

**INCORPORAÇÃO DE ÁCIDOS GRAXO EM PEIXES DE ÁGUA DOCE:
IMPLICAÇÕES PARA A NUTRIÇÃO HUMANA**

**INCORPORATION OF FATTY ACIDS IN FRESHWATER FISH: IMPLICATIONS
FOR HUMAN NUTRITION**

**INCORPORACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN PECES DE AGUA DULCE:
IMPLICACIONES PARA LA NUTRICIÓN HUMANA**



10.56238/sevened2026.001-022

Diana Carla Fernandes Oliveira

Doutora em Zootecnia

Instituição: Universidade Federal de Lavras

E-mail: diana_zootecnista@yahoo.com.br

Orcid: 0000-0001-6128-7322

Lattes: 7061509646390280

Ana Luiza de Souza Miranda

Mestre em Ciência dos Alimentos

Instituição: Universidade Federal de Lavras

E-mail: anasouzam94@gmail.com

Orcid: 0000-0001-6017-1870

Lattes: 7779106203696612

Maria Emília de Sousa Gomes

Doutora em Zootecnia

Instituição: Universidade Federal de Lavras

E-mail: maria.emilia@ufla.br

Orcid: 0000-0002-2338-2684

Lattes: 9745455404780857

Rafael Antônio Borges

Graduando em Zootecnia

Instituição: Universidade Federal de Lavras

Orcid: 0000-0002-9038-9835

Lattes: 6410592033541766

Matheus Ribeiro Galuppo

Bacharel em Zootecnia

Instituição: Universidade Federal de Lavras

E-mail: matheusmgaluppo1@estudante.ufla.br

Orcid: 0000-0001-6602-4409

Lattes: 6896965102948333

Priscila Vieira e Rosa

Doutora em Zootecnia

Instituição: Universidade Federal de Lavras

E-mail: priscila@ufla.br

Orcid: 0000-0002-0052-079X

Lattes: 0547272537840350

Renan Paulino Rosa

Doutor em Zootecnia

Instituição: Universidade Federal de Lavras

E-mail: renan.paulino@ufla.br

Orcid: 0000-0001-7915-5694

Lattes: 2827091335282684

Rilke Tadeu Fonseca de Freitas

Doutor em Zootecnia

Instituição: Universidade Federal de Lavras

E-mail: rilke@ufla.br

Orcid: 0000-0002-3035-5238

Lattes: 6975671584196709

RESUMO

O consumo de pescado tem aumentado globalmente em função de seus reconhecidos benefícios nutricionais e do menor impacto ambiental quando comparado a outras fontes de proteína animal. Nesse contexto, a aquicultura assume papel central na oferta de alimentos saudáveis, sendo a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) uma das espécies mais relevantes em escala mundial e, especialmente, no Brasil. O pescado destaca-se como fonte de proteínas de alta qualidade, vitaminas, minerais e, principalmente, de ácidos graxos poli-insaturados da série ômega-3, como o ácido eicosapentaenoico (EPA) e o ácido docosahexaenoico (DHA), associados à prevenção de doenças cardiovasculares, metabólicas e inflamatórias. Este trabalho teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão de literatura, os principais aspectos relacionados ao consumo de pescado, aos benefícios do ômega-3 à saúde humana e às estratégias nutricionais e genéticas para a incorporação desses ácidos graxos em tilápias. A revisão foi conduzida nas bases de dados Web of Science, Scopus e PubMed, contemplando estudos em português e inglês. Os resultados demonstram que, embora a composição de ácidos graxos do filé seja fortemente influenciada pela dieta, fatores genéticos e metabólicos exercem papel determinante na capacidade de alongação e dessaturação de precursores lipídicos em tilápias. Evidências indicam que a espécie apresenta elevada eficiência na biossíntese de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa, sendo possível potencializar esse processo por meio do manejo nutricional e do melhoramento genético. A aplicação de abordagens nutrigenômicas e o uso de ferramentas genômicas emergem como estratégias promissoras para a seleção de linhagens com perfil lipídico mais favorável, contribuindo para a produção de pescado com maior valor nutricional e benefícios à saúde humana.

Palavras-chave: Alimentação. Ácidos Graxos Poli-insaturados. Benefícios. Ômega 3. Pescado.

ABSTRACT

Fish consumption has increased globally due to its recognized nutritional benefits and lower environmental impact compared to other sources of animal protein. In this context, aquaculture plays a central role in the supply of healthy foods, with Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) being one of the most relevant species worldwide and, especially, in Brazil. Fish stands out as a source of high-quality proteins, vitamins, minerals, and, mainly, polyunsaturated fatty acids of the omega-3 series, such as eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), associated with the prevention of cardiovascular, metabolic, and inflammatory diseases. This work aimed to analyze, through a literature review, the main aspects related to fish consumption, the benefits of omega-3 to human health, and the nutritional and genetic strategies for incorporating these fatty acids in tilapia. This review was conducted using the Web of Science, Scopus, and PubMed databases, encompassing studies in both Portuguese and English. The results demonstrate that, although the fatty acid composition of the fillet is strongly influenced by diet, genetic and metabolic factors play a determining role in the elongation and desaturation capacity of lipid precursors in tilapia. Evidence indicates that the species exhibits high efficiency in the biosynthesis of long-chain polyunsaturated fatty acids, and it is possible to enhance this process through nutritional management and genetic improvement. The application of nutrigenomic approaches and the use of genomic tools emerge as promising strategies for selecting strains with a more favorable lipid profile, contributing to the production of fish with greater nutritional value and benefits to human health.

Keywords: Nutrition. Polyunsaturated Fatty Acids. Benefits. Omega-3. Fish.

RESUMEN

El consumo de pescado ha aumentado a nivel mundial debido a sus reconocidos beneficios nutricionales y a su menor impacto ambiental en comparación con otras fuentes de proteína animal. En este contexto, la acuicultura desempeña un papel fundamental en el suministro de alimentos saludables, siendo la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) una de las especies más relevantes a nivel mundial y, especialmente, en Brasil. El pescado se destaca como fuente de proteínas de alta calidad, vitaminas, minerales y, principalmente, ácidos grasos poliinsaturados de la serie omega-3, como el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA), asociados a la prevención de enfermedades cardiovasculares, metabólicas e inflamatorias. Este trabajo tuvo como objetivo analizar, mediante una revisión bibliográfica, los principales aspectos relacionados con el consumo de pescado, los beneficios del omega-3 para la salud humana y las estrategias nutricionales y genéticas para la incorporación de estos ácidos grasos en la tilapia. Esta revisión se realizó utilizando las bases de datos Web of Science, Scopus y PubMed, abarcando estudios tanto en portugués como en inglés. Los resultados demuestran que, si bien la composición de ácidos grasos del filete está fuertemente influenciada por la dieta, factores genéticos y metabólicos desempeñan un papel determinante en la capacidad de elongación y desaturación de los precursores lipídicos en la tilapia. La evidencia indica que la especie exhibe una alta eficiencia en la biosíntesis de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, y es posible optimizar este proceso mediante el manejo nutricional y el mejoramiento genético. La aplicación de enfoques nutrigenómicos y el uso de herramientas genómicas emergen como estrategias prometedoras para la selección de cepas con un perfil lipídico más favorable, contribuyendo a la producción de peces con mayor valor nutricional y beneficios para la salud humana.

Palabras clave: Nutrición. Ácidos Grasos Poliinsaturados. Beneficios. Omega-3. Pescado.

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura tem se consolidado como uma alternativa estratégica para atender à crescente demanda global por pescado, contribuindo de forma expressiva para a segurança alimentar e nutricional, além de representar uma opção mais sustentável em relação à pesca extrativa (Santos *et al.*, 2020). O peixe destaca-se como uma importante fonte de proteínas rica em aminoácidos essenciais que são vitais para um organismo saudável, pois o corpo humano não consegue gerar algumas dessas moléculas (Chakma *et al.*, 2022). Além de apresentarem elevada digestibilidade (Veloso *et al.*, 2022), fornecem vitaminas essenciais, como B12, A, E e D, e minerais indispensáveis à saúde humana, incluindo cálcio, zinco, magnésio, potássio, iodo e selênio (Farzad *et al.*, 2019; Morais *et al.*, 2020).

Ademais, o peixe constitui a principal fonte dietética de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa da série ômega-3, especialmente o ácido eicosapentaenoico (EPA) e o ácido docosahexaenoico (DHA), reconhecidos por seus efeitos benéficos à saúde (Xie *et al.*, 2021). Quando comparado a alimentos ultraprocessados, o pescado apresenta perfil nutricional mais saudável (Tacon *et al.*, 2020) e menor impacto ambiental em relação ao consumo de carnes vermelhas (Golden *et al.*, 2021; Gephart *et al.*, 2021; Garlock *et al.*, 2022; Falcon *et al.*, 2022).

Nesse contexto, observa-se um crescente interesse científico e comercial no cultivo de espécies aquícolas com elevado valor nutricional, especialmente aquelas ricas em ácidos graxos essenciais (AGEs) (Purushothaman *et al.*, 2025). Entre esses compostos, destacam-se os ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (LC-PUFAs), em particular EPA e DHA da série ômega-3, amplamente reconhecidos por seus efeitos positivos sobre diversos processos metabólicos e fisiológicos (Ghasemi Fard *et al.*, 2019).

A composição de ácidos graxos nos peixes é influenciada por uma combinação de fatores ambientais, nutricionais e genéticos (Dejana *et al.*, 2017; Prechal *et al.*, 2018). Embora espécies marinhas, de modo geral, apresentem maiores concentrações de PUFAs ômega-3 quando comparadas às espécies de água doce, a dieta exerce papel determinante, uma vez que os peixes não sintetizam esses compostos de forma endógena (Sawyer *et al.*, 2016). No entanto, algumas espécies dulcícolas, como a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), apresentam elevada eficiência metabólica para alongar e dessaturar precursores de ácidos graxos, possibilitando a síntese de LC-PUFAs (Tocher *et al.*, 2001).

Diferenças nas competências funcionais das enzimas alongases e dessaturases entre espécies podem resultar em variações significativas na capacidade de síntese de ácidos graxos altamente insaturados (HUFA) (Agaba *et al.*, 2005). Considerando que essas enzimas são produtos da expressão gênica, é esperado que ocorra polimorfismo ou variabilidade nos loci responsáveis pela codificação dessas proteínas, o que pode explicar diferenças metabólicas entre indivíduos de uma mesma espécie ou variedade.

