



UFAM



PPGCARP

Programa de Pós-graduação em
Ciência Animal e Recursos Pesqueiros

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E RECURSOS
PESQUEIROS – PPGCARP

**ÓLEO DE RESÍDUO DE PESCADO NA ALIMENTAÇÃO DE JUVENIS
DE TAMBAQUI: DESEMPENHO ZOOTÉCNICO, HEMATOLOGIA E
VIABILIDADE ECONÔMICA**

PEDRO ALVES DE OLIVEIRA FILHO

MANAUS - AM

2023

PEDRO ALVES DE OLIVEIRA FILHO

**ÓLEO DE RESÍDUO DE PESCADO NA ALIMENTAÇÃO DE JUVENIS
DE TAMBAQUI: DESEMPENHO ZOOTÉCNICO, HEMATOLOGIA E
VIABILIDADE ECONÔMICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência Animal e Recursos Pesqueiros da Faculdade
de Ciências Agrárias da Universidade Federal do
Amazonas, para obtenção do Título de Doutor em
Ciência Animal e Recursos Pesqueiros.

Área de Concentração: Produção Animal

Linha de Pesquisa: Nutrição e Produção de Monogástricos e Ruminantes

Agência Financiadora: FAPEAM - EDITAL N. 001/2021 - Mulheres na Ciência

ORIENTADOR: Adriano Teixeira de Oliveira, Dr.

COORIENTADOR: Jackson Pantoja Lima, Dr.

MANAUS – AM

2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

O48ó Oliveira Filho, Pedro Alves de
Óleo de resíduo de pescado na alimentação de juvenis de tambaqui: desempenho zootécnico, hematologia e viabilidade econômica / Pedro Alves de Oliveira Filho . 2023
84 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Adriano Teixeira de Oliveira
Coorientador: Jackson Pantoja Lima
Tese (Doutorado em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Alimento Alternativo. 2. Piscicultura. 3. Resíduo de pescado. 4. Sustentabilidade. I. Oliveira, Adriano Teixeira de. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

PEDRO ALVES DE OLIVEIRA FILHO

ÓLEO DE RESÍDUO DE PESCADO NA ALIMENTAÇÃO DE JUVENIS DE TAMBAQUI: DESEMPENHO ZOOTÉCNICO, HEMATOLOGIA E VIABILIDADE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Doutor (a) em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros, área de concentração em Produção Animal.

Aprovado em 29 de setembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANO TEIXEIRA DE OLIVEIRA**
Data: 30/09/2023 08:37:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Adriano Teixeira de Oliveira - Presidente
Instituto Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
 **ANDERSON MATHIAS PEREIRA**
Data: 30/09/2023 14:23:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Anderson Mathias Pereira - Membro
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
 **MARCIA REGINA FRAGOSO MACHADO BUSSONI**
Data: 30/09/2023 09:21:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Marcia Machado Bussons - Membro
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



Documento assinado digitalmente

SIMONE BRAGA CARNEIRO

Data: 30/09/2023 12:34:14-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Simone Braga Carneiro - Membro
Universidade Federal do Amazonas



Documento assinado digitalmente

SAMANTHA CHUNG

Data: 30/09/2023 09:48:37-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Samantha Chung – Membro
Universidade Nilton Lins

AGRADECIMENTOS

Às pessoas mais importantes de toda minha existência: minha mãe, Maria José Santos de Oliveira, meu pai, Pedro Alves de Oliveira, e meu irmão, Harison Santos de Oliveira. Que mesmo com tantos anos vivendo à distância, sem toda a força que sempre me deram, nunca conseguiria chegar onde cheguei. Esta caminhada não é de um único ser, mas sim de uma família inteira, que já passou por muitas dificuldades, mas sempre permaneceu unida para que possamos sempre triunfar juntos.

Ao meu amor e companheira de vida, Deborah Natiely Travassos Marques, que mesmo com todas as diferenças e dificuldades impostas pela vida, me deu apoio total para que eu completasse essa jornada, mesmo quando pensei em desistir e me isolar, esteve ao meu lado me fazendo acreditar que sou capaz, lhe agradeço com todo meu amor e carinho.

Ao seu Ivan e dona Olinda Marques, que me abraçaram e me receberam em seus corações, que torceram e torcem por mim de tal forma que sinto o cuidado e carinho, meu muito obrigado.

Aos amigos Marcus Vinicius, Edwin Rocha, Ana Paula, Brenna, Fernanda Moura, Lucas e Ramon Duque, David Marialva, Julmar Feijó, Eduardo Monteiro e Gilberto Batista que contribuíram de forma direta em minha trajetória até aqui.

A todos envolvidos pela coordenação e secretariado do PPGCARP, por todo o auxílio e pronta disponibilidade em resolver quaisquer empecilhos que sugeriram durante todo o doutorado, em especial à Dra. Flávia, Dra. Kedma e Dra. Marcela como coordenadoras do PPG, e à servidora Antônia, que teve atuação extremamente importante na secretaria. Imensa gratidão.

Aos meus orientadores, Dr. Adriano Teixeira e Dr. Jackson Pantoja, que com suas experiências acadêmicas e de vida, me deram todo o suporte para que este trabalho fosse concluído, mesmo com tantas dificuldades. Muito obrigado por não desistirem de mim.

À FAPEAM, pelo custeio do projeto de campo e materiais de análises, e à CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado, fazendo com que a pesquisa fosse concretizada com sucesso. Muito obrigado.

Ao meu amigo/irmão Dr. João Paulo Ferreira Rufino, que só meu deu amparo, em todos os sentidos da minha vida. Sou e serei eternamente grato por todas as palavras ditas e não ditas, mas que sempre me fizeram refletir e melhorar como ser humano e profissional. Externo aqui minha gratidão e meu apoio incondicional.

Ao Grupo de Estudos em Nutrição de Peixes, Dra. Thyssia Bonfim, Dr. Jesaias, Paula, Ana Paula, Manuel, Diany, Alexandre e Bruna, por todo o apoio antes, durante e após o experimento, meu muito obrigado.

RESUMO GERAL

A aquicultura está em crescimento e há previsão de aumento de demanda por produtos aquícolas pelas próximas décadas. Juntamente com a ampliação da produção de pescado, há a geração de grande volume de resíduos. Esses resíduos possuem alto valor biológico e podem ser processados em novos produtos, com potencial para utilização em dietas para animais de interesse zootécnico. A realização dessa tese teve como objetivo avaliar a viabilidade do óleo de resíduo de tambaqui *Collossoma macropomum* como um novo ingrediente para ração que agregue valor para a cadeia produtiva. O capítulo I, apresenta uma revisão de literatura narrativa sobre o panorama da produção de pescado e aquicultura, contextualização da utilização dos resíduos de pescado e suas aplicações como ingrediente na alimentação animal. No capítulo II, o objetivo foi testar dietas com diferentes níveis de substituição de óleo de soja por óleo de resíduo de pescado para determinar o desempenho, os aspectos fisiológicos e a viabilidade econômica da substituição do óleo de soja por óleo de resíduo de pescado em dietas para juvenis de tambaqui *C. macropomum*. Nos parâmetros de desempenho produtivo avaliados, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$). Nos parâmetros hematológicos, os juvenis de tambaqui não apresentaram alterações influenciadas pela alimentação, com exceção da contagem de eritrócitos, que apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$), já nos parâmetros bioquímicos séricos foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) para todos os parâmetros, com destaque para o colesterol. Na composição centesimal dos peixes, diferenças significativas ($p < 0,05$) para proteína bruta e extrato etéreo foram observadas para o aumento dos níveis de substituição do óleo de soja por óleo do resíduo de pescado. A substituição do óleo de soja pelo óleo de resíduo de pescado não afetou significativamente a viabilidade econômica da atividade produtiva proposta. A substituição do óleo de soja por óleo do resíduo de pescado pode ser feita em até 60% da formulação de dietas para juvenis de tambaqui, sem proporcionar prejuízos ao desempenho zootécnico, saúde e viabilidade econômica.

