



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA,
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

Fernanda Scheuer

Composição centesimal e de ácidos graxos na sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* selvagem e de criação e resposta ao incremento de óleo de peixe na dieta

Florianópolis

2024

Fernanda Scheuer

Composição centesimal e de ácidos graxos na sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* selvagem e de criação e resposta ao incremento de óleo de peixe na dieta

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Aquicultura.

Orientador: Prof. Vinicius Ronzani Cerqueira, Dr.
Coorientador: Prof. Fábio Carneiro Strzelecki, Dr.

Florianópolis

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Scheuer, Fernanda

Composição centesimal e de ácidos graxos na sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* selvagem e de criação e resposta ao incremento de óleo de peixe na dieta / Fernanda Scheuer ; orientador, Vinicius Ronzani Cerqueira, coorientador, Fábio Carneiro Strzelecki, 2024.

65 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. nutrição de peixes. 3. *Sardinella brasiliensis*. 4. piscicultura marinha. 5. ácidos graxos. I. Cerqueira, Vinicius Ronzani. II. Strzelecki, Fábio Carneiro . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. IV. Título.

Fernanda Scheuer

Composição centesimal e de ácidos graxos na sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* selvagem e de criação e resposta ao incremento de óleo de peixe na dieta

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, em 06 de novembro de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Vinicius Ronzani Cerqueira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Jane Mara Block, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Marcelo Borges Tesser, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande

Prof. Caio César França Magnotti, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutora em Aquicultura.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof. Vinicius Ronzani Cerqueira, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2024.

Esta tese é uma dedicatória aos meus pais, Álvaro e Eliana.

AGRADECIMENTOS

Foram quatro anos de trabalho e durante esse tempo, muitas coisas acontecem e a vida muda. Gostaria de agradecer especialmente a Deus pelo dom da vida, da resiliência e da fé em algo superior que nos rege e guarda.

Também agradeço aos meus pais pelo apoio e confiança, que sempre estiveram presentes nos melhores e piores momentos, atenciosos e amáveis! E também ao Rafael, meu marido, por absolutamente tudo.

Agradeço ao professor Vinicius Cerqueira pela orientação, e a toda equipe do Lapmar, que foram a minha família nestes anos de caminhada, muito obrigada pelo apoio, pelos churrascos e almoços (que foram muitos), contribuições científicas e muitas vezes não tão científicas, mas de fundamental importância para a nossa saúde mental, principalmente na pandemia da COVID 22.

Agradeço a todos os professores e colaboradores da UFSC, UFRA e UFSM que ajudaram a executar partes essenciais desse trabalho e que contribuíram de alguma forma para a minha tese e vida profissional.

Agradeço a banca avaliadora.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Pesquisar é acordar para o mundo. (Marcelo Lamy)

RESUMO

A carne de peixe desempenha importante papel na nutrição humana, fornecendo ácidos graxos poli-insaturados n-3 de cadeia longa (LC-PUFA) associados a efeitos benéficos à saúde. Na aquicultura, os peixes são alimentados com rações artificiais, cujos ingredientes podem influenciar os níveis finais de LC-PUFA n-3 e, conseqüentemente, a qualidade nutricional da carne. Este estudo abordou a composição centesimal e perfil de ácidos graxos de sardinhas de criação ao longo das quatro estações do ano, comparando-as com aquelas capturadas na natureza durante a primavera. Os resultados indicaram que o teor de lipídios totais foi significativamente maior, especialmente no inverno, para sardinhas selvagens (2,37%) e de criação (14,52%). O perfil de ácidos graxos revelou a prevalência de PUFA n-3 em peixes selvagens (17,57%) e n-6 em peixes de criação (12,15%). Os LC-PUFA mostraram maiores concentrações em animais selvagens (16,42%) em comparação com sardinhas de criação (1,15%) no inverno. Em termos absolutos, a quantidade de EPA e DHA foi semelhante à da sardinha selvagem na primavera (0,40g/100g e 0,39g/100g, respectivamente). Posteriormente, um estudo investigou o efeito de diferentes inclusões de óleo de peixe (PUFA n-3) no crescimento, composição centesimal e perfil de ácidos graxos em filés de *Sardinella brasiliensis*. Os peixes foram divididos em 15 unidades experimentais, submetidos a tratamentos variados, incluindo um controle sem óleo de peixe (0%) e grupos com 0,3%, 0,6%, 0,9% e 1,2% de óleo de peixe. O experimento, com duração de 45 dias, incluiu coleta de material biológico e biometria nos dias zero, 15°, 30° e 45°. Observou-se que diferentes concentrações de PUFA n-3 na dieta influenciaram significativamente o crescimento dos peixes. O grupo com 1,2% de óleo de peixe apresentou níveis mais baixos de lipídios totais (15,8%) em comparação com os demais grupos (18,90%, 19,60%, 19,60% e 17,70% para os grupos 0,3%, 0,6% e 0,9%, respectivamente). Os níveis lipídicos no filé foram significativamente maiores nos grupos 0,6% e 0,9% (19,90% e 18,70%) em comparação com os grupos 1,2% e controle (14,17% e 15,50%). A umidade foi significativamente menor nos grupos 0,3% e 0,6% (61,30% e 60,32%) em comparação com os grupos 0,9% e controle (62,21% e 63,30%). Os níveis de ácido graxo linoléico foram significativamente diferentes entre os tratamentos apenas no 45° dia, com o grupo de 1,2% apresentando teores significativamente maiores de ácido graxo alfa-linolênico (0,60%) em comparação com o grupo de 0,3% (0,47%). Para os ácidos graxos eicosapentaenóico e docosaheptaenóico, os grupos 0,9% e 1,2% apresentaram níveis significativamente maiores em vários dias de coleta em comparação com os grupos 0,3% e controle. O ácido docosaheptaenóico também apresentou níveis significativamente maiores nos grupos 1,2% no 30° e 45° dias em comparação com os grupos 0%, 0,3% e 0,6%. Em resumo, o aumento da concentração de LC-PUFA n-3 na dieta melhorou as taxas de crescimento, reduziu a umidade e aumentou o conteúdo lipídico total no filé de sardinha. Inclusões de 0,9% e 1,2% de óleo de peixe aprimoraram o perfil de ácidos graxos poli-insaturados no filé, destacando o potencial das intervenções dietéticas para otimizar os resultados na aquicultura.

Palavras-chave: Aquicultura; nutrição de peixes; *Sardinella brasiliensis*, piscicultura marinha; ácidos graxos.

ABSTRACT

Fish meat plays a crucial role in human nutrition, providing long-chain polyunsaturated fatty acids (LC-PUFA) associated with health benefits. In aquaculture, fish are fed artificial diets, and the ingredients can influence the final levels of LC-PUFA n-3, thereby affecting the nutritional quality of the meat. This study focused on the proximate composition and fatty acid profile of cultivated sardines throughout the four seasons, comparing them with those caught in the wild during spring. The results indicated that the total lipid content was significantly higher, especially in winter, for both wild (2.37%) and cultivated sardines (14.52%). The fatty acid profile showed a prevalence of n-3 PUFA in wild fish (17.57%) and n-6 in cultivated fish (12.15%). LC-PUFA concentrations were higher in wild animals (16.42%) compared to cultivated sardines (1.15%) in winter. In absolute terms, the amounts of EPA and DHA were similar to wild sardines in spring (0.40g/100g and 0.39g/100g, respectively). Subsequently, a study investigated the effect of different inclusions of fish oil (n-3 PUFA) on the growth, proximate composition, and fatty acid profile of *Sardinella brasiliensis* fillets. The fish were divided into 15 experimental units and subjected to treatments, including a control without fish oil (0%) and groups with 0.3%, 0.6%, 0.9%, and 1.2% of fish oil. The experiment lasted for 45 days, with biological material and biometric data collected on days zero, 15th, 30th, and 45th. It was observed that different concentrations of n-3 PUFA in the diet significantly influenced the fish's growth. The group with 1.2% fish oil showed lower total lipid levels (15.8%) compared to the other groups (18.90%, 19.60%, 19.60%, and 17.70% for the 0.3%, 0.6%, 0.9%, and control groups, respectively). Lipid levels in the fillet were significantly higher in the 0.6% and 0.9% groups (19.90% and 18.70%) compared to the 1.2% and control groups (14.17% and 15.50%). Moisture levels were significantly lower in the 0.3% and 0.6% groups (61.30% and 60.32%) compared to the 0.9% and control groups (62.21% and 63.30%). Linoleic acid levels were significantly different between treatments only on the 45th day, with the 1.2% group showing significantly higher levels of alpha-linolenic acid (0.60%) compared to the 0.3% group (0.47%). For eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid, the 0.9% and 1.2% groups showed significantly higher levels on various collection days compared to the 0.3% and control groups. Docosapentaenoic acid levels also differed significantly between groups on the 30th and 45th days, with the 1.2% group showing significantly higher levels compared to the 0%, 0.3%, and 0.6% groups on both days. In summary, increasing the concentration of n-3 LC-PUFA in the diet improved growth rates, reduced moisture, and increased total lipid content in sardine fillets. Inclusions of 0.9% and 1.2% fish oil enhanced the polyunsaturated fatty acid profile in the fillet, highlighting the potential of dietary interventions to optimize outcomes in aquaculture.

Keywords: Aquaculture; fish nutrition; *Sardinella brasiliensis*, marine fish farming; fatty acids.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Composição de total PUFA n-3 no músculo de peixes selvagens marinhos e de água doce. Dados expressos em % da fração lipídica 21
- Tabela 2 - Adição de óleo de peixe como fontes de total PUFA n-3 na dieta de diferentes espécies de peixes marinhos e de água doce. Resultados expressos em % total PUFA n-3 no músculo dorsal 22
- Tabela 3 - Composição de ácidos graxos da dieta comercial (Nutripiscis Presence, 45% de proteína). Dados expressos em porcentagem de lipídios totais (média \pm DP) 28
- Tabela 4 - Composição centesimal das sardinhas selvagens e de criação. Média \pm desvio padrão (número=3). Dados expressos em porcentagem de matéria úmida. Letras diferentes significam diferenças significativas 31
- Tabela 5 - Composição de ácidos graxos no filé da sardinha selvagem e de criação nas quatro estações do ano. Dados expressos na porcentagem de lipídios totais da matéria úmida 33
- Tabela 6 - Formulação e composição de dietas experimentais com diferentes inclusões de óleo de peixe (PUFA n-3) (expresso em % da matéria seca) utilizadas para incremento dietético da sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* por 45 dias. [0%] = grupo 44
- Tabela 7 - Índice zootécnico (média \pm DP) da sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* alimentada com dieta suplementada com diferentes níveis de inclusão de óleo de peixe (PUFA n-3) em [0%], [0,3%], [0,6%], [0,9 %] e [1,2%] por 45 dias. Letras diferentes representam diferenças significativas 48
- Tabela 8 - Composição centesimal (%) da sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* alimentada com dieta suplementada com diferentes níveis de inclusão de óleo de peixe (PUFA n-3) em [0%], [0,3%], [0,6%], [0,9%] e [1,2%] por 45 dias. Dados expressos em porcentagem de matéria úmida (média \pm DP). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os grupos (ANOVA, pós-teste de Tukey). (*) significativo 49
- Tabela 9 - Teor de ácidos graxos (média \pm DP) no filé de sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* alimentada com dieta suplementada com diferentes níveis de inclusão de óleo de peixe (PUFA n-3) em [0%], [0,3%], [0,6%], [0,9%] e [1,2%] por 45 dias. Dados expressos em porcentagem de matéria úmida ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre grupos no mesmo período amostral (ANOVA, pós-teste de Tukey). (*) significativo 50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PUFA	Do inglês “polyunsaturated fatty acids”, ácidos graxos poli-insaturados
LC-PUFA	Do inglês “long chain polyunsaturated fatty acids”, ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa
LA	Ácido graxo linoléico
LNA	Ácido graxo α -linolênico
EPA	Ácido graxo eicosapentaenóico
DHA	Ácido graxo docosahexaenóico
DPA	Ácido graxo docosapentaenóico
ARA	Ácido araquidônico (ARA, 20:4 n-6),
TGI	Trato gastrointestinal
EFA	Do inglês “essential fatty acids”, ácidos graxos essenciais
SFA	Do inglês “saturated fatty acids” ácidos graxos saturados
MUFA	Do inglês “monounsaturated fatty acids” ácidos graxos monoinsaturados
FADs2	Do inglês “fatty acid desaturase”, enzima dessaturase

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1	NUTRIÇÃO	16
1.2	ÁCIDOS GRAXOS	18
1.3	ÁCIDOS GRAXOS NOS PEIXES	20
1.4	DIETA DE N-3 NO PEIXE	21
1.5	OBJETIVOS	23
1.5.1	Objetivos Gerais	23
1.5.2	Objetivos Específicos	24
1.5.3	Estrutura da Tese	24
2	ARTIGO 1 – COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E DE ÁCIDOS GRAXOS NO MÚSCULO DA SARDINHA VERDADEIRA (<i>SARDINELLA BRASILIENSIS</i>) SELVAGEM E DE CRIAÇÃO	25
2.1	INTRODUÇÃO	25
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	27
2.2.1	Sardinhas de criação	27
2.2.2	Sardinhas selvagens	28
2.2.2.1	<i>Coleta das amostras</i>	28
2.2.2.2	<i>Análise da composição centesimal</i>	29
2.2.2.3	<i>Análise de ácidos graxos</i>	29
2.2.2.4	<i>Monitoramento da qualidade da água em viveiros de reprodução</i>	30
2.2.2.5	<i>Análise estatística</i>	31
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
2.3.1	Composição centesimal	31
2.3.2	Perfil de ácidos graxos	32
2.4	CONCLUSÃO	35
2.5	AGRADECIMENTOS	35
2.6	REFERÊNCIAS	36
3	ARTIGO 2 – O AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE LC-PUFA N-3 NA DIETA MELHORA O DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E A QUALIDADE NUTRICIONAL DA SARDINHA VERDADEIRA <i>SARDINELLA BRASILIENSIS</i> DE CRIAÇÃO	39
3.1	INTRODUÇÃO	40

3.2	MATERIAL E MÉTODOS	42
3.2.1	Delineamento e dietas experimentais	42
3.2.2	Procedimentos específicos	44
3.2.3	Análise de ácidos graxos e composição centesimal	45
3.2.4	Análise do desempenho zootécnico	46
3.2.5	Análise estatística	46
3.3	RESULTADOS	47
3.4	DISCUSSÃO.....	50
3.5	CONCLUSÃO	54
3.6	REFERÊNCIAS	54
3.7	AGRADECIMENTOS.....	58
4	CONCLUSÕES GERAIS.....	59
	REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL.....	60

1 INTRODUÇÃO GERAL

A carne de peixe desempenha um papel fundamental na nutrição humana (Tacon *et al.*, 2020). O valor nutricional do peixe é influenciado pelo conteúdo disponível de proteínas, minerais, vitaminas e ácidos graxos n-3 poli-insaturados de cadeia longa (LC-PUFA), ácido eicosapentaenóico (EPA) e ácido docosahexaenóico (DHA) (Venugopal e Shahidi, 1996), que desempenham um papel fundamental no desenvolvimento e funcionamento do cérebro, do sistema cardiovascular e imunológico humano, demonstrando resultados positivos na prevenção de diversas doenças (Martin *et al.*, 2006). Além da qualidade nutricional, o pescado também se destaca como fonte alternativa de proteína animal nutricionalmente mais saudável em comparação aos alimentos ultraprocessados, como embutidos, fast food e carnes vermelhas (Tacon *et al.*, 2020).

No entanto, a proporção de ácidos graxos poli-insaturados n-3 em peixes marinhos é maior do que em peixes de água doce, considerando que as necessidades dietéticas de EPA e DHA são atendidas pela ingestão de alimentos ricos em LC-PUFA n-3 em ambientes marinhos, como algas e zooplâncton (Taşbozan e Gökçe, 2017) especialmente aqueles da família *scombridae* (atum, cavala) que possuem até 38% e os pequenos peixes pelágicos da família *clupeidae*, que chega a 48% (Fernandes, 2014; Visentainer, 2000; Badolato, 1994).

É um fato científico reconhecido que o conteúdo lipídico e perfil de ácidos graxos dos peixes apresentam variações entre e dentro das espécies. Uma variedade de fatores, incluindo temperatura, salinidade, sazonalidade, tipo e disponibilidade de alimentos, habitat, fase de maturidade e variabilidade individual, são considerados contribuintes significativos para estas variações (Taşbozan e Gökçe, 2017). Além disso, outros fatores, como contaminantes aquáticos (Storelli e Marcotrigiano, 2000), alterações no bem-estar animal (Daskalova, 2019) e o rigor mortis (Espe, 2008), podem afetar a qualidade nutricional da carne de peixe. Os peixes são uma fonte quase exclusiva de ácidos LC-PUFA n-3 e outros componentes lipossolúveis, que são cruciais para a saúde e o bem-estar dos humanos. Portanto, a importância de conhecer as concentrações de ácidos graxos n-3 presentes em peixes selvagens e de criação é cada vez mais evidente (Suárez Mahecha, 2002).

Na aquicultura, os peixes são alimentados com rações artificiais elaboradas com ingredientes de diferentes origens, em diferentes sistemas de criação, com diferentes regimes de alimentação e diferentes métodos de abate. Esses fatores podem ter um impacto significativo nos níveis finais de LC-PUFA n-3 e, conseqüentemente, na qualidade nutricional da carne destinada ao consumo humano (Espe, 2008; Daskalova, 2019; Liu et al., 2022; Hossain, 2023). Os peixes criados para consumo humano dependem exclusivamente da composição da dieta fornecida. O óleo de peixe, incluindo óleo de fígado de bacalhau e óleo de sardinha, tem sido amplamente utilizado como fonte primária de LC-PUFA n-3 total para peixes marinhos cultivados há vários anos, conforme documentado por Blanchet *et al.* (2005), Espe (2008) e Hossain (2023). Inevitavelmente, a alta demanda na indústria e a escassez no mercado fornecedor aumentam significativamente o preço desse insumo (FAO, 2022), assim, a inclusão de PUFAs é frequentemente substituída por fontes alternativas, com pouca ou nenhuma quantidade total de LC-PUFA n-3 (Alhazzaa et al., 2019), o que possivelmente afetará o valor nutricional do peixe. No entanto, o controle ambiental e o regime alimentar em condições de criação podem ser considerados vantajosos para os peixes de criação, visto que estes crescem em condições mais estáveis e têm uma dieta mais equilibrada e controlada em comparação com os peixes selvagens. Desta forma, o conteúdo lipídico pode ser modificado para melhorar qualitativa e quantitativamente o valor nutricional dos peixes de criação (Tocher, 2015; Santin et al., 2021). Vários estudos têm demonstrado a influência da dieta na composição proximal dos peixes. Por exemplo, Al-Souti *et al.* (2012) observaram diferenças significativas nos perfis de LC-PUFA n-3 e ácidos graxos do músculo dorsal ao substituir o óleo de milho por quantidades crescentes de óleo de fígado de bacalhau (0, 4, 8 ou 12%) na dieta de juvenis de tilápia vermelha híbrida (*Oreochromis sp.*). Após 10 semanas, o conteúdo total de LC-PUFA n-3 do músculo dorsal aumentou de 7,6% para 18,6%. Da mesma forma, Bandarra *et al.* (2018) descobriram que as sardinhas do Atlântico *Sardinella pilchardus* alimentadas com uma dieta comercial em sistema de cultivo apresentaram níveis mais elevados de 22:6n-3 e 20:5n-3 do que os registados na natureza. Tais informações sugerem que em determinadas situações é possível induzir, através da dieta, níveis mais elevados de ácidos graxos n-3 nos músculos dos peixes de criação e nesse contexto, é possível supor que ao modificar a composição da dieta da sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* de criação

haverá uma alteração no teor total de LC-PUFA n-3 no músculo, possibilitando a obtenção de peixes nutricionalmente superiores ou, pelo menos, equivalente a espécies selvagens.

A sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) pertence à família *Clupeidae*, com grande representatividade na pesca mundial, cujas espécies são reconhecidas como importantes fontes de LC-PUFA n-3 e, portanto, amplamente utilizadas na alimentação animal e humana (Schneider, 1999). A sardinha ocorre na área entre o Cabo de São Tomé - Estado do Rio de Janeiro (22 °S) e o Cabo de Santa Marta - Estado de Santa Catarina (29 °S) (Jablonski, 2007). Com desembarques concentrados nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina, a espécie sustenta a maior pesca comercial do Brasil em volume de produção (Paiva, 2000; Cergole et al., 2002; IBAMA, 2011).

De acordo com o relatório pesqueiro do ano de 2011 (IMABA, 2011), a sardinha-verdadeira apresentou o maior volume de captura entre os peixes marinhos em 2010, com 62.134 t, mas sofreu um decréscimo de 25,4% em relação a 2009, quando foram produzidas 83.286 t. Em Santa Catarina, a queda da pesca extrativa foi ainda maior em 2010, sofrendo um declínio de 50% em relação ao ano anterior. Esta queda nos últimos 40 anos vem sendo relacionada aos efeitos ambientais e à sobrepesca (Jablonski, 2007) e nesse contexto, a aquicultura representa uma alternativa capaz de atender a demanda da indústria de enlatados por meio da produção brasileira e do ponto de vista ecológico, é possível que, se praticada de forma sustentável, a aquicultura alivie a pressão sobre os estoques que sofrem com a sobre-exploração (Naylor et al., 2009).

A maior parte das pesquisas realizadas com a sardinha-verdadeira focaram na pesca (Santos et al., 2000; Almeida et al., 2002), biologia (Figueiredo et al., 2010) e ecologia (Bakun et al., 1990; Braga, 1987; Matsuura, 1998; Cergole et al., 2002; Gigliotti et al., 2010), deixando uma grande lacuna sobre a criação intensiva da espécie, e então, no ano de 2009, no Laboratório de Piscicultura Marinha, da Universidade Federal de Santa Catarina, iniciou o projeto “Isca Viva” objetivando desenvolver tecnologias de criação. Inicialmente, foi avaliada a resposta da sardinha-verdadeira frente ao estresse da captura e manejo, e também à reprodução em sistema de cultivo, onde foram obtidos resultados que comprovam a possibilidade de criação da espécie. Então iniciaram os trabalhos de nutrição buscando avaliar as exigências nutricionais da sardinha-verdadeira. Após 32 dias de

alimentação utilizando as proporções carboidrato/lipídio (CHO/L) de 2, 3, 4, 5, 6 ou 7, Strzelecki (2018) relatou que o crescimento foi significativamente maior quando alimentados com a proporção de CHO/L de 3,41 que corresponde aproximadamente a 300 g. kg⁻¹ de carboidrato e 88 g. kg⁻¹ de lipídio. Em outro trabalho, do mesmo autor, foi demonstrado que a exigência ótima de proteína de juvenis de sardinha é de 367,7 g. kg⁻¹.

A popularidade da sardinha-verdadeira se dá principalmente por seu alto teor de ácidos graxos da série n-3 e seus benefícios para a saúde humana, pois esta espécie marinha é onívora e se alimenta de fito e zooplâncton, que são ricos nestes nutrientes em seu habitat natural (Schneider; Schwingel, 1999). Daí a necessidade de estudos sobre aspectos nutricionais relacionados a este nutriente nas dietas de engorda da sardinha-verdadeira objetivando conhecer o valor nutricional desta espécie de cultivo e se é comparável com a selvagem. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a composição centesimal e o perfil de ácidos graxos da sardinha verdadeira de criação em diferentes épocas do ano (primavera, verão, outono e inverno), bem como compará-la com aquela capturada na natureza na primavera. E posteriormente, avaliar a influência de diferentes níveis de inclusão de óleo de peixe (fonte de LC-PUFA n-3) no desempenho de crescimento, composição centesimal e teor de ácidos graxos no filé da sardinha verdadeira.

1.1 NUTRIÇÃO

A realização coordenada de atividades físicas, químicas e enzimáticas que se iniciam assim que o alimento é aprisionado na boca e só termina na eliminação das fezes nada mais é do que o processo de digestão do alimento (Rust, 2002) e é no trato gastrointestinal (TGI) que ocorre o primeiro acesso aos nutrientes da dieta (Polakof et al., 2012). Tanto nos vertebrados como nos invertebrados, as características morfológicas e funcionais do TGI refletem a química dos alimentos, como o conteúdo de carboidratos, lipídios e proteínas da dieta (Karasov et al., 2013).

Os nutrientes da alimentação que contribuem significativamente para o suprimento de energia do animal podem ser categorizados em três classes de compostos: proteínas, carboidratos e lipídios (Bureau et al., 2000). Dentre estes, a proteína apresenta papel central em diversas funções biológicas, que vão desde estrutural, enzimática, transportadora, contrátil, imunológica até reguladora (Pezzato

et al., 2004). É o componente essencial em todas as células do corpo, incluindo músculos, ossos, órgãos, tendões e ligamentos. Em animais em crescimento, a síntese proteica excede a degradação e o balanço entre esses processos resulta na deposição de proteína ou incremento (NRC, 2011). Muitos trabalhos apontam relação positiva entre o ganho de biomassa dos peixes à deposição de proteína nos tecidos (NRC, 2011), comprovando que a deficiência ou o excesso desse nutriente pode afetar o desenvolvimento (Lovell; Wilson, 1993).

Carboidrato e lipídios, são consideradas fontes não proteicas e comumente são incorporadas na dieta com o objetivo de maximizar o uso de proteína para o crescimento (Li et al., 2012). A utilização de carboidratos como fonte energética é vantajosa por ser um ingrediente de fácil acesso, disponível no mercado em grande quantidade e baixo custo (Krogdahl et al., 2005). Em comparação aos lipídios, os carboidratos são utilizados como fonte de energia para diminuir o uso da proteína nos peixes, o chamado “efeito poupador de proteína” (Krogdahl et al., 2005; NRC, 2011).

Já os lipídios são importantes na nutrição por constituírem as membranas celulares, atuarem como fonte de energia e transporte de vitaminas e minerais lipossolúveis, aumentarem o sabor e afetarem a textura das dietas além de serem fonte de ácidos graxos essenciais (EFA, do inglês essential fatty acids) (Ruyter et al., 2000; Shiau, 2002) e precursores de compostos biologicamente ativos como os hormônios, eicosanóides e docosanoídes. Também são fundamentais para a reprodução no desenvolvimento gonadal (Tocher et al., 1985), além de representar a principal fonte de energia metabólica na embriogênese e no desenvolvimento larval precoce (Henderson et al., 1984; Sargent et al., 1989).

A presença de enzimas específicas em locais adequados do TGI está diretamente relacionada com a capacidade dos peixes em utilizar os nutrientes ingeridos. Normalmente, a localização e a intensidade da atividade destas enzimas variam em função do hábito alimentar e da morfologia digestória (Tengjaroenkul et al., 2000) e as enzimas encontradas no lúmen intestinal são produzidas principalmente no pâncreas, como as endopeptidases tripsina, quimiotripsina, lipase e a α -amilase.

Considerando a utilização de lipídios, a lipase dependente de sais biliares é considerada a principal enzima digestiva responsável pela hidrólise de lipídios na dieta (Saele et al., 2010) e responde de forma positiva à inclusão deste nutriente

(Mohanta et al., 2008; Zhou et al., 2015). Todavia, é sabido que os peixes possuem capacidade de adaptação dos processos digestivos às mudanças na dieta, como no transporte de nutrientes, perfil de secreção enzimática e absorção (Stech et al., 2009). Por exemplo, o lipídio quando em excesso, pode produzir efeitos negativos na atividade enzimática da lipase, assim como, a dieta rica em aminoácidos e proteínas, pode influenciar a secreção de enzimas proteolíticas (NRC, 2011). Em geral, a atividade da lipase responde aos lipídios na dieta, como relatado no tambaqui (*Colossoma macropomum*) (Honorato et al., 2015) e no barbo (*Puntius gonionotus*) (Mohanta et al., 2008).

Estudos prévios sobre a sardinha-verdadeira mostram que a atividade da lipase e da amilase responderam positivamente ao incremento de lipídio e carboidrato na ração, respectivamente, correspondendo o máximo da atividade ao máximo do crescimento do peixe (Sterzelecki, 2017) comprovando que quando a composição da dieta muda, a atividade enzimática e capacidade de absorção de nutrientes, pode ser modulada pelo peixe (García-Meilán et al., 2013).

1.2 ÁCIDOS GRAXOS

Os ácidos graxos mais simples são os saturados (SFA, do inglês saturated fatty acids), sua cadeia de carbono não possui dupla ligação, sendo designados somente como 16:0 e 18:0, por exemplo. Já os ácidos graxos que contêm uma insaturação na cadeia de carbono são chamados de monoinsaturados (MUFA, do inglês monounsaturated fatty acids), como ácido oleico (OLA, 18:1 n-9).

Os ácidos graxos se diferenciam também quanto ao número de átomos de carbono: os ácidos graxos poli-insaturados (PUFA, do inglês polyunsaturated fatty acids) de cadeia média são representados pelo ácido linoléico (LA, 18:2 n-6) e pelo ácido α -linolênico (α -LNA, 18:3n-3) e os PUFA de cadeia longa (LC-PUFA, do inglês long chain polyunsaturated fatty acids) são representados pelo ácido araquidônico (ARA, 20:4 n-6), eicosapentaenóico (EPA, 20:5 n-3) e ácido docosahexaenóico (DHA, 22:6 n-3) (TOCHER, 2003).

Os ácidos graxos SFA e MUFA são sintetizados por todos os organismos vivos, pois estes possuem a enzima Δ -9 dessaturase, a qual é relatada como responsável pelo aumento no grau de insaturação na cadeia de carbono (Tocher, 2010). Os peixes, assim como outros vertebrados, não são capazes de sintetizar

PUFA a partir de MUFA, por não possuírem as enzimas Δ -12 e Δ 15 dessaturases, que são necessárias para a produção de LOA e α -LNA. Essas dessaturases são encontradas apenas em plantas e em alguns invertebrados (Tocher, 2010). A dessaturação é caracterizada pela introdução de uma dupla ligação na cadeia de carbono (Calder, 1998).

Dentro do grupo de ácidos graxos, aqueles capazes de estimular qualquer resposta biológica no animal, como o crescimento, por exemplo, mas não são sintetizados pelo organismo ou quando são, as quantidades são insuficientes para sustentar um crescimento adequado, são considerados essenciais (Tocher, 2010). De acordo com Glencross (2009), para a maioria dos peixes continentais os ácidos α -LNA e o LA são considerados essenciais, já para os peixes marinhos são os ácidos ARA, EPA e DHA. A exigência destes ácidos graxos essenciais na dieta varia não só entre as espécies, mas também entre as fases de desenvolvimento, nível trófico e também em função da temperatura da água e relação entre os ácidos graxos na dieta (Francis, 2007; Tocher, 2010).

As vias metabólicas dos PUFA da série n-3 e n-6 compartilham as mesmas enzimas, o que pode favorecer a síntese de um ou de outro, ou até inibir uma das vias (Sargent et al 2002; NRC, 2011). A primeira etapa da síntese de conversão de PUFA (LOA e α -LNA) em LC-PUFA é catalisada pela enzima Δ 6 dessaturase. Enzimas elongases adicionam dois carbonos nos substratos gerados que passam por mais uma dessaturação mediada pela enzima Δ 5 dessaturase, formando o EPA pela via de síntese de ácido graxos da série n-3, ou o ARA pela síntese de ácidos graxos da série n-6. O EPA pode sofrer mais algumas etapas de alongação e dessaturação e uma reação de encurtamento de cadeia gerando o DHA (Glencross, 2009; Tocher, 2010).

Estudos demonstram que a enzima Δ 6 dessaturase opera em ambos os substratos de ácidos graxos de 18 carbonos e 24 carbonos (Tocher, 2010). Tocher (2003) e Glencross (2009) relataram ausência na especificidade da enzima Δ 6 dessaturase, como outras enzimas relacionadas ao metabolismo de ácidos graxos, o que gera competição entre os substratos. Independente da atividade, todas as dessaturase (Δ 6, Δ 5 e Δ 4) para teleósteos são enzimas FADs2 (do inglês, fatty acid desaturase) (Tocher e Glencross, 2015).

A resposta do organismo ao metabolismo dos ácidos graxos da série n-3 é diretamente influenciada pelo conteúdo de ácidos graxos da série n-6 e vice-versa

(Blanchard et al, 2008). Assim, se torna evidente a necessidade do fornecimento de PUFA da série n-3 e n-6 numa proporção adequada, pois esta relação dietética de ALN:AL é a principal responsável na determinação da composição final dos ácidos graxos nos tecidos (Tocher, 2010).

A deficiência em ácidos graxos essenciais resulta em diversas patologias, como pausa no crescimento e reprodução, diminuição da eficiência alimentar, presença de fígado gorduroso e pálido, necrose nas nadadeiras caudal e dorsal, necrose na mandíbula, doenças como a síndrome do choque e eventual morte (Sargent et al., 2002; Glencross, 2009; Lim et al., 2011; NRC, 2011).

1.3 ÁCIDOS GRAXOS NOS PEIXES

O alto teor de ácidos graxos poli-insaturados encontrado nos peixes se deve à sua característica ectotérmica e isso exige membranas biológicas fluídas, pois quanto maiores os números de duplas ligações, menor será o ponto de fusão, mantendo assim a funcionalidade das membranas mesmo em baixas temperaturas (Turchini; Keong; Tocher, 2010).

De acordo com Tocher (2003), o interesse de longa data em lipídios dos peixes decorre de sua abundância e singularidade. O pescado é uma fonte quase exclusiva de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa da série n-3, assim como outros componentes solúveis em lipídios, essenciais para a saúde e o bem-estar humano (NRC, 2011) e é cada vez mais evidente a importância de conhecer as concentrações de ácidos graxos n-3 presente no pescado proveniente de ambiente natural e de criação (Suárez Mahecha, 2002).

A grande maioria dos ácidos graxos existentes no pescado contém entre 14 e 22 átomos de carbono, podendo ser saturados ou insaturados. Dentre os ácidos graxos insaturados estão o ácido monoênico (18:1 n-9), diênico (AL; 18:2 n-6), triênico (ALN; 18:3 n-3) e tetraênico (AA; 20:4 n-6). Como ácido pentaenóico, o principal é o EPA; e como hexaenóico, o DHA (Ogawa et al, 1999). Sabe-se que o conteúdo lipídico e o perfil de ácidos graxos dos peixes variam entre e dentro das espécies (Haliloglu, 2001; Haliloglu et al, 2002) e uma série de fatores, como temperatura, salinidade, estação (Mnari, 2007), tipo e disponibilidade de alimentos, habitat, estágio de maturidade e variabilidade individual, são considerados fatores importantes, contribuindo com estas variações.

As quantidades de n-3 no músculo de diferentes espécies de peixes selvagens podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição de total PUFA n-3 no músculo de peixes selvagens marinhos e de água doce. Dados expressos em % da fração lipídica.

<i>Espécie</i>	<i>n-3 total (%)</i>	<i>Referência</i>
<i>Marinhos</i>		
Sardinha-verdadeira, <i>Sardinella brasiliensis</i>	32,45	Visentainer, 2000.
Olho-de-boi, <i>Seriola lalandi</i>	13,27	Visentainer, 2000.
Bonito do Atlântico <i>Sarda sarda</i>	30,5	Visentainer, 2000.
Peixe leite, <i>Chanos chanos</i>	20,2	Gapasin, 1998.
Salmão do Atlântico, <i>Salmo salar</i>	32,17	Tonial, 2010.
Arenque, <i>Clupea harengus</i>	14,6	Steffens, 2005.
<i>Água doce</i>		
Carpa comum, <i>Cyprinus carpio</i>	15,1	Steffens, 2005.
Truta arco-íris, <i>Oncorhynchus mykiss</i>	32,1	Steffens, 2005.

Fonte: elaborada pelo autor.

1.4 DIETA DE N-3 NO PEIXE

A maior fonte de PUFA são os peixes marinhos, devido à sua alimentação fitoplanctônica e zooplanctônica que concentra ácidos graxos dessa natureza (Pigott et al, 1990; Belda et al, 1991). Já os peixes de criação dependem principalmente da composição da dieta oferecida. O óleo de peixe (óleo de fígado de bacalhau, óleo de sardinha) é um ingrediente utilizado há anos como principal fonte de LC-PUFA n-3 para peixes marinhos, contudo a alta demanda por este ingrediente e a escassez no mercado fez o preço aumentar significativamente. Assim, este é frequentemente substituído por fontes alternativas com pouca ou nenhuma quantidade total de PUFA n-3, o que certamente afetará a composição do peixe.

A vantagem dos peixes de criação em relação aos selvagens é a manutenção do controle ambiental e dietético, pois estes crescem em condições mais estáveis e possuem a composição da dieta controlada. Desta forma, o conteúdo de lipídios pode ser modificado para melhorar qualitativamente e quantitativamente o valor nutricional do peixe (Hunter, 2000). Diversos estudos mostram a influência da dieta na composição dos peixes (Tabela 2).

Tabela 2 – Adição de óleo de peixe como fontes de total PUFA n-3 na dieta de diferentes espécies de peixes marinhos e de água doce. Resultados expressos em % total PUFA n-3 no músculo dorsal.

<i>Espécie</i>	<i>Tempo alimentação (semanas)</i>	<i>Fonte</i>	<i>%Total PUFA n-3 Inicial</i>	<i>%Total PUFA n-3 Final</i>	<i>Referência</i>
<i>Água doce</i>					
Tilápia Vermelha, <i>Oreochromis niloticus var.</i>	10	Óleo de fígado de bacalhau	7,6	18,6	Al-Souti, 2012.
Bacalhau Murray, <i>Maccullochella peelii peelii</i>	16	Óleo de peixe	21,3	22,4	Francis <i>et al.</i> , 2007.
Carpa comum, <i>Cyprinus carpio</i>	8	Óleo de peixe	15,64	22,05	Kukacka, 2009.
<i>Marinhos</i>					
Salmão do Atlântico, <i>Salmo salar</i>	24	Óleo de peixe	7,70	12,00	Hemre, 1999.
Dourada, <i>Sparus aurata</i>	Comparativo: Selvagem x criação	Não relatado	9	14,9	Mnari <i>et al.</i> , 2007.
Sardinha portuguesa, <i>Sardinella pilchardus</i>	Selvagem após 48 semanas em cultivo com dieta comercial	Óleo de peixe	29,00	35,90	Bandarra <i>et al.</i> , 2018.

Fonte: elaborada pelo autor.

Al-Souti *et al.* (2012), estudando juvenis de tilápia vermelha híbrida (*Oreochromis niloticus var.*) alimentados com dietas contendo quantidades crescentes de óleo de fígado de bacalhau (0, 4, 8 ou 12% da dieta total) em substituição ao óleo de milho, após 10 semanas, perceberam diferenças significativas no conteúdo de total PUFA n-3 e nos perfis de ácidos graxos do músculo dorsal. O conteúdo total PUFA n-3 do músculo dorsal aumentou de 7,6% para 18,6%.

