, 29 mar. 2017, Seção 1.

CAMPESTRE IND. E COM. DE ÓLEOS VEGETAIS LTDA. Óleos de Peixes. 2007. Disponível em: <http://www.campestre.com.br/oleos-animais/oleo-de-peixe/>. Acesso em: 15 abril 2018.

CANCIAM, C. A. Efeito da temperatura na viscosidade de óleos vegetais refinados. Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias, v. 16, n. 1, p. 7-12, 2010.

CREXI, V. T., SOUZA-SOARES, L. A., & PINTO, L. A. (2009). Carp (*Cyprinus carpio*) oils obtained by fishmeal and ensilage processes: characteristics and lipid profiles. **International Journal of Food Science & Technology**, 44(8), 1642-1648.

CUNHA, D. C.; CREXI, V. T.; PINTO, L. A. A. "Winterização" de óleo de pescado via solvente. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 29, n. 1, 2009.

DAMODARAN, S., PARKIN, K. L., FENNEMA, O.R. Química de alimentos de Fennema. 4. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2010. 900 p.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Scientific opinion on fish oil for human consumption. EFSA Journal, Parma, v. 8, n. 10, p. 1874-1922, 2010.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Fats and Oils in Human Nutrition. Roma: FAO, 1994. p. 3621-3627.

FELTES, MARIA M. C.; CORREIA, JOÃO F. G.; BEIRÃO, LUIZ H.; BLOCK, JANE M.; NINOW, JORGE L.; SPILLER, VALERIA R. Alternativas para a agregação de valor aos resíduos da industrialização de peixe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Online), v. 14, p. 669-677, 2010.

FOLCH, J., LEES, M., & SLOANE-STANLEY, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497-509.

GARDUÑO-LUGO, M.; GRANADOS-ALVAREZ, I.; OLIVERA-NOVOA, M.; 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.

GODOY, L. C., FRANCO, M. L. R. D. S., FRANCO, N. P., SILVA, A. F., ASSIS, M. F., SOUZA, N. E., MATSUSHITA, M. & VISENTAINER, J. V. Análise sensorial de caldos e canjas elaborados com farinha de carcaças de peixe defumadas: aplicação na merenda escolar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, supl. 1, p. 86-89, 2010.

GONÇALVES, B. J.; PEREIRA, C. G.; LAGO, A. M. T.; GONÇALVES, C. S.; GIAROLA, T. M. O.; ABREU, L. R.; RESENDE, J. V. Thermal conductivity as influenced by the temperature and apparent viscosity of dairy products. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 5, p. 3513-3525, 2017.

GONÇALVES, A. A. **Tecnologia do Pescado: Ciência, Tecnologia, Inovação e Legislação**. São Paulo: Editora Atheneu, 2011. 608 p.

JAMES, N. A.; BERRY, B. W. Use of chevon in the development of low-fat meat products. *Journal of Animal Science*, Champaign, v. 75, p. 571-577, 1997.

LANDS, W. E. M. **Fish, omega-3 and human health**. 2.ed. Champaign: AOCS Press, 2005. 220p.

MACHADO, G. C.; CHAVES, J. B. P.; ANTONIASSI, R. Composição em ácidos graxos e caracterização físico-química de óleos hidrogenados de coco babaçu. *Ceres*, Viçosa, v. 53, n.308, p. 463-470, 2006.

MENEGAZZO, L. M., PETENUCCI, M. E., FONSECA, G. G. (2014). Production and characterization of crude and refined oils obtained from the co-products of Nile tilapia and hybrid sorubim processing. *Food Chemistry*, 157, 100-104.

MORAIS, M. M.; PINTO, L. A. A.; ORTIZ, S. C. A.; CREXI, V. T.; SILVA, R. L.; SILVA, J. D. **Estudo do processo de refino do óleo de pescado**. Revista Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, v. 60, n. 1, p. 23-33, 2001.

MORETTO, E.; FETT, R. Definição de óleos e gorduras: tecnologias de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos. São Paulo. Varela, 1998.

NUNES, C. A. (2013). Tecnologia de óleos e gorduras para engenharia de alimentos. Lavras: UFLA. 69 p.