A tilápia ocupa posição de destaque na aquicultura mundial, sendo cultivada em aproximadamente 100 países (Tonial *et al.*, 2011) e integra o segundo grupo de peixes mais importantes em escala global. Dentre as espécies cultivadas, a tilápia do Nilo é a mais difundida, em função de sua elevada resistência a altas temperaturas, baixas concentrações de oxigênio dissolvido, altos níveis de amônia na água e outras condições ambientais adversas (Sardella & Brauner, 2008). Adicionalmente, essa espécie apresenta excelentes características sensoriais e nutricionais, como carne de sabor suave, baixo teor de gordura e calorias, ausência de espinhas em forma de Y, além de bons índices de conversão alimentar. Seu filé, amplamente aceito pelo mercado consumidor, favorece a industrialização e agregação de valor ao produto (Furtado, Resende & Freitas, 2010). No Brasil, a tilápia do Nilo assume papel central na piscicultura, com produção estimada em 662.230 toneladas em 2024, correspondendo a um crescimento de 14,3% em relação ao ano anterior e representando cerca de 68% da produção total de peixes cultivados no país (PEIXE BR, 2025).

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar os principais fatores genéticos e metabólicos relacionados à composição de ácidos graxos musculares bem tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), com foco na capacidade de síntese e deposição de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa da série ômega-3. Busca-se, assim, fornecer subsídios para o desenvolvimento de estratégias de melhoramento genético e nutricional que possibilitem a produção de um pescado com maior valor nutricional e benefícios à saúde humana.

2 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão de literatura que incluiu artigos científicos publicados nos últimos anos, nos idiomas português e inglês, abordando o enriquecimento nutricional de tilápias por meio da alimentação e seus potenciais benefícios para a saúde humana. A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados *Web of Science*, *Scopus* e *PubMed*, por serem reconhecidas pela abrangência e relevância científica nas áreas de nutrição, aquicultura e ciências da saúde. Foram utilizados descritores e combinações de palavras-chave relacionadas à temática, tais como: *incorporação de ácidos graxos poli-insaturados, óleos vegetais, lipídios na nutrição de peixes, consumo de pescado, nutrigenômica, ômega-3 e benefícios para a saúde humana*.

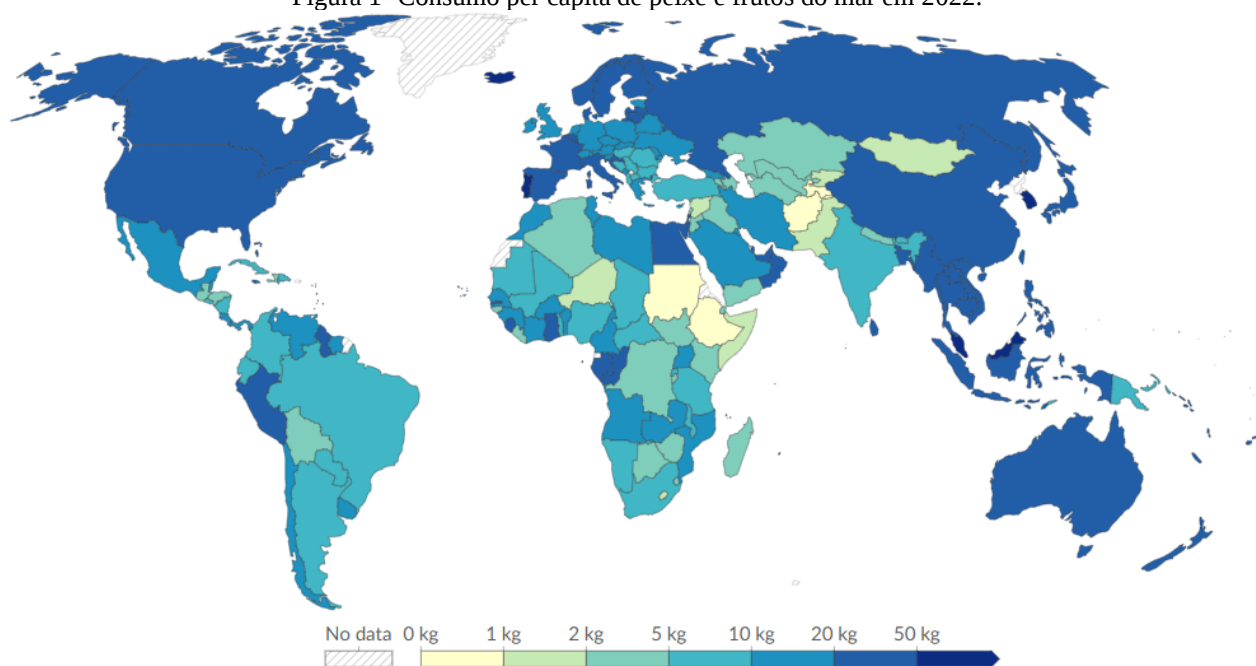
Os critérios de inclusão compreenderam estudos experimentais, observacionais e revisões que apresentaram evidências sobre estratégias de enriquecimento lipídico na alimentação de tilápias, especialmente com foco nas implicações para a saúde humana, incorporação de ácidos graxos poli-insaturados da série ômega-3, bem como seus efeitos na composição corporal do peixe. As informações extraídas foram organizadas de forma descritiva e comparativa, considerando aspectos como tipo de dieta utilizada, fontes lipídicas, alterações no perfil de ácidos graxos do pescado e possíveis impactos nutricionais e funcionais associados ao consumo humano.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CONSUMO DE PESCADO

Nas últimas décadas, o consumo mundial de pescado por habitante apresentou crescimento contínuo, elevando-se de cerca de 9,0 kg no início da década de 1960 para mais de 20 kg em 2017, com incremento médio anual próximo de 1,5% (FAO, 2020). A Figura 1 ilustra a evolução do consumo per capita de pescado em nível global. Esse aumento é resultado de um conjunto de fatores, entre os quais se destacam a ampliação da produção pesqueira e aquícola, os avanços tecnológicos aplicados aos processos produtivos, à conservação pelo frio, ao transporte e à distribuição, além da elevação da renda mundial, que influencia diretamente a demanda por pescado e seus derivados. Adicionalmente, a redução de perdas e desperdícios ao longo da cadeia produtiva e a crescente conscientização dos consumidores sobre os benefícios do pescado para a saúde têm contribuído de forma significativa para esse cenário (FAO, 2020).

Figura 1- Consumo per capita de peixe e frutos do mar em 2022.



Fonte: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (2024).

Nesta conjuntura, diferentes organizações da área da saúde têm intensificado as orientações relacionadas ao consumo frequente de peixe. A American Heart Association (AHA) aponta como apropriado o aumento da ingestão de pescado ou a utilização de suplementos de ômega-3 na prevenção de novos episódios de insuficiência cardíaca, recorrência da doença arterial coronariana e morte súbita de origem cardíaca em indivíduos com DAC (Rogers e Seehusen, 2018; Skulas-Ray *et al.*, 2019).

De modo semelhante, no contexto brasileiro, a atualização das diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC) enfatiza uma alimentação que inclua peixe ao menos duas vezes por semana, visando à redução do risco cardiovascular, sobretudo em pessoas classificadas como de alto

risco. Além disso, o documento recomenda a suplementação com ômega-3 de origem marinha em situações clínicas específicas (SBC, 2019).

Apesar dessas orientações, a ingestão de pescado no Brasil ainda se mantém abaixo dos níveis considerados adequados. O consumo médio nacional é inferior a 10 kg por habitante ao ano, número menor que o recomendado pela FAO, que sugere cerca de 12 kg anuais por pessoa, o que corresponde aproximadamente a 1 kg por mês (Peixe BR, 2019). Conforme destacado por Oliveira (2013), instituições nacionais e internacionais indicam o consumo de peixes entre 75 g e 112 g, pelo menos duas vezes por semana, como uma estratégia relevante para a promoção da saúde.

3.2 ÔMEGA-3 E SEUS BENEFÍCIOS À SAÚDE HUMANA

Os ácidos graxos da série ômega-3 são amplamente reconhecidos como nutrientes essenciais para a manutenção da saúde e do bem-estar humano (Abshirini *et al.*, 2021), com destaque para os ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (n-3 LC-PUFA), especialmente o ácido eicosapentaenoico (EPA; 20:5n-3) e o ácido docosahexaenoico (DHA; 22:6n-3). Esses compostos exercem diversos efeitos benéficos à saúde por meio de ações em níveis molecular, celular e fisiológico (Li *et al.*, 2019; Oliver *et al.*, 2020; Calder *et al.*, 2018; Hundal *et al.*, 2022; Huyben *et al.*, 2023), sendo reconhecidos por sua atuação na modulação de processos inflamatórios, na melhoria da função vascular e cardiovascular e na redução de fatores de risco metabólicos. Evidências indicam que o consumo de n-3 PUFA está associado à redução dos níveis de triglicerídeos plasmáticos, da frequência cardíaca e da pressão arterial, além de promover melhor enchimento e eficiência cardíaca e menor inflamação sistêmica (Mozaffarian, 2011), contribuindo para a prevenção e o manejo de doenças como dislipidemia, diabetes e hipertensão (Sonati, 2010).

Sob a perspectiva da saúde neurológica e mental, os ácidos graxos ômega-3 desempenham papel fundamental na fluidez da membrana neuronal e na função dos receptores, sendo sua deficiência associada a diversas doenças neurológicas e psiquiátricas, incluindo doença de Parkinson, depressão, transtorno bipolar, demência, doença de Alzheimer, esquizofrenia, transtorno do déficit de atenção/hiperatividade e autismo (Lange, 2020). Abaixo é possível observar no Quadro 1 algumas doses referenciadas na literatura para algumas doenças cardiovasculares, e uma metaanálise relatando nenhuma evidência significativa no benefício do Ômega 3 em diabetes.

Quadro 1- Doenças que apresentaram melhoras no quadro clínico frente ao tratamento com ácidos graxos ômega-3 e as dosagens.