Em estudo com salmão do atlântico (*Salmo salar*) aumentando as concentrações lipídicas na dieta, observou-se que o conteúdo lipídico muscular aumentou em todos os grupos e a composição de ácidos graxos musculares refletiu os perfis de ácidos graxos da dieta nos peixes de todos os tratamentos. A composição de ácidos graxos depende da composição da ração, mostrando que quando alto em PUFA, o peixe é capaz de acumulá-los na mesma proporção, principalmente no tecido muscular (Hemre *et al.*, 1999).

A carpa comum (*Cyprinus carpio*) quando criada em tanques com alimento natural, apresentou altos níveis dos ácidos graxos essenciais das séries n-6 e n-3.

Por outro lado, quando criadas de maneira intensiva, com base no alimento artificial, apresentaram baixos níveis desses EFA. Ao receberem dieta formulada contendo como fonte lipídica óleo de peixe ou óleo de linhaça, puderam observar altos níveis dos LC-PUFA da série n-3 (Kukacka et al., 2009).

Algumas vezes, é possível até mesmo encontrar concentrações de ácidos graxos n-3 maior em peixes de criação alimentados com dieta comercial, do que em exemplares selvagens. Bandarra et al. (2018), em trabalho realizado com sardinha selvagem no ambiente natural e sardinhas de criação alimentadas com dieta comercial durante um ano, apresentaram maior deposição de total PUFA n-3 e alcançaram quase o dobro do nível de lipídios totais no músculo.

Mnari et al. (2007), estudando o perfil de ácidos graxos no músculo e fígado de dourada (*Sparus aurata*) encontrou valores mais altos de ácidos graxos n-3 em peixes de criação alimentados com dieta comercial do que em exemplares selvagens da mesma espécie.

Nesse contexto, é possível afirmar que mudando a composição da dieta, há alteração no teor de total PUFA n-3 no músculo possibilitando a obtenção de sardinha brasileira de criação com composição final de total PUFA n-3 que seja comparável nutricionalmente com a sardinha-verdadeira selvagem.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivos Gerais

Comparar o perfil de ácidos graxos e a composição centesimal da sardinha-verdadeira de criação alimentada com ração comercial com a sardinha selvagem de captura;

Determinar a concentração mínima do total de PUFA n-3 na dieta e o período mínimo de alimentação para que a sua retenção na sardinha de criação seja comparável com a da natureza.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Comparar o perfil de ácidos graxos e composição centesimal da sardinha de criação, alimentada com ração comercial nas quatro estações do ano, com a sardinha selvagem na primavera;
- Adicionar óleo de peixe como fonte do total de PUFA n-3 na ração de terminação por 45 dias nos níveis de inclusão de 0 (controle, sem adição), 0,3, 0,6 e 1,2% de óleo de peixe;
- Determinar o efeito dos diferentes níveis de PUFA n-3 no desempenho (sobrevivência, ganho em peso, eficiência alimentar) da sardinha-verdadeira com amostragens quinzenais (15, 30, 45 dias).

1.5.3 Estrutura da Tese

Este trabalho é dividido em dois artigos:

Artigo 1: “Composição centesimal e de ácidos graxos no músculo da sardinha-verdadeira *Sardinella brasiliensis*) selvagem e de criação”, a ser submetido para publicação na revista Food Chemistry Advances com percentil 10%.

Artigo 2: “O aumento da concentração de PUFA n-3 na dieta melhora o desempenho zootécnico e a qualidade nutricional da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* de criação”, a ser submetido para publicação na revista Journal of Food Composition and Analysis com fator de impacto de 75%.

2 ARTIGO 1 – COMPOSIÇÃO CENTESIMAL E DE ÁCIDOS GRAXOS NO MÚSCULO DA SARDINHA VERDADEIRA *SARDINELLA BRASILIENSIS*) SELVAGEM E DE CRIAÇÃO

RESUMO

Sabe-se que as sardinhas concentram ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (LC-PUFA) na natureza, no entanto, em sistemas de criação sua composição pode ser afetada pelas condições alimentares e ambientais. Portanto, este estudo avaliou a composição centesimal e o perfil de ácidos graxos de sardinhas de criação nas quatro estações do ano, bem como comparadas com aquelas capturadas na natureza na primavera. Em ambas as análises, as sardinhas de criação diferiram significativamente das selvagens. O teor de lipídios totais foi significativamente maior, especialmente no inverno, com 14,52% e 2,37% para sardinha selvagem e de criação, respectivamente. O perfil de ácidos graxos teve prevalência de PUFA n-3 em peixes selvagens (17,57%) e n-6 em peixes de criação (12,15%). As maiores concentrações de LC-PUFA ocorreram em sardinha selvagem, 16,42% contra 1,15% para sardinhas de criação no inverno. Em termos absolutos, a soma de EPA e DHA da sardinha selvagem (0,40 g/100 g) foi semelhante à da sardinha de criação na primavera (0,39 g/100 g).

Palavras-chave: *Sardinella brasiliensis*; LC-PUFA n-3; ácidos graxos; nutrição de peixes; sardinha de criação.

2.1 INTRODUÇÃO

O interesse de longa data em lipídios dos peixes decorre de sua abundância e singularidade (TOCHER, 2003), já que o peixe é uma fonte quase exclusiva de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa da série n-3 (LC-PUFA n-3), bem como outros componentes lipossolúveis essenciais para a saúde e o bem-estar humano (NRC, 2011). Os principais são o ácido eicosapentaenóico (20:5 n-3, EPA) e o ácido docosahexaenóico (22:6 n-3, DHA), que, além de seu papel no desenvolvimento e funcionamento do sistema nervoso, foto recepção e sistema reprodutivo, são indicados como agentes redutores de risco de doença coronariana, hipertensão e incidência de diabetes. Atuam também na prevenção de arritmias cardíacas, morte súbita (CRU, 2014), doenças inflamatórias, câncer de cólon, reto, próstata e mama (CALDER, 2013, CAMPOY ET AL., 2012, DELGADO-LISTA ET AL., 2012; GIL ET AL., 2012, TOCHER, 2015).

A quantidade e o perfil de lipídios nos peixes podem variar de acordo com a espécie, estágio de desenvolvimento, condições ambientais e principalmente de

acordo com a dieta, visto que os vertebrados não conseguem sintetizar PUFA via síntese de novo (TOCHER, 2003). O conteúdo de ácidos graxos n-3 de cadeia longa no músculo é geralmente maior em espécies marinhas devido às dietas à base de zooplâncton, rico em n-3 (OZOGUL, 2017), especialmente aqueles da família *Scombridae* (atum, cavala) que possuem até 38% e os pequenos peixes pelágicos da família *Clupeidae*, que chega a 48% (FERNANDES, 2014; VISENTAINER, 2000; BADOLATO, 1994). A sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) pertence à família *Clupeidae*, com grande representatividade na pesca mundial, cujas espécies são reconhecidas como importantes fontes de LC-PUFA e, portanto, amplamente utilizadas na alimentação animal e humana (SCHNEIDER, 1999). A sardinha ocorre na área entre o Cabo de São Tomé - Estado do Rio de Janeiro (22 °S) e o Cabo de Santa Marta - Estado de Santa Catarina (29 °S) (JABLONSKI, 2007). Com desembarques concentrados nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina, a espécie sustenta a maior pesca comercial do Brasil em volume de produção (PAIVA, 2000; CERGOLE et al., 2002).

Devido à rusticidade da espécie e alta demanda, estudos recentes desenvolveram tecnologias para cultivo completo em sistemas de criação (BALOI, 2016, 2017; STERZELECKI, 2017, 2018, 2021), porém nenhum até o momento abordou a qualidade do pescado produzido e comparou com a espécie na natureza.

Em geral, a composição nutricional de pescados pode variar conforme a espécie, idade, sexo e especialmente por fatores externos de sobrevida como: condições e tipo de alimentação; características do habitat natural, temperatura e grau de poluição da água; microorganismos presentes e alterações pós-morte, dos recursos pesqueiros desde a captura até sua comercialização (PIGGOT e TUCKER, 1990; BELL e SARGENT, 2002; ROBIN e VINCENT, 2003). As algas marinhas, principal fonte de alimentos de espécies marinhas são fornecedoras de minerais, particularmente o iodo (OKADA et al., 1972). A dieta japonesa, rica em algas marinhas, parece ser a principal responsável pela ausência de bócio (hipertrofia da glândula tireóide) nesta população. Além disso, as algas contêm polissacarídeos de alto peso molecular que podem prevenir doenças do aparelho digestório e circulatório (OKADA et al., 1972; PIGGOT e TUCKER, 1990; TANIKAWA, 1985; BELL e SARGENT, 2002; ROBIN e VINCENT, 2003).

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a composição centesimal e o perfil de ácidos graxos da sardinha-verdadeira de criação em

diferentes épocas do ano (primavera, verão, outono e inverno), bem como compará-la com aquela capturada na natureza na primavera.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Piscicultura Marinha - LAPMAR da Universidade Federal de Santa Catarina, na cidade de Florianópolis - SC e todo o manejo dos peixes seguiu a metodologia sugerida e previamente aprovada pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da UFSC, número de protocolo 7054251119.

2.2.1 Sardinhas de criação

Os exemplares de criação foram produzidos no Laboratório de Piscicultura Marinha – LAPMAR/UFSC e são indivíduos em preparação para plantel de reprodutores da instituição. Os peixes provenientes de um único evento de desova em cultivo (MAGNOTTI, 2020) foram criados em tanques de 8 m³, alimentados com alimento vivo na fase de larvicultura (rotífero, *Artemia* sp e copépodes) e dieta inerte 30 dias após a eclosão. No segundo ano de criação, período em que foram amostrados no presente estudo, os peixes foram confinados em tanques elevados de 8 m³, com densidade máxima de 2,5 kg m³, mantidos em sistema interno de fluxo contínuo e aeração central microporosa, mantendo os níveis de nitrogênio próximos de zero, oxigênio com média = 4,95 ± 1,2 e temperatura média no ano de 2021 nos meses de março - outono (23,72° ± 2,34), junho de 2021 - inverno (18,79° ± 2,25), setembro - primavera (20,67° ± 1,61) e dezembro - verão (25,28° ± 1,43). Para a alimentação foi utilizado ração comercial (Nutripiscis Presence, 45% proteína bruta, 8% lipídeos – Tabela 3), *ad libitum* dividida em três horários (8 h 30, 12 h 30 e 16 h 30).

Tabela 3 - Composição de ácidos graxos da dieta comercial (Nutripiscis Presence, 45% de proteína).
Dados expressos em porcentagem de lipídios totais (média \pm DP).

<i>Ácidos graxos</i>	
14:0	3.13 \pm 0.29
15:0	0.59 \pm 0.11
16:0	31.4 \pm 2.39
n.i.*	0.25 \pm 0.07
16:1n-7	4.73 \pm 0.10
17:0	0.33 \pm 0.10
18:0	6.46 \pm 0.27
18:1 trans isomer	0.41 \pm 0.12
18:1n-9c	34.5 \pm 2.17
18:2n-6c	10.3 \pm 0.05
20:1n-9	1.23 \pm 0.70
18:3n-3	1.13 \pm 0.72
20:2	1.05 \pm 0.87
20:5n-3	2.03 \pm 1.56
22:6n-3	2.52 \pm 1.64

Ni* - ácido graxo não identificado.
Fonte: elaborada pelos autores.

2.2.2 Sardinhas selvagens

As sardinhas selvagens (n=6) foram capturadas no litoral de Santa Catarina, utilizando redes de arrasto de 20 a 30 metros com redes de 700 a 900 metros de altura de 50 a 60 metros, na primavera durante o mês de setembro de 2021 (a data foi baseada conforme disponibilidade da empresa responsável pela coleta), e tinham peso médio de 48,56 g \pm 4,08 g e comprimento médio de 15,2 cm \pm 2,35 cm, as amostras foram congeladas, mantidos a -20 °C e assim permaneceram até o momento da análise com escamas, cauda, cabeça e vísceras. A amostra foi gentilmente cedida pela empresa Gomes da Costa proveniente de captura na região de Itajaí - SC. Nesse período, a temperatura média da água foi de 20,67°C.

2.2.2.1 Coleta das amostras

A amostragem de indivíduos de sardinha selvagem (n=6) ocorreu em indivíduos recentemente capturados, congelados e transportados rapidamente para o laboratório. Paralelamente, no mesmo ano, foram coletadas amostras de indivíduos (n=6) criados no outono, inverno, primavera e verão, cujo peso e comprimento médios foram $42,64 \text{ g} \pm 1,32 \text{ g}$ e $15,9 \text{ cm} \pm 1,2 \text{ cm}$, $46,28 \text{ g} \pm 1,43 \text{ g}$ e $16 \text{ cm} \pm 1,8 \text{ cm}$, $44,26 \text{ g} \pm 1,75 \text{ g}$ e $16,2 \text{ cm} \pm 2,3 \text{ cm}$ e $45,67 \text{ g} \pm 1,22 \text{ g}$ e $15,5 \text{ cm} \pm 2,6 \text{ cm}$ respectivamente. Em todas as amostragens (selvagens e de criação), os peixes foram primeiramente eutanasiados com dose letal de benzocaína (200 mg L^{-1}) e realizada biometria. Na amostra selvagem, todos os peixes foram congelados inteiros e armazenados a $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ até a data da análise da composição centesimal e de ácidos graxos. Para as amostras de criação, três dos seis peixes foram eviscerados, cabeça e cauda foram removidas e então congeladas a $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ até análise para obtenção da composição de ácidos graxos do filé. Os demais foram congelados inteiros e armazenados a -20°C até a data da análise para valores de composição centesimal.

2.2.2.2 *Análise da composição centesimal*

Foram realizados no Centro de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Maria, RS. A composição centesimal (umidade, cinzas e proteínas) dos filés de sardinha foi analisada de acordo com os métodos descritos pela Association of Official Analytical Chemists – AOAC (AOAC, 2005). O teor de umidade foi determinado em estufa de ar quente, secando $4,0 \text{ g}$ de amostra a $105 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, até peso constante. O teor de cinzas foi determinado após calcinação de $4,0 \text{ g}$ de amostras em forno mufla a $550 \text{ }^{\circ}\text{C}$, até peso constante. O teor de nitrogênio bruto foi determinado pela conversão do teor de nitrogênio obtido pelo método micro-Kjeldahl, utilizando um fator de conversão de nitrogênio em proteína de 5,6. Por fim, o conteúdo lipídico foi determinado segundo método de Bligh & Dyer (1959), modificado por Reis et al. (2018). Todas as análises foram realizadas em triplicata (n=3).

2.2.2.3 *Análise de ácidos graxos*

Os ácidos graxos foram avaliados a partir dos lipídios extraídos dos filés de sardinha pelo método de Bligh & Dyer (1959), modificado por Reis et al. (2018).

Resumidamente, 5 g de amostra foram adicionados aos tubos Falcon com adição de clorofórmio, metanol e água para extração lipídica. Em seguida, o extrato clorofórmico contendo 20 mg de lipídeo foi seco e submetido ao procedimento de transesterificação e esterificação conforme Hartman e Lago (1973), já descrito detalhadamente por Reis et al. (2018). O sobrenadante contendo hexano e ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME) foi analisado em cromatógrafo gasoso Varian Star 3600CX (Califórnia, EUA, 2004) equipado com detector de ionização de chama (GC-FID;) e amostrador automático (Varian 8200). 1 μ L de amostras foi injetado em uma entrada split/splitless, operando em modo split (1:20) a 250 °C. O hidrogênio foi usado como gás de arraste a uma pressão constante de 20 psi. A coluna utilizada para a separação dos analitos foi a HP-88 (100 m \times 0,25 mm; espessura de filme de 0,20 μ m, (Agilent®, J & W, Folsom, CA, EUA). O forno da coluna foi programado a 50 °C por 1 min e aumentou 15 °C min^{-1} até 185 °C, depois para 195 °C aumentando 0,5 °C min^{-1} , e finalmente aumentou 15 °C min^{-1} até atingir 230 °C, onde permaneceu por 5 °C min^{-1} . min. A identificação dos ésteres metílicos foi realizada comparando os tempos de retenção dos analitos com o padrão utilizado (MIX-37). A temperatura do detector foi mantida constante a 250 °C. Os tempos de retenção dos compostos FAME foram identificados por comparação experimental com aqueles de padrões autênticos (FAME Mix-37, Sigma Aldrich®, St. Louis, MO, EUA). Os resultados foram apresentados como uma porcentagem de cada ácido graxo identificado na fração lipídica, considerando o fator de resposta equivalente ao comprimento da cadeia e fator de conversão de em ácido para cada FAME aplicado ao FID, conforme Visentainer (2012).

2.2.2.4 *Monitoramento da qualidade da água em viveiros de reprodução*

Os parâmetros de qualidade da água foram monitorados diariamente durante todo o ano, medindo temperatura e oxigênio com auxílio de oxímetro digital (YSI 55, Yellow Springs, OH, EUA), pH com pHmetro digital (AT 315 Microprocessado, Alfakit Ltda, Florianópolis - SC, Brasil) e salinidade com refratômetro portátil (Instrutherm RTS-101ATC-03137, Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda., São Paulo, Brasil).

2.2.2.5 Análise estatística

Os dados de composição centesimal e perfil de ácidos graxos foram primeiramente submetidos à análise de normalidade e homocedasticidade. Os dados paramétricos foram analisados por ANOVA unidirecional e, quando as médias foram significativas, foi utilizado o teste post-hoc de Tukey. Quando a distribuição não assumiu os pressupostos paramétricos, utilizou-se a análise de variância de Kruskal-Wallis seguida do teste post-hoc de Dunn. O nível de significância adotado foi de 5%.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Composição centesimal

A composição centesimal total da sardinha diferiu significativamente entre animais de criação e selvagens (Tabela 4). Além disso, houve diferença significativa na composição dos peixes de criação ao longo das estações do ano (Tabela 4). A dieta é um dos principais fatores que podem alterar a qualidade dos peixes, porém outros fatores como temperatura, salinidade, estágio de vida e nível trófico também podem afetar (XU et al., 2020). O teor de umidade e lipídios nos peixes selvagens diferiu significativamente dos peixes de criação (Tabela 4). Embora a umidade fosse maior nas amostras de sardinha selvagem, o teor de lipídios era significativamente maior nos peixes de criação, especialmente no inverno. Essa relação inversamente proporcional entre lipídios e água corporal se deve principalmente ao caráter hidrofóbico dos lipídios (NRC, 2011), resultado já observado em estudos de nutrição com a própria sardinha verdadeira (BALOI, 2016, 2017; STERZELECKI, 2018).

Tabela 4 - Composição centesimal das sardinhas selvagens e de criação. Média \pm desvio padrão (número=3). Dados expressos em porcentagem de matéria úmida. Letras diferentes significam diferenças significativas.

<i>Origem</i>	<i>Umidade</i>	<i>Proteína</i>	<i>Cinzas</i>	<i>Lípideo total</i>	<i>Lípideo filé</i>
<i>Selvagem</i>	73,82 \pm 0,75 ^a	16,37 \pm 0,45 ^{ab}	4,73 \pm 0,61	2,37 \pm 0,17 ^d	2,49 \pm 0,07 ^d
<i>Criação</i>					
<i>Primavera</i>	62,07 \pm 2,18 ^b	16,74 \pm 0,32 ^a	3,97 \pm 1,03	12,66 \pm 1,19 ^{bc}	12,65 \pm 1,27 ^b
<i>Verão</i>	62,06 \pm 0,3 ^b	15,65 \pm 0,07 ^b	5,34 \pm 1,06	10,68 \pm 0,62 ^c	9,26 \pm 0,76 ^c
<i>Outono</i>	60,88 \pm 0,74 ^b	13,93 \pm 0,27 ^c	4,5 \pm 1,02	13,98 \pm 0,40 ^{ab}	11,54 \pm 1,23 ^{bc}
<i>Inverno</i>	63,56 \pm 2,39 ^b	14,29 \pm 0,07 ^c	4,1 \pm 0,58	14,52 \pm 1,12 ^a	18,28 \pm 1,10 ^a

Fonte: elaborada pelos autores.