ABSTRACT

Aquaculture is in continuous growth and there is a forecast of increased demand for aquaculture products for the next decades. Along with the expansion of fish production, there is the generation of a large volume of waste. These aquaculture residues have a high biological value and can be processed into new products, with potential for use in diets for animals of zootechnical interest. This thesis aimed to evaluate the viability of fish residue oil as a new feed ingredient that adds value to the production chain of this species. Chapter I presents a literature review on the panorama of fish production and aquaculture, contextualization of the use of fish waste and its applications as an ingredient in animal feed. In chapter II, the objective was to test diets with different levels of replacement of soybean oil by fish residue oil to determine the performance, physiological aspects and economic viability of replacing soybean oil with fish residue oil in diets for juvenile tambaqui *Colossoma macropomum*. In the productive performance parameters evaluated in this study, no significant differences were observed between treatments ($p > 0.05$). In terms of hematological parameters, tambaqui juveniles did not show alterations influenced by diet, with the exception of erythrocyte counts, which showed significant differences ($P < 0.05$), whereas in serum biochemical parameters, significant differences were observed ($p < 0.05$) for all parameters, with emphasis on cholesterol. In the centesimal composition of the fish, significant differences ($p < 0.05$) for crude protein and ether extract were observed for the increase in the levels of replacement of soybean oil by oil from fish residue. The replacement of soybean oil by fish residue oil did not significantly affect the economic viability of the proposed productive activity. Soybean oil for fish residue oil can be used in up to 60% of the formulation of diets for tambaqui juveniles, without causing damage to zootechnical performance, health and economic viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tambaqui <i>Colossoma macropomum</i>	29
Figura 2 - Biossíntese de ácido docosahexaenóico e eicosapentaenoico.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Formulação e composição nutricional das dietas com níveis crescentes de substituição de óleo de soja por óleo de subprodutos de peixes.....	63
Tabela 2. Desempenho de juvenis de tambaqui <i>Colossoma macropomum</i> alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes durante 13 semanas.....	68
Tabela 3. Parâmetros hematológicos de juvenis de tambaqui <i>Colossoma macropomum</i> alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes durante 13 semanas.	69
Tabela 4. Parâmetros bioquímicos do plasma sanguíneo de juvenis de tambaqui alimentados com rações contendo níveis crescentes de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes durante 13 semanas.	69
Tabela 5. Análise de regressão e colinearidade da substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes em dietas para juvenis de tambaqui <i>Colossoma macropomum</i> sobre os parâmetros bioquímicos do plasma sanguíneo.	70
Tabela 6. Parâmetros hepatológicos de juvenis de tambaqui <i>Colossoma macropomum</i> alimentados com rações contendo níveis crescentes de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes durante 13 semanas.	70
Tabela 7. Análise de regressão e colinearidade da substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes em rações para juvenis de tambaqui <i>C. macropomum</i> sobre os parâmetros hepatológicos.....	71
Tabela 8. Composição centesimal (peixe inteiro) de juvenis de tambaqui <i>Colossoma macropomum</i> alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes durante 13 semanas.....	71
Tabela 9. Análise econômica de juvenis de tambaqui <i>C. macropomum</i> alimentados com rações contendo níveis crescentes de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes durante 13 semanas.....	72

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

AGM – Ácidos graxos monoinsaturados

AGP – Ácidos graxos poli-insaturados.

AGS – Ácidos graxos saturados

ALA – Ácido- α -linoleico

ALT – Alanina aminotransferase

AOAC – Association of official analytical chemists

ARA - Ácido araquidônico

AST – Aspartato aminotransferase

BHT – Butil hidroxi tolueno

CA – Conversão alimentar

cDNA – DNA complementar

CEUA – Comitê de Ética no Uso de Animais

CHCM – Concentração de hemoglobina corpuscular média

DHA – Ácido docosaheptaenóico

DIC – Delineamento inteiramente casualizado

EB – Energia bruta

EPA – Ácido eicosapentaenóico

ELOVL – Elongases

FAD – Dessaturases

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

FB – Fibra bruta

GP – Ganho de peso

HCM – Hemoglobina corpuscular média

HDL – Lipoproteínas de alta densidade

HUFA – Ácidos graxos altamente insaturados

IFAM - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas

INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

LA – Ácido linoleico

MM – Matéria mineral

NRC – Nutrient Requirements of Fish

OS – Óleo de soja

ORP – Óleo de resíduo de pescado

PB – Proteína bruta

pH – Potencial hidrogeniônico

PUFA – Ácidos graxos poli-insaturados

UM – Umidade

VCM – Volume corpuscular médio

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	16
OBJETIVOS	19
OBJETIVO GERAL	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
CAPÍTULO I	23
ÓLEO DE RESÍDUO DE PESCADO COMO INGREDIENTE ALTERNATIVO NA ALIMENTAÇÃO DE TAMBAQUI <i>COLOSSOMA MACROPOMUM</i>: UMA REVISÃO	23
1. INTRODUÇÃO	24
2. DESENVOLVIMENTO.....	27
2.1. Parâmetros mercadológicos da Aquicultura	27
2.2. Tambaqui <i>Colossoma macropomum</i> (Cuvier, 1818).....	29
2.3. Lipídios na nutrição de peixes	31
2.4. Biossíntese de ácidos graxos poliinsaturados.....	34
2.5. Utilização de Resíduos de Pescado.....	38
3. CONCLUSÃO.....	42
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
CAPÍTULO II.....	57
ÓLEO DE SUBPRODUTOS DE PEIXES NA ALIMENTAÇÃO DE JUVENIS DE TAMBAQUI (<i>COLOSSOMA MACROPOMUM</i>): DESEMPENHO ZOOTÉCNICO, HEMATOLOGIA E VIABILIDADE ECONÔMICA	57

RESUMO.....	58
1. INTRODUÇÃO	60
2. MATERIAIS E MÉTODOS	61
2.1. Desenho experimental.....	61
2.2. Aclimação dos peixes	62
2.3. Obtenção do óleo de subprodutos de peixes e processamento de obtenção na indústria	62
2.4. Dietas experimentais	63
2.5. Análise de desempenho	64
2.6. Hematologia, bioquímica plasmática e Hepatologia	64
2.7. Composição centesimal dos peixes.....	65
2.8. Viabilidade econômica	66
2.10. Análise estatística.....	67
3. RESULTADOS	68
3.1. Desempenho zootécnico	68
3.2. Hematologia, bioquímica plasmática e Hepatologia	68
3,3. Composição centesimal dos peixes.....	71
3.4. Viabilidade econômica	72
4. DISCUSSÃO	72
4.1. Desempenho zootécnico	72
4.2. Hematologia, bioquímica plasmática e Hepatologia	73
4.2.1. Hematologia	73
4.2.2. Bioquímica plasmática	75
4.2.3. Hepatologia	76
4.3. Composição centesimal dos peixes.....	76
4.4. Viabilidade econômica	77

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
11. CONCLUSÃO GERAL	84

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil possui um dos maiores potenciais em termos de recursos hídricos do mundo, como a disponibilidade de 13% da água doce global, uma costa marítima de 8,4 mil km, e também a maior bacia hidrográfica do planeta, localizada na Amazônia brasileira (extensão de 3.869.953 km² só no território brasileiro, com disponibilidade média de água de 132.145 m³/s) e dotada de uma das mais ricas biodiversidades aquáticas conhecidas (três mil espécies de peixes até agora catalogadas) (ANA, 2016).

A piscicultura é a atividade de produção animal que mais cresce nos últimos anos no Brasil, apresentando uma produção de 860.335 toneladas de peixes de cultivo (tilápia, peixes nativos e outras espécies) em 2022 (PEIXE BR, 2023). O mercado da piscicultura no Estado do Amazonas é impulsionado pela grande demanda do peixe pelos amazonenses, principalmente dos que moram na capital do estado. Informações sistematizadas por Silva *et al.* (2018), indicam que o amazonense consome 35 kg de peixe ao ano, quantidade quatro vezes superior à média nacional, que é de 9 kg ao ano, o que faz com que a piscicultura, e em especial a criação de tambaqui seja altamente rentável como atividade produtiva.

Em 2020, a atividade passou por incertezas e desafios devido a pandemia ocasionada pela Covid-19. Após replanejamento, ajustes nos custos, e maior controle das consequências geradas pela pandemia, o segundo semestre apresentou melhoras. De forma geral, o ano fechou com desempenho positivo, e crescimento de 5,93% em relação a 2019 (MEDEIROS *et al.*, 2022).

A valorização dada pela importância dos produtos pesqueiros, ocasionada tanto pelas suas qualidades nutricionais, refletida pela crescente demanda, estimulou o crescimento da piscicultura, tornando o desenvolvimento desta atividade uma tendência mundial (FAO, 2018). Apesar de condições propícias, a produção brasileira da piscicultura fica muito aquém do seu potencial (SIDÔNIO, 2012).

Na grande maioria o tambaqui é comercializado na forma fresca e eviscerado (LIMA *et al.*, 2018) e por muitas vezes após um tratamento mais demorado, que inclui lavagem, cortes de partes, além das retiradas das suas abas, vísceras e escamas, produzindo uma grande quantidade de subprodutos (COSTA e SOUZA, 2012). De acordo com Machado *et al.* (2020), os subprodutos do processamento do pescado são gerados conforme a sua escala de produção. Segundo Vidotte e Gonçalves (2006), as quantidades de subprodutos gerados pelas indústrias pesqueiras se diferenciam com o processamento, o tamanho do peixe e a espécie processada, entre outros.

Durante à comercialização do pescado em entrepostos e peixarias os subprodutos são formados pelo descarte de peixes inteiros inadequados para consumo humano, e de peixes comercializados que sofrem tratamentos conforme a exigência do mercado consumidor (DECKER *et al.*, 2016).

No processamento de pescado pela indústria frigorífica, cerca de 50-70% (OLSEN *et al.*, 2014) do peso inicial, se torna resíduo (cabeça, restos de carne, ossos, pele, vísceras e escamas) (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Sendo o termo resíduo utilizado para determinar os subprodutos que são eliminados durante o processamento do alimento e que possuem baixo valor comercial (VIDAL-CAMPELLO *et al.*, 2021). No entanto, os descartes inadequados desses resíduos trazem impactos ao meio ambiente, tornando-se uma problemática, visto que possuem grande carga de material orgânico que podem afetar as características dos solos e dos recursos hídricos (COPPOLA *et al.*, 2021).