OGAWA, M.; MAIA, E. L. **Manual de Pesca: ciência e tecnologia do pescado**. São Paulo: Varela, 1999. 453 p.

GRUNDY, S. M. **Nutrition and disease update: heart disease**. Champaign: AOCS, 1994.

OLIVEIRA, R. M. E. Caracterização de óleos e farinhas, obtidos da silagem ácida de resíduos da filetagem de tilápia (*Oreochromis niloticus*). 2015. 171 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

O'BRIEN, R. *Fats and oils: formulating and processing for applications*. 3. ed. Boca Raton: CRC, 2009. 765 p.

PINHEIRO, A. C. M.; NUNES, C. A.; VIETORIS, V. SensoMaker: a tool for sensorial characterization of food products. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 37, n. 3, p. 199-201, 2013.

RIBEIRO, E. P. et al. *Química de Alimentos*. 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2004.

SANTOS, R. F.; BARROS, A.L.; MARQUES, F.M.; FIRMINO, P. de T.; REQUEIÃO, L.E.G.; Análise econômica. O agro negócio da mamona no Brasil. EMBRAPA-SPI. p17-35, 2001.

SAS Institute. SAS® University Edition vApp. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2016. Disponível em: [http://www.sas.com/pt\\_br/software/university-edition.html](http://www.sas.com/pt_br/software/university-edition.html). Acesso em: 04 mar. 2018.

SARTORI, A. G. O.; AMANCIO, R. D. Pescado: importância nutricional e consumo no Brasil. **Revista Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 83-93, 2012.

SEGURA, J. G. **Extração e caracterização de óleos de resíduos de peixes de água doce**. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

SHAHIDI, F. Lípidos y proteínas funcionales del pescado In: MAZZA, G. *Alimentos funcionales*. Zaragoza: Editorial Acribia, 1998. p. 381-401.

SILVA, C. R. Caracterização físico-química e dielétrica de óleos biodegradáveis para transformadores elétricos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 2, p. 229-234, 2012.

SILVA, N., JUNQUEIRA, V. C. A., SILVEIRA, N. F. A., TANIWAKI, M. H., SANTOS, R. F. S., & GOMES, A. R. (2010). Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água. (4th ed). São Paulo: Varela.

STANSBY, M. E. **Em fish oils in nutrition**. Van Nostrand Reinhold: New York, 1990.

SOFIA. The State of World Fisheries and Aquaculture: opportunities and challenges. Rome: **FAO Fisheries and Aquaculture Department**, 2014. 223 p. Disponível em: Acesso em: 13 fev. 2018.

SOUZA, F. B.; MELO FILHO, A. A.; BARRETO, H. C. S. Caracterização físico-química do óleo de peixe *Leodoporus friderici* (aracu-cabeça-chata) de Boa Vista – RR. Roraima: ABQ, 2007.

ST ANGELO, A. J.; VERCELLOTTI, J.; JACKS, T.; LEGENDRE, M. Lipid oxidation in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Boca Raton, v. 36, n. 3, p. 175-224, 1996.

Systat Software. SigmaPlot for Windows, v. 11.0. San Jose, CA: Systat Software Inc. 2008. Disponível em: <https://systatsoftware.com/products/sigmaplot/sigmaplot-product-updates/>. Acesso em: 04 mar. 2018.

TARLADGIS, B. G., WATTS, B. M., YOUNATHAN, M. T., & GUGAN, L. (1960). A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 37, 44-48.

TONIAL, I. B.; OLIVEIRA, D.F.; BRAVO, C.E.C. et al. Caracterização físico-química e perfil lipídico do salmão (*Salmo salar* L.). *Alim. e Nutrição*, v.21, p.93- 98, 2010.

WEI, B.; ZOU, C.; YUAN, X.; LI, X. Thermo-physical property evaluation of diathermic oil based hybrid nanofluids for heat transfer applications. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 107, p. 281-287, 2017.

WOOD, J. D., RICHARDSON, R. I., NUTE, G. R., FISHER, A. V., CAMPO, M. M., KASAPIDOU, E., ... Enser, M. (2004). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66, 21-32.