Em geral, animais de criação apresentam maiores teores de lipídios (HENRIQUES, 2014, CEJAS et al., 2004, RODRIGUEZ et al., 2004), provavelmente devido a diferenças na quantidade e qualidade da dieta artificial. A sardinha-Europeia, *Sardinops pilchardus*, em sistema de criação, apresentou 25% do total de lipídios musculares, enquanto a selvagem apresentou 14% (BANDARRA et al., 2018). As sardinhas do presente estudo foram alimentadas com dieta comercial formulada para peixes de água doce e o uso de dietas desequilibradas pode aumentar ainda mais o acúmulo de lipídeos (NRC, 2011).

A temperatura certamente foi um dos fatores que alterou a composição proteica e lipídica dos peixes de criação, pois os peixes são ectotérmicos e não conseguem manter o calor corporal, o que pode afetar o gasto energético (BANDARRA, 2018). Na amostra de inverno, o menor gasto energético pode ter levado ao aumento das reservas energéticas no tecido adiposo e muscular. Quando os peixes atingem a temperatura corporal ideal, o alimento consumido é melhor aproveitado, liberando a energia necessária para a multiplicação e crescimento celular (PIEDRAS et al., 2004).

Não houve diferença significativa em relação à proteína entre os peixes selvagens e de criação na primavera, porém os níveis foram significativamente menores ao longo das estações (Tabela 4). O crescimento (ganho de massa) dos peixes normalmente está associado à proteína, mas em muitos casos pode ser resultado da deposição lipídica (NRC, 2011), influenciando na composição final do indivíduo. Além do estágio de desenvolvimento, a sazonalidade tem forte influência na quantidade de lipídios nos peixes, inclusive na sardinha selvagem (LUZIA et al., 2003). Embora o presente estudo não tenha analisado a composição da sardinha selvagem ao longo do ano, em estudos anteriores o teor de lipídios variou de 4% a 10%, e o teor de proteína de 15% a 20% (LUZIA et al., 2003; OLIVEIRA, 2003).

2.3.2 Perfil de ácidos graxos

Além da quantidade total de lipídios, o perfil de ácidos graxos também foi significativamente diferente entre peixes selvagens e de criação, especialmente aqueles amostrados no outono e inverno (Tabela 5).

Tabela 5 - Composição de ácidos graxos no filé da sardinha selvagem e de criação nas quatro estações do ano. Dados expressos na porcentagem de lipídios totais da matéria úmida.

Ác. Graxo	Origem				
	Selvagem	Primavera	Verão	Outono	Inverno
C12:0	0,080 ± 0,041	0,064 ± 0,071	0,067 ± 0,067	0,052 ± 0,087	0,067 ± 0,081
C13:0	0,080 ± 0,076	0,035 ± 0,063	0,036 ± 0,076	0,033 ± 0,091	0,031 ± 0,045
C17:0	1,718 ± 0,077	0,543 ± 0,037	0,613 ± 0,078	0,511 ± 0,076	0,384 ± 0,063
C14:0	6,938 ± 0,129	3,382 ± 0,078	3,577 ± 0,087	3,463 ± 0,085	3,351 ± 0,061
C18:0	7,088 ± 0,090	5,848 ± 0,043	5,988 ± 0,074	5,530 ± 0,056	5,188 ± 0,033
C15:0	1,802 ± 0,086	0,491 ± 0,047	0,525 ± 0,034	0,535 ± 0,063	0,425 ± 0,092
C20:0	0,275 ± 0,036	0,189 ± 0,054	0,210 ± 0,052	0,173 ± 0,045	0,137 ± 0,074
C16:0	39,226 ± 0,044	30,428 ± 0,0467	31,067 ± 0,055	34,282 ± 0,044	35,716 ± 0,077
Σ SAT	57,205 ^a	40,979 ^c	42,082 ^{bc}	44,579 ^{bc}	45,299 ^b
C14:1	0,057 ± 0,087	0,071 ± 0,078	0,061 ± 0,066	0,045 ± 0,046	0,054 ± 0,049
C16:1	5,047 ± 0,065	3,781 ± 0,088	3,662 ± 0,053	3,471 ± 0,063	3,288 ± 0,064
C20:1	0,990 ± 0,095	0,755 ± 0,096	0,848 ± 0,041	0,715 ± 0,096	0,638 ± 0,099
C24:1	0,243 ± 0,094	0,035 ± 0,062	0,052 ± 0,074	0,046 ± 0,074	0,029 ± 0,032
C17:1	0,214 ± 0,059	0,247 ± 0,094	0,287 ± 0,095	0,331 ± 0,032	0,269 ± 0,067
C18:1	0,243 ± 0,093	0,484 ± 0,091	0,480 ± 0,068	0,429 ± 0,048	0,472 ± 0,055
C18:1	6,458 ± 0,092	28,930 ± 0,056	28,676 ± 0,006	27,128	29,408 ± 0,083
C18:1 N-7	2,007 ± 0,063	3,105	2,980 ± 0,076	3,338	2,948 ± 0,071
Σ MUFA.	15,259 ± 0,074 ^b	37,408 ± 0,032 ^a	37,045 ± 0,090 ^a	35,503 ± 0,054 ^a	37,106 ± 0,066 ^a
C18:2	0,163 ± 0,048	0,108 ± 0,074	0,121 ± 0,091	0,106 ± 0,046	0,095 ± 0,056
C20:2	0,127 ± 0,075	0,235 ± 0,088	0,241 ± 0,076	0,201 ± 0,090	0,163 ± 0,079
C18:2 N-6 (AL)	2,013 ± 0,048 ^d	11,028 ± 0,061 ^a	11,265 ± 0,071 ^a	8,277 ± 0,088 ^b	7,034 ± 0,073 ^c
C18:3 N-6	0,100 ± 0,049	0,495 ± 0,073	0,411 ± 0,096	0,761 ± 0,082	0,697 ± 0,086
C18:3 N-3 (LNA)	1,164 ± 0,041	1,003 ± 0,094	0,942 ± 0,067	0,768 ± 0,059	0,686 ± 0,039
Σ PUFA	3,567 ± 0,038 ^d	12,868 ± 0,041 ^a	12,980 ± 0,054 ^{ab}	10,112 ± 0,062 ^{bc}	8,677 ± 0,044 ^c
C20:3 N-6	0,083 ± 0,074	0,486 ± 0,024	0,476 ± 0,043	0,623 ± 0,077	0,567 ± 0,056
C20:3 N-3	0,703 ± 0,049 ^a	0,083 ± 0,098 ^b	0,074 ± 0,076 ^{bc}	0,058 ± 0,062 ^{bc}	0,047 ± 0,084 ^c
C20:4 N-6 (ARA)	1,096 ± 0,33 ^a	0,478 ± 0,041 ^{bc}	0,449 ± 0,091 ^{bc}	0,412 ± 0,041 ^b	0,276 ± 0,082 ^c
C20:5 N-3 (EPA)	4,885 ± 0,078 ^a	0,778 ± 0,085 ^b	0,667 ± 0,048 ^b	0,565 ± 0,072 ^b	0,416 ± 0,041 ^b
C22:5 N-3 (DPA)	0,217 ± 0,049 ^a	0,174 ± 0,067 ^{ab}	0,202 ± 0,041 ^{ab}	0,136 ± 0,022 ^b	0,068 ± 0,034 ^c
C22:6 N-3 (DHA)	10,595 ± 0,074 ^a	1,837 ± 0,021 ^b	1,354 ± 0,094 ^b	1,282 ± 0,059 ^b	0,616 ± 0,056 ^b
Σ LC-PUFA	17,579 ± 0,024 ^a	3,838 ± 0,031 ^b	3,224 ± 0,38 ^b	3,078 ± 0,029 ^b	1,991 ± 0,030 ^b
Σ LC N-3	16,42 ± 0,044 ^a	2,88 ± 0,076 ^b	2,18 ± 0,065 ^b	2,08 ± 0,041 ^b	1,15 ± 0,094 ^b
Σ N-3	17,564 ± 0,054 ^a	3,883 ± 0,071 ^b	3,112 ± 0,043 ^b	2,848 ± 0,056 ^b	1,836 ± 0,061 ^c
Σ N-6	2,196 ± 0,026 ^c	12,009 ± 0,068 ^a	12,153 ± 0,074 ^a	9,661 ± 0,071 ^b	8,298 ± 0,059 ^b
N-3/N-6	0,125 ± 0,048 ^c	3,092 ± 0,090 ^b	3,892 ± 0,073 ^b	3,392 ± 0,048 ^b	4,519 ± 0,040 ^a
Lipídeos totais	2,490 ± 0,020 ^d	12,652 ± 0,041 ^b	9,255 ± 0,022 ^c	11,536 ± 0,031 ^b	18,277 ± 0,038 ^a
Valores absolutos					
Σ LC N-6	0,0019 ± 0,076 ^c	0,066 ± 0,065 ^b	0,044 ± 0,041 ^b	0,069 ± 0,069 ^b	0,10 ± 0,058 ^a
Σ LC N-3	0,40 ± 0,047 ^a	0,39 ± 0,084 ^a	0,22 ± 0,055 ^b	0,23 ± 0,075 ^b	0,21 ± 0,071 ^b

Σ SAT - Soma dos ácidos graxos saturados, Σ MUFA - Soma dos ácidos graxos monoinsaturados, Σ PUFA - Soma dos ácidos graxos poli-insaturados, Σ LC-PUFA - Soma dos ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa, Σ PUFA n-6 - soma dos ácidos graxos da série n-6, Σ PUFA n-3 - soma dos ácidos graxos da série n-3, LA - ácido linoléico, LNA - ácido alfa linolênico, Σ LC-PUFA n-3 - soma dos ácidos graxos de cadeia longa ácidos da série n-3, EPA - ácido eicosapentaenóico, DHA - ácido docosahexaenóico, ARA - ácido araquidônico.

Fonte: elaborada pelos autores.

Independentemente da origem do peixe, os ácidos graxos saturados (SFA) foram os lipídios predominantes. Contudo, o teor na sardinha selvagem foi significativamente superior em relação às demais, com média de 57,19% (Tabela 5).

Nas sardinhas de criação, a concentração de SFA foi maior no outono e no inverno. Como os ácidos graxos saturados são preferencialmente utilizados como combustível celular (TOCHER, 2003), esse resultado pode estar relacionado à diminuição do gasto energético nos períodos mais frios. A concentração de ácidos graxos monoinsaturados (MUFA) nas sardinhas de criação foi duas vezes maior que nas sardinhas selvagens (Tabela 5), o que é consistente com outros estudos que mostraram que a concentração de lipídios musculares totais tende a ser maior em peixes de criação do que em indivíduos selvagens da mesma espécie. Em um estudo com diferentes espécies de peixes (CASTELL et al. 1972a; HARDY et al. 2002; SANTHA & GATLIN 1991; KALOGEROPOULOS et al. 1992; KENNISH et al. 1992; RUYTER et al. 2000 a) foi encontrada uma relação direta entre a composição de ácidos graxos da gordura corporal e os lipídios da dieta. No presente estudo, a sardinha cultivada não apresentou grande variação no teor de SFA e MUFA ao longo do tempo, o que é esperado porque a dieta é a mesma e as condições ambientais não sofrem grandes variações. Da mesma forma, Luzia et al. (2003), em estudo com sardinha, corvina, tilápia e curimatá, observaram que essas espécies não foram influenciadas pela sazonalidade em termos de ácidos graxos saturados e insaturados totais.

Relativamente à soma de ácidos poli-insaturados (PUFA), a sardinha selvagem apresentou os valores mais baixos em comparação com a sardinha de criação. Este fato se deve principalmente aos ácidos graxos n-6, presentes em maior quantidade nas sardinhas de criação e também na dieta de peixes comerciais (de criação) (PESSADOR, 2006). O contrário ocorre na natureza, onde os PUFAs n-3 estão presentes em maiores quantidades na dieta (PESCADOR, 2006).

A proporção de ácidos graxos n-3/n-6 presentes na dieta é de extrema importância, pois está relacionada com a resposta imune dos vertebrados e, portanto, com a saúde (TOCHER, 2003). Os peixes de criação tiveram a proporção mais próxima da dos peixes selvagens no inverno, com 4,51%.

Considerando os ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (LC-PUFA), as sardinhas de criação apresentaram percentuais significativamente mais baixos e foram fortemente influenciadas pela classe LC-PUFA n-3, que apresentou

concentração média seis vezes menor. O oposto foi observado no LC-PUFA n-6, que apresentou concentração média até sete vezes maior em peixes de criação. Em ambos os grupos de ácidos graxos, não foram observadas diferenças significativas ao longo do tempo e, portanto, a alimentação parece ter sido a grande responsável pelas variações na concentração de LC-PUFA. Corroborando esta explicação, as sardinhas cultivadas na Europa alimentadas com uma dieta rica em LC-PUFA n-3 apresentaram maior concentração do que os indivíduos selvagens (BANDARRA, 2018).

Os ácidos graxos docosahexaenóico (C 22:6 n-3, DHA), eicosapentaenóico (C 20:5 n-3, EPA) e araquidônico (C 20:4 n-6, ARA) são LC-PUFA's de grande importância fisiológica em peixes e vertebrados em geral (TOCHER, 2003). Presentes nas membranas celulares, atuam na sinalização celular (SARGENT, 1997) e são abundantes em espécies marinhas, principalmente nos estágios iniciais de desenvolvimento. No presente estudo, eles estavam em maior concentração relativa nas sardinhas selvagens. No entanto, em termos absolutos, o EPA e o DHA não diferiram significativamente entre os colhidos na natureza e na primavera. Além disso, a ARA concentrou-se mais na sardinha de criação (Tabela 5).

2.4 CONCLUSÃO

A composição centesimal e o perfil de ácidos graxos das sardinhas de criação diferiram significativamente das sardinhas selvagens. O perfil de ácidos graxos teve prevalência de PUFA n-3 em peixes selvagens e n-6 em peixes de criação, possivelmente refletindo a dieta de cada grupo. Mais estudos devem ser realizados para aumentar a qualidade nutricional dos animais de criação, principalmente em relação à dieta, favorecendo o acúmulo de n-3.

2.5 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de financiamento 001. Ao CNPq pela bolsa de produtividade a V.R. Cerqueira (309101/2017-4).

2.6 REFERÊNCIAS

- AOAC, Official methods of analysis. International. Gaithersburg, maryland, usa, aoac international, 18th ed, 2005.
- BADOLATO, E.S.A.; CARVALHO, J.B. DE; AMARAL MELLO, M.R.P. DO; TAVARES, M.; CAMPOS, N.C.; AUED-PIMENTEL, S.; MORAIS, C. DE. – Centesimal composition of fatty acids and caloric value of five marine fish species in the different seasons. Rev. Inst. Adolfo lutz: 54(1): 27-35, 1994.
- BALOI, M. F. ET AL. Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and body composition of juveniles brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindacher 1879). Aquaculture research, v. 47, n. 2, p. 554-560, 2016.
- BALOI, M. F. ET AL. Growth performance, body composition and metabolic response to feeding rates in juvenile brazilian sardine *Sardinella brasiliensis*. Aquaculture nutrition, v. 23, n. 6, p. 1458-1466, 2017.
- BANDARRA, N. M., MARÇALO, A., CORDEIRO, A. R., & POUÇÃO - FERREIRA, P. Sardine (*Sardina pilchardus*) lipid composition: does it change after one year in captivity? Food chemistry, 244, 408–413, 2018.
- BLIGH, E. G., & DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. canadian journal of biochemistry and physiology, 37(8), 911-917, 1959.
- CRU, C. R. U.; Doença cardio-vascular, d. V. C. Lista de abreviaturas e símbolos. Influência de processos de cocção no perfil de ácidos graxos dos filés de merluza (*Merluccius hubbsi*) e pescada-branca (*Cynoscion leiarchus*), p. 17, 2014.
- CALDER, P.C. N – 3 Fatty Acids, inflammation and immunity: new mechanisms to explain old actions proc. nutr. soc., 72 (2013), Pp. 326-336, 2013.
- CAMPOY, C. V. ESCOLANO-MARGARIT, ANJOS, T, SZAJEWSKA, H, UAUY, R. Omega 3 Fatty acids on child growth, visual acuity and neurodevelopment Br. J. Nutr., 107 (2012), Pp. S85-S106. 2012.
- CASTELL, J. D. ET AL. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): growth, feed conversion and some gross deficiency symptoms. the journal of nutrition, v. 102, n. 1, p. 77-85, 1972.
- CEJAS, J. R. ET AL. Lipid and fatty acid composition of muscle and liver from wild and captive mature female broodstocks of white seabream, *Diplodus sargus*. Comparative biochemistry and physiology part b: biochemistry and molecular biology, V. 138, N. 1, P. 91-102, 2004.
- CERGOLE, M. C.; SACCARDO, S. A.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B. Fluctuations in the spawning stock biomass and recruitment of the brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) 1977-1997. Revista Brasileira De Oceanografia, V. 50, P. 13-26, 2002.
- DELGADO-LISTA, J.; P. PEREZ-MARTINEZ; LOPEZ-MIRANDA, J; PEREZ-JIMENEZ, F. Long chain omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: a systematic review Br. J. Nutr., 107 (2012), Pp. S201-S213. 2012.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Sofia. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Departamento De Pesca. 2002.

FERNANDES, C. E. ET AL. Nutritional and lipid profiles in marine fish species from Brazil. *Food Chemistry*, V. 160, P. 67-71, 2014.

HARDY, R.W (EDS.) *Fish Nutrition* 3rd Edn. Academic Press, New York, 2002.

Hartman, L., & Lago, R. C. A. Further observations concerning effects of unsaponifiable constituents on the properties of coffee seed oil. *Journal Of The American Oil Chemists' Society*, 50, 99–100. <https://doi.org/10.1007/Bf02671111>, 1973.

HENRIQUES, J. ET AL. Nutritional quality of salmon products available from major retailers in the uk: content and composition of N-3 Long-Chain Pufa. *British Journal Of Nutrition*, V. 112, N. 6, P. 964-975, 2014.

KALOGEROPOULOS, N.; ALEXIS, M. N.; HENDERSON, R. J. Effects of dietary soybean and cod-liver oil levels on growth and body composition of gilthead bream (*Sparus Aurata*). *Aquaculture*, V. 104, N. 3-4, P. 293-308, 1992.

KENNISH, JOHN M. ET AL. The effect of a herring diet on lipid composition, fatty acid composition, and cholesterol levels in the muscle tissue of pen-reared chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, V. 108, N. 3-4, P. 309-322, 1992.

LUZIA L. A et al. The influence of season on the lipid profiles of five commercially important species of brazilian fish. *Food Chem.* 2003.

MAGNOTTI, C. C. F. et al. Spontaneous spawning of brazilian sardine in captivity. *Boletim Do Instituto De Pesca*, V. 46, N. 1, 2020.

NRC - National Research Council Et Al. *Nutrient Requirements Of Fish And Shrimp*. National Academies Press, 2011.

OLIVEIRA, S. K. ET AL. Efeito da sazonalidade sobre o valor químico de peixes marinhos do litoral catarinense: Sardinha (*Sardinella brasiliensis*), Atum (*Katsuwonus pelamis*), Corvina (*Micropogonias furnieri*) E Pescada (*Cynoscion steindacheri*), 2003.

OZOGUL, YESIM ET AL. The combined impact of nanoemulsion based on commercial oils and vacuum packing on the fatty acid profiles of sea bass fillets. *Journal Of Food Processing And Preservation*, V. 41, N. 6, P. E13222, 2017.

PAIVA, M. P. & P.C.S. MOLTA. Cardumes da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner), em águas costeiras do estado do Rio De Janeiro, Brasil. *Revista Bras. Zool.*, 2000.