Diante disso, muitos estudos experimentais têm buscado produtos alternativos que possam substituir, ou reduzir, o uso dessas matérias-primas a um custo menor, garantindo a qualidade nutricional das espécies cultivadas (CYRINO *et al.*, 2010). Segundo Brabo *et al.* (2021) é comum a oferta de rações alternativas compostas principalmente por subprodutos da agroindústria e pecuária devido ao baixo custo, ao volume e oferta contínua.

Porém, se por um lado essas rações oferecem viabilidade ao rejeito como alimento, por outro pode prejudicar o desenvolvimento dos peixes por não atender as distintas exigências nutricionais a variar conforme a espécie, a idade e o ambiente, resultando em crescimento reduzido, perda de aptidão física, sistema imunológico deficiente e desenvolvimento de malformações corporais devido à subnutrição (KUBITZA, 2009; CYRINO *et al.*, 2010; RIBEIRO *et al.*, 2012). Por isso, mesmo para rações alternativas, é importante que os ingredientes sejam criteriosamente balanceados para poder dispor de macro e micronutrientes suficientes para atender a demanda bioquímica, fisiológica e metabólica dos peixes.

Nesse contexto, o presente trabalho foi estruturado em dois capítulos. O capítulo I, apresentará uma revisão de literatura narrativa sobre o panorama da produção de pescado e aquicultura, contextualização da utilização dos resíduos de pescado e suas aplicações como ingrediente na alimentação de tambaqui. No capítulo II, o objetivo foi testar dietas com diferentes níveis de substituição de óleo de soja por óleo de resíduo de pescado para determinar o desempenho, os aspectos fisiológicos e a viabilidade econômica da substituição do óleo de soja por óleo de resíduo de pescado em dietas para juvenis de tambaqui *Colossoma macropomum*. Norteando

informações que possam auxiliar as indústrias pesqueiras a buscarem alternativas para utilização sustentável desses coprodutos, diminuindo seu descarte, tornando-se satisfatório no ponto de vista, econômico e ambiental.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Determinar o nível ideal de substituição de óleo vegetal por óleo de resíduo de pescado na dieta de juvenis de Tambaqui *Collossoma macropumum*.

Objetivos específicos

- Avaliar desempenho zootécnico de animais alimentados com rações com diferentes níveis de substituição de óleo de resíduo de pescado;
- Analisar parâmetros hematológicos de animais alimentados com rações diferentes com níveis de substituição de óleo de resíduo de pescado;
- Analisar a composição centesimal de animais alimentados com rações com diferentes níveis de substituição de óleo de resíduo de pescado;
- Mensurar viabilidade econômica da utilização de óleo de resíduo de pescado como componente de rações para produção de juvenis de tambaqui.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA –AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Região Hidrográfica Amazônica. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>> Acesso em 20 de junho de 2023.

BRABO, M.F.; SILVA, A.R.L.; BARROS, K.D.N.; RODRIGUES, R. P.; CAMPELO, D.A.V.; e VERAS, G.C. (2021). Custo de produção de rações alternativas para peixes onívoros no estado do Pará, Amazônia, Brasil. **Agrarian**, 14(51), 127-135. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v14i51.10670>

COSTA, S.R.; SOUZA, P.A.R. (2012). O impacto dos resíduos de pescado: o caso da “Feira do Bagaço” no município de Parintins no Amazonas. **DELOS Revista Desarrollo Local Sostenible**, v.5, n.14, p. 01-11.

COPPOLA, D.; LAURITANO, C.; PALMA ESPOSITO, F.; RICCIO, G.; RIZZO, C.; e DE PASCALE, D. (2021). Resíduos de peixes: de problema a recurso valioso. **Marine Drugs**, 19(2): 1–39. <https://doi.org/10.3390/md19020116>

CYRINO, J.E.P.; BICUDO, A.J.A.; SADO, R.Y.; BORGHESI, R.; e DAIRIKI, J.K. (2010). A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 39, 68-87. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010001300009>.

DECKER, A.T.; RODRIGUES, E.A.; ALMEIDA, J.C.; QUADRO, M.S.; LEANDRO, D.; ANDREAZZA, R.; BARCELLOS A.A. (2016). Avaliação dos possíveis impactos ambientais dos resíduos de pescado na localidade de Pelotas/RS. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1, p. 01-10.

FAO. State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome: FAO; 2018.

KUBITZA, F. (2009). **Manejo na produção de peixes. Panorama da Aquicultura**, 19 (111), 14-27. <https://panoramadaaquicultura.com.br/manejo-na-producao-de-peixes-4/>.

LIMA, C.A.S.; BUSSONS, M.R.F.M.; ARIDE, P.H.R.; OLIVEIRA, A.T.; O'SULLIVAN, F.L.A. e PANTOJA-LIMA, J. (2021). Análise socioeconômica e lucratividade da piscicultura do tambaqui (*Colossoma macropomum*) no estado do Amazonas, Brasil. In: Mattos, B.O., Pantoja-Lima, J., Oliveira, A.T. & Aride, P.H.R. (Eds.). **Aquicultura na Amazônia: estudos técnicos científicos e difusão de tecnologias. Atena**, Ponta Grossa, pp. 86-102.

LIMA, L. K. F.; NOLETO, S. S.; SANTOS, V. R. V.; LUIZ, D. B.; KIRSCHNIK, P. G. (2018). Rendimento e composição centesimal do tambaqui (*Colossoma macropomum*) por diferentes cortes e categorias de peso. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**. v. 12, n. 2, p.:223 - 235.

MACHADO, T.M.; CATAPRETA, L.C.; FURLAN, E.F.; NEIVA, C.R.P. (2020). Economia circular e resíduo de pescado. **ResearchGate**, p. 1- 11.

MEDEIROS, G.O.; SILVA, W.S.; TOSTA, M.C.R. A água como entrave da piscicultura semi-intensiva no estado do Espírito Santo (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, 2022.

OLIVEIRA, V.M.; ASSIS, C.R.D.; HERCULANO, P.N.; CAVALCANTI, M.T.H.; DE SOUZA BEZERRA, R.; FIGUEIREDO, A.L. (2017). Collagenase from smooth weakfish: extraction, partial purification, characterization and collagen specificity test for industrial application. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 43, n. 1, p. 52-64.

OLSEN, R.L.; TOPPE, J.Y.; KARUNASAGAR, I. (2014). Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. **Trends in Food Science & Technology**, v. 36, n. 2, p. 144-151.

RIBEIRO, P.A.P.; MELO, D.; COSTA, L.S.; TEIXEIRA, E. (2012). **Manejo nutricional e alimentar de peixes de água doce.** <http://www.nucleoestudo.ufla.br/naqua/arquivos/Manejo%20alimentar%20de%20peixes98.pdf>.

SIDÔNIO, L.; CAVALCANTI, I.; CAPANEMA, L.; MORCH, R.; MAGALHÃES, G.; LIMA, J. *et al.* Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades. Agroindústria, BNDES Setorial. 2012; 35:421-463. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3512.pdf> Acesso em: 20 de junho de 2023.

SILVA, L.J.S.; PINHEIRO, J.O.C.; CRESCENCIO, R.; CARNEIRO, E.F.; PEREIRA, B.P.; BRITO, V.F.S. Tecnologia e desenvolvimento rural: aspectos do cultivo de tambaqui no município de Rio Preto da Eva, AM. **Revista Terceira Margem Amazônia**, v. 3, p. 170-196, 2018.

VIDAL-CAMPELLO, J.M.A.; LIRA, E.B.S.; JUNIOR, C.A.F.M.; VEIGA, M.C.M.; COSTA, W.M. (2021). Curtimento de pele de peixe utilizando tanino vegetal extraído de eucalipto / Tanning fish skin using eucalyptus vegetable tannin. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, p. 392-401.

VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, G. S. **Produção e caracterização de silagem, farinha e óleo de tilápia e sua utilização na alimentação animal.** 2006. Disponível em: <http://www.pesca.sp.gov.br/producao_caracterizacao.pdf> Acesso em: 15 de novembro de 2019.

A ser submetido a revista *Reviews in Aquaculture* (FI: 10,4)

CAPÍTULO I

Óleo de resíduo de pescado como ingrediente alternativo na alimentação de tambaqui

Colossoma macropomum: uma revisão

Pedro Alves de Oliveira Filho^{1*}, João Paulo Ferreira Rufino¹, Paula Ribeiro dos Santos¹, Jackson Pantoja-Lima², Jesaías Ismael da Costa², Thyssia Bonfim Araújo da Silva², Harison Santos de Oliveira³, Adriano Teixeira de Oliveira^{1,4}

¹Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros, Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, Coroado I, CEP: 69067-005, Manaus, Amazonas, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Presidente Figueiredo, Avenida Onça-Pintada, S/N - Galo da Serra, CEP: 69735-000, Presidente Figueiredo, Amazonas, Brasil

³Médico veterinário, CRMV-PE 4638, Rua Renato Buarque de Macêdo, 60 - Centro, CEP 55400-000, Catende, Pernambuco, Brasil

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Centro, Av. Sete de Setembro, 1975 - Centro, 69020-120 Manaus, Amazonas, Brasil

*Autor para correspondência: pedro_oliveira92@hotmail.com

Resumo

A indústria de rações para organismos aquáticos tem enfrentado dificuldades em atender no mesmo ritmo a demanda ao piscicultor, um dos entraves tem sido em relação ao fornecimento de óleo de peixe, insumo básico na formulação das dietas, devido à redução nos estoques pesqueiros naturais. Nos últimos anos a piscicultura do tambaqui *Colossoma macropomum* tem se expandido nas regiões Norte, Nordeste, Centro-oeste e Sudeste do Brasil e isso tem sido atribuído ao seu excelente potencial para produção intensiva. Desta forma, objetivou-se por meio desta revisão, demonstrar o panorama da produção de pescado e aquicultura, contextualização da utilização dos resíduos de pescado e suas aplicações como ingrediente na alimentação de tambaqui *C. macropomum*, enfatizando aspectos econômicos, nutricionais e ambientais. Por meio desta revisão, fica evidente a importância dos trabalhos desenvolvidos, a fim de desenvolver não só a literatura científica acerca do uso de resíduos pesqueiros para formulação de rações para a alimentação de tambaqui.