Doenças	Dosagem e/ou benefícios	Citação
Hipertensão arterial	3g ômega-3/dia	Mendes & Silva (2014)
Doenças cardiovasculares	2g ômega-3/dia	Scherr <i>et al.</i> (2015)
Síndrome coronária aguda	Consumo de peixes ricos em ômega-3, duas vezes na semana	Melo Gonçalves & Carneiro (2014)
Dislipidemias	1,65g ômega-3/dia (intervenção)	Santos & Bortolozzo (2008)
Aterosclerose	Pode ter benefício com o aumento do consumo de ácidos-graxos ômega-3	Brasil (2006)
Acidente vascular cerebral	3g ômega-3/dia	Piper <i>et al.</i> (2012)
Diabetes mellitus 2	60 à 90 mg ômega-3/dia, considerável melhora, porém em camundongos	Zhu <i>et al.</i> (2021)
	Meta análise, nenhuma evidência	Brown <i>et al.</i> (2019)
Obesidade	Uso de 8 semanas em dose de 0,5g/dia	Ribeiro, Ferreira & da Silva (2022)

Fonte: Santos, Caram e Sinico (2022).

As recomendações oficiais de ingestão de ácidos graxos e outros nutrientes são estabelecidas pelas Ingestões Dietéticas de Referência (IDRs), desenvolvidas pelo Conselho de Alimentação e Nutrição do Instituto de Medicina (IOM), atualmente denominado Academia Nacional de Medicina (Instituto de Medicina, 2005) (Tabela 1).

Tabela 1- Recomendação diária de ômega 3 conforme a idade:

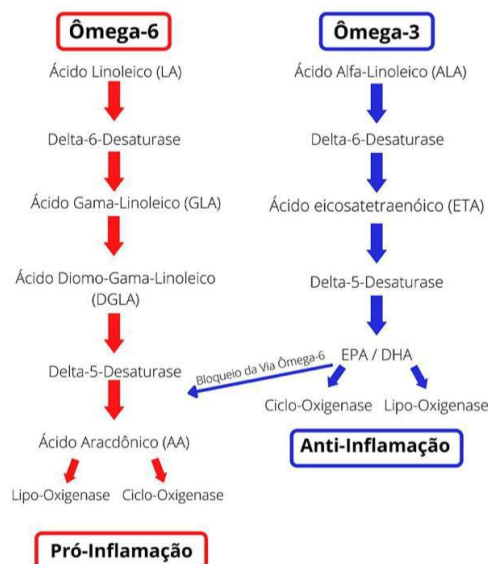
Faixa etária	Ômega 3
Bebê	
0-6 meses	0,5g
7-12 meses	0,5g
Criança	
1-3 anos	0,7g
4-8 anos	0,9g
Grávidas	
Até 50 anos	1,4g
Lactantes	
Até 50 anos	1,3g
Adultos	
9-13 anos (homem/mulher)	1,2g/1,0g
14-18 anos (homem/mulher)	1,6g/1,1g
19-50 anos (homem/mulher)	1,6g/1,1g
>50 anos (homem/mulher)	1,6g/1,1g
Idoso	
>65 anos	1,6g/1,1g

Fonte: Food and Nutrition Information Center.
Dietary Reference Intakes: Macronutrients.

Do ponto de vista nutricional, a dieta é a principal fonte de ácidos graxos ômega-3 em humanos. Estima-se que a dieta ocidental típica apresente uma razão ômega-6/ômega-3 elevada, variando entre 15–20:1, valor considerado desequilibrado (Wang *et al.*, 2004). Como os ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs) das séries ômega-6 e ômega-3 competem pela incorporação nas membranas celulares, uma ingestão equilibrada desses nutrientes é fundamental (Stanley *et al.*, 2007; Fritsche, 2008). Além disso, esses PUFAs exercem funções fisiológicas opostas: enquanto os ômega-6 são precursores do ácido araquidônico (AA) e de eicosanoides com efeitos pró-inflamatórios, como

prostaglandinas e leucotrienos, os ácidos graxos ômega-3, especialmente o EPA e o DHA, atuam como inibidores competitivos desse processo, resultando na redução da síntese de mediadores pró-inflamatórios e na promoção de um estado anti-inflamatório sistêmico (Wang *et al.*, 2004) (Figura 2).

Figura 2- Via Metabólica dos Ácidos Graxos Ômega-3 e Ômega-6.



Fonte: Adaptado Cruz Velarde (2014) citado por Ribeiro, Ferreira e Silva (2022).

Embora exista debate na literatura sobre a utilidade da razão ômega-6/ômega-3 como marcador isolado de risco, a maioria dos autores concorda que o aumento dos níveis sanguíneos de EPA e DHA é mais relevante do que a simples redução da ingestão de ácido linoleico ou ácido araquidônico (Stanley *et al.*, 2007; Fritsche, 2008). Dessa forma, estratégias alimentares que promovam o consumo de pescado e outras fontes de ômega-3 de cadeia longa são consideradas mais eficazes para a promoção da saúde. No quadro 2, observa-se a ingestão de ácidos graxos de acordo com a faixa etária e nacionalidade.

Quadro 2- Ingestão diária de ácidos graxos poli-insaturados, ácido alfa-linolênico (ALA) e ácido linoleico (LA), calculada com base nas razões ALA/LA e n-6/n-3 na dieta de diferentes faixas etárias e nacionalidades.

Faixa etária	Ingestão de ácidos graxos	EUA		França		Japão		Polônia	
			Referência		Referência		Referência		Referência
Crianças, jovens	LA(g/dia)	12,60	Sheppard <i>et al.</i> , 2018.	6,10-8,00	Guesnet <i>et al.</i> , 2019.	10,00	Miyake <i>et al.</i> , 2011.	10,33	Stachura <i>et al.</i> , 2009.
	ALA(g/dia)	1,40		0,70-0,90		1,60		2,37	
	LA/ALA	9,00:1		8,7:1-8,89:1		6,25:1		4,36:1	
	n-6/n-3	9,20:1		n/D		5,10:1		4,10:1	
Adulto	LA(g/dia)	15,10-15,90	Raatz <i>et al.</i> , 2017.	8,4	Tressou <i>et al.</i> , 2016.	13,38 - 14,94	Shijo <i>et al.</i> , 2019.	10,30	Harton <i>et al.</i> , 2013.

	ALA(g/dia)	1,50-1,60		0,90		2,14-2,20		1,60	
	LA/ALA	9,94:1 - 10,07:1		9,33:1		6,25:1		6,44:1	
	n-6/n-3	n/D		n/D		3,70:1		5,78:1	
Idoso	LA(g/dia)	14,70	Sheppard <i>et al.</i> , 2018.	8,60-9,00	Buaud <i>et al.</i> , 2018.	11,20 - 12,40	Matsuoka <i>et al.</i> , 2017.	5,52 (homens); 4,56 (mulheres)	Skop-Lewandowska <i>et al.</i> , 2016.
	ALA(g/dia)	1,60		1,00		1,58-1,81		1,63 (homens); 1,39 (mulheres)	
	LA/ALA	9,19:1		8,60:1 - 9,00:1		6,84:1 - 7,10:1		3,39:1(homens); 3,28:1 (mulheres)	
	n-6/n-3	7,8:1		n/D		3,28:1 - 5,00:1		n/D	

ALA—ácido α -linolênico; LA—ácido linoleico; LA/ALA—razão entre a ingestão diária de LA e ALA; n-6/n-3—razão entre a ingestão de PUFA n-6 e n-3; na—dados não disponíveis.

Fonte: Adaptado (Liput *et al.*, 2021).

A compreensão da funcionalidade do Ômega 3 no processo antiinflamatório, antioxidante e como auxiliar metabólico do organismo, visando o benefício preventivo contra as referidas disfunções crônicas, considerando as suas propriedades pró-resolutivas potentes que atenuam as inflamações e os transtornos do tecido adiposo, assim como a preconização dos efeitos desse ácido graxo poliinsaturado para a fisiologia do corpo, entre eles: a capacidade de controlar os níveis de colesterol, triglicerídeos e glicemia; de prevenir doenças cardiovasculares e cerebrais, além de melhorar a memória e a disposição (Quadro 3).

Quadro 3 - Principais resultados encontrados sobre os efeitos do ômega-3 e sua relação metabólica com a obesidade e doenças cardiovasculares.

Autores	Objetivo	Amostra/idade	Resultados
Nascimento & Scalabrini (2020).	Identificar e analisar as evidências científicas disponíveis na literatura sobre a contribuição do ômega 3 na prevenção e no tratamento de doenças cardiovasculares.	Amostra: Total de 25.871 participantes, incluindo 5.106 participantes negros. Idade: Homens com ≥ 50 anos e mulheres com ≥ 55 anos.	A suplementação com ácidos graxos n-3 não resultou em menor incidência de eventos cardiovasculares ou câncer do que o placebo.
Jiang, et al. (2016)	Avaliar o efeito de n-3 PUFA derivados de mar na prostaglandina E2 (PGE2), tromboxano B2 (TXB2) e leucotrieno B4 (LTB4).	Amostra: 826 indivíduos de ambos os sexos. Idade: 24-62 anos.	A suplementação de PUFA n-3 de origem marinha diminuiu significativamente as concentrações de tromboxanos B2 no soro/plasma em indivíduos com alto risco de doenças cardiovasculares e leucotrieno B4 em neutrófilos em indivíduos não saudáveis.
Santos et al. (2020).	Avaliar criticamente a eficácia de n-3-PUFAs derivados de plantas de alimentos, bem como sua suplementação, na	Amostra: 4.136 indivíduos adultos, ambos os gêneros.	Embora as fontes vegetais de n-3-PUFAs sejam menos impactantes nos níveis de EPA e DHA, evidências sugerem que esses são alimentos