PESCADOR, ROSANE. *Aspectos Nutricionais Dos Lipídios No Peixe: Uma Revisão De Literatura*. 2006.

PIEDRAS, S. R. N, MORAES, P. R, POUHEY, J. L. O. F (2006) Desempenho de juvenis de Catfish (*Ictalurus punctatus*) em diferentes temperaturas. *Revista Brasileira De Agrociência* 12:367-370.

- REIS, J. H., GEBERT, R. R., BARRETA, M., BALDISSERA, M. D., DOS SANTOS, I. D., WAGNER, R., DA SILVA, A. S. Effects of phytogetic feed additive based on thymol, carvacrol and cinnamic aldehyde on body weight, blood parameters and environmental bacteria in broilers chickens. *Microbial Pathogenesis*, 125, 168–176, 2018.
- RUYTER, B. E. ET AL. Essential fatty acids in atlantic salmon: time course of changes in fatty acid composition of liver, blood and carcass induced by a diet deficient in N-3 And N-6 fatty acids. *Aquaculture Nutrition*. V. 6, P.109-117, 2000.
- SANTHA, CALISTA R.; GATLIN III, DELBERT M. Growth response and fatty acid composition of channel catfish fry fed practical diets supplemented with menhaden fish oil. *The Progressive Fish-Culturist*, V. 53, N. 3, P. 135-140, 1991.
- SARGENT, J. R.; MCEVOY, L. A.; BELL, J. G. Requirements, presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds. *Aquaculture*, V. 155, N. 1-4, P. 117-127, 1997.
- SCHNEIDER, F.; SCHWINGEL, P. R. Estudo preliminar da ecologia trófica da *Sardinella brasiliensis* na costa sudeste do Brasil. *Brazilian Journal Of Aquatic Science And Technology*, V. 3, N. 1, P. 67-72, 1999.
- STERZELECKI, F. C., SUGAI, J. K., BALOI, M., PASSINI, G., DE CARVALHO, C. V. A., FRACALOSI, D. M., & CERQUEIRA, V. R. Effect of dietary carbohydrate to lipid ratios on growth, digestive enzyme and blood metabolites of juvenile brazilian sardines, *Sardinella Brasiliensis* (Steindachner, 1879). *Aquaculture Research*, 48(9), 5111-5121, 2017.
- STERZELECKI, F. C. ET AL. Effects of increasing protein level on the performance, enzyme activity and body composition of the brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879). *Aquaculture Nutrition*, V. 24, N. 1, P. 366-374, 2018.
- STERZELECKI, F. C. ET AL. Minimum rotifer density for best growth, survival and nutritional status of brazilian sardine larvae, *Sardinella brasiliensis*. *Aquaculture*, V. 534, P. 736264, 2021.
- TOCHER, D. R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Rev. Fish. Sci.* 11, 107–184, 2003.
- TOCHER, D. R. Omega-3 Long-Chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture*, V. 449, P. 94-107, 2015.
- VISENTAINER, J. V. ET AL. Concentração de ácido eicosapentaenóico (epa) e ácido docosahexaenóico (dha) em peixes marinhos da costa brasileira. *Ciência E Tecnologia De Alimentos*, V. 20, N. 1, P. 90-93, 2000.
- XU, H, G.M. TURCHINI, D.S. FRANCIS, ET AL. Are Fish What They Eat? A fatty acid's perspective, progress in lipid research, 2020.

3 ARTIGO 2 – O AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE LC-PUFA N-3 NA DIETA MELHORA O DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E A QUALIDADE NUTRICIONAL DA SARDINHA VERDADEIRA *SARDINELLA BRASILIENSIS* DE CRIAÇÃO

RESUMO

A carne de peixe desempenha um papel fundamental na nutrição humana, fornecendo ácidos graxos poli-insaturados n-3 de cadeia longa (LC-PUFA) associados a efeitos benéficos à saúde. Na aquicultura, os peixes são alimentados com rações artificiais elaboradas com ingredientes de diversas origens que podem influenciar os níveis finais de PUFA n-3 e, conseqüentemente, a qualidade nutricional da carne destinada ao consumo humano. O objetivo do presente estudo foi verificar os efeitos do incremento dietético de óleo de peixe (PUFA n-3) no desempenho zootécnico, composição centesimal e perfil de ácidos graxos em filés de sardinha-verdadeira *Sardinella brasiliensis*. Trezentos e setenta e cinco juvenis de sardinha com peso e comprimento médios iniciais de $32,5 \pm 5,9$ g e $14,2 \pm 1,0$ cm foram divididos em 15 unidades experimentais e submetidos a diferentes tratamentos dietéticos: grupo controle sem incremento de óleo de peixe (0%) e quatro grupos com incremento de óleo de peixe nas concentrações de 0,3%, 0,6%, 0,9% e 1,2%. O experimento teve duração de 45 dias e foi coletado material biológico no início e aos 15, 30 e 45 dias para análise de ácidos graxos e composição centesimal, além de biometria para determinação do desempenho zootécnico. As diferentes concentrações de PUFA n-3 na dieta influenciaram significativamente ($p < 0,05$) o desempenho zootécnico. O grupo com 1,2% de óleo de peixe apresentou níveis mais baixos de lipídios totais (15,8%) em comparação com os demais grupos (18,90%, 19,60%, 19,60% e 17,70% para os grupos 0,3%, 0,6% e 0,9%, respectivamente). Os níveis lipídicos no filé foram significativamente maiores nos grupos 0,6% e 0,9% (19,90% e 18,70%) em comparação com os grupos 1,2% e controle (14,17% e 15,50%). A umidade foi significativamente menor nos grupos 0,3% e 0,6% (61,30% e 60,32%) em comparação com os grupos 0,9% e controle (62,21% e 63,30%). Os níveis de ácido graxo linoléico foram significativamente diferentes entre os tratamentos apenas no 45º dia, com o grupo de 1,2% apresentando teores significativamente maiores. Os peixes do grupo 1,2% apresentaram níveis significativamente mais elevados de ácido graxo alfa-linolênico quando comparados aos peixes do grupo 0,3%, porém, foram semelhantes aos demais grupos. Para os ácidos graxos eicosapentaenóico e docosahexaenóico, os grupos 0,9% e 1,2% apresentaram níveis significativamente maiores em vários dias de coleta em comparação com os grupos 0,3% e controle. O ácido docosapentaenóico também apresentou níveis significativamente maiores nos grupos 1,2% no 30º e 45º dias em comparação com os grupos 0%, 0,3% e 0,6%. Em resumo, o aumento da concentração de LC-PUFA n-3 na dieta melhorou as taxas de crescimento, reduziu a umidade e aumentou o conteúdo lipídico total no filé de sardinha. Inclusões de 0,9% e 1,2% de óleo de peixe aprimoraram o perfil de ácidos graxos poli-insaturados no filé, destacando o potencial das intervenções dietéticas para otimizar os resultados na aquicultura.

Palavras-chave: Ácido graxo poliinsaturado; Aquicultura; Piscicultura marinha; Sardinha.

3.1 INTRODUÇÃO

A carne de peixe desempenha um papel fundamental na nutrição humana (TACON ET AL., 2020). O valor nutricional do peixe é influenciado pelo conteúdo disponível de proteínas, minerais, vitaminas e ácidos graxos n-3 altamente insaturados (HUFA), ácido eicosapentaenóico (EPA) e ácido docosahexaenóico (DHA) (VENUGOPAL E SHAHIDI, 1996), que desempenham um papel fundamental no desenvolvimento e funcionamento do cérebro, do sistema cardiovascular e imunológico humano, demonstrando resultados positivos na prevenção de diversas doenças (MARTIN ET AL., 2006). Além da qualidade nutricional, o pescado também se destaca como fonte alternativa de proteína animal nutricionalmente mais saudável em comparação aos alimentos ultraprocessados, como embutidos, fast food e carnes vermelhas (TACON ET AL., 2020). Os ácidos graxos presentes na carne de peixe compreendem predominantemente entre 14 e 22 átomos de carbono e podem ser saturados ou insaturados (MAULU ET AL., 2021). Entre os ácidos graxos insaturados estão o ácido monoênico (18:1 n-9), ácido diênico (LA; 18:2 n-6), ácido triênico (LNA; 18:3 n-3) e ácido tetraênico (AA; 20: 4n-6).

No entanto, a proporção de ácidos graxos poli-insaturados n-3 em peixes marinhos é maior do que em peixes de água doce, considerando que as necessidades dietéticas de EPA e DHA são atendidas pela ingestão de alimentos ricos em PUFA n-3 em ambientes marinhos, como algas e zooplâncton (TAŞBOZAN E GÖKÇE, 2017).

É um fato científico reconhecido que o conteúdo lipídico e o perfil de ácidos graxos dos peixes apresentam variações entre e dentro das espécies. Uma variedade de fatores, incluindo temperatura, salinidade, sazonalidade, tipo e disponibilidade de alimentos, habitat, fase de maturidade e variabilidade individual, são considerados contribuintes significativos para estas variações (TAŞBOZAN E GÖKÇE, 2017). Além disso, outros fatores, como contaminantes aquáticos (STORELLI E MARCOTRIGIANO, 2000), alterações no bem-estar animal (DASKALOVA, 2019) e o *rigor mortis* (ESPE, 2008), podem afetar a qualidade nutricional da carne de peixe.

De acordo com Tocher (2003), o interesse de longa data pelos lipídios dos peixes decorre da sua abundância e singularidade. Os peixes são uma fonte quase exclusiva de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa n-3 (LC PUFA) e outros

componentes lipossolúveis, que são cruciais para a saúde e o bem-estar dos humanos. Portanto, a importância de conhecer as concentrações de ácidos graxos n-3 presentes em peixes selvagens e de criação é cada vez mais evidente (KARAPANAGIOTIDIS ET AL., 2006).

Na aquicultura, os peixes são alimentados com rações artificiais elaboradas com ingredientes de diferentes origens, em diferentes sistemas de cultivo, com diferentes regimes de alimentação e diferentes métodos de abate. Esses fatores podem ter um impacto significativo nos níveis finais de PUFA n-3 e, conseqüentemente, na qualidade nutricional da carne destinada ao consumo humano (ESPE, 2008; DASKALOVA, 2019; LIU ET AL., 2022; HOSSAIN, 2023). Os peixes criados para consumo humano dependem exclusivamente da composição da dieta fornecida e o óleo de peixe, incluindo óleo de fígado de bacalhau e óleo de sardinha, tem sido amplamente utilizado como fonte primária de PUFA n-3 total para peixes marinhos cultivados há vários anos, conforme documentado por Blanchet et al. (2005), Espe (2008) e Hossain (2023). Inevitavelmente, a alta demanda na indústria e a escassez no mercado fornecedor aumentam significativamente o preço desse insumo (FAO, 2022). Assim, a inclusão de PUFAs é frequentemente substituída por fontes alternativas, com pouca ou nenhuma quantidade total de PUFA n-3 (ALHAZZAA ET AL., 2019), o que possivelmente afetará o valor nutricional do peixe. No entanto, do nosso ponto de vista, o controle ambiental e o regime alimentar podem ser considerados vantajosos para os peixes de criação, visto que crescem em condições mais estáveis e têm uma dieta mais equilibrada e controlada em comparação com os peixes selvagens. Desta forma, o conteúdo lipídico pode ser modificado para melhorar qualitativa e quantitativamente o valor nutricional dos peixes de criação (HUNTER E ROBERTS, 2000; TOCHER, 2015; SANTIN ET AL., 2021).

Vários estudos têm demonstrado a influência da dieta na composição centesimal dos peixes. Por exemplo, Al-Souti et al. (2012) observaram diferenças significativas nos perfis de PUFA n-3 e ácidos graxos do músculo dorsal ao substituir o óleo de milho por quantidades crescentes de óleo de fígado de bacalhau (0, 4, 8 ou 12%) na dieta de juvenis de tilápia vermelha híbrida (*Oreochromis esp.*). Após 10 semanas, o conteúdo total de PUFA n-3 do músculo dorsal aumentou de 7,6% para 18,6%. Da mesma forma, Bandarra et al. (2018) relataram que as sardinhas do Atlântico *Sardinella pilchardus* alimentadas com uma dieta comercial, apresentavam

níveis mais elevados de 22:6 n-3 e 20:5 n-3 do que os registrados na natureza. Tais informações sugerem que em determinadas situações é possível induzir, através da dieta, níveis mais elevados de ácidos graxos n-3 no músculo dos peixes de criação. Nesse contexto, é possível afirmar que ao modificar a composição da dieta da sardinha verdadeira de criação, haverá uma alteração no conteúdo total de PUFA n-3 no músculo, possibilitando a obtenção de peixes nutricionalmente superiores ou, pelo menos, equivalentes a espécimes selvagens.

Portanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do incremento dietético com diferentes níveis de inclusão de óleo de peixe (PUFA n-3) no desempenho zootécnico, composição centesimal e teor de ácidos graxos da sardinha-verdadeira *Sardinella brasiliensis*.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Todos os procedimentos animais realizados nesta pesquisa foram aprovados eticamente pelo Comitê de Ética para Uso de Animais da Universidade Federal de Santa Catarina (protocolo CEUA número 7054251119). O experimento realizado no laboratório de piscicultura marinha – LAPMAR, da Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil (27° 35' 49" S, 48° 32' 58" W).

A sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* utilizada no presente estudo foi obtida por desova espontânea de reprodutores do LAPMAR, que foram mantidos em tanque circular externo de 8.000 L com aeração constante e renovação de água de 350% ao dia (19 a 20 L min⁻¹). A água foi continuamente fornecida por bombeamento direto do oceano, coletada na praia de Moçambique, Florianópolis, Brasil (27°34'02"S, 48°25'44"W) conforme indicado por Magnotti et al. (2020).

3.2.1 Delineamento e dietas experimentais

Trezentos e setenta e cinco juvenis de *S. brasiliensis* com peso e comprimento médios iniciais de 32,52 ± 5,93 g e 14,2 ± 1,01 cm foram distribuídos aleatoriamente em 15 unidades experimentais. O experimento teve duração de 45 dias e as amostragens (biometrias e análises corporais) foram realizadas no início do experimento e aos 15, 30 e 45 dias.

As dietas experimentais foram formuladas com cinco diferentes níveis de inclusão de total PUFA n-3 (Now ômega-3 fish oil). Os grupos de tratamento consistiram em um grupo controle alimentado com uma dieta experimental sem incremento de óleo de peixe (0%) e quatro grupos alimentados com uma dieta experimental contendo óleo de peixe em concentrações de 0,3%, 0,6%, 0,9% e 1,2%. As dietas semi purificadas foram formuladas com base nas exigências da espécie onívora Peixe leite *Chanos chanos* (BORLONGAN E COLOSO 1993; NCR, 2011) e com base no estudo das necessidades de proteína para juvenis de sardinha verdadeira (STERZELECKI ET AL., 2017), sendo isoenergética (4300 kcal) e isoproteica (36% de proteína bruta).

As dietas experimentais foram formuladas para conter 11% de lipídios com inclusão de total PUFA n-3 utilizando óleo de peixe como fonte de n-3 e óleo de milho como fonte de n-6. Farinha de soja, farinha de milho, farinha de vísceras de aves e farelo de arroz foram utilizados como principais ingredientes. Para ajuste de aminoácidos foi utilizada treonina sintética. Para atender às exigências de vitaminas e minerais foram utilizados Premix e fosfato dicálcico (Tabela 6).

Primeiramente, os ingredientes foram moídos e peneirados separadamente, utilizando peneira de 600 mm. Em seguida, os macronutrientes foram pesados e adicionados ao misturador, seguido da adição dos micronutrientes (Premix, fosfato dicálcico e treonina) e, por fim, foram adicionados os óleos. Com auxílio de um borrifador, adicionou-se água à mistura, proporcionando umidade próxima a 27% e em seguida, a ração foi peletizada até 1,5 mm usando uma extrusora monorosca MX40 (Inbramaq) na peneira de 0,8 mm e depois seca em estufa a 55 °C por 6 h até atingir uma umidade final de 6%. Todas as dietas foram identificadas e armazenadas individualmente a -20 °C em recipientes plásticos até o momento do uso.

Tabela 6 – Formulação e composição de dietas experimentais com diferentes inclusões de óleo de peixe (PUFA n-3) (expresso em % da matéria seca) utilizadas para incremento dietético da sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* por 45 dias. [0%] = grupo

Ingredientes	Tratamentos total PUFA n-3				
	0%	0.3%	0.6%	0.9%	1.2%
Farinha de soja	450.0 mg g ⁻¹				
Farinha de milho	154.7 mg g ⁻¹				
Farinha de vísceras	173.3 mg g ⁻¹				
Farinha de arroz	147.9 mg g ⁻¹				
Treonina	0.0055 mg g ⁻¹				
Premix	0.0043 mg g ⁻¹				
Fosfato dicálcico	0.0035 mg g ⁻¹				
Óleo de peixe	0.00 mg g ⁻¹	0.0008 mg g ⁻¹	0.00243 mg g ⁻¹	0.00408 mg g ⁻¹	0.00608 mg g ⁻¹
Óleo de milho	0.00608 mg g ⁻¹	0.00520 mg g ⁻¹	0.00365 mg g ⁻¹	0.00200 mg g ⁻¹	0.00 mg g ⁻¹
Composição (%expressa na matéria seca)					
Energia bruta	4300	4300	4300	4300	4300
Proteína bruta	34,7%	34,7%	34,7%	34,7%	34,7%
Lípídeos	10,78%	10,78%	10,78%	10,78%	10,78%
n-6 (níveis verificados)	39.22%	36.79%	37.28%	27.64%	22.684%
n-3 (níveis verificados)	1.15%	1.86%	3.28%	4.95%	8.432%

Premix de vitaminas e minerais (10 mg g⁻¹). Premix vitamínico e micromineral (Raguife Vacinar, Belo Horizonte, MG - Brasil), composição do produto kg⁻¹: ácido fólico 1.200 mg, ácido pantotênico 10.000 mg, biotina 200 mg, cobalto 80 mg, cobre 3.500 mg, colina 100.000 mg, ferro 20.000 mg, iodo 160 mg, manganês 10.000 mg, niacina 20.000 mg, selênio 100 mg, vitamina A 2.400.000 UI, vitamina B1 4.000 mg, vitamina B12 8.000 mg, vitamina B2 4.500 mg, vitamina B6 3.500 mg, vitamina C 60.000 mg, vitamina D3 600.000 UI, vitamina E 30.000 UI, vitamina K 3.000 mg, zinco 24.000 mg, inositol 25.000 mg. Pré-mistura macromineral (composição kg⁻¹): fosfato dicálcico 130 g, cloreto de potássio 120 g, cloreto de sódio 130 g, sulfato de magnésio 620 g.

Fonte: elaborada pelos autores.

3.2.2 Procedimentos específicos

As unidades experimentais tinham capacidade para 500 L, preenchidas com água fornecida continuamente por bombeamento direto do oceano, coletado na praia de Moçambique, Florianópolis, Brasil (27°34'02"S, 48°25'44"W), com aeração e renovação de água constantes (200% dia⁻¹) e fotoperíodo natural. Os peixes foram alimentados três vezes ao dia (8h30, 12h30 e 16h30) até saciedade aparente. Os parâmetros de qualidade da água foram monitorados diariamente, temperatura e oxigênio com auxílio de oxímetro digital (YSI 55, Yellow Springs, OH, EUA), pH e salinidade com pHmetro e refratômetro (SR-028, Aichose, EUA), enquanto amônia total, nitrito e nitrato também foram mensurados diariamente utilizando kit colorimétrico comercial (Alfakit®, Brasil). Restos de alimentos e fezes foram retirados diariamente por sifonagem. Durante todo o período experimental as

variáveis de qualidade da água permaneceram com temperatura média de $22,96 \pm 0,18$, oxigênio dissolvido $5,87 \pm 0,10$, salinidade 34, pH $8,7 \pm 0,4$, alcalinidade ≥ 150 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ e N-amônio e nitrito totais abaixo da níveis detectáveis pelo kit de análise.