Palavras-chave: piscicultura, subproduto, alimento alternativo, sustentabilidade.

Abstract

The feed industry for aquatic organisms has faced difficulties in meeting the demand of fish farmers at the same pace. One of the obstacles has been related to the supply of fish oil, a basic input in the formulation of diets, due to the reduction in natural fish stocks. In recent years, tambaqui *Colossoma macropomum* fish farming has expanded in the North, Northeast, Midwest and Southeast regions and this has been attributed to its excellent potential for intensive production. Thus, the objective of this review was to demonstrate the panorama of fish production and aquaculture, contextualization of the use of fish waste and its applications as an ingredient in the feeding of tambaqui *C. macropomum*, emphasizing economic, nutritional and environmental aspects. Through this review, it is evident the importance of the work carried out, in order to develop not only the scientific literature about the use of fishery residues to formulate rations for feeding tambaqui.

Keywords: fish farming, by-product, alternative food, sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O peixe é uma excelente fonte de proteína animal e de outros nutrientes essenciais aminoácidos essenciais, lipídeos, ácidos graxos essenciais, colágeno, vitaminas e minerais,

contribuindo para a segurança alimentar em inúmeras regiões (ROSSETTO *et al.*, 2021). Segundo o relatório Sofia (“The State of World Fisheries and Aquaculture”) da FAO, a produção aquícola mundial atingiu recorde histórico, 240 milhões de toneladas em 2022, e cerca de 88% da produção total de peixes foram utilizados para consumo humano, enquanto os 12% restantes foram usados para fins não alimentares (produção de farinha e óleo de peixe por exemplo). Em 2018, o peixe vivo, fresco ou resfriado ainda representava a maior parte dos peixes utilizados para consumo humano direto (44%), ocorrendo assim uma redução do desperdício e um consumo per capita de 20,5 kg/ano neste mesmo ano (FAO, 2020).

No Brasil, a piscicultura produziu 860.335 mil toneladas de peixe em 2022, movimentou cerca de 8 bilhões de reais, quando somados os valores de exportação e importação. Devido ao vasto território existe mais de 1 milhão de produtores de peixes, gerando cerca de três milhões de empregos diretos e indiretos (PEIXE BR, 2023). Embora gere divisas e empregabilidade, existe uma demanda de ração elevada de cerca de 1,4 mil toneladas, e uma necessidade cada vez maior por alternativas que busque reduzir os custos que as indústrias fabricantes têm com a formulação, ingredientes, industrialização, controle de qualidade e outros, fatores que elevam o preço das rações (BRABO *et al.*, 2021; SINDIRAÇÕES, 2022).

Nesse sentido, a indústria de rações para organismos aquáticos tem enfrentado dificuldades em atender no mesmo ritmo a demanda ao piscicultor. Um dos entraves tem sido em relação ao fornecimento de óleo de peixe, insumo básico na formulação das dietas, devido à redução nos estoques pesqueiros naturais (ROCHA, 2018). O uso de óleo de peixe como fonte lipídica na dieta fornece energia e ácidos graxos com destaque para níveis mais elevados de ácidos graxos longos de cadeia insaturadas, da série n-3, que são essenciais para ótimo crescimento e manutenção da saúde dos peixes cultivados (GHASEMI *et al.*, 2019).

No contexto Amazônico, o estado do Amazonas possui condições favoráveis para produzir organismos aquáticos para suprir a demanda interna e gerar excedentes exportáveis (PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015). Assim, a possibilidade do crescimento da piscicultura, aliada à disponibilidade de terra, água, insumos e tecnologia, podem favorecer este mercado (OLIVEIRA *et al.*, 2012; LIMA, 2005). Nos últimos anos a piscicultura do tambaqui *Colossoma macropomum* tem se expandido nas regiões Norte, Nordeste, Centro-oeste e Sudeste do Brasil, e isso tem sido atribuído ao seu excelente potencial para produção intensiva (SEPROR, 2016).

Segundo Pantoja-Lima *et al.* (2015), o uso de tecnologia será essencial para a elevação da produção aquícola no Estado do Amazonas. Entretanto, diversos fatores devem ser levados em consideração, tais como a localização do empreendimento, o tipo de criação, a infraestrutura e a falta de ração de boa qualidade para suprir a demandas nutricionais dos peixes.

Embora o Estado do Amazonas tenha potencial, o grande mercado de produção do tambaqui é a Capital Manaus e os municípios da região metropolitana, que absorvem cerca de 70.000 toneladas de tambaqui/ano, o que exige a importação de cerca de 50.000 toneladas da espécie de estados como Rondônia, Roraima e o Acre, demonstrando a importância da espécie não só para âmbito nacional, mas principalmente para a região norte, dessa forma se faz necessário o fortalecimento de incentivos à pesquisas nesse setor (PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015).

Apesar da vasta bibliografia sobre lipídios em peixes, esta ainda está em construção, fazendo com que muitos aspectos do seu metabolismo sejam desconhecidos ou deduzidos, assim, as exigências nutricionais de lipídios para peixes são menos conhecidas do que as exigências nutricionais de qualquer outro grupo de nutrientes (ROCHA, 2018). Há ainda muito a ser feito, principalmente com relação à determinação das exigências nutricionais para o ótimo crescimento, em termos de desempenho zootécnico, redução do estresse, fortalecimento do sistema imunológico, entre outros. Estas informações devem ser direcionadas às indústrias de ração, de modo a subsidiar a elaboração de rações comerciais espécie-específicas, como já ocorre na indústria de espécies exóticas (FRACALLOSSI e CYRINO, 2013).

Devido à enorme demanda em relação à espécie citada, grande quantidade de resíduos produzidos e pouco aproveitados pela indústria na região, principalmente pela inclusão destes para formação de subprodutos destinados à alimentação animal, faz-se necessário a determinação das exigências nutricionais, a busca por alimentos alternativos e econômicos e a formulação de rações completas para o sucesso e sustentabilidade da produção (BRABO *et al.*, 2021; FERREIRA *et al.*, 2021). Diante deste contexto, a utilização do óleo de resíduo de pescado pode ser uma alternativa viável e interessante para a região, principalmente na alimentação de tambaqui. A presente revisão tem como objetivo apresentar o panorama da produção de pescado e aquicultura, a contextualização do uso dos resíduos de pescado e suas aplicações como ingrediente na alimentação de tambaqui *Colossoma macropomum*

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Parâmetros mercadológicos da Aquicultura

Segundo a FAO (2022) O crescimento anual da produção aquícola não registra taxas tão altas do setor aquícola desde a década de 80 e 90. A produção global de peixes atingiu cerca de 178 milhões de toneladas no ano de 2020, gerando um valor estimado em US\$ 406 bilhões, sendo que 87,5 milhões de toneladas, avaliadas em US\$ 265 bilhões, foram provenientes da aquicultura. No período de 1990-2020 a aquicultura experimentou um aumento de 609% na produção, com uma taxa média de crescimento de 6,7% ao ano (FAO, 2022).

Ainda segundo o relatório, impulsionada pela expansão no Chile, China e Noruega, a produção aquícola global cresceu em todas as regiões, exceto na África, devido a uma queda nos dois principais países produtores, Egito e Nigéria. O restante da África teve um crescimento de 14,5% em relação a 2019. A Ásia continuou a dominar a aquicultura mundial, produzindo 91,6% do total. Esta rápida expansão da aquicultura observada a partir da década de 1980 foi baseada na introdução de novas técnicas de produção, com custos acessíveis e ganhos significativos de produtividade e qualidade na produção de proteína animal (SIQUEIRA, 2018).

Este crescimento da aquicultura tem frequentemente ocorrido à custa do ambiente, dessa maneira, o desenvolvimento sustentável da aquicultura continua sendo ponto crítico e de constante debate mundial, a fim de suprir a crescente demanda por alimentos aquáticos com menor custo ambiental possível (FAO, 2022).

Tais riscos ambientais relacionados aos sistemas intensivos estão sendo mitigados, de forma que a expansão da aquicultura no mar pode ser realizada em conformidade com a “Meta 14 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU: conservar e utilizar de forma sustentável os oceanos e os recursos marinhos” (UNITED NATIONS, 2017). Os alertas dados por acidentes ambientais em grandes centros de criação de peixes e camarão demonstrou a necessidade de reformulação dos projetos, fazendo com que a certificação de sustentabilidade ambiental passasse a ser um pré-requisito para atuar no setor.