	modulação do perfil lipídico e marcadores cardiometabólicos selecionados.		positivamente associados a resultados cardiometabólicos favoráveis, que podem ser desencadeados por outros componentes vegetais, em sinergia com o ALA (não isoladamente, mas em combinação com outros ácidos graxos e componentes vegetais).
Zebrowska, <i>et al.</i> (2021).	Avaliar os efeitos da suplementação, durante 3 semanas, de PUFA n-3 sobre adipocitocinas séricas, neuregulina-4 e conteúdo de ácidos graxos ômega-3 eritrocitário, bem como a capacidade de defesa antioxidante do sangue em corredores de resistência não elite.	Amostra: 24 corredores Idade: 33 - 35 anos	Um aumento nos níveis basais de adiponectina e neuregulina-4, bem como uma diminuição da concentração de leptina e melhora do perfil lipídico, foram observados em indivíduos após uma dieta n-3 PUFA. O aumento do índice n-3 teve um efeito significativo sobre os níveis de TNF α e um marcador sérico de defesa antioxidante.
Hahn, <i>et al.</i> (2022).	Investigar se a vitamina D e os ácidos graxos ômega 3 de cadeia longa de origem marinha reduzem o risco de doença autoimune.	Amostra: 25.871 participantes, sendo 12.786 homens e 13.085 mulheres. Idade: ≥ 50 anos para os homens inscritos e ≥ 55 anos para as mulheres.	A suplementação de vitamina D por cinco anos, com ou sem ácidos graxos ômega 3, reduziu a doença autoimune em 22%, enquanto a suplementação de ácidos graxos ômega 3 com ou sem vitamina D reduziu a taxa de doença autoimune em 15%.
Schweitzer <i>et al.</i> (2021).	Avaliar o efeito da ingestão de n -3 PUFAs no perfil de eicosanóides de pessoas com obesidade e sobrepeso.	Amostra: 610 indivíduos com sobrepeso e obesidade de ambos os sexos. Idade: 18 - 65 anos.	A ingestão de n -3 PUFAs promoveu uma redução completa dos eicosanóides pró-inflamatórios séricos e diminuiu os níveis do grupo de eicosanóides PG derivados do ácido araquidônico COX. As análises de subgrupo mostraram um efeito maior em períodos de até 8 semanas e doses superiores a 0,5 g de n -3 PUFAs.
Costabile <i>et al.</i> (2021).	Avaliar os efeitos a médio prazo de dietas naturalmente ricas em diferentes fontes de polifenóis e/ou peixes oleosos sobre os principais marcadores de inflamação subclínica e fatores de crescimento nas condições de jejum e pós-prandial em um estudo controlado randomizado. Estudo realizado em pessoas com alto risco cardiovascular.	Amostra: 78 indivíduos de ambos os sexos, com sobrepeso ou obesidade. Idade: entre 35 e 70 anos.	A adesão às dietas experimentais foi boa em todos os grupos e, como esperado, as dietas seguidas diferiram apenas para quantidades de polifenóis, LCn3 e vitamina D. Este estudo controlado randomizado mostrou que uma dieta enriquecida em polifenóis de diferentes fontes alimentares não modificou o estado inflamatório individual, enquanto uma dieta enriquecida em LCn3 de peixes oleosos melhorou a inflamação em indivíduos com alto risco de diabetes e doenças cardiovasculares. Este efeito pode contribuir para os efeitos favoráveis gerais do consumo de peixe na prevenção e terapia de doenças cardiovasculares.

Fonte: Adaptado de Ribeiro, Ferreira e Silva (2022).

3.3 ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS PARA INCORPORAÇÃO DE ÔMEGA-3 EM TILÁPIAS

O salmão do Atlântico (*Salmo salar* L.) é o principal representante dos peixes gordos com alta concentração de n-3 LC-PUFA. Esses peixes quando cultivados em viveiros são tradicionalmente

alimentados com uma dieta com altos níveis de ingredientes marinhos, óleo de peixe (OP) e farinha de peixe (FP), derivados de espécies pelágicas.

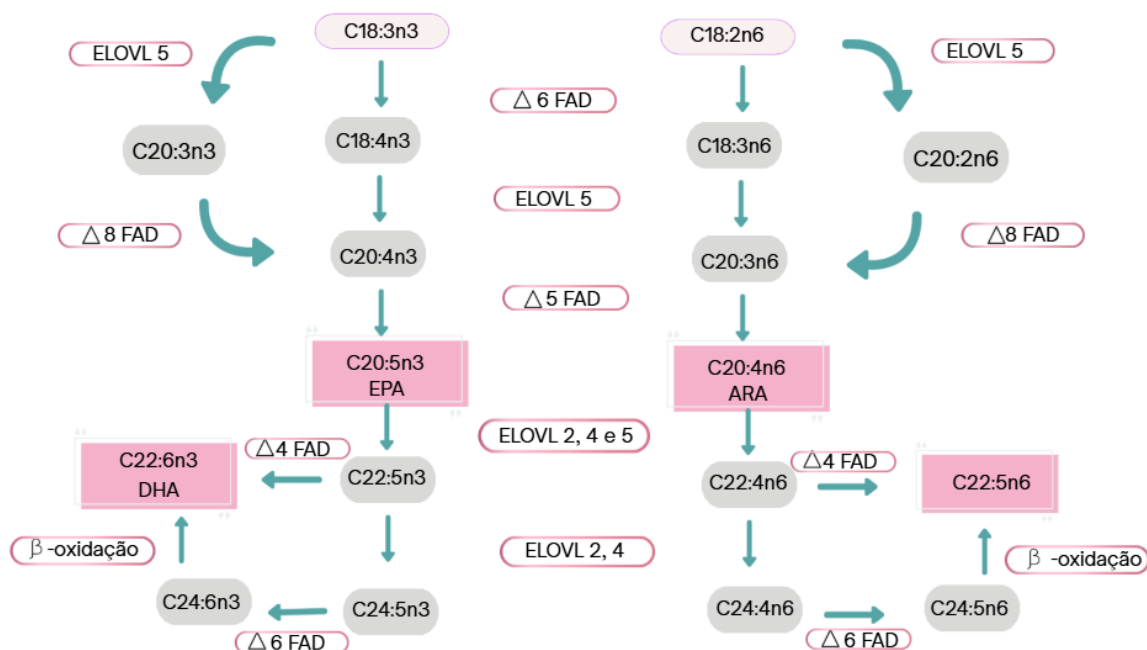
Entretanto devido aos altos custos gerados pela inclusão de FP/OP nessas rações, procurou substituí-los por ingredientes de origem vegetal, principalmente oleaginosas, sem causar prejuízo ao crescimento. No entanto, os perfis de ácidos graxos de óleos vegetais diferem dos de OP, sendo mais rica em PUFA n-6 e desprovida de n-3 LC-PUFA, resultando em mudanças na composição de ácidos graxos no salmão produzido em cativeiro. Consequentemente, o benefício nutricional para o consumidor humano final é redução na concentração de n-3 LC-PUFA na carcaça (Tocher, 2015).

Uma das inovações na alimentação de peixes é a substituição parcial dos óleos de origem animal por óleos vegetais, que são uma fonte rica em lipídios e ácidos graxos essenciais, como os ácidos graxos poli-insaturados ômega-3 e ômega-6 (Rodrigues *et al.*, 2021). Os usos desses óleos vegetais, como os provenientes da soja, canola, girassol e linhaça, têm mostrado benefícios tanto para os peixes quanto para o meio ambiente, uma vez que seu uso reduz a dependência de recursos de origem animal (Ferreira *et al.*, 2022). Entretanto, a utilização de óleos vegetais na alimentação de peixes não é isenta de desafios. Embora esses óleos sejam uma excelente fonte de ácidos graxos essenciais, eles apresentam uma proporção elevada de ácidos graxos ômega-6 em relação aos ômega-3, o que pode alterar a composição lipídica das carnes de peixe, afetando suas propriedades nutricionais (Oliveira *et al.*, 2020).

Os ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa (AGPI-CL) desempenham um papel importante no crescimento e metabolismo de todos os vertebrados, incluindo peixes (Bell & Tocher, 2009; Hashimoto *et al.*, 2008). A biossíntese de AGPI-CL, nomeadamente o ácido eicosapentaenoico (EPA; 20:5n-3), o ácido docosahexaenoico (DHA; 22:6n-3) e o ácido araquidônico (ARA; 20:4n-6), já é bem conhecida em diferentes espécies de peixes. É específica da espécie e depende de vários fatores, como nível trófico, hábito alimentar, características ambientais (Garrido *et al.*, 2019; Trushenski & Rombenso, 2020) e, principalmente, das atividades das enzimas dessaturases de ácidos graxos (Fads) e elongases (Elovl), que fazem com que a capacidade de biossintetizar LC-PUFAs varie entre as espécies de peixes (Castro *et al.*, 2016).

Existem diferentes teorias sobre a capacidade de biossíntese em peixes. Inicialmente, considerava-se que o habitat (água doce ou marinho) era o principal fator determinante dessa capacidade. Estudos revelaram que peixes de água doce e salmonídeos podem converter os precursores de ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs) C18, ácido α -linolênico (18:3n-3; ALA) e ácido linoleico (18:2n-6; LA), em PUFAs de cadeia longa (LC-PUFAs) por meio de uma série de reações de dessaturação e alongamento catalisadas pelas enzimas Fads2 e Elovl5 (Moraes *et al.*, 2009; Oboh *et al.*, 2017) (Figura 1).

Figura 1- Processo de bioconversão dos PUFAs C18 (C18:2n6 e C18:3n3) ingeridos através da dieta, uma vez que não são sintetizados pelos animais, sob a ação das elongases (ELOVL 2, 4 e 5) e dessaturases ($\Delta 4$, 5, 6 e 8 FAD- fatty acid desaturase) em LC-PUFAs.



Fonte: Adaptado de Tocher (2015).

Em contraste, espécies de teleósteos marinhos apresentam uma capacidade muito limitada para essa conversão (Tocher, 2010). No entanto, observou-se que essa compreensão clássica é superficial, visto que foi descoberto recentemente que dois peixes marinhos herbívoros (*Siganus canaliculatus* e *Scatophagus argus*) possuem a capacidade de biossintetizar LC-PUFAs utilizando precursores C18 (Li et al., 2020; Xie et al., 2018). O nível trófico ao qual a espécie pertence diz muito sobre a capacidade de biossintetizar LC-PUFAs, uma vez que espécies mais basais necessitam da biossíntese endógena de LC-PUFAs, pois possuem uma dieta pobre em LC-PUFAs, enquanto espécies predadoras não necessitam dessa capacidade de biossíntese, pois já adquirem LC-PUFAs por meio de sua dieta (Galindo et al., 2021; Xie et al., 2020).