3.2.3 Análise de ácidos graxos e composição centesimal

Para as análises foram coletados materiais biológicos nos dias zero, 15º, 30º e 45º dia. Em cada amostragem foram utilizados quatro peixes por unidade experimental. Antes da coleta, os peixes foram submetidos a jejum de 24 horas e eutanasiados por meio de procedimento anestésico profundo com Benzocaína (200 mg L^{-1}).

Para a análise dos ácidos graxos no músculo, foram descartadas cabeça, cauda e vísceras. As amostras foram moídas, homogeneizadas e armazenadas a $-20 \text{ }^\circ\text{C}$. Os ácidos graxos foram avaliados a partir de lipídios extraídos de filés de sardinha pelo método de Bligh & Dyer (1959), modificado por Reis et al. (2018). Para isso, cinco gramas de amostra foram adicionados em tubos Falcon com adição de clorofórmio, metanol e água para extração lipídica. Em seguida, o extrato clorofórmico contendo 20 mg de lipídio foi seco e submetido ao procedimento de transesterificação conforme Hartman e Lago (1973) e Reis et al. (2018). O sobrenadante contendo hexano e ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME) foi analisado em um cromatógrafo gasoso Varian Star 3600CX (Palo Alto, EUA) equipado com detector de ionização de chama (GC-FID) e amostrador automático (Varian 8200). Em seguida, um microlitro de amostra foi injetado em uma entrada split/splitless, operando em modo split (1:20) a 250°C . O hidrogênio foi usado como gás de arraste a uma pressão constante de 20 psi. A coluna utilizada para separação dos analitos foi a HP-88 ($100 \text{ m} \times 0,25 \text{ mm}$; espessura de filme de $0,20 \text{ } \mu\text{m}$, (Agilent®, J & W, Folsom, CA, EUA). O forno da coluna foi programado a $50 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ e aumentou $15 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ até $185 \text{ }^\circ\text{C}$; depois para $195 \text{ }^\circ\text{C}$ aumentando $0,5 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ e, finalmente, aumentou $15 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ até atingir $230 \text{ }^\circ\text{C}$ onde permaneceu por cinco minutos.

A identificação dos ésteres metílicos foi realizada comparando os tempos de retenção dos analitos com o padrão MIX-37 e misturando os isômeros de ácido linoléico conjugado (CLA), éster metílico de ácido vacênico e padrões de éster metílico docosapentaenóico (Sigma-Aldrich, EUA). A temperatura do detector foi

mantida constante em 250 °C. Os tempos de retenção dos compostos FAME foram identificados por comparação experimental com aqueles de padrões autênticos (FAME Mix-37, Sigma Aldrich®, St. Louis, MO, EUA).

Os resultados foram apresentados como uma porcentagem de cada ácido graxo identificado na fração lipídica, considerando o fator de resposta equivalente ao comprimento da cadeia e um fator de conversão éster-ácido para cada FAME aplicado ao FID, conforme Visentainer et al. (2012).

Para análise da composição centesimal, dois peixes foram triturados inteiros, homogeneizados e armazenados a -20 °C.

As análises foram realizadas no Centro de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. A composição centesimal (umidade, cinzas e proteínas) dos filés de sardinha foi analisada de acordo com os métodos descritos pela Association of Official Analytical Chemists – AOAC (2005). O teor de umidade foi determinado em estufa de ar quente, secando 4,0 g de amostra a 105 °C ± 2 °C, até peso constante. O teor de cinzas foi determinado após calcinação de 4,0 g de amostras em forno mufla a 550 °C, até estabilização do peso. O teor de nitrogênio bruto foi determinado pela conversão do teor de nitrogênio obtido pelo método micro-Kjeldahl, utilizando um fator de conversão de nitrogênio em proteína de 5,6. Por fim, o conteúdo lipídico foi determinado segundo método de Bligh & Dyer (1959), modificado por Reis et al. (2018). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

3.2.4 Análise do desempenho zootécnico

Durante todo o período experimental foram realizadas biometrias para determinar o desempenho zootécnico, onde foram calculados os seguintes parâmetros: peso final, ganho de peso diário $[(\text{peso final} - \text{peso inicial})/\text{dias}]$, taxa de crescimento específico $\{[(\ln \text{ peso final} - \ln \text{ inicial peso}) / \text{dias}] \times 100\}$, eficiência alimentar $[(\text{peso final} - \text{peso inicial}) / \text{consumo de ração}]$, conversão alimentar $[\text{consumo} / (\text{peso final} - \text{peso inicial})]$, peso de fígado, gordura visceral e sobrevivência $[(\text{número final de peixes}) / (\text{número inicial de peixes}) \times 100]$.

3.2.5 Análise estatística

Os dados de composição centesimal e perfil de ácidos graxos foram primeiramente submetidos à análise de normalidade e homocedasticidade. Os dados paramétricos foram analisados por ANOVA de duas vias, e após, para as

médias significativas foi aplicado o teste de regressão e, quando as médias foram significativas, foi utilizado o teste post-hoc de Tukey. Quando a distribuição não atendeu aos pressupostos paramétricos, utilizou-se a análise de variância de Kruskal-Wallis seguida do teste post-hoc de Dunn ao nível de significância de 5%.

3.3 RESULTADOS

Em termos de índices zootécnicos, a taxa de sobrevivência em todos os tratamentos foi de 100%. Peso total, ganho de peso diário, taxa de crescimento específico, eficiência alimentar e conversão alimentar foram significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre os grupos. Os demais índices zootécnicos não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos (Tabela 7).

Quanto ao teor de umidade, não houve diferença significativa entre o tratamento 1,2% e a amostra inicial, enquanto nos tratamentos 0,3% e 0,6% a umidade foi significativamente menor ($p < 0,05$) quando comparado aos grupos 0,9% e controle (0%). Os níveis de lipídios totais apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos ao final do período de 45 dias. Os peixes do grupo 1,2% apresentaram níveis mais baixos de lipídios totais em comparação aos demais grupos tratados. Por outro lado, os níveis lipídicos no filé foram significativamente maiores ($p < 0,05$) nos grupos 0,6% e 0,9%, quando comparados aos grupos 1,2% e controle, que permaneceram com níveis lipídicos no filé iguais aos valores iniciais (Tabela 7).

Em relação aos ácidos graxos (Tabela 9), os níveis do ácido graxo linoléico (C18:2, n-6) foram significativamente diferentes entre os tratamentos apenas no 45º dia. Os grupos 0,9% e 1,2% foram significativamente menores ($p < 0,05$) quando comparados ao grupo controle e semelhantes aos grupos 0,3% e 0,6%. Por outro lado, o ácido graxo alfa-linolênico (C18:3, n-3) apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os grupos apenas no 15º dia. Os peixes do grupo 1,2% apresentaram níveis significativamente mais elevados de ácido graxo alfa-linolênico quando comparados aos peixes do grupo 0,3%, porém, foram semelhantes aos demais grupos.

Tabela 7 - Índice zootécnico (média \pm DP) da sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* alimentada com dieta suplementada com diferentes níveis de inclusão de óleo de peixe (PUFA n-3) em [0%], [0,3%], [0,6%], [0,9 %] e [1,2%] por 45 dias. Letras diferentes representam diferenças significativas.

<i>Dados zootécnicos</i>	<i>Tratamento</i>				
	0%	0,3%	0,6%	0,9%	1,2%
Peso total (g)					
Inicial	32,52 \pm 5,93	32,52 \pm 5,93	32,52 \pm 5,93	32,52 \pm 5,93	32,52 \pm 5,93
15° dia	33,21 \pm 5,81	33,65 \pm 3,43	33,97 \pm 6,80	32,91 \pm 5,36	37,31 \pm 6,59
30° dia*	36,41 \pm 5,5 ^{4b}	38,84 \pm 5,60 ^{ab}	41,65 \pm 6,36 ^a	40,66 \pm 9,70 ^{ab}	41,48 \pm 8,61 ^a
45° dia	39,07 \pm 4,29	40,25 \pm 7,63	40,34 \pm 5,39	38,16 \pm 4,65	39,29 \pm 6,98
Comprimento total (cm)					
Inicial	14,20 \pm 1,01	14,20 \pm 1,01	14,20 \pm 1,01	14,20 \pm 1,01	14,20 \pm 1,01
15° dia	15,01 \pm 0,90	14,65 \pm 0,56	14,70 \pm 0,78	14,20 \pm 0,89	14,95 \pm 0,82
30° dia	14,11 \pm 1,01	14,81 \pm 0,64	15,60 \pm 0,80	15,20 \pm 1,15	14,95 \pm 1,04
45° dia	15,10 \pm 0,84	15,10 \pm 0,90	15,51 \pm 0,04	15,22 \pm 0,81	15,01 \pm 0,97
Ganho de peso diário (g)					
15° dia*	0,04 \pm 0,01 ^c	0,08 \pm 0,01 ^b	0,10 \pm 0,04 ^b	0,03 \pm 0,01 ^c	0,32 \pm 0,15 ^a
30° dia*	0,10 \pm 0,05 ^c	0,21 \pm 0,05 ^b	0,30 \pm 0,09 ^a	0,27 \pm 0,12 ^a	0,30 \pm 0,23 ^a
45° dia	0,15 \pm 0,10	0,17 \pm 0,02	0,17 \pm 0,02	0,13 \pm 0,10	0,15 \pm 0,15
Taxa de crescimento específico (% dia⁻¹)					
15° dia*	0,04 \pm 0,01 ^c	0,07 \pm 0,01 ^b	0,09 \pm 0,01 ^b	0,02 \pm 0,01 ^c	0,31 \pm 0,01 ^a
30° dia*	0,25 \pm 0,02 ^c	0,39 \pm 0,09 ^{ab}	0,54 \pm 0,02 ^a	0,49 \pm 0,06 ^a	0,54 \pm 0,04 ^a
45° dia*	0,41 \pm 0,01 ^b	0,47 \pm 0,01 ^a	0,47 \pm 0,01 ^a	0,35 \pm 0,01 ^c	0,42 \pm 0,06 ^{ab}
Consumo de ração (g)					
15° dia	2,59 \pm 0,79	2,41 \pm 0,88	2,46 \pm 0,75	2,74 \pm 0,64	2,60 \pm 0,69
30° dia	2,78 \pm 0,78	2,46 \pm 0,84	2,55 \pm 0,81	2,80 \pm 0,78	2,63 \pm 0,86
45° dia	2,94 \pm 0,79	2,60 \pm 0,82	2,64 \pm 0,90	2,97 \pm 0,86	2,68 \pm 0,87
Eficiência alimentar					
15° dia*	1,42 \pm 0,12 ^a	0,46 \pm 0,02 ^b	0,59 \pm 0,5 ^b	0,14 \pm 0,02 ^c	1,83 \pm 0,50 ^a
30° dia*	2,43 \pm 0,09 ^b	2,10 \pm 0,10 ^b	2,99 \pm 1,04 ^a	2,75 \pm 0,09 ^a	1,57 \pm 0,14 ^c
45° dia*	3,28 \pm 1,02 ^a	0,54 \pm 0,03 ^c	0,49 \pm 0,04 ^c	0,83 \pm 0,04 ^b	0,81 \pm 0,04 ^b
Conversão alimentar					
15° dia*	0,70 \pm 0,14 ^c	2,13 \pm 0,11 ^b	1,69 \pm 0,16 ^b	7,04 \pm 1,19 ^a	0,54 \pm 0,14 ^c
30° dia*	0,40 \pm 0,02 ^b	0,47 \pm 0,11 ^{ab}	0,33 \pm 0,02 ^c	0,36 \pm 0,16 ^{bc}	0,63 \pm 0,16 ^a
45° dia	0,30 \pm 0,10	1,84 \pm 0,42	2,02 \pm 0,65	1,19 \pm 0,38	1,23 \pm 0,58
Peso do fígado (g)					
Inicial	0,28 \pm 0,09	0,28 \pm 0,09	0,28 \pm 0,09	0,28 \pm 0,09	0,28 \pm 0,09
15° dia	0,53 \pm 0,08	0,53 \pm 0,25	0,61 \pm 0,17	0,73 \pm 0,34	0,74 \pm 0,27
30° dia	0,46 \pm 0,38	0,81 \pm 0,32	0,70 \pm 0,34	0,75 \pm 0,33	0,56 \pm 0,18
45° dia	0,66 \pm 0,47	0,71 \pm 0,47	0,67 \pm 0,08	0,56 \pm 0,17	0,45 \pm 0,15
Peso gordura visceral (g)					
Inicial	0,52 \pm 0,19	0,52 \pm 0,19	0,52 \pm 0,19	0,52 \pm 0,19	0,52 \pm 0,19
15° dia	0,54 \pm 0,08	0,55 \pm 0,20	0,82 \pm 0,49	0,72 \pm 0,43	0,54 \pm 0,74
30° dia	0,69 \pm 0,39	0,84 \pm 0,48	0,74 \pm 0,63	1,04 \pm 0,60	0,57 \pm 1,11
45° dia	0,98 \pm 0,47	0,94 \pm 0,54	1,11 \pm 0,50	0,77 \pm 0,57	0,99 \pm 0,48

Fonte: elaborada pelos autores.

Tabela 8 - Composição centesimal (%) da sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* alimentada com dieta suplementada com diferentes níveis de inclusão de óleo de peixe (PUFA n-3) em [0%], [0,3%], [0,6%], [0,9%] e [1,2%] por 45 dias. Dados expressos em porcentagem de matéria úmida (média \pm DP). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os grupos (ANOVA, pós-teste de Tukey). (*) significativo.

Conteúdo	Tratamentos					
	Inicial	0%	0.3%	0.6%	0.9%	1.2%
Umidade*	67.10 \pm 0.85 ^a	63.30 \pm 1.00 ^b	61.30 \pm 0.68 ^c	60.32 \pm 0.72 ^c	62.21 \pm 1.79 ^b	64.95 \pm 1.83 ^{ab}
Proteína	14.00 \pm 0.93	14.00 \pm 0.69	14.90 \pm 0.96	12.60 \pm 0.14	14.10 \pm 0.92	15.23 \pm 2.58
Cinzas	3.40 \pm 0.10	3.70 \pm 0.19	3.31 \pm 0.63	3.40 \pm 1.04	3.01 \pm 0.76	3.28 \pm 0.32
Lípídeo filé*	13.60 \pm 1.09 ^c	15.50 \pm 0.64 ^{bc}	17.60 \pm 0.65 ^{ab}	19.90 \pm 0.70 ^a	18.70 \pm 0.47 ^a	14.17 \pm 1.95 ^c
Lípídeo total*	17.30 \pm 0.64 ^{bc}	18.90 \pm 1.95 ^{ab}	19.60 \pm 1.78 ^a	19.60 \pm 0.33 ^a	17.7 \pm 1.16 ^{ab}	15.80 \pm 0.76 ^c

Fonte: elaborada pelos autores.

Para o ácido graxo eicosapentaenóico (EPA) C20:5, n-3, foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os grupos em todos os períodos. Os tratamentos 0,9% e 1,2% apresentaram níveis significativamente maiores de EPA no 15º, 30º e 45º dia, quando comparados aos grupos 0,3% e controle, enquanto no 30º e 45º dia diferiram significativamente dos grupos 0%, 0,3% e 0,6%. Para o ácido graxo docosahexaenóico (DHA) C22:6, n-3, diferenças significativas foram observadas apenas no 15º e 30º dias. Os grupos 0,9% e 1,2% apresentaram níveis significativamente maiores ($p < 0,05$) de DHA no 30º dia, quando comparados aos grupos 0,3% e controle. Por outro lado, os níveis de ácido docosapentaenóico (22:5, n-3) (DPA) foram significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre os grupos no 30º e 45º dia, onde os peixes do grupo 1,2% apresentaram níveis significativamente maiores ($p < 0,05$) de DPA, quando comparados aos peixes dos grupos 0%, 0,3% e 0,6%, tanto no 30º dia quanto no 45º dia.

Tabela 9 - Teor de ácidos graxos (média \pm DP) no filé de sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* alimentada com dieta suplementada com diferentes níveis de inclusão de óleo de peixe (PUFA n-3) em [0%], [0,3%], [0,6%], [0,9%] e [1,2%] por 45 dias. Dados expressos em porcentagem de matéria úmida ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre grupos no mesmo período amostral (ANOVA, pós-teste de Tukey). (*) significativo.

Ácidos graxos					
Tratamentos	LA C18:2n6c	ALA C18:3n3	EPA C20:5n3	DHA C22:6n3	DPA C22:5n3
Inicial	7.51 \pm 0.11	0.53 \pm 0.01	0.29 \pm 0.02	0	0.2 \pm 0.03
15° dia					
0%	8.89 \pm 0.68	0.55 \pm 0.04 ^{ab}	0.29 \pm 0.03 ^b	1.16 \pm 0.18 ^b	0.20 \pm 0.02
0.3%	8.69 \pm 0.52	0.47 \pm 0.02 ^b	0.28 \pm 0.01 ^b	1.07 \pm 0.06 ^{ab}	0.17 \pm 0.01
0.6%	8.84 \pm 0.41	0.56 \pm 0.03 ^{ab}	0.41 \pm 0.11 ^{ab}	1.10 \pm 0.17 ^{ab}	0.20 \pm 0.02
0.9%	8.97 \pm 1.16	0.59 \pm 0.06 ^{ab}	0.58 \pm 0.14 ^a	1.01 \pm 0.10 ^a	0.19 \pm 0.04
1.2%	8.32 \pm 0.52	0.60 \pm 0.02 ^a	0.57 \pm 0.04 ^a	1.12 \pm 0.01 ^{ab}	0.19 \pm 0.00
30° dia					
0%	10.28 \pm 1.16	0.59 \pm 0.04	0.28 \pm 0.07 ^c	0.93 \pm 0.27 ^b	0.14 \pm 0.05 ^c
0.3%	10.39 \pm 0.89	0.57 \pm 0.02	0.27 \pm 0.03 ^c	0.87 \pm 0.21 ^b	0.16 \pm 0.05 ^c
0.6%	1.08 \pm 0.07	0.59 \pm 0.13	0.54 \pm 0.14 ^b	1.08 \pm 0.07 ^{ab}	0.21 \pm 0.04 ^{bc}
0.9%	9.65 \pm 0.61	0.59 \pm 0.03	0.80 \pm 0.14 ^a	1.28 \pm 0.10 ^a	0.27 \pm 0.04 ^{ab}
1.2%	8.77 \pm 0.21	0.60 \pm 0.05	0.90 \pm 0.02 ^a	1.26 \pm 0.07 ^a	0.30 \pm 0.04 ^a
45° dia					
0%	10.76 \pm 0.30 ^a	0.57 \pm 0.07	0.26 \pm 0.15 ^b	0.87 \pm 0.16	0.15 \pm 0.05 ^b
0.3%	9.49 \pm 0.17 ^{ab}	0.55 \pm 0.03	0.29 \pm 0.07 ^b	1.06 \pm 0.06	0.15 \pm 0.04 ^b
0.6%	9.55 \pm 0.54 ^{ab}	0.56 \pm 0.10	0.35 \pm 0.01 ^b	0.99 \pm 0.17	0.18 \pm 0.03 ^b
0.9%	9.18 \pm 0.73 ^b	0.54 \pm 0.11	0.56 \pm 0.13 ^a	1.19 \pm 0.15	0.22 \pm 0.03 ^{ab}
1.2%	9.04 \pm 0.23 ^b	0.53 \pm 0.03	0.66 \pm 0.02 ^a	1.15 \pm 0.11	0.27 \pm 0.03 ^a

C18:2n-6c = ácido graxo linoléico (LA), C18:3n-3 = Ácido graxo alfa-linolênico (ALA), C20:5n-3 = ácido graxo eicosapentaenóico (EPA), C22:6n-3 = ácido graxo docosahexaenóico (DHA), C22:5n-3 = ácido graxo docosapentaenóico (DPA).