A aquicultura é o setor de produção de alimentos que cresceu mais rápido nas últimas décadas, e tem previsão de crescer 37% até 2030 (GARLOCK *et al.*, 2020) Nesta perspectiva, Siqueira (2018) descreve que o desenvolvimento da aquicultura proporciona grandes expectativas em relação ao aumento significativo da produção mundial de alimentos em condições competitivas e sustentáveis nas próximas décadas, bem como em relação à contribuição crescente para o

desenvolvimento de produtos farmacocquímicos (como remédios e cosméticos), por meio das atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação relacionadas às moléculas bioativas e aos bioprocessos.

A piscicultura brasileira movimentou valores em torno de 8 bilhões de reais, quando somados os valores de exportação e importação, a produção brasileira é feita por mais de 1 milhão de produtores de peixes, gerando mais de três milhões de empregos diretos e indiretos (PEIXE BR, 2023). Segundo este mesmo relatório, o Brasil é o quarto maior produtor mundial de tilápia, por outro lado peixes nativos amazônicos, liderados pelo tambaqui, participam com 31%. Em termos per capita, o consumo de peixe aumentou de 10 Kg/ano em 1961 para 20,5 Kg/ano em 2020, assim, o aumento do consumo não deve apenas aumentar a produção, mas também a produção de resíduos (FAO, 2022).

No Brasil o consumo médio nacional de peixes de água doce (advindos da pesca e da aquicultura de água doce) é baixo, representando cerca de 3,95 kg/hab/ano (FAO, 2018), porém nas áreas aluviais da Amazônia o consumo per capita de pescado das capturas continentais das comunidades ribeirinhas é de cerca de 150 kg/hab/ano (OLIVEIRA *et al.*, 2010), essa característica demonstra a enorme relação entre os peixes e as populações locais.

O desenvolvimento da aquicultura no Brasil enfrenta vários desafios relacionados à falta de rações adequadas e de baixo custo, que possam viabilizar o processo de produção (ROCHA, 2019). Intensificar um cultivo implica aumentar a quantidade de biomassa de animais produzidos por área, à custa do fornecimento constante de alimento nutricionalmente adequado. Uma vez que a alimentação dos peixes perfaz de 30 a 70% do total dos custos operacionais da aquicultura, esta, tornou-se o fator unitário mais importante para a administração dos cultivos modernos (LIMA *et al.*, 2020).

Segundo a Secretaria de Produção Rural do estado do Amazonas, a piscicultura no estado é dividida em quatro modalidades de produção: viveiros escavados, barragens, tanques-rede e canais de igarapés. Destacando-se viveiros escavados onde possui uma estimativa de 1.831 ha de lâmina d'água no estado do Amazonas, seguido de barragens com uma estimativa de 1.732 ha, canais de igarapés com 87.859 m³ e tanques-rede com 11.076 m³ (SEPROR, 2016). As principais espécies cultivadas na piscicultura amazonense são: tambaqui *Colossoma macropomum*, matrinxã *Brycon amazonicus* e pirarucu *Arapaima gigas* (DA SILVA, 2020; IDAM, 2021).

Contando com cerca de 4 mil produtores rurais em atuação, o setor de piscicultura no Amazonas foi responsável por uma produção de 15.456 toneladas em 2018, de acordo com dados do Instituto de Desenvolvimento Agropecuário Florestal Sustentável do Estado do Amazonas (IDAM). Ainda segundo o IDAM (2021) os principais produtores de pescado no estado estão nos municípios de Rio Preto da Eva, Manacapuru, Presidente Figueiredo, Iranduba, Careiro Castanho, Itacoatiara, Benjamin Constant e Humaitá.

2.2. Tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818)

O tambaqui *Colossoma macropomum* (Figura 1) foi descrito por George Cuvier em 1818. A espécie, nativa dos rios Amazonas, Orinoco e seus afluentes, pertence à ordem Characiformes, família Serrasalminidae, nativa da bacia amazônica, sua distribuição ocorre no Brasil, Bolívia, Colômbia, Peru e Venezuela, além de apresenta-se com alto valor comercial, sendo apreciada pela população brasileira (HILSDORF *et al.*, 2022).



Figura 1 - Tambaqui *Colossoma macropomum*.

Fonte: Thiago Macêdo Santana, 2023.

É considerado um peixe de grande porte podendo alcançar 100 cm de comprimento e 30 kg de peso (ARAÚJO-LIMA e GOULDING, 1998; ARAÚJO-LIMA e GOMES, 2005). Existem diferenças morfométricas no padrão de crescimento entre machos e fêmeas de tambaqui, principalmente peso, indicando a existência de dimorfismo sexual em tambaqui na fase adulta,

sendo a fêmea maior e mais pesada, em cativeiro, após atingir a fase reprodutiva (MELLO *et al.*, 2015; ALMEIDA *et al.*, 2016).

O tambaqui é uma espécie reofílica, de grande rusticidade e resistente à hipóxia, suportando valores abaixo de 1 mg/L^{-1} de oxigênio dissolvido na água graças à capacidade de expansão do lábio inferior em condições extremas de falta de oxigênio, que lhe permite captar e direcionar a água das camadas mais superficiais, rica em oxigênio, para as brânquias (BALDISSEROTTO, 2009). Um ponto a ser destacado é que o melhor crescimento da espécie é obtido em águas ácidas, com pH entre 4 e 6, com resistente à ação tóxica da amônia não ionizada de até $0,46 \text{ mg/L}^{-1}$ nessas condições (ARIDE *et al.*, 2007).

No ambiente natural o tambaqui na fase jovem é onívoro com tendência zooplanctófaga, e na fase adulta se torna frugívoro exclusivo. No período das águas elevadas (época em que os rios estão mais cheios), os adultos se alimentam principalmente de frutas e sementes da floresta inundada nas margens dos rios e lagos, além de aproveitar a maior disponibilidade de itens alimentares como pequenos insetos, artrópodes, pequenos moluscos, folhas e caules moles (MORAIS e ALMEIDA, 2017). Por outro lado, sua alimentação diminui à medida que as águas recuam (BARTHEM e FABRÉ, 2004; SANTOS *et al.*, 2006).

Sua dieta varia de acordo com o regime das chuvas, apresentando adaptações morfofisiológicas que o permitem explorar uma ampla gama de itens alimentares (RODRIGUES, 2014). Em cativeiro devido à espécie ser onívora, tem grande capacidade de digerir proteína animal e vegetal, além de apresentar fácil adaptação à ração artificial e aceitar bem ração e grãos (NUNES *et al.*, 2006).

A produção e consumo do tambaqui ainda ocorrem nas regiões Norte, Centro Oeste e Nordeste, com destaque na região Norte para o estado de Rondônia (RO), responsável pela maior produtividade regional (MEANTE; DÓRIA, 2017). Este crescimento está diretamente relacionado à dieta empregada no cultivo da espécie, assim, sua criação em cativeiro tem satisfatórios índices zootécnicos, ampliados pela rusticidade da espécie e pela fácil reprodução em ambientes de confinamento, proporcionando uma continua oferta de alevinos durante todo o ano (RODRIGUES, 2014). Além disso, tem despertado interesse de pesquisadores e produtores, uma vez que apresenta rápido crescimento e adaptação no cativeiro, além da alta aceitação de sua carne pelo mercado consumidor (MENDONÇA *et al.*, 2009; BORGHESI *et al.*, 2013).

O tambaqui constitui a principal fonte de proteína para os povos que vivem em várias regiões amazônicas, o que resultou em intenso esforço pesqueiro que levou à superexploração dessa espécie (PRESTES *et al.*, 2022). Sendo uma espécie de peixe biologicamente resiliente que suporta extremos de oxigênio, temperatura e pH, o tambaqui tem sido considerado um grande potencial para a agricultura no Brasil (VALLADÃO *et al.*, 2016; VAL e OLIVEIRA, 2021).

A relativa facilidade de aquisição de juvenis sadios, o satisfatório potencial de crescimento e a aceitação da carne pelo mercado consumidor são os principais atrativos para a aquicultura do tambaqui no país (PINHO *et al.*, 2021). Com isso, a produção de juvenis também tem ganhado força devido à diminuição dos estoques naturais da espécie e à maior qualidade dos produtos da aquicultura em relação à pesca (PRESTES *et al.*, 2022; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016).

2.3. Lipídios na nutrição de peixes

Os lipídios têm papel fundamental na história de vida e fisiologia dos peixes, pois somados às proteínas, são considerados os principais constituintes orgânicos dos tecidos corporais (LEHNINGER *et al.*, 1995). Entretanto, diferente das proteínas, cujo metabolismo é rigidamente controlado pela genética, o metabolismo de lipídios é bastante influenciado pela dieta (MEURER *et al.*, 2002). As interações entre enzimas e substratos no metabolismo de proteínas dependem de fortes interações iônicas e ligações de hidrogênio, sendo que a síntese de biomoléculas, mediadas por estas enzimas, são controladas exclusivamente pela informação genética do indivíduo, o que resulta em alta especificidade nas reações catalisadas por enzimas (OLSEN *et al.*, 2004).