3.4 FONTES DE ÓLEOS VEGETAIS E SEUS EFEITOS NA NUTRIÇÃO DE PEIXES

Os lipídios são importantes componentes da dieta e fornecem de maneira eficiente energia e ácidos graxos essenciais, no entanto, dietas com altos teores de lipídio podem influenciar o metabolismo animal e a composição da carcaça, com acúmulo indesejável de gordura (Ribeiro *et al.*, 2008). Dentre os óleos vegetais mais utilizados na aquicultura, destacam-se o de soja, canola e arroz. Estudos demonstram que a inclusão desses óleos não compromete o crescimento e a conversão alimentar dos peixes (Losekann *et al.*, 2008). No entanto, a composição do filé pode ser influenciada pelo tipo de óleo utilizado.

Tabela 2 - Fonte de óleo e sua composição.

Fonte de óleo	Composição	Autor
Óleo de Soja	Rico em ácidos graxos poliinsaturados da série ômega-6, favorece a deposição de gordura no filé, o que pode afetar a textura e a aceitação do produto pelo consumidor (	Martino <i>et al.</i> , 2002
Óleo de Canola	Apresenta uma melhor relação ômega-3/ômega-6, proporcionando menor deposição de gordura nos filés, mantendo a qualidade nutricional do peixe (	Glencross <i>et al.</i> , 2003
Óleo de Arroz	Favorece um crescimento equilibrado e influencia positivamente na taxa de deposição de proteína nos tecidos musculares dos peixes	Lazzari <i>et al.</i> , 2006

Fonte: Adaptado de Souza, Tavares e Santos (2025).

O teor lipídico do tecido muscular afeta as qualidades organolépticas e de processamento dos filés de peixe (Horn *et al.*, 2022). Em dourada, foi demonstrado que o sabor, a cor e a suculência dos filés são afetados pelo teor de gordura (Grigorakis *et al.*, 2003 ; Grigorakis, 2007). A gordura muscular também afeta a qualidade nutricional dos filés. O peixe é uma importante fonte de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa ômega-3 e apresentam diversos efeitos benéficos à saúde. Sendo assim, melhorar o teor de ômega-3 no filé de peixe é um ponto crucial na aquicultura. Como parte significativa da dieta mediterrânea, o dourado é uma importante fonte desses ácidos graxos essenciais e benéficos à saúde.

De modo geral, o teor de ácidos graxos ômega-3 no músculo de peixes é amplamente determinado pela composição de ácidos graxos da dieta, o que também está bem documentado para a dourada (Ballester-Lozano *et al.*, 2011). Além da ração, outros fatores, incluindo fatores ambientais (como a temperatura da água), também demonstraram influenciar o teor de ácidos graxos ômega-3 no músculo da dourada (Ibarz *et al.*, 2005).

3.5 NUTRIGENÔMICA E METABOLISMO LIPÍDICO EM TILÁPIAS

Sabemos que os peixes, assim como outros vertebrados, não são capazes de sintetizar os ácidos graxos poliinsaturados da série n-3 e n-6 e consequentemente requerem uma suplementação dietética de ácidos graxos nutricionalmente essenciais (EFAs). Peixes não possuem as enzimas dessaturases $\Delta 12$ e $\Delta 15$, necessárias para a produção de 18:2n-6 (ácido linoléico, AL) e 18:3n-3 (ácido linolênico, ALN), respectivamente, a partir de 18:1n-9 (ácido oleico, AO) (Henderson & Tocher, 1987; Sargent *et al.*, 2002; NRC, 2011).

A cadeia alimentar marinha é formada por seres ricos em ômega3, como o EPA e o DHA e por essa razão, os peixes marinhos tem a capacidade mais limitada de alongamento e dessaturação de ácidos graxos (Ishikawa *et al.*, 2019; Twining *et al.*, 2021). Entretanto, os peixes de água doce, de uma forma geral, possuem uma série de enzimas capazes de alongar e dessaturar o ácido 18:2n-6 (linoléico, AL) em 20:4n-6 (araquidônico, ARA) e o ácido 18:3n-3 (linolênico, ALN) em 20:5n-3 (ácido eicosapentaenóico, EPA), e finalmente para 22:6n-3 (ácido docosahexaenóico, DHA) (SARGENT et

al., 2002). Dentre as espécies que possui essa capacidade biosintética com eficiência, podemos destacar a tilápia do Nilo (Tocher *et al.*, 2001).

A biossíntese de LC-PUFA em vertebrados, incluindo peixes, é mediada por dois tipos de enzimas (Monroig *et al.*, 2018). Por um lado, as proteínas elongase de ácido graxo (*ELOVL*) catalisam a reação de condensação da via de alongamento de ácidos graxos, resultando na extensão da cadeia de ácido graxo em dois carbonos. Assim, enzimas como *Elovl5*, *Elovl2* e *Elovl4* estão sendo extensivamente estudadas em peixes (Castro *et al.*, 2016; Garlito *et al.*, 2019; Monroig *et al.*, 2018). Por outro lado, as enzimas dessaturases de ácido graxo (*FADS*) entram em uma ligação dupla com substratos de PUFA entre um existente e o carbono do grupo carboxílico. Ao contrário dos *FADS2* de mamíferos, que normalmente apresentam atividade $\Delta 6/\Delta 8$ (Castro *et al.*, 2016), os *FADS2* de teleósteos apresentam alta variabilidade interespecífica em sua capacidade de dessaturase.

Assim, juntamente com a atividade $\Delta 6/\Delta 8$ (Monroig *et al.*, 2011), foram relatados *FADS2* com $\Delta 4$ e $\Delta 5$, bem como dessaturases $\Delta 6/\Delta 5$ bifuncionais (Castro *et al.*, 2016; Garrido *et al.*, 2020). Estudos têm mostrado que variantes genéticas (SNPs) nesse gene afetam diretamente a capacidade de síntese de PUFA em várias espécies de peixes (Zheng *et al.*, 2005). A prospecção desses polimorfismos é uma estratégia importante para identificar variações genéticas associadas à maior ou menor eficiência na síntese de PUFA, possibilitando o aprimoramento genético para a produção de peixes com perfis lipídicos mais saudáveis e de maior valor para o mercado (Li *et al.*, 2014).

Diversos estudos vêm sendo realizados com o objetivo de aumentar os níveis de ácidos graxos de cadeia longa poliinsaturados com a manipulação de dietas contendo diferentes tipos de óleo ou usando dietas com altos níveis de ácido linoleico entre outros (Hsieh *et al.*, 2007). Dessa forma, o teor de lipídios pode ser modificado para melhorar qualitativamente e quantitativamente o valor nutricional dos peixes cultivados (Tocher, 2015; Santin *et al.*, 2021). Em contrapartida, existem pouquíssimos estudos que consideram aspectos genéticos do perfil de ácidos graxos e da ação de elongases e dessaturases, principalmente para tilápias (Nguyen *et al.*, 2010).

Existem diferenças nas competências funcionais de elongases e dessaturases para diferentes espécies de peixes que podem contribuir para diferentes habilidades em termos de síntese de HUFA (Agaba *et al.*, 2005). Como as enzimas são produtos gênicos, é esperado que exista “polimorfismo ou variabilidade” nos locus que controlam a produção das cadeias proteicas constituintes destas enzimas, assim é comum encontrar diferenças quanto a ação de elongases e dessaturases dentro de uma mesma espécie ou variedade.

Alguns estudos relatam diferenças no perfil de ácidos graxos em diferentes espécies de tilápias ou fazendo um paralelo entre a tilápia selvagem e a domesticada (Karapanagiotidis *et al.*, 2006). Há evidências que o perfil de ácidos graxos pode ser alterado em decorrência de programas de melhoramento genético. Desta forma, é possível desenvolver estratégias de melhoramento (seleção e

cruzamentos) para aumentar a quantidade desejável de ácidos graxos específicos como n3 PUFA. Oferecendo um alimento de maior qualidade para o consumidor (Nguyen *et al.*, 2010). Entretanto, ainda são escassos os trabalhos na literatura que avaliam o potencial genético das tilápias do Nilo para alterar o seu perfil e aumentar a quantidade de ácidos graxos especiais, como n-3 LC-PUFA, a partir das fontes e dos ácidos graxos presentes nas dietas.

No contexto brasileiro, programas de melhoramento genético em tilápias têm sido implementados, visando à seleção de linhagens com crescimento acelerado e menor tempo para atingir o peso de abate, o que beneficia a produção (Santos *et al.*, 2019). Adicionalmente, a qualidade da carne é um aspecto relevante, com consumidores demonstrando disposição a investir em produtos com características saudáveis e de alta qualidade (Boukha *et al.*, 2011). Pesquisas indicam que o perfil de ácidos graxos pode ser modificado por meio de estratégias de melhoramento genético, permitindo a seleção e o cruzamento de indivíduos para aumentar a concentração de ácidos graxos benéficos, como os ômega-3. Dessa forma, a otimização da qualidade nutricional é essencial para a aquicultura, impactando o valor do produto, as preferências do consumidor e a sustentabilidade do setor (Tan *et al.*, 2022).

Compreender os parâmetros genéticos das características do filé é de grande interesse para programas de melhoramento em aquicultura. Embora a dieta seja um fator conhecido por influenciar o conteúdo de ácidos graxos em peixes, a demonstração de uma resposta genética oferece uma abordagem alternativa e/ou complementar para aprimorar a qualidade nutricional. Isso pode aumentar a competitividade de mercado das espécies cultivadas, oferecer mais benefícios à saúde dos consumidores e promover a sustentabilidade das práticas aquícolas (Dinh *et al.*, 2023; Liang *et al.*, 2024; Purushothaman *et al.*, 2024; Putri *et al.*, 2021).

A partir da quantificação da variação genética e estimação dos parâmetros genéticos é possível estabelecer os critérios de seleção que resultem em repostas rápidas e eficientes para o progresso genético. A herdabilidade e as correlações relacionadas a ácidos graxos, como EPA, DHA e suas respectivas proporções (por exemplo, proporções de DHA/EPA e ômega-6/ômega-3) fornecem informações valiosas sobre o potencial de qualidade de carne. Alguns estudos com espécies de aquicultura: como o salmão do Atlântico (*S. salar*; $h^2 = 0,17$ a $0,46$), a carpa comum (*Cyprinus carpio*; $h^2 = 0,03$ a $0,37$) e a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*; $h^2 = 0,02$ a $0,24$), e a tilápia do Nilo (*O. niloticus*; $h^2 = 0$ a $0,39$), mostraram vários graus de herdabilidade para essas características, destacando a natureza específica da espécie das influências genéticas nos perfis de ácidos graxos (Blay *et al.*, 2021; Horn *et al.*, 2018 e Prchal *et al.*, 2018).