Fonte: elaborada pelos autores.

3.4 DISCUSSÃO

No presente estudo, descobrimos que o aumento da inclusão de PUFA's n-3 na dieta melhorou significativamente os índices de desempenho de crescimento da sardinha verdadeira *Sardinella brasiliensis* após o período de incremento dietético. Da mesma forma, Li et al. (2021) descobriram que uma dieta suplementada com uma fonte de PUFA n-3 (1,00 a 11,00%) durante oito semanas melhorou os índices de desempenho de crescimento de *Trachinotus ovatus*. Na época, a taxa de sobrevivência, ganho de peso e crescimento específico dos peixes foram melhoradas. Além disso, a taxa de conversão alimentar diminuiu e a eficiência alimentar aumentou. Estes resultados indicam que dietas ricas em PUFAs n-3

podem melhorar consideravelmente o crescimento dos peixes e, conseqüentemente, melhorar a produtividade na aquicultura.

A determinação da umidade em amostras de peixes tem sido importante em diversos setores da aquicultura. Na porção comestível do pescado, a umidade influencia nos atributos sensoriais, na qualidade e na vida útil (Ahmed et al., 2022; Porto et al., 2023). Aqui, as sardinhas apresentaram teor de umidade variando de 60,32 a 67,10%, indicando que o percentual de umidade nos músculos dos peixes estava dentro do nível aceitável (60-80%) em todas as amostras (Adewumi et al., 2014). No entanto, níveis elevados de umidade podem ser desvantajosos, pois aumentam a suscetibilidade à deterioração microbiana, bem como à degradação oxidativa de ácidos graxos poli-insaturados, reduzindo a qualidade do peixe (Ahmed et al., 2022). Portanto, podemos inferir que as inclusões de 0,3% e 0,6% proporcionaram peixes com qualidades mais desejáveis para o mercado de pescado.

Ácidos graxos como o DHA influenciam importantes vias metabólicas e podem causar efeitos alostéricos, regulando negativamente a abundância nuclear de proteínas e a expressão de enzimas lipogênicas (Nobrega et al., 2019). O incremento dietético com ácidos graxos insaturados ricos em n-3 melhora não apenas a qualidade da carne de peixes marinhos, como *Trachinotus ovatus* (Li et al., 2020), mas também de espécies de água doce, como a tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus*, que quando mantida a 22 °C resultou em melhor crescimento e composição lipídica corporal de ácidos graxos poli-insaturados n-3 em filés destinados ao consumo humano (Nobrega et al., 2019). Da mesma forma, Blanchet et al. (2005), ao examinarem a composição de ácidos graxos do salmão do Atlântico *Salmo salar* selvagem e de criação descobriram que os teores de lipídios e ácidos graxos n-3 altamente insaturados de *S. salar* de criação e selvagem eram semelhantes, embora os valores totais de PUFA n-3 e n-6 foram significativamente maiores em *S. salar* de criação do que em selvagens, indicando que os salmonídeos de aquicultura fornecem altos níveis de PUFA n-3 aos consumidores.

Aqui descobrimos que após o incremento dietético com PUFA n-3 a 0,3%, 0,6% e 0,9%, os lipídios do filé e os lipídios totais em *S. brasiliensis* aumentaram, demonstrando que as sardinhas de criação podem ter um perfil lipídico mais elevado do que os peixes selvagens, considerando que em estudos anteriores o conteúdo

lipídico da sardinha verdadeira selvagem variou de 4% a 10% (Luzia et al., 2003; Oliveira, 2003).

Seguindo o mesmo raciocínio, Tarricone et al. (2022) verificaram a composição química e de ácidos graxos de filés de robalo *Dicentrarchus Labrax* selvagem e de criação e descobriram que peixes do sistema de criação intensiva apresentaram maiores valores de perfil relativo e fator de condição, bem como maiores níveis de lipídios e n-6 total que influenciaram a razão n-6/n-3, demonstrando o potencial nutricional dos produtos da aquicultura. No presente estudo observamos que inclusões dietéticas de 0,9% e 1,2% proporcionaram aumentos significativos de EPA (C20:5n-3), DHA (C22:6n-3) e DPA (C22:5n-3). Porém, no 30º dia os grupos suplementados com 0,9% e 1,2% de n-3 revelaram o maior conteúdo corporal de EPA, enquanto no 45º dia houve uma diminuição nos níveis de EPA, assemelhando-se aos valores observados no 15º dia. Isto demonstra que um período mais longo do incremento dietético pode não representar uma melhor estratégia nutricional.

Os perfis de ácidos graxos de dois peixes marinhos cultivados e selvagens, o robalo *D. labrax* e a dourada *Sparus aurata* do Mar Mediterrâneo, foram investigados por Amoussou et al. (2022) e em ambas as composições de ácidos graxos mostrou que os ácidos graxos poli-insaturados totais eram maiores em peixes de criação do que em peixes selvagens. Os ácidos graxos poli-insaturados nos peixes de criação foram representados principalmente pelo ácido linoléico, seguido pelos ácidos eicosapentaenóico e docosahexaenóico, baseados em boas qualidades nutricionais para a saúde humana. Em contraste, Al-Asheeri et al. (2020) ao avaliar algumas espécies de peixes de criação e selvagens mais consumidos nos mercados do Bahrein em termos de PUFA's n-3 e n-6, proporção n-3/n-6 e valores de EPA e DHA, não encontraram diferenças significativas entre peixes selvagens e de criação no total de PUFA's n-3, no entanto, os peixes de criação tiveram concentrações aumentadas de PUFA's n-6 totais, enquanto os peixes selvagens tiveram EPA e DHA significativamente mais elevados com comparação com os peixes de criação. Os autores destacaram que a diminuição do teor de PUFA n-3 em peixes de criação pode ter sido o resultado de rações mal fabricadas. Esta informação reforça a nossa hipótese de que é possível induzir níveis mais elevados de ácidos graxos n-3 no músculo dos peixes de criação através de uma dieta adequada.

Os ácidos graxos poli-insaturados são nutrientes essenciais para a saúde e desenvolvimento dos peixes marinhos, pois desempenham papel fundamental em diversas funções biológicas, para crescimento, desenvolvimento e reprodução (BELL E SARGENT, 2003). Além disso, os PUFA n-3 ajudam a manter o equilíbrio lipídico celular, essencial para o funcionamento das membranas celulares, absorção e transporte de nutriente, além de ter papel fundamental na resposta imunológica, fortalecendo o sistema imunológico, tornando os peixes mais preparados para enfrentar doenças e infecções (PILECKY ET AL., 2022). Tais funcionalidades biológicas destacam a relevância dos PUFA n-3 na aquicultura, onde os peixes são frequentemente expostos a patógenos. Portanto, é crucial garantir que os peixes marinhos tenham acesso adequado a estes nutrientes na sua dieta (KANDATHIL RADHAKRISHNAN ET AL., 2020; HOSSAIN ET AL., 2023).

As sardinhas são naturalmente ricas em ácidos graxos poli-insaturados, especialmente ácidos EPA e DHA, porém, aqui no presente estudo observamos que o perfil de PUFA's n-3 pode ser melhorado na aquicultura. O aumento de DHA no músculo de *S. brasiliensis* variou de acordo com o aumento de PUFA's n-3 nas dietas.

Os ácidos graxos poli-insaturados n-3 de cadeia muito longa (VLC-PUFAs) obtidos através do consumo de peixes são benéficos para a saúde humana (TACON ET AL., 2020; JESIONOWSKA ET AL., 2023). No entanto, há evidências de que em países altamente industrializados, o consumo reduzido de ácidos graxos essenciais na dieta está relacionado com a principal causa de mortalidade (Innes e Calder, 2020). Por outro lado, numerosos estudos clínicos revelaram que a suplementação de EPA e DHA pode potencialmente prevenir ou reduzir os sintomas da doença (MONROIG ET AL., 2018; JESIONOWSKA ET AL., 2023). Fisiologicamente, o n-3 é convertido em EPA e DHA, precursores de compostos lipídicos fisiologicamente ativos chamados eicosanóides, como prostaglandinas, leucotrienos, tromboxanos e prostaciclina, responsáveis por regular funções do sistema nervoso central, regular a pressão arterial, mediar respostas imunológicas, coagulação sanguínea e lipólise (Best et al., 2022; Pawelzik et al., 2023). Desta forma, a aquicultura pode contribuir significativamente como fonte alternativa e sustentável de EPA e DHA consumíveis.

3.5 CONCLUSÃO

As inclusões de 0,9% e 1,2% de LC-PUFA n-3 na dieta por até 30 dias melhoram o perfil de ácidos graxos poli-insaturados no filé da sardinha-verdadeira. Além disso, o aumento da concentração melhora as taxas de crescimento, bem como reduz a umidade e aumenta o conteúdo de lipídios totais no filé do peixe.

3.6 REFERÊNCIAS

- ADEWUMI, A. A., ADEWOLE, H. A., & OLALEYE, V. F. (2014). Proximate and elemental composition of the fillets of some fish species in Osinmo Reservoir, Nigeria. *Agriculture and biology journal of North America*, 5(3), 109-117.
- AHMED, I., JAN, K., FATMA, S., & DAWOOD, M. A. (2022). Muscle proximate composition of various food fish species and their nutritional significance: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 106(3), 690-719. <https://doi.org/10.1111/jpn.13711>
- AL-ASHEERI, S., FREIJE, A., & PERNA, S. (2020). Farmed Versus Wild Fish Consumption in Relation to Fatty Acid Composition in the Kingdom of Bahrain. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 24(7-Special issue), 803-816. <https://dx.doi.org/10.21608/ejabf.2020.151489>
- ALHAZZAA, R., NICHOLS, P. D., & CARTER, C. G. (2019). Sustainable alternatives to dietary fish oil in tropical fish aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1195-1218. <https://doi.org/10.1111/raq.12287>
- AL-SOUTI, A., AL-SABAHI, J., SOUSSI, B., & GODDARD, S. (2012). The effects of fish oil-enriched diets on growth, feed conversion and fatty acid content of red hybrid tilapia, *Oreochromis sp.* *Food Chemistry*, 133(3), 723-727. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.080>
- AMOUSSOU, N., MARENGO, M., IKO AFE, O. H., LEJEUNE, P., DURIEUX, É. D. H., DOUNY, C., SCIPPO, M-L., GOBERT, S. (2022). Comparison of fatty acid profiles of two cultivated and wild marine fish from Mediterranean Sea. *Aquaculture International*, 30(3), 1435-1452. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-00861-3>
- AOAC – Official Methods Of Analysis. International. Gaithersburg, Maryland, Usa, Aoac International, 18th Ed, 2005.
- BANDARRA, N. M., MARÇALO, A., CORDEIRO, A. R., & POUSÃO-FERREIRA, P. (2018). Sardine (*Sardina pilchardus*) lipid composition: Does it change after one year in captivity? *Food chemistry*, 244, 408-413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.147>
- BELL, J. G., & SARGENT, J. R. (2003). Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities. *Aquaculture*, 218(1-4), 491-499. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00370-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00370-8)

- BEST, K. P., GIBSON, R. A., & MAKRIDES, M. (2022). ISSFAL statement number 7–Omega-3 fatty acids during pregnancy to reduce preterm birth. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 102495. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2022.102495>
- BLANCHET, C., LUCAS, M., JULIEN, P., MORIN, R., GINGRAS, S., & DEWAILLY, É. (2005). Fatty acid composition of wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Lipids*, 40(5), 529-531. <https://doi.org/10.1007/s11745-005-1414-0>
- BLIGH, E. G., & DYER, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 37(8), 911-917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
- BORLONGAN, I. G., & COLOSO, R. M. (1993). Requirements of juvenile milkfish (*Chanos chanos* Forsskal) for essential amino acids. *The Journal of nutrition*, 123(1), 125-132.
- DASKALOVA, A. (2019). Farmed fish welfare: stress, post-mortem muscle metabolism, and stress-related meat quality changes. *International Aquatic Research*, 11(2), 113-124. <https://doi.org/10.1007/s40071-019-0230-0>
- ESPE, M. (2008). Understanding factors affecting flesh quality in farmed fish. In: Lie, Ø. (edn) *Improving farmed fish quality and safety*. Woodhead Publishing, pp 241-264. <https://doi.org/10.1533/9781845694920.2.241>
- FAO. 2022. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461>
- HARTMAN, L., & LAGO, R. C. (1973). Further observations concerning effects of unsaponifiable constituents on the properties of coffee seed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 50(3), 99-100. <https://doi.org/10.1007/BF02671111>
- HOSSAIN, M. S., SMALL, B. C., & HARDY, R. (2023). Insect lipid in fish nutrition: Recent knowledge and future application in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 15(4), 1664-1685. <https://doi.org/10.1111/raq.12810>
- HOSSAIN, A. (2023). Quantity or quality of fish in a developing country: A hedonic analysis. *Journal of Applied Aquaculture*, 35(2), 394-409. <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1970687>
- HUNTER, B. J., & ROBERTS, D. C. (2000). Potential impact of the fat composition of farmed fish on human health. *Nutrition Research*, 20(7), 1047-1058. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(00\)00181-0](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(00)00181-0)
- INNES, J. K., & CALDER, P. C. (2020). Marine omega-3 (N-3) fatty acids for cardiovascular health: an update for 2020. *International journal of molecular sciences*, 21(4), 1362. <https://doi.org/10.3390/ijms21041362>
- JESIONOWSKA, M., OVADIA, J., HOCKEMEYER, K., CLEWS, A. C., & XU, Y. (2023). EPA and DHA in microalgae: Health benefits, biosynthesis, and metabolic engineering advances. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. <https://doi.org/10.1002/aocs.12718>

- KANDATHIL RADHAKRISHNAN, D., AKBARALI, I., SCHMIDT, B. V., JOHN, E. M., SIVANPILLAI, S., & THAZHAKOT VASUNAMBESAN, S. (2020). Improvement of nutritional quality of live feed for aquaculture: An overview. *Aquaculture Research*, 51(1), 1-17. <https://doi.org/10.1111/are.14357>
- KARAPANAGIOTIDIS, I. T., BELL, M. V., LITTLE, D. C., YAKUPITIYAGE, A., & RAKSHIT, S. K. (2006). Polyunsaturated fatty acid content of wild and farmed tilapias in Thailand: effect of aquaculture practices and implications for human nutrition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4304-4310. <https://doi.org/10.1021/jf0581877>
- LI, M., ZHANG, M., MA, Y., YE, R., WANG, M., CHEN, H., XIE, D., DONG, Y., NING, L., YOU, C., WANG, S., LI, Y. (2020). Dietary supplementation with n-3 high unsaturated fatty acids decreases serum lipid levels and improves flesh quality in the marine teleost golden pompano *Trachinotus ovatus*. *Aquaculture*, 516, 734632. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734632>
- LI, S., WANG, B., LIU, L., SONG, Y., LV, C., ZHU, X., LUO, Y., CHENG, C. H. K., CHEN, H., YANG, X., & LI, T. (2021). Enhanced growth performance physiological and biochemical indexes of *Trachinotus ovatus* fed with marine microalgae *Aurantiochytrium* sp. rich in n-3 polyunsaturated fatty acids. *Frontiers in Marine Science*, 7, 609837. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.609837>
- LIU, W., LYU, J., WU, D., CAO, Y., MA, Q., LU, Y., & ZHANG, X. (2022). Cutting techniques in the fish industry: A critical review. *Foods*, 11(20), 3206. <https://doi.org/10.3390/foods11203206>
- LUZIA, L. A., SAMPAIO, G. R., CASTELLUCCI, C. M., & TORRES, E. A. (2003). The influence of season on the lipid profiles of five commercially important species of Brazilian fish. *Food Chemistry*, 83(1), 93-97. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00054-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00054-2)
- MAGNOTTI, C. C. F., STERZELECKI, F. C., CIPRIANO, F. S., PEDROTTI, F. S., ROCHA, V. M., & CERQUEIRA, V. R. (2020). Spontaneous spawning of Brazilian sardine in captivity. *Boletim do Instituto de Pesca*, 46(1). <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2020.46.1.539>
- MARTIN, C. A., ALMEIDA, V. V. D., RUIZ, M. R., VISENTAINER, J. E. L., MATSHUSHITA, M., SOUZA, N. E. D., & VISENTAINER, J. V. (2006). Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: importance and occurrence in foods. *Revista de Nutrição*, 19(6), 761-770. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000600011>
- MAULU, S., NAWANZI, K., ABDEL-TAWWAB, M., & KHALIL, H. S. (2021). Fish nutritional value as an approach to children's nutrition. *Frontiers in Nutrition*, 8, 1090. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.780844>
- MONROIG, O., TOCHER, D. R., & CASTRO, L. F. C. (2018). Chapter 3 - Polyunsaturated Fatty Acid Biosynthesis and Metabolism in Fish. In: Burdge, G. C. (edn) *Polyunsaturated fatty acid metabolism*, Elsevier AOCS Press, pp 31-60. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811230-4.00003-X>

NCR - National Research Council (2011). National Research Council, Division on Earth and Life Studies, Board on Agriculture and Natural Resources, Committee on the Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. Nutrient Requirements Of Fish And Shrimp. National Academies Press, p. 392.

NOBREGA, R. O., BATISTA, R. O., CORRÊA, C. F., MATTIONI, B., FILER, K., PETTIGREW, J. E., & FRACALLOSSI, D. M. (2019). Dietary supplementation of *Aurantiochytrium* sp. meal, a docosahexaenoic-acid source, promotes growth of Nile tilapia at a suboptimal low temperature. *Aquaculture*, 507, 500-509. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.030>

OLIVEIRA, S. K. (2003). Chemical composition of fatty acids and caloric value of four marine fish species: *Sardinella brasilienses*, *Katsuwonus pelamis*, *Micropogonias furnieri* and *Cynoscion steindacheri* from Santa Catarina coast caught in different seasons of year. Dissertation (master's degree in Food Science) – Postgraduate Program in Food Science, UFSC, Florianópolis, pp 106.