Os lipídios são componentes importantes nas dietas para peixes considerando seu potencial energético, se apresentando como importante fonte de energia e ácidos graxos essenciais para o desenvolvimento adequado dos animais, atendendo a demanda energética na forma de Adenosina Trifosfato (ATP) e ainda contribuem para o carreamento de vitaminas lipossolúveis (ROCHA, 2018).

Preferencialmente, peixes utilizam energia proveniente das proteínas e lipídios da dieta (MOHANTA *et al.*, 2009). Em ambientes aquáticos, principalmente marinhos, a oferta de carboidratos é muito baixa, e a utilização de proteínas e de lipídios como fonte de energia é mais acentuada (WILLIAMS, 2009). Entretanto, a possibilidade da utilização de carboidratos e/ou lipídios como fontes energéticas, principalmente para peixes de água doce, pode contribuir para

que a proteína da dieta não seja utilizada como fonte de energia e sim preferencialmente para o crescimento do animal (SARGENT *et al.*, 2002; TOCHER, 2003).

Os processos lipogênicos e lipolíticos em peixes são comparáveis a maioria dos animais mamíferos, assim, os ácidos graxos oriundos da quebra dos lipídeos da dieta podem ser incorporados à estrutura dos fosfolipídeos, armazenados como lipídeos de reserva ou oxidados para fornecer energia (RIBEIRO *et al.*, 2007). As vias lipogênicas encontram-se mais ativas no período absorptivo do animal, quando a ingestão de energia pela dieta excede o gasto energético pelo organismo (HENDERSON, 1996). A síntese dos ácidos graxos é favorecida pela disponibilidade de substratos (acetil-CoA e NADPH, derivados do metabolismo da glicose) e pela ativação da enzima acetil-CoA carboxilase, que catalisa a reação para a formação de malonil-CoA, a partir de acetil-CoA (NELSON e COX, 2006). A síntese do triacilglicerol é também favorecida. Esse triacilglicerol formado é envolto, no fígado, em partículas de lipoproteínas de densidade muito baixa (VLDL), que seguem até os tecidos extra-hepáticos, como o tecido adiposo e o tecido muscular (RIBEIRO *et al.*, 2007).

As diferentes fontes lipídicas influenciam nesses processos lipogênicos, entretanto, o grau desta influência depende da espécie, idade e dieta em questão (EMRE *et al.*, 2015). Estudos demonstram que a atividade de algumas enzimas hepáticas que participam dos processos de lipogênese, como a glicose-6-fosfato desidrogenase, enzima málica e a acetil-CoA carboxilase, apresenta uma pequena resposta ao aumento no teor de lipídeos da dieta (REGOST *et al.*, 2001). Dietas com altos teores de lipídios também são responsáveis por alterações nos teores de colesterol circulante e de lipoproteínas plasmáticas (SÁNCHEZ-MUROS *et al.*, 1996; RICHARD *et al.*, 2006).

Em comparação com a energia obtida por proteínas e carboidratos, os lipídios são mais vantajosos, devido a oxidação lipídica gerar duas vezes mais energia que a dos carboidratos (SARGENT *et al.*, 2002). Os lipídios também são importantes fontes de reservas energéticas, principalmente no músculo, sendo obtida por meio da beta-oxidação (TOCHER, 2003).

Assim, é possível afirmar que os lipídios estão envolvidos em praticamente todos os processos fisiológicos de um organismo sendo absorvidos na forma de ácidos graxos e monoglicerídeos (OLSEN *et al.*, 2004). Desta forma, quando presentes nas dietas e eventualmente metabolizados, promovem alterações na composição dos ácidos graxos que constituem os fosfolipídios de membrana, contribuindo com o processo de fluidez, assim como de resposta

imunológica (SARGENT *et al.*, 2002). Além de atenderem as necessidades energéticas de crescimento e manutenção, os lipídios são capazes de auxiliar as funções dos rins e das brânquias, o desenvolvimento neural e visual, bem como a reprodução e a sanidade (TOCHER, 2003).

O transporte de ácidos graxos e outros componentes lipídicos para tecidos periféricos é mediado por lipoproteínas, desse modo, a composição e a quantidade de ácidos graxos ingeridos na dieta influenciam os teores de lipoproteínas circulantes, bem como sua composição (TORSTENSEN *et al.*, 2001, 2004; JORDAL *et al.*, 2007). Estudos demonstraram que peixes alimentados com dietas com óleo de peixe tiveram aumento na concentração de colesterol total, porém, os níveis de HDL foram mais elevados (RIBEIRO *et al.*, 2013). Pesquisas realizadas com outras espécies mostram que dietas com ácidos graxos poliinsaturados n-3 reduzem significativamente a lipogênese hepática (ZAMPELAS *et al.*, 1995). Isso explica, em parte, a menor atuação das enzimas lipogênicas nos peixes, quando alimentados com dietas com óleo de peixe e com a mistura de óleos de peixe e de milho, ricas em ácidos graxos poliinsaturados n-3 (RIBEIRO *et al.*, 2013).

Segundo Silva (2011), a exemplo de outros vertebrados, os peixes não são capazes de sintetizar os ácidos graxos linoleico (18:2 n-6) e linolênico (18:3 n-3), necessitando, portanto, que estes sejam supridos na dieta, atendendo exigências para os ácidos graxos essenciais. Entretanto, os peixes possuem grande habilidade em converter ácidos graxos insaturados de 18 átomos de carbono em altamente insaturados da mesma série, como os ácidos eicosapentaenóico (EPA, 20:5 n-3) e docosahexaenóico (DHA, 22:6 n-3) (SWENSON e REECE, 1996).

Nelson e Cox (2006) afirmam que as propriedades dos ácidos graxos são determinadas principalmente pelo comprimento e grau de insaturação de suas cadeias carbônicas, assim, quanto mais longa e mais saturada a cadeia carbônica, menor a solubilidade em água e mais alto o seu ponto de fusão. Os ácidos graxos saturados, por possuírem apenas ligações simples, apresentam menor flexibilidade da cadeia carbônica, por outro lado, os ácidos graxos insaturados, a existência de duplas ligações força uma torção na cadeia carbônica, o que dificulta a união estável das moléculas como nos ácidos graxos saturados (BELDA e POURCHET-CAMPOS, 1991). Em função desta característica, é necessária menor quantidade de energia para desordenar as moléculas de ácidos graxos insaturados, assim tal característica também reflete na permeabilidade das membranas, tornando mais fluidas às membranas que são ricas em ácidos graxos insaturados (SARGENT *et al.*, 2002; TOCHER, 2003).

Segundo Almeida e Franco (2006), as diferenças na composição de ácidos graxos no músculo de tambaqui capturado na natureza, e daquele cultivado, mostram que o EPA detectado nas rações contribuiu para a elevada deposição de EPA no músculo. Assim, entende-se que a qualidade da carne do peixe cultivado pode ser melhorada através das formulações de dietas suplementadas com ácidos graxos poliinsaturados. Além de atender a uma demanda nutricional de mercado, essa suplementação contribuirá para uma melhor produtividade no cultivo, visto que a deficiência em ácidos graxos interfere significativamente no crescimento animal (NRC, 2011).

Na formulação de rações para organismos aquáticos são utilizadas fontes lipídicas de origem vegetal e animal (BERGMAN *et al.*, 2018). A composição em ácidos graxos destas fontes apresenta variação em função da fonte, onde óleos de origem vegetal apresentam predominância de ácidos graxos insaturados, enquanto nos óleos de origem animal há maior quantidade de ácidos graxos saturados (TAVARES, 2011). O óleo de peixe é um dos óleos de origem animal mais utilizado em rações para peixes, porém em muitas pesquisas realizadas com fontes de lipídios, este óleo vem sendo substituído pelos óleos de origem vegetal (CHEN *et al.*, 2019). Entretanto, vale ressaltar que, na maioria das pesquisas com óleos de origem vegetal são avaliados apenas o potencial energético, não se levando em consideração o fornecimento de ácidos graxos essenciais por esses óleos para os animais (ULIANA *et al.*, 2001).

Estudos demonstram que o tambaqui aproveita eficientemente lipídios e carboidratos como fonte energética e, portanto, para uma maior eficiência alimentar da espécie, recomenda-se um teor de lipídios entre 6 a 11% da dieta (VAN DER MEER, 1997, MORI-PINEDO, 2000; SANTOS *et al.* 2010). Oliveira *et al.* (2012) demonstram que a inclusão de ácidos graxos EPA em rações de tambaqui promoveu elevação no músculo do peixe, quando comparados aos peixes da natureza. O tambaqui, a partir do zooplâncton, tem a sua principal fonte de ácidos graxos n-3 na natureza, enquanto no cultivo, do óleo de peixe incluso nas rações. Os mesmos autores afirmam que n-6 são encontrados principalmente em alimentos de origem vegetal, abundante tanto na dieta natural como no cultivo de tambaqui, cuja dieta em sua maioria tem as fontes proteicas vindo de origem vegetal, como a soja.