No entanto, as características de perfil de ácidos graxos e qualidade de carne são características complexas controladas por um grande número de genes. As pesquisas que envolvem estas características exigem que o animal passe por todo o processo de produção, inclusive o abate.

Adicionalmente, estas avaliações requerem métodos de análise dispendiosos e invasivos. Tornando as avaliações destas características difíceis e onerosas sob métodos tradicionais de melhoramento genético baseados apenas no fenótipo e *pedigree*, acarretando limitações no progresso genético.

Atualmente, com os avanços da biotecnologia molecular a genotipagem em larga escala de marcadores utilizando *chips* de alta densidade, tem sido utilizada para estimar valores genéticos genômicos e também na identificação de *Quantitative Trait Loci (QTLs)* e *Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs)* associados com as características de interesse (Goddard & Hayes, 2009). Embora a aplicação em tilápia para o perfil de ácidos graxos ainda esteja em estágio inicial em comparação com outras características, o potencial é imenso. Deste modo, o uso de informações genômicas tem o potencial de aumentar a acurácia de seleção e possibilita a seleção direta dos reprodutores ao nascimento (Daetwyler *et al.*, 2012).

Em outras espécies aquáticas, como o salmão do Atlântico (*Salmo salar*) e o carpa comum (*Cyprinus carpio*), seleção genômica ampla (GWAS) e estudos de QTLs já identificaram regiões genômicas e genes candidatos envolvidos no metabolismo lipídico e na deposição de ácidos graxos (Sørensen *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2014). Esses estudos apontam para a importância de genes envolvidos na biossíntese de AGPIs, como as dessaturases (FADS2) e elongases (ELOVL), que são cruciais para a conversão de ácidos graxos precursores em EPA e DHA. Em tilápias, a disponibilidade de sequências genômicas de referência e a crescente geração de dados de sequenciamento têm facilitado a busca por essas regiões. Espera-se que futuros estudos de GWAS em tilápias revelem QTLs e SNPs associados a proporções específicas de AGPIs, permitindo a seleção de linhagens com perfis lipídicos otimizados. Diante do exposto, o objetivo deste estudo é estimar parâmetros genéticos (herdabilidade e correlação) e identificar regiões genômicas associadas as características de perfil de ácidos graxos e qualidade de carne em tilápia.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A incorporação de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa, especialmente EPA e DHA, no filé de peixes cultivados representa um dos principais desafios e, ao mesmo tempo, uma grande oportunidade para a aquicultura moderna, ao alinhar produtividade, qualidade nutricional e promoção da saúde humana. A tilápia do Nilo, devido à sua ampla importância econômica e à sua notável capacidade metabólica de alongação e dessaturação de ácidos graxos precursores, mostra-se uma espécie estratégica para o desenvolvimento de sistemas produtivos voltados à oferta de alimentos funcionalmente mais saudáveis.

Os resultados discutidos ao longo deste trabalho evidenciam que a composição lipídica da carne de tilápias é fortemente influenciada pela dieta, especialmente pelo tipo e pela proporção de fontes lipídicas utilizadas, bem como por fatores genéticos relacionados à expressão e à funcionalidade das

enzimas alongases e dessaturases. Estratégias nutricionais baseadas no uso racional de óleos vegetais, associadas ao conhecimento da capacidade biossintética da espécie, podem contribuir para a melhoria do perfil de ácidos graxos do pescado, ainda que apresentem limitações quando consideradas de forma isolada.

Nesse cenário, a nutrigenômica emerge como uma abordagem promissora ao permitir a compreensão das interações entre dieta, genoma e metabolismo lipídico, viabilizando a identificação de marcadores genéticos associados à maior eficiência na síntese e deposição de ômega-3. A integração de programas de melhoramento genético com estratégias nutricionais adequadas pode potencializar a produção de tilápias com maior valor agregado, atendendo à crescente demanda dos consumidores por alimentos mais saudáveis e sustentáveis.

Por fim, destaca-se a necessidade de ampliação de estudos que avaliem conjuntamente os aspectos nutricionais, genéticos e genômicos do perfil lipídico em tilápias, especialmente no contexto brasileiro. O avanço nesse campo contribuirá não apenas para o fortalecimento da aquicultura nacional, mas também para a promoção da saúde pública, por meio da oferta de pescado com melhor qualidade nutricional e funcional.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro para a execução do projeto.

REFERÊNCIAS

- ABSHIRINI, M; ILESANMI-OYELERE, B. L.; KRUGER, M. C. Potential modulatory mechanisms of action by long-chain polyunsaturated fatty acids on bone cell and chondrocyte metabolism. *Progress in Lipid Research*, v. 83, p. 101113, 2021.
- AGABA, M. K. et al. Cloning and functional characterisation of polyunsaturated fatty acid elongases of marine and freshwater teleost fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, v. 142, n. 3, p. 342-352, 2005.
- BALLESTER-LOZANO, G. F. et al. Prediction of fillet fatty acid composition of market-size gilthead sea bream (*Sparus aurata*) using a regression modelling approach. *Aquaculture*, v. 319, n. 1-2, p. 81-88, 2011.
- BELL, M. V.; TOCHER, D. R. Biosynthesis of polyunsaturated fatty acids in aquatic ecosystems: general pathways and new directions. In: *Lipids in Aquatic Ecosystems*. New York, NY: Springer New York. p. 211-236, 2009.
- BLAY, C. et al. Genetic architecture and genomic selection of fatty acid composition predicted by Raman spectroscopy in rainbow trout. *BMC Genomics*, v. 22, p. 1-19, 2021.
- BOUKHA, A. et al. Genetic parameters of carcass and meat quality traits of double muscled Piemontese cattle. *Meat Science*, v. 89, n. 1, p. 84-90, 2011.
- BRASIL (2006), Ministério da Saúde. Prevenção Clínica de Doença Cardiovascular, Cerebrovascular E Renal Crônica. *Cadernos de Atenção Básica* - n.º 14 Brasília - DF
<https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/abcad14.pdf>.
- BROWN, T. J. et al. Omega-3, omega-6, and total dietary polyunsaturated fat for prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus: systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *bmj*, v. 366, 2019.
- CALDER, P. C. Very long-chain n-3 fatty acids and human health: fact, fiction and the future. *Proceedings of the Nutrition Society*, v. 77, n. 1, p. 52-72, 2018.
- CARR, I.; GLENCROSS, B.; SANTIGOSA, E. The importance of essential fatty acids and their ratios in aquafeeds to enhance salmonid production, welfare, and human health. *Frontiers in Animal Science*, v. 4, p. 1147081, 2023.
- CASTRO, L. F. C.; TOCHER, D. R.; MONROIG, O. Biossíntese de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa em cordados: insights sobre a evolução do repertório de genes Fads e Elovl. *Progress in lipid research*, v. 62, p. 25-40, 2016.
- COSTABILE, G. et al. An oily fish diet improves subclinical inflammation in people at high cardiovascular risk: a randomized controlled study. *Molecules*, v. 26, n. 11, p. 3369, 2021.
- DAETWYLER, H. D.; VILLANUEVA, B. WOOLLIAMS, J. A. Accuracy of predicting the genetic risk of disease using a genome-wide approach. *PloS one*, v. 3, n. 10, p. e3395, 2008.
- DEJANA, T. et al. Dependence of the common carp (*Cyprinus carpio* L.) fatty acid profile on diet composition in a semi-intensive farming system: tissue and time variability. *Aquaculture research*, v. 48, n. 6, p. 3121-3133, 2017.

- DINH, Y. H. T.; LAM, N. H.; LISHCHENKO, F. V. Life-history traits variation of *Lutjanus malabaricus* (Bloch & Schneider, 1801) in the waters off Northern Vietnam. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 103, p. e45, 2023.
- FALCON, W. P.; NAYLOR, R. L.; SHANKAR, N. D. Rethinking global food demand for 2050. *Population and Development Review*, v. 48, n. 4, p. 921-957, 2022.
- FARZAD, R. *et al.* Minerais em filés de tilápia: status no mercado dos Estados Unidos e estratégia de suplementação de selênio para melhorar a saúde do consumidor. *PloS one*, v. 14, n. 6, p. e0217043, 2019.
- FERREIRA, A. P. *et al.* Impactos da substituição de óleos de origem animal por óleos vegetais na nutrição de peixes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 51, n. 2, p. 123-134, 2022.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción: FAO.
- FRITSCHKE, K. L. Too much linoleic acid promotes inflammation—doesn't it? *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, v. 79, n. 3-5, p. 173-175, 2008.
- FURTADO, D. A.; RESENDE, E. K.; FREITAS, R. R. F. Panorama da aquicultura no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 39, p. 253–261, 2010.
- GALINDO, A. *et al.* Polyunsaturated fatty acid metabolism in three fish species with different trophic level. *Aquaculture*, v. 530, p. 735761, 2021.
- GARLITO, B. *et al.* Identification of very long-chain (> C24) fatty acid methyl esters using gas chromatography coupled to quadrupole/time-of-flight mass spectrometry with atmospheric pressure chemical ionization source. *Analytica chimica acta*, v. 1051, p. 103-109, 2019.
- GARLOCK, T. *et al.* Aquaculture: The missing contributor in the food security agenda. *Global Food Security*, v. 32, p. 100620, 2022.
- GARRIDO, D. *et al.* Functional diversification of teleost Fads2 fatty acyl desaturases occurs independently of the trophic level. *Scientific reports*, v. 9, n. 1, p. 11199, 2019.
- GARRIDO, D. *et al.* Lipid metabolism in *Tinca tinca* and its n-3 LC-PUFA biosynthesis capacity. *Aquaculture*, v. 523, p. 735147, 2020.
- GEPHART, J. A. *et al.* Environmental performance of blue foods. *Nature*, v. 597, n. 7876, p. 360-365, 2021.
- GHASEMI FARD, S. *et al.* How does high DHA fish oil affect health? A systematic review of evidence. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 59, n. 11, p. 1684-1727, 2019.
- GLENCROSS, B. *et al.* Evaluation of canola oils as alternative lipid resources in diets for juvenile red seabream, *Pagrus auratus*. *Aquaculture Nutrition*, v. 9, p. 305-315, 2003.
- GODDARD, M. E.; HAYES, B. J. Mapping genes for complex traits in domestic animals and their use in breeding programmes. *Nature Reviews Genetics*, v. 10, n. 6, p. 381-391, 2009.
- GOLDEN, C. D. *et al.* Aquatic foods to nourish nations. *Nature*, v. 598, n. 7880, p. 315-320, 2021.