PAWELZIK, S. C., ARNARDOTTIR, H., SARAJLIC, P., MAHDI, A., VIGOR, C., ZURITA, J., ZHOU, B., KOLMERT, J., GALANO, J. M., RELIGA, D., DURAND, T., WHEELOCK, E. C., & BÄCK, M. (2023). Decreased oxidative stress and altered urinary oxylipidome by intravenous omega-3 fatty acid emulsion in a randomized controlled trial of older subjects hospitalized for COVID-19. *Free Radical Biology and MEDICINE*, 194, 308-315. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FREERADBIOMED.2022.12.006](https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2022.12.006)

PILECKY, M., MATHIEU-RESUGE, M., ZÁVORKA, L., FEHLINGER, L., WINTER, K., MARTIN-CREUZBURG, D., & KAINZ, M. J. (2022). Common carp (*Cyprinus carpio*) obtain omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids via dietary supply and endogenous bioconversion in semi-intensive aquaculture ponds. *Aquaculture*, 561, 738731. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738731>

PORTO, I. S., DANTAS, S. V., DA SILVA JUNIOR, J. B., PEREIRA JUNIOR, J. B., QUEIROZ, A. F., & FERREIRA, S. L. (2023). Determination of Moisture in Fish Muscles Using a Domestic Microwave Oven. *Analytical Letters*, 1-10. [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/00032719.2023.2264420](https://doi.org/10.1080/00032719.2023.2264420)

REIS, J. H., GEBERT, R. R., BARRETA, M., BALDISSERA, M. D., DOS SANTOS, I. D., WAGNER, R., CAMPIGOTTO, G., JAGUEZESKI, A. M., GRIS, A., DE LIMA, J. L. F., MENDES, R. E., FRACASSO, M., BOIAGO, M. M., STEFANI, L. M., DOS SANTOS, D. S., ROBAZZA, W. S., DA SILVA, A. S. (2018). Effects of phytogenic feed additive based on thymol, carvacrol and cinnamic aldehyde on body weight, blood parameters and environmental bacteria in broilers chickens. *Microbial pathogenesis*, 125, 168-176. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.09.015>

SANTIN, A., RUSSO, M. T., FERRANTE, M. I., BALZANO, S., OREFICE, I., & SARDO, A. (2021). Highly valuable polyunsaturated fatty acids from microalgae: strategies to improve their yields and their potential exploitation in aquaculture. *Molecules*, 26(24), 7697. <https://doi.org/10.3390/molecules26247697>

STERZELECKI, F. C., SUGAI, J. K., BALOI, M., PASSINI, G., DE CARVALHO, C. V. A., FRACALLOSSI, D. M., & CERQUEIRA, V. R. (2017). Effect of dietary carbohydrate

to lipid ratios on growth, digestive enzyme and blood metabolites of juvenile Brazilian sardines, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879). *Aquaculture research*, 48(9), 5111-5121. <https://doi.org/10.1111/are.13330>

STORELLI, M. M., & MARCOTRIGIANO, G. O. (2000). Fish for human consumption: risk of contamination by mercury. *Food Additives & Contaminants*, 17(12), 1007-1011. <https://doi.org/10.1080/02652030050207792>

TACON, A. G., LEMOS, D., & METIAN, M. (2020). Fish for health: improved nutritional quality of cultured fish for human consumption. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(4), 449-458. <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1762163>

TARRICONE, S., CAPUTI JAMBRENGHI, A., CAGNETTA, P., & RAGNI, M. (2022). Wild and farmed sea bass (*Dicentrarchus labrax*): Comparison of biometry traits, chemical and fatty acid composition of fillets. *Fishes*, 7(1), 45. <https://doi.org/10.3390/fishes7010045>

TAŞBOZAN, O., & GÖKÇE, M. A. (2017). Fatty acids in fish. In: Catala, A. (2017). *Fatty acids 1st Ed.*, BoD – Books on Demand, Croatia, p. 248, 143-159. <https://doi.org/10.5772/68048>

TOCHER, D. R. (2003). Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Reviews in fisheries science*, 11(2), 107-184. <https://doi.org/10.1080/713610925>

TOCHER, D. R. (2015). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture*, 449, 94-107. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.01.010>

VENUGOPAL, V., & SHAHIDI, F. (1996). Structure and composition of fish muscle. *Food Reviews International*, 12(2), 175-197. <https://doi.org/10.1080/87559129609541074>

VISENTAINER, J. V., CARVALHO, P. D. O., IKEGAKI, M., & PARK, Y. K. (2000). Concentration of eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) in marine species of fish from brazilian coast. *Food Science and Technology*, 20, 90-93. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612000000100017>

3.7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de financiamento 001. Ao CNPq pela bolsa de produtividade a V.R. Cerqueira (309101/2017-4).

4 CONCLUSÕES GERAIS

A alimentação e época do ano afetam a composição centesimal e o perfil de ácidos graxos das sardinhas. O perfil de ácidos graxos teve prevalência de LC-PUFA n-3 em peixes selvagens e n-6 em peixes de criação, refletindo a dieta de cada grupo.

As inclusões de 0,9% e 1,2% de LC-PUFA n-3 por 30 dias na dieta da sardinha-verdadeira *Sardinella brasiliensis* melhoram o perfil de ácidos graxos poli-insaturados no filé da sardinha. Além disso, o aumento da concentração melhora as taxas de crescimento, reduz a umidade e aumenta o conteúdo de lipídios totais no filé do peixe.

REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

- ALMEIDA, L. R.; ANDRADE, H. A. Comparação entre a eficiência de captura das frotas de vara e isca-viva e de cerco na pescaria do bonito listrado (*Katsuwonus pelamis*): análise preliminar. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology; v. 6, n. 1, 2002.
- ALHAZZAA, R., NICHOLS, P. D., & CARTER, C. G. (2019). Sustainable alternatives to dietary fish oil in tropical fish aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1195-1218. <https://doi.org/10.1111/raq.12287>
- AL-SOUTI, A., AL-SABAHI, J., SOUSSI, B., GODDARD, S. The effects of fish oil-enriched diets on growth, feed conversion and fatty acid content of red hybrid tilapia, *Oreochromis sp.* *Food Chemistry*. 133, 723–727, 2012.
- BADOLATO, E.S.A.; CARVALHO, J.B. DE; AMARAL MELLO, M.R.P. DO; TAVARES, M.; CAMPOS, N.C.; AUED-PIMENTEL, S.; MORAIS, C. DE. – Centesimal Composition Of Fatty Acids And Caloric Value Of Five Marine Fish Species In The Different Seasons. *Rev. Inst. Adolfo Lutz*: 54(1): 27-35, 1994.
- BAKUN, A.; PARRISH, R. H. Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitats: the Brazilian sardine (*Sardinella aurita*). *Journal du Conseil: ICES Journal of Marine Science*, v. 46, n. 3, p. 269-283, 1990.
- BANDARRA, N. M., MARÇALO, A., CORDEIRO, A. R., & POUSÃO-FERREIRA, P. (2018). Sardine (*Sardina pilchardus*) lipid composition: Does it change after one year in captivity? *Food chemistry*, 244, 408-413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.147>
- BELDA, M. C. R; POURCHET-CAMPOS, M. A. Ácidos graxos essenciais em nutrição: uma visão atualizada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 11, n. 1, p. 5-35, 1991.
- BLANCHARD G., MAKOMBU J. G., KESTEMONT P.: Influence of different dietary 18:3n-3/18:2n-6 ratio on growth performance, fatty acid composition and hepatic ultrastructure in Eurasian perch, *Perca fluviatilis*. *Aquaculture*. v. 284. p. 144-150, 2008.
- BLANCHET, C., LUCAS, M., JULIEN, P., MORIN, R., GINGRAS, S., & DEWAILLY, É. (2005). Fatty acid composition of wild and farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Lipids*, 40(5), 529-531. <https://doi.org/10.1007/s11745-005-1414-0>
- BRAGA, F. M. D. S. Estudo da diversidade de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), na área entre Macaé (22°23'S) e Ilha de Santa Catarina (27°35'S): 1. Crescimento de dimensões corporais. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 4, p. 235-250, 1987.
- BUREAU, D. P.; KAUSHIK, S. J.; CHO, C. Y. Bioenergetics. In: HALVER, J. E. e HARDY, R. W. (Ed.). *Fish Nutrition*. 3ed. San Diego: Academic Press. cap. 1, p.824, 2000.

CALDER, P.C. Dietary fatty acids and the lymphocyte functions. Proceedings of Nutrition Society, v. 57, p. 487-502, 1998.

CERGOLE, M. C.; SACCARDO, S. A.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B. Fluctuations In The Spawning Stock Biomass And Recruitment Of The Brazilian Sardine (*Sardinella Brasiliensis*) 1977-1997. Revista Brasileira De Oceanografia, V. 50, P. 13-26, 2002.

DASKALOVA, A. (2019). Farmed fish welfare: stress, post-mortem muscle metabolism, and stress-related meat quality changes. International Aquatic Research, 11(2), 113-124. <https://doi.org/10.1007/s40071-019-0230-0>

ESPE, M. (2008). Understanding factors affecting flesh quality in farmed fish. In: Lie. (edn) Improving farmed fish quality and safety. Woodhead Publishing, pp 241-264. <https://doi.org/10.1533/9781845694920.2.241>

FERNANDES, C. E. ET AL. Nutritional And Lipid Profiles In Marine Fish Species From Brazil. Food Chemistry, V. 160, P. 67-71, 2014.

FIGUEIREDO, J. L. D.; SALLES, A. C. R.; RABELO, L. B. *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) (Teleostei: *Clupeidae*), nome válido aplicado à sardinha-verdadeira no sudeste do Brasil. Papéis Avulsos de Zoologia (São Paulo), v. 50, p. 281-283, 2010.

FRANCIS, D. S., TURCHINI, G. M., JONES, P. L., & DE SILVA, S. S. Growth performance, feed efficiency and fatty acid composition of juvenile Murray cod, *Maccullochella peelii peelii*, fed graded levels of canola and linseed oil. Aquaculture Nutrition, 13(5), 335–350, 2007.

GARCÍA-MEILÁN, I. et al. Different protein to energy ratio diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*): Effects on digestive and absorptive processes. Aquaculture, v. 412, p. 1-7, 2013.

GIGLIOTTI, E. S. et al. Spatial analysis of egg distribution and geographic changes in the spawning habitat of the Brazilian sardine *Sardinella brasiliensis*. Journal of Fish Biology, v. 77, n. 10, p. 2248-2267, 2010.

GLENCROSS, B. D.: Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. Reviews in Aquaculture, v.1, p.71- 124, 2009.

HALILOGLU, H. I., ARAS, N. M., & YETIM, H. Comparison of muscle fatty acids of three trout species rainbow trout, (*Salvelinus alpinus*, *Salmo trutta fario*, *Onchorhynchus mykiss*) raised under the same conditions. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 26, 1097–1102, 2002.

HEMRE, G. I., & SANDNES, K. Effect of dietary lipid level on muscle composition in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Nutrition*, 5(1), 9-16, 1999.

HENDERSON R. J, SARGENT J R, HOPKINS C. C. E. Changes in the content and fatty acid composition of lipid in isolated population of the capelin, *Mallotus villosus*, during sexual maturation and spawning. Mar. Biol. 78:255-263, 1984.

HOSSAIN, M. S., SMALL, B. C., & HARDY, R. (2023). Insect lipid in fish nutrition: Recent knowledge and future application in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 15(4), 1664-1685. <https://doi.org/10.1111/raq.12810>

HUNTER BJ, ROBERTS DCK. Potential impact of the fat composition of farmed fish on human health. *Nutr Res*; 20: 1047-58, 2000.

IBAMA. Relatório Pesqueiro. 2011.

JABLONSKI, SILVIO; LEGEY, LUIZ FERNANDO LOUREIRO. Quantifying environmental effects on the recruitment of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*), 1977-1993. *Scientia Marina*, v. 68, n. 3, p. 385-398, 2004.

KARASOV, H, W.; DOUGLAS, A. E. Comparative Digestive Physiology. In: (Ed.). *Comprehensive Physiology*: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

KUKACKA, V., CHALOUPKOVÁ, L., FIALOVÁ, M., KOPP, R., & MARES, J. The influence of linseed oil and fish oil diet supplements to the fatty acid spectrum of common carp *Cyprinus carpio* muscle. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* (Czech Republic), 2009.

KROGDAHL, Å.; HEMRE, G. I.; MOMMSEN, T. P. Carbohydrates in fish nutrition: digestion and absorption in postlarval stages. *Aquaculture Nutrition*, v. 11, n. 2, p. 103-122, 2005.

LI, X.-F. et al. Dietary carbohydrate/lipid ratios affect stress, oxidative status and non-specific immune responses of fingerling blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*. *Fish & Shellfish Immunology*, v. 33, n. 2, p. 316-323, 2012.

LOVELL, R. T.; WILSON, R. P. Nutrient-requirements of fish - revised nrc bulletin. *Fish Nutrition in Practice*, v. 61, p. 839-842, 1993. LUZIA, L. A. et al. The influence of season on the lipid profiles of five commercially important species of Brazilian fish. *Food chemistry*, v. 83, n. 1, p. 93-97, 2003.

MARTIN, C. A., ALMEIDA, V. V. D., RUIZ, M. R., VISENTAINER, J. E. L., Matshushita, M., Souza, N. E. D., & Visentainer, J. V. (2006). Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: importance and occurrence in foods. *Revista de Nutrição*, 19(6), 761-770. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000600011>

MATSUURA, Y. Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) spawning in the southeast Brazilian Bight over the period 1976-1993. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 46: 33-43 p, 1998.

MNARI, A., BOUHLEL, I., CHRAIEF, I., HAMMAMI, M., ROMDHANE, M. S., EL CAFSI, M., & CHAOUCH, A. Fatty acids in muscles and liver of Tunisian wild and farmed gilthead sea bream, *Sparus aurata*. *Food Chemistry*, 100(4), 1393–1397, 2007.

MOHANTA, K.N., MOHANTY, S.N., JENA, J.K., SAHU, N.P. Optimall dietary lipid level of silver barb, *Puntius gonionotus* fingerlings in relation to growth, nutrient retention and digestibility, muscle nucleic acid content and digestive enzyme activity. *Aquac. Nutr.* 14, 350–359, 2008.

NAYLOR, R. L.; HARDY, R. W.; BUREAU, D. P.; CHIU, A.; ELLIOTT, M.; FARRELL, A. P.; FORSTER, I.; GATLIN, D. M.; GOLDBURG, R. J.; HUA, K.; NICHOLS, P. D., 2009. Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, 15103-15110

NRC. Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington., 1993.

NRC. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. The National Academies Press, 2011. OGAWA, M; MAIA, E. L. Manual de pesca: ciência e tecnologia do pescado. São Paulo: Varela, v. 1, 430 p, 1999.

PAIVA, M. P. & P.C.S. MOLTA. Cardumes Da Sardinha-Verdadeira, *Sardinella Brasiliensis* (Steindachner), Em Águas Costeiras Do Estado Do Rio De Janeiro, Brasil. *Revia Bras. Zool.*, 2000.

PEZZATO, L. E. et al. Nutrição do peixe. In: URBINATI, E. C.; FRACALLOSSI, D. M., et al. (Ed.). Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. Sociedade brasileira de aquicultura e biologia aquática. Jaboticabal, p.75-110, 2004.

PIGOTT, G. M; TUCKER, B. W. Seafood: effects of technology on nutrition. New York: Marcel Dekker. cap. 7, p. 32-84, 1990.

POLAKOF, S. et al. Glucose metabolism in fish: A review. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 2012.

RUYTER, B.E et al. Essential fatty acids in Atlantic salmon: time course of changes in fatty acid composition of liver, blood and carcass induced by a diet deficient in n-3 and n-6 fatty acids. *Aquaculture Nutrition*. v. 6, p.109-117, 2000.

RUST, M. B. Nutritional physiology. In: HALVER, J. E. e HARDY, R. W. (Ed.). *Fish Nutrition*. Third. San Diego, p.367-452, 2002.

SAELE, Ø., Nordgreen, A., Olsvik, P.A., Hamre, K. Characterization and expression of digestive neutral lipases during ontogeny of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Comp. Biochem. Physiol. - A Mol. Integr. Physiol.* 157, 252–259, 2010.

SANTIN, A., RUSSO, M. T., FERRANTE, M. I., BALZANO, S., OREFICE, I., & SARDO, A. (2021). Highly valuable polyunsaturated fatty acids from microalgae: strategies to improve their yields and their potential exploitation in aquaculture. *Molecules*, 26(24), 7697. <https://doi.org/10.3390/molecules26247697>

SANTOS, R. C.; RODRIGUES-RIBEIRO, M. Demanda de iscas vivas para a frota atuneira catarinense na safra de 1998/99: composição e distribuição das capturas. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*; v. 4, n. 1, 2010.

SARGENT, J. R.; MCEVOY, L. A.; BELL, J. G. Requirements, Presentation And Sources Of Polyunsaturated Fatty Acids In Marine Fish Larval Feeds. *Aquaculture*, V. 155, N. 1-4, P. 117-127, 1997.

SCHNEIDER, F.; SCHWINGEL, P. R. Estudo preliminar da ecologia trófica da *Sardinella brasiliensis* na costa sudeste do brasil. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*; v. 3, n. 1, 2010.

STECH, M. R.; CARNEIRO, D. J.; PIZAURO JÚNIOR, J. M. Fatores que afetam a produção de enzimas digestivas em peixes e o uso de enzimas exógenas como ferramentas em nutrição de peixes. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 2009.

STEFFENS, Werner; WIRTH, Manfred. Freshwater fish-an important source of n-3 polyunsaturated fatty acids: a review. *Archiwum Rybactwa Polskiego= Archives of Polish Fisheries*, v. 13, n. 1, p. 5, 2005.

STERZELECKI, F. C., SUGAI, J. K., BALOI, M., PASSINI, G., DE CARVALHO, C. V. A., FRACALOSI, D. M., & CERQUEIRA, V. R. Effect of dietary carbohydrate to lipid ratios on growth, digestive enzyme and blood metabolites of juvenile Brazilian sardines, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879). *Aquaculture research*, 48(9), 5111-5121, 2017.

STORELLI, M. M., & MARCOTRIGIANO, G. O. (2000). Fish for human consumption: risk of contamination by mercury. *Food Additives & Contaminants*, 17(12), 1007-1011. <https://doi.org/10.1080/02652030050207792>.

SUÁREZ-MAHECHA, H.; FRANCISCO, A.; BEIRÃO, L.H. *et al* Importância de ácidos graxos poliinsaturados presentes em peixes de cultivo e de ambiente natural para nutrição humana. *Bol. Inst. Pesca*, v.28, p.101-110, 2002.

TACON, A. G., Lemos, D., & Metian, M. (2020). Fish for health: improved nutritional quality of cultured fish for human consumption. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(4), 449-458. <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1762163>.

TAŞBOZAN, O., & GÖKÇE, M. A. (2017). Fatty acids in fish. In: Catala, A. (2017). *Fatty acids 1st Ed.*, BoD – Books on Demand, Croatia, p. 248, 143-159. <https://doi.org/10.5772/68048>

TENGJAROENKUL, B. *et al*. Distribution of intestinal enzyme activities along the intestinal tract of cultured Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, v. 182, n. 3, p. 317-327, 2000.

TOCHER D. R, CARR J, SARGENT J. R. Polyunsaturated fatty acid metabolism in fish cells: differential metabolism of (n-3) and (n-6) series acids by cultured cells originating from a freshwater teleost fish and from a marine teleost fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, B 94:367-374, 1989.

TOCHER D R, AGABA M, HASTINGS N, BELL J G, DICK J R, TEALE A J. Nutritional regulation of hepatocyte fatty acid desaturation and polyunsaturated fatty acid composition in zebrafish (*Danio rerio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiol. And Biochem.* 24:309-320, 2002.

TOCHER, D.R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Rev. Fish. Sci.* 11, 107–184, 2003.

TOCHER, D. R. (2015). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture*, 449, 94-107. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.01.010>

TONIAL, Ivane Benedetti et al. Caracterização físico-química e perfil lipídico do salmão (*Salmo salar L.*) Physical chemical characterization and lipid profile of salmon (*Salmo salar L.*). Alimentos e Nutrição Araraquara, v. 21, n. 1, p. 93-98, 2010.

VENUGOPAL, V., & SHAHIDI, F. (1996). Structure and composition of fish muscle. Food Reviews International, 12(2), 175-197.
<https://doi.org/10.1080/87559129609541074>

VISENTAINER, J. V. ET AL. Concentração De Ácido Eicosapentaenóico (Epa) E Ácido Docosahexaenóico (Dha) Em Peixes Marinhos Da Costa Brasileira. Ciência E Tecnologia De Alimentos, V. 20, N. 1, P. 90-93, 2000.

ZHOU, C., GE, X., NIU, J., LIN, H., HUANG, Z., TAN, X. Effect of dietary carbohydrate levels on growth performance, body composition, intestinal and hepatic enzyme activities, and growth hormone gene expression of juvenile golden pompano, *Trachinotus ovatus*. Aquaculture 437, 390–397, 2015.