2.4. Biossíntese de ácidos graxos poliinsaturados

As dessaturases dos ácidos graxos são enzimas que catalizam a introdução de duplas ligações cis em posições específicas da cadeia de ácidos graxos (LOS e MURATA, 1998), sendo

este um processo aeróbico. Na membrana celular das células animais a enzima responsável por este processo é a acil-CoA dessaturase (PEREIRA, LEONARD e MUKERJI, 2003). Nos peixes a sequência de proteínas das dessaturases é muito semelhante à dos mamíferos (GONZÁLEZ-ROVIRA *et al.*, 2009; VAGNER e SANTIGOSA, 2011). Dessa maneira, as dessaturações $\Delta 5$ e $\Delta 6$ são catalizadas, respectivamente, por produtos dos genes *Fads1* e *Fads2* (MARQUARDT *et al.*, 2000). A comparação dos genes que codificam as dessaturases dos peixes teleósteos com os genes *Fads1* e *Fads2* dos humanos permitiu concluir que todos as dessaturases dos peixes teleósteos, independentemente da espécie e atividade descrita, são mais próximas filogeneticamente da *Fads2* dos mamíferos do que da *Fads1* (MONROIG, LI e TOCHER, 2011)

Já o sistema de elongases diz respeito às enzimas que são responsáveis pela introdução de duas unidades de carbono no fim da cadeia de ácidos graxos. Este sistema é composto por quatro enzimas: a enzima de condensação (β cetoacil CoA sintase), a β -cetoacil CoA redutase, a β -hidroxiacil CoA desidrase e a trans-2-enoil CoA redutase (LEONARD *et al.*, 2004). Este sistema multienzimático está localizado no retículo endoplasmático, sendo o ácido- γ -linolénico (18:3 n-6) o substrato mais eficaz (LEAVER *et al.*, 2008a).

Todas as elongases caracterizadas em mamíferos e peixes obedecem à mesma estrutura. Foram identificados 7 genes envolvidos na elongação dos ácidos graxos, embora os genes responsáveis pela síntese de HUFA sejam a *ELOVL2* e *ELOVL5* (LEONARD *et al.*, 2004). A *ELOVL5* está envolvida na elongação dos PUFA C18 e C20, sendo que os substratos C18 são os preferenciais (LEAVER *et al.*, 2008a) e a *ELOVL2* atua sobre os substratos C20 e C22, com especial preferência para os substratos C22 (JAKOBSSON, WESTERBERG e JAKOBSSON, 2006).

Os vertebrados, são incapazes de sintetizar LA e ALA por não possuírem as enzimas $\Delta 12$ e $\Delta 15$ dessaturases, expressas somente em plantas e alguns invertebrados, desta forma, quando ingeridos, LA e ALA precisam ter suas cadeias dessaturadas e alongadas para dar origem aos n-3 e n-6 fisiologicamente ativos, os ácidos graxos de cadeia longa (LC-PUFAS com 20 carbonos ou mais) isso varia entre as espécies de peixe, sendo dependente da presença e expressão de genes de dessaturases e elongases (SARGENT *et al.*, 2002; TOCHER, 2003, 2010; MONROIG *et al.*, 2013).

Estas duas elongases (*ELOVL2* e *ELOVL5*) atuam adicionando dois átomos de carbono à parte inicial da cadeia, de forma que as dessaturases $\Delta 5$ (*FADS β D5*) e $\Delta 6$ (*FADS β D6*), atuam oxidam dois carbonos da cadeia, dando origem uma dupla ligação com a configuração *cis*

(SIMOPOULOS, 2009; BETANCOR *et al.*, 2014). Provavelmente, ELOVL5 está relacionada no alongamento de C18 a C20 enquanto a ELOVL2 parece ser a responsável pelo alongamento de C20 a C22 (SALINI *et al.*, 2015). O ácido oléico (C18:1 ω -9) é dessaturado por uma dessaturase Δ 12 para formar o ácido linoléico (C18:2 ω -6) e uma dessaturase Δ 15 para formar o ácido α -linolénico (C18:3 ω -3) não podendo ser realizados pelos peixes pela falta dessas duas enzimas, (CALDER e YAQOOB, 2009; CALDER, 2010).

A biossíntese dos ácidos graxos da família ω -3 tal como o EPA ocorre por meio de uma série de reações, podendo ser dividida em 2 etapas diferentes. A primeira é a síntese “de novo” do ácido oléico (C18:1 ω -9) a partir de acetato. A etapa é seguida pela conversão do ácido oléico em ácido linoleico (LA, C18:2 ω -6) e ácido α -linolénico (ALA, C18:3 ω -3) (CALDER e YAQOOB, 2009). Este último é dessaturado por uma dessaturase Δ 6, formando o ácido estearidônico (ETE, C18:4 ω -3). A seguir ocorre um alongamento da cadeia com adição de 2 átomos de carbono formando o ácido eicosatetraenoico (ETA, C20:4 ω -3). Este, por sua vez, é dessaturado por uma dessaturase Δ 5, formando o ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5 ω -3) (PENDER-CUDLIP *et al.*, 2013; BLANCHARD *et al.*, 2013; KANG e LIU, 2013). Após nova reação de alongamento forma-se o ácido gordo docosapentaenoico (DPA, C22:5 ω -3) que é dessaturado por uma dessaturase Δ 4, formando o ácido docosaexanoico (DHA, C22:6 ω -3), (WEN e CHEN, 2003) (Figura 2).

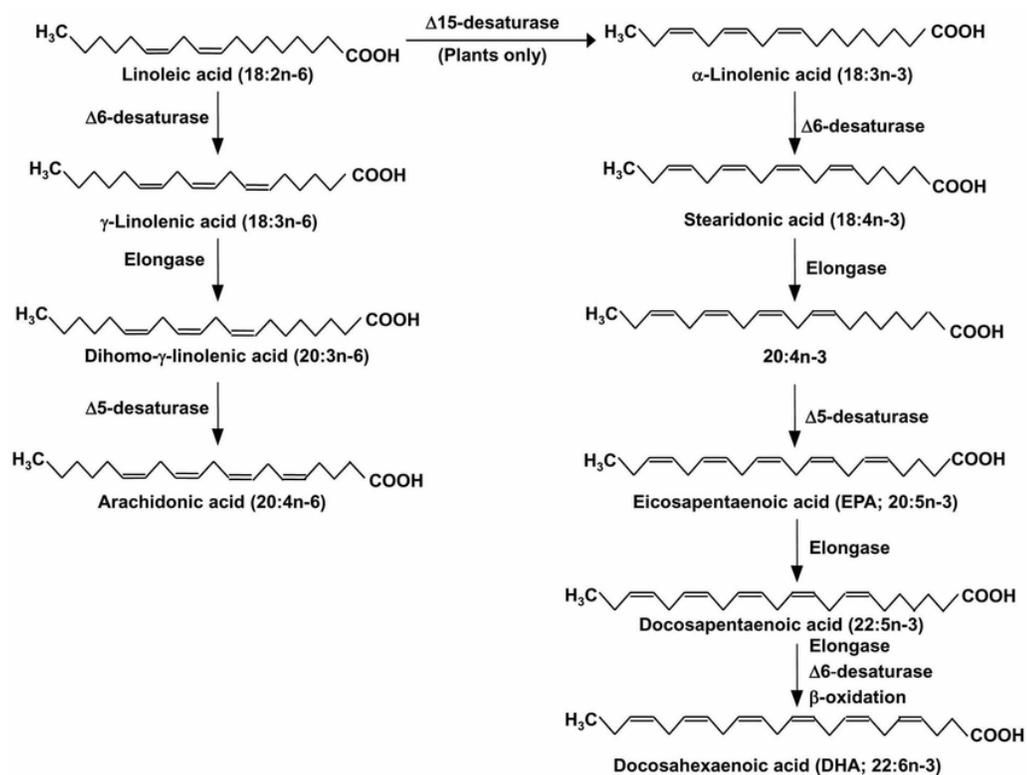


Figura 2 - Biossíntese de ácido docosahexaenóico e eicosapentaenóico.

Fonte: Adaptado de Calder (2009).

A $\Delta 6$ dessaturase é considerada enzima chave na regulação dos processos de conversão de ALA à DHA, uma vez que atua em dois pontos distintos na rota metabólica (GIBSON *et al.*, 2011; PENDER-CUDLIP *et al.*, 2013; BLANCHARD *et al.*, 2013). Excesso de ácido linoleico ou ácido α -linolênico pode diminuir a produção de DHA (GIBSON *et al.*, 2011). Como a $\Delta 6$ dessaturase atua tanto na conversão de LA a ácido γ -linoleico (18:3 n-6) quanto na conversão de ALA a ácido estereadônico (18:4 n-3), ela poderá ser escassa para conversão de ácido tetracosapentaenóico (24:5 n- γ) que após β - oxidação converte-se em DHA 22:6 n-3 (GIBSON *et al.*, 2011). Desta forma as duas acil graxa elongases, (ELOVL2 e ELOVL5) são responsáveis pelos processos de alongamento da cadeia carbônica (BETANCOR *et al.*, 2014). Possivelmente o alongamento de C18 a C20 é realizada pela ação da ELOVL5, e muito pouco no alongamento de C20 a C22, enquanto essa última conversão parece ser de responsabilidade da ELOVL2 (MORAIS *et al.*, 2009; SALINI *et al.*, 2015). Do mesmo modo que as dessaturases, as elongases agem produzindo tanto n-3 quanto n-6, existindo competição entre si. Na competição por substratos

possui uma afinidade das enzimas por ácidos graxos n-3 em relação aos n-6, sendo, portanto, favorecida a formação de n-3 (ANDRADE e CARMO, 2006).