GRIGORAKIS, K. Qualidade composicional e organoléptica da dourada (*Sparus aurata*) e do robalo (*Dicentrarchus labrax*) de cultivo e selvagens e fatores que a afetam: Uma revisão. *Aquicultura*, v. 272, n. 1-4, p. 55-75, 2007.

GRIGORAKIS, K.; TAYLOR, K. D. A.; ALEXIS, M. N. Organoleptic and volatile aroma compounds comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*): sensory differences and possible chemical basis. *Aquaculture*, v. 225, n. 1-4, p. 109-119, 2003.

GUESNET, F. et al. Inadequate daily intakes of n-3 polyunsaturated fatty acids (PUFA) in the general French population of children (3–10 years) and adolescents (11–17 years): the INCA2 survey. *European Journal of Nutrition*, v. 58, n. 2, p. 895-903, 2019.

HAHN, J. et al. Vitamin D and marine omega 3 fatty acid supplementation and incident autoimmune disease: VITAL randomized controlled trial. *bmj*, v. 376, 2022.

HARTON, A. et al. Spożycie wielonienasyconych kwasów tłuszczowych przez kobiety ciężarne. *Probl Hig i Epidemiol*, v. 94, p. 605-609, 2013.

HASHIMOTO, K. et al. The repertoire of desaturases and elongases reveals fatty acid variations in 56 eukaryotic genomes. *Journal of Lipid Research*, v. 49, n. 1, p. 183-191, 2008.

HENDERSON, R. J.; TOCHER, D. R. The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Progress in lipid research*, v. 26, n. 4, p. 281-347, 1987.

HORN, S. S. et al. Genetic effects of fatty acid composition in muscle of Atlantic salmon. *Genetics Selection Evolution*, v. 50, p. 1-12, 2018.

HORN, S. S. et al. Genetic parameters of fillet fatty acids and fat deposition in gilthead seabream (*Sparus aurata*) using the novel 30 k Medfish SNP array. *Aquaculture*, v. 556, p. 738292, 2022.

HSIEH, S. L., HU, C. Y., HSU, Y. T., HSIEH, T. J. Influence of dietary lipids on the fatty acid composition, stearoyl-CoA desaturase expression in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) under cold shock. *Comparative Biochemistry, Physiology Part B: Biochemistry, Molecular Biology* v. 147, p. 438-444, 2007.

HUNDAL, B. K. et al. A piece of the puzzle—possible mechanisms for why low dietary EPA and DHA cause hepatic lipid accumulation in Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Metabolites*, v. 12, n. 2, p. 159, 2022.

HUYBEN, D. et al. Steroidogenic and innate immune responses in Atlantic salmon are influenced by dietary total lipid, long chain polyunsaturated fatty acids and dissolved oxygen. *Aquaculture*, v. 564, p. 739028, 2023.

IBARZ, A. et al. Cold-induced alterations on proximate composition and fatty acid profiles of several tissues in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, v. 249, n. 1-4, p. 477-486, 2005.

Instituto de Medicina, Conselho de Alimentação e Nutrição. Ingestão dietética de referência para energia, carboidratos, fibras, gorduras, ácidos graxos, colesterol, proteínas e aminoácidos (macronutrientes). Washington, DC: *National Academy Press*; 2005.

ISHIKAWA, A. et al. A key metabolic gene for recurrent freshwater colonization and radiation in fishes. *Science*, v. 364, n. 6443, p. 886-889, 2019.

- JIANG, J. et al. Effect of marine-derived n-3 polyunsaturated fatty acids on major eicosanoids: a systematic review and meta-analysis from 18 randomized controlled trials. *PloS one*, v. 11, n. 1, p. e0147351, 2016.
- KARAPANAGIOTIDIS, I. T. et al. 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*, v. 54, n. 12, p. 4304-4310, 2006.
- LANGE, K. W. Omega-3 fatty acids and mental health. *Global Health Journal*, v. 4, n. 1, p. 18-30, 2020.
- LAZZARI, R. et al. Diferentes fontes proteicas na alimentação do jundiá (*Rhamdia quelen*). *Ciência Rural*, v. 36, n. 1, p. 240-246, 2006.
- LI, S. et al. Characterization, mRNA expression and regulation of $\Delta 6$ fatty acyl desaturase (FADS2) by dietary n-3 long chain polyunsaturated fatty acid (LC-PUFA) levels in grouper larvae (*Epinephelus coioides*). *Aquaculture*, v. 434, p. 212-219, 2014.
- LI, X. et al. Biosynthetic deficiency of docosahexaenoic acid causes nonalcoholic fatty liver disease and ferroptosis-mediated hepatocyte injury. *Journal of Biological Chemistry*, v. 300, n. 7, p. 107405, 2024.
- LI, Y. B. et al. The lipid biochemistry of eukaryotic algae. *Progress in lipid research*, v. 74, p. 31-68, 2019.
- LI, Y. et al. Genome wide identification and functional characterization of two LC-PUFA biosynthesis elongase (elovl8) genes in rabbitfish (*Siganus canaliculatus*). *Aquaculture*, v. 522, p. 735127, 2020.
- LIANG, B. et al. Transcriptomic analysis of gonads in Malabar red snapper (*Lutjanus malabaricus*) reveals genes associated with gonad development. *Aquaculture*, v. 592, p. 741258, 2024.
- LIPUT, K. P. et al. Effects of dietary n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids in inflammation and cancerogenesis. *International journal of molecular sciences*, v. 22, n. 13, p. 6965, 2021.
- LOSEKANN, M. E. et al. Alimentação do jundiá com dietas contendo óleos de arroz, canola ou soja. *Ciência Rural*, v. 38, n. 1, p. 225-230, 2008.
- MARTINO, R. C. et al. Performance and fatty acid composition of surubim (*Pseudoplatystoma corruscans*) fed diets with animal and plant lipids. *Aquaculture*, v. 209, p. 233-246, 2002.
- MATSUOKA, Y. J. et al. Dietary fish, n-3 polyunsaturated fatty acid consumption, and depression risk in Japan: a population-based prospective cohort study. *Translational psychiatry*, v. 7, n. 9, p. e1242-e1242, 2017.
- MELLO GONÇALVES, N. M. F., & CARNEIRO, B. C. O Ômega-3 Na Prevenção do Infarto Agudo do Miocárdio. *Revista UNIANDE*, 2014.
- MENDES, D.; MARQUES DA SILVA, P. Abordagem nutricional e dietética na prevenção e tratamento da Hipertensão Arterial. *Factores de Risco*, p. 51-63, 2014.
- MONROIG, O.; LI, Y.; TOCHER, D. R. Delta-8 desaturation activity varies among fatty acyl desaturases of teleost fish: high activity in delta-6 desaturases of marine species. *Comparative*

Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, v. 159, n. 4, p. 206-213, 2011.

MONROIG, O.; KABEYA, N. Desaturases and elongases involved in polyunsaturated fatty acid biosynthesis in aquatic invertebrates: a comprehensive review. *Fisheries Science*, v. 84, n. 6, p. 911-928, 2018.

MORAIS, Carlos Adriano Rocha Silva et al. Effect of slaughter weight on the quality of Nile tilapia fillets. *Aquaculture*, v. 520, p. 734941, 2020.

MORAIS, S. et al. Highly unsaturated fatty acid synthesis in Atlantic salmon: characterization of ELOVL5-and ELOVL2-like elongases. *Marine Biotechnology*, v. 11, n. 5, p. 627-639, 2009.

MOZAFFARIAN, Dariush; WU, Jason HY. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: effects on risk factors, molecular pathways, and clinical events. *Journal of the American College of Cardiology*, v. 58, n. 20, p. 2047-2067, 2011.

NASCIMENTO, P. M.; SCALABRINI, Heloisy Moreira. Benefícios do ômega 3 na prevenção de doença cardiovascular: Revisão integrativa de literatura. *International Journal of Nutrology*, v. 13, n. 3, p. 95-101, 2020.

NGUYEN H. N. et al. Quantitative genetic basis of fatty acid composition in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) selected for high growth. *Aquaculture*, v. 309, p. 66-74, 2010.

NRC. National Research Council - Nutrient Requirements of fish and shrimp. Washington: National Acacemy Press, 2011.

OBOH, A. et al. Two alternative pathways for docosahexaenoic acid (DHA, 22: 6n-3) biosynthesis are widespread among teleost fish. *Scientific reports*, v. 7, n. 1, p. 3889, 2017.

OLIVEIRA, J. M. O peixe e a saúde: das recomendações para o consumo às possibilidades ambientais de atendê-lo. *Segurança Alimentar e Nutricional*, Campinas, SP, v. 20, n. 1supl, p. 141-146, 2015. 2013.

OLIVEIRA, L. S. et al. Efeitos da substituição de óleo de peixe por óleos vegetais na nutrição de peixes tropicais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 55, p. 230-240, 2020.

OLIVER, L. et al. Producing omega-3 polyunsaturated fatty acids: A review of sustainable sources and future trends for the EPA and DHA market. *Resources*, v. 9, n. 12, p. 148, 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. *The state of food and agriculture 2024*. Roma: FAO, 2024. 150 p. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b49c8100-3e00-4cc6-b617-226edd7a9662/content>. Acesso em: 4 jan. 2026.

PEIXE BR - Associação Brasileira da Piscicultura. *Anuário da Piscicultura 2025*. São Paulo: Peixe BR, 2025. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario>. Acesso em: 18 ago. 2025.

PEIXE BR – Associação Brasileira da Piscicultura - *Anuário Peixe BR*, 136p., 2020. Disponível em: < <https://www.peixebr.com.br> >. Acesso em: 30 de dezembro de 2025.

PIPER, V.A. et al. Dieta DASH na redução dos níveis de pressão arterial e prevenção do acidente vascular cerebral. *Scientia medica*. vol. 22, n. 2, p. 113-118, 2012.

PRCHAL, M. et al. Estimation of genetic parameters of fatty acids composition in flesh of market size common carp (*Cyprinus carpio* L.) and their relation to performance traits revealed that selective breeding can indirectly affect flesh quality. *Czech Journal of Animal Science*, v. 63, n. 7, p. 280-291, 2018.

PURUSHOTHAMAN, K. et al. Comparative nutritional and histological analysis of Malabar red snapper (*Lutjanus malabaricus*) and Asian seabass (*Lates calcarifer*). *Animals*, v. 14, n. 12, p. 1803, 2024.

PURUSHOTHAMAN, K. et al. Genetic evaluation of nutritional traits in Malabar red snapper (*Lutjanus malabaricus*): Heritability and genetic correlations of fatty acid composition. *Aquaculture*, v. 599, p. 742144, 2025.

PUTRI, D. N. et al. Physicochemical and fatty acid profile of fish oil from red snapper heads (*Lutjanus malabaricus*) refined from various naoh concentrations. *Agointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, v. 15, n. 4, p. 1026-1037, 2021.

RAATZ, S. K. et al. Relationship of the reported intakes of fat and fatty acids to body weight in US adults. *Nutrients*, v. 9, n. 5, p. 438, 2017.

RIBEIRO, E. A.; FERREIRA, R.; DA SILVA, M. C. Os efeitos da ingestão precoce do ômega 3 na prevenção da obesidade e de doenças cardiovasculares. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 9, p. e21611931883-e21611931883, 2022.

RIBEIRO, P. A. P. et al. Efeito do uso de óleo na dieta sobre a lipogênese e o perfil lipídico de tilápias-do-nilo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, p. 1331-1337, 2008.

RODRIGUES, G. R. et al. Aspectos nutricionais da substituição de lipídios na alimentação de peixes: uma revisão. *Journal of Aquatic Science*, v. 18, p. 45-58, 2021.

ROGERS T, SEEHUSEN DA. Omega -3 Fatty Acids and Cardiovascular Disease. *American family physician*, v. 97, n. 9, p: 562 – 564, 2018.

SANTIN, A. et al. Highly valuable polyunsaturated fatty acids from microalgae: strategies to improve their yields and their potential exploitation in aquaculture. *Molecules*, v. 26, n. 24, p. 7697, 2021.

SANTOS, V. B. et al. Performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* strains in Brazil: a comparison with Philippine strain. *Journal of Applied Animal Research*, v. 47, n. 1, p. 72-78, 2019.

SANTOS, A. P. L.; CARAM, A. L. A.; SINICO, M. C. Efeito terapêutico dos ácidos graxos ômega 3 na prevenção e tratamento das doenças crônicas não transmissíveis. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 14, p. e286111433952-e286111433952, 2022.

SANTOS, H. C. et al. Aquicultura como alternativa sustentável à pesca extrativa. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 15, n. 3, p. 55-68, 2020.

SANTOS, H. O.; PRICE, J. C.; BUENO, A. A. Beyond fish oil supplementation: the effects of alternative plant sources of omega-3 polyunsaturated fatty acids upon lipid indexes and cardiometabolic biomarkers—an overview. *Nutrients*, v. 12, n. 10, p. 3159, 2020.

SANTOS, L. E. S.; BORTOLOZO, E. A. F. Q. Ingestão de ômega 3: considerações sobre potenciais benefícios no metabolismo lipídico. *Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias-ATIVIDADES ENCERRADAS*, v. 14, n. 02, 2008.

SARDELLA, C.; BRAUNER, E. Ácidos graxos ômega-3 e doença cardiovascular. *Revista da Sociedade de Cardiologia do Estado de São Paulo*, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 38–45, 2008.

SARGENT, J.R.; TOCHER, D.; BELL, J. G. The lipids. Pages 181-257. In J.E. Halver, and R.W. Hardy, *Fish Nutrition*. Academic Press, Amsterdam, AM, The Netherlands, 2002.

SAWYER, J. M. et al. A general model of polyunsaturated fatty acid (PUFA) uptake, loss and transformation in freshwater fish. *Ecological Modelling*, v. 323, p. 96-105, 2016.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CARDIOLOGIA (SBC).

Atualização da Diretriz Brasileira de Dislipidemias e Prevenção da Aterosclerose – 2017. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, São Paulo, v. 113, n. 4, p. 787–891, 2019.

SCHERR, C., GAGLIARDI, A. C. M., MINAME, M. H., & SANTOS, R. D. (2015). Fatty acid and cholesterol concentrations in usually consumed fish in Brazil. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 104, 152-158.

SCHWEITZER, G. R., RIOS, I. N., GONÇALVES, V. S., MAGALHÃES, K. G. & PIZATO, N. Effect of *n*-3 long-chain polyunsaturated fatty acid intake on the eicosanoid profile in individuals with obesity and overweight: a systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Journal of nutritional science*, v. 10, pp. 1-15, 2021.

SHEPPARD, Kelly W.; CHEATHAM, Carol L. Omega-6/omega-3 fatty acid intake of children and older adults in the US: dietary intake in comparison to current dietary recommendations and the Healthy Eating Index. *Lipids in health and disease*, v. 17, n. 1, p. 43, 2018.

SIDHU, K. S. Health benefits and potential risks related to consumption of fish or fish oil. *Regulatory toxicology and pharmacology*, v. 38, n. 3, p. 336-344, 2003.

SKOP-LEWANDOWSKA, A.; KOLARZYK, E.; ZAJA, C. J.; JAWORSKA, J.; ZAŁĘSKA-ZYŁKA, I. The Structure of Fats and Fatty Acid Consumption in Elderly People with Cardiovascular System Diseases. *Adv. Clin. Exp. Med.* v. 25, p. 69–75, 2016.

SKULAS-RAY, A. C. et al. Omega-3 fatty acids for the management of hypertriglyceridemia: a science advisory from the American Heart Association. *Circulation*, v. 140, n. 12, p. e673-e691, 2019.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CARDIOLOGIA (SBC). Atualização da Diretriz de Prevenção Cardiovascular da Sociedade Brasileira de Cardiologia – 2019. *Arq. Bras. Cardiol.* [online]. 2019, vol. 113, n. 4, pp. 787-891. Disponível em: <https://abccardiol.org/article/atualizacao-da-diretriz-de-prevencao-cardiovascular-da-sociedadebrasileira-de-cardiologia-2019/>.

SONATI, J. G.; VILARTA, R.; SILVA, A. M. Influência dos hábitos alimentares no consumo de pescado pela população brasileira. *Segurança Alimentar e Nutricional*, Campinas, v. 17, n. 2, p. 83–98, 2010.

SOUZA, B. C.; TAVARES, U. M.; DA SILVA SANTOS, F. ÓLEOS VEGETAIS NA ALIMENTAÇÃO DE PEIXES: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 4, n. 1, p. 1-10, 2025.

- STACHURA, A. N. N. A. et al. Oszacowanie spożycia tłuszczów ogółem oraz kwasów tłuszczowych przez młodzież wiejską Beskidu Żywieckiego. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, v. 16, n. 5, 2009.
- STANLEY, J. C. et al. UK Food Standards Agency Workshop Report: the effects of the dietary n-6: n-3 fatty acid ratio on cardiovascular health. *British Journal of Nutrition*, v. 98, n. 6, p. 1305-1310, 2007.
- TACON, A. G.J; LEMOS, D; METIAN, M. Fish for health: improved nutritional quality of cultured fish for human consumption. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, v. 28, n. 4, p. 449-458, 2020.
- TAN, K. et al. Lipid nutritional quality of marine and freshwater bivalves and their aquaculture potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 62, n. 25, p. 6990-7014, 2022.
- TOCHER, D. R. et al. Nutritional regulation of hepatocyte fatty acid desaturation and polyunsaturated fatty acid composition in zebrafish (*Danio rerio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 24, n. 4, p. 309-320, 2001.
- TOCHER, D. R. Fatty acid requirements in ontogeny of marine and freshwater fish. *Aquaculture research*, v. 41, n. 5, p. 717-732, 2010.
- TOCHER, D.R. Omega-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids and Aquaculture in Perspective. *Aquaculture*, 2015, 449, 94–107.
- TODORČEVIĆ, M.; HODSON, L. The effect of marine derived n-3 fatty acids on adipose tissue metabolism and function. *Journal of clinical medicine*, v. 5, n. 1, p. 3, 2015.
- TRUSHENSKI, J. T.; ROMBENSO, A. N. Trophic levels predict the nutritional essentiality of polyunsaturated fatty acids in fish—introduction to a special section and a brief synthesis. *North American Journal of Aquaculture*, v. 82, n. 3, p. 241-250, 2020.
- TWINING, C. W. et al. The evolutionary ecology of fatty-acid variation: Implications for consumer adaptation and diversification. *Ecology Letters*, v. 24, n. 8, p. 1709-1731, 2021.
- VELOSO, K. R. et al. Avaliação do consumo do pescado em mercados públicos no município de Recife/PE. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, p. e28211528171-e28211528171, 2022.
- WANG, Y.; CRAWFORD, M. A.; CHEN, J.; LI, J.; GALLI, C. The imbalance of dietary n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids in modern diets. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, v. 13, n. 1, p. 1–9, 2004.
- WANG, Guo-Dong et al. Domestication genomics: evidence from animals. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, v. 2, n. 1, p. 65-84, 2014.
- XIE, D. et al. Characteristics of the fads 2 gene promoter in marine teleost *Epinephelus coioides* and role of Sp1-binding site in determining promoter activity. *Scientific Reports*, v. 8, n. 1, p. 5305, 2018.
- XIE, D. et al. Comparison of activities of fatty acyl desaturases and elongases among six teleosts with different feeding and ecological habits. *Frontiers in Marine Science*, v. 7, p. 117, 2020.
- XIE, D. et al. Regulation of long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis in teleost fish. *Progress in Lipid Research*, v. 82, p. 101095, 2021.

ŻEBROWSKA, A. et al. The effect of omega-3 fatty acid supplementation on serum adipocytokines, lipid profile and biochemical markers of inflammation in recreational runners. *Nutrients*, v. 13, n. 2, p. 456, 2021.

ZHENG, X. et al. Highly unsaturated fatty acid synthesis in vertebrates: new insights with the cloning and characterization of a $\Delta 6$ desaturase of *Atlantic salmon*. *Lipids*, v. 40, n. 1, p. 13-24, 2005.

ZHU, X. et al. Effects of different doses of omega-3 polyunsaturated fatty acids on gut microbiota and immunity. *Food & Nutrition Research*, v. 65, p. 10.29219, 2021.