2.5. Utilização de Resíduos de Pescado

Os custos com a alimentação em sistemas de produção de animais aquáticos podem inviabilizar empreendimentos aquícolas, principalmente de pequenos produtores, uma vez que constitui um dos maiores custos finais (HISANO *et al.*, 2008), representando uma despesa significativa para o produtor, pois os alimentos convencionais para fabricação de rações, dependendo da disponibilidade de grãos, podendo onerar mais a piscicultura com altos custos do transporte (SOARES *et al.*, 2017). É comum a oferta de rações alternativas compostas principalmente por coprodutos da agroindústria devido ao baixo custo, ao volume e oferta contínua (BRABO *et al.*, 2021).

O processamento e comercialização de alimentos de origem animal geram uma grande quantidade de resíduo orgânico. Esses resíduos quando descartado de forma incorreta, constituem um problema sanitário e ambiental para a sociedade (NASCIMENTO *et al.*, 2018). Neste cenário, o crescimento populacional nos centros urbanos tem agravado a problemática do gerenciamento dos resíduos sólidos gerados pelo aumento no número de habitantes, causados principalmente pelo volume de resíduo produzido e pelo estilo de vida consumista (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

A cultura do aproveitamento dos resíduos de pescado ainda é pouco difundida em várias regiões do Brasil, onde a maioria desses resíduos é descartada, principalmente pela falta de reconhecimento deste recurso como matéria prima e fonte para outros produtos (NASCIMENTO *et al.*, 2018). Partes como, cabeças, escamas, peles, vísceras e carcaças são descartadas durante o processamento e, dependendo da espécie de peixe processada e do produto final obtido pelo frigorífico, estes descartes podem representar algo entre 8 a 16%, (do pescado eviscerado), e 60 a 72% na produção de filés sem pele (KUBITZA; CAMPOS, 2006). Um exemplo disso é a ocorrência de acúmulo de resíduos de peixes em mercados públicos e feiras livres, que devido à forma incorreta deste descarte, constitui problema sanitário e ambiental para a sociedade (PIMENTA *et al.*, 2008).

O aumento da produção e do consumo de pescado está diretamente ligado à necessidade de se viabilizar tecnologias para o reaproveitamento dos resíduos gerados pela indústria aquícola, assim, mesmo com pesquisas sendo desenvolvidas para otimizar o gerenciamento dos resíduos de

pescado, grande parte dessa cadeia, principalmente a da pesca artesanal e de indústrias de beneficiamento de pequeno porte continuam realizando o descarte inadequado dos resíduos, ocasionado sérios problemas ambientais (PINTO, 2017).

A utilização do resíduo do processamento de pescado para obtenção de novos produtos deve ser realizada para efetivação da empresa limpa, com aumento da receita e contribuindo para a preservação ambiental. A maior justificativa, porém, é de ordem nutricional, pois o resíduo de pescado constitui cerca de metade do volume da matéria-prima da indústria e é uma fonte de nutrientes de baixo custo (OETTERER *et al.*, 2002).

Os resíduos de pescado, junto aos postos de beneficiamento e comercialização, causam sérios problemas de poluição ambiental, pois nem sempre é economicamente viável o transporte dos mesmos para as fábricas de processamento de subprodutos (NUNES, 1999). Uma forma de minimizar os problemas ambientais gerados pela grande quantidade de resíduo de pescado é sua transformação em um produto para ser incorporado como ingrediente em rações animais (RISTIC *et al.*, 2002).

De acordo com o Ministério da Agricultura, o consumo de pescado no Brasil (14,4 kg por habitante/ano), já superou o recomendado pela Organização Mundial da Saúde, que é 12 kg, por habitante, a cada ano. Ademais, a FAO estimou que o País deve registrar crescimento de 104% na pesca e aquicultura até 2025 (BRASIL, 2018).

Uma maior demanda de produção, assim o crescimento dos consumidores, considerados mais exigentes quanto à qualidade, rastreabilidade e praticidade dos produtos comercializados, obriga às indústrias alimentícias desenvolverem processamentos mais complexos sobre a matéria prima para dispô-la no mercado com maior atratividade (LIMA, 2013). Isso as torna, também, responsáveis por utilizar uma grande quantidade de recursos naturais e gerar uma significativa parcela de resíduos com potencial poluidor para o meio ambiente caso não sejam tratados adequadamente.

Nesse sentido, as indústrias beneficiadoras de pescado processados, seja na formulação de novos produtos ou no processamento de peixes comercializados inteiros e congelados, geram resíduos ricos em compostos orgânicos e inorgânicos. As quantidades estão relacionadas ao rendimento de carcaça dos peixes que varia em função do processamento, da espécie, peso do pescado, formato do corpo e outros. Devido à heterogeneidade de crescimento dos peixes durante a produção, pode ocorrer o descarte desses animais durante as classificações e despescas quando

não atingirem o tamanho comercial, sendo possível a sua utilização como resíduo da produção (VIDOTTI, 2011).

A definição de resíduos sólidos, segundo a NBR 10.004, refere-se a todos os compostos de características sólidas ou semissólidas resultantes, por exemplo, de vários segmentos da indústria, do comércio e dos sistemas de produção agrícola e animal (ABNT, 2004). Os resíduos que são partes excedentes destas atividades agroindustriais, são classificados como componentes gasosos, líquidos ou sólidos e que, quando lançados no meio ambiente sem o devido tratamento, poderão ocasionar sérias alterações nas características do ar, da água e do solo, tornando-se prejudiciais para toda a vida aquática e terrestre (PEREIRA, 2002), fazendo-se necessário dar o devido destino a tal material.

Segundo LIMA (2013), os resíduos podem ser divididos em duas classes: a) os resíduos da classe I, que são considerados materiais perigosos e que apresentam características físicas, químicas ou infectocontagiosas passíveis de transmitir riscos à saúde pública e ao meio ambiente; b) os resíduos da classe II, que são denominados materiais não perigosos e podem ser divididos em: componentes com solubilidade em água e passíveis de biodegradação ou componentes não inertes, insolúveis no substrato em que esteja presente. Geralmente, os resíduos da segunda classe são os que apresentam maior potencial para implantação de tecnologias de reaproveitamento nas agroindústrias. Por conseguinte, podem apresentar alta capacidade de valorização desde que inseridos em processos adequados de reutilização consciente.

Kubitza e Campos (2006) classificam os resíduos sólidos da indústria pesqueira em dois grupos considerados adequados ou não adequados para produção de subprodutos utilizados na alimentação humana. Por ser uma fonte de nutrientes de baixo custo, o resíduo que seria descartado pode ter seu valor agregado mediante o uso sustentável (SUCASAS, 2011). As vísceras, escamas e o esqueleto, por exemplo, são matérias-primas da fabricação das farinhas, silagens e óleos de peixe, comumente empregados na alimentação animal.

De acordo com o Regulamento Industrial de Inspeção Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA), entende-se por óleo de pescado o produto líquido obtido pelo tratamento de matérias-primas pela cocção a vapor, separado por decantação ou centrifugação e filtração. Suas características devem satisfazer as condições de cor amarelo-claro ou amarelo-âmbar, tolerando-se ligeira turvação, máximo de 1% de impurezas, 10% de umidade, 3% de acidez em ácido oleico e não conter substâncias estranhas, outros óleos animais ou vegetais (BRASIL, 2017)

A obtenção do óleo de pescado provém das etapas de cozimento e prensagem, sendo todo o liquor removido da massa de pescado é misturado e depois centrifugado a uma temperatura de 80°C para a obtenção de um óleo primário, também denominado óleo bruto (LIMA, 2013). Posteriormente, esse óleo é armazenado e pode ser comercializado sob forma de aditivo para a formulação de ração animal ou receber um processamento específico e refino para a obtenção de um para a utilização na alimentação humana (MORAIS *et al.*, 2001).

Segundo Vidotti e Gonçalves (2006), a característica final do óleo pode depender muito da composição lipídica da matéria-prima utilizada no processo, assim, peixes produzidos em sistemas de criação intensiva, por exemplo, possuem uma deposição de gordura maior comparada com os de captura, em razão da alimentação e do peso de abate. Resíduos de peixes abatidos com peso abaixo de 800 gramas produzem, em média, 85% de farinha e 15% de óleo, enquanto que os resíduos de peixes abatidos com peso acima de 800 gramas podem gerar um porcentual de até 70% de farinha e 30% de óleo (LIMA, 2013). Outro fator importante é de que a qualidade do óleo produzido pode sofrer variações dependendo do controle de qualidade no processamento, das formas de proteção contra a oxidação de gorduras e das condições de armazenamento (VIDOTTI e GONÇALVES, 2006).

Além disso, o Brasil, com toda a sua potencialidade pesqueira, carece de processos tecnológicos adequados de refino do óleo de pescado para o uso em alimentação humana. Os suplementos alimentares à base de óleo de peixe contendo alto teor de ácidos graxos n-3, por exemplo, apresentam grande demanda de mercado, porém são processados no exterior e importados apenas para serem encapsulados pelas indústrias brasileiras (ARAÚJO, 2007).

Transformar os materiais descartáveis e poluentes em coprodutos com valor agregado é a base para o desenvolvimento sustentável do mundo moderno, logo, reduzir o uso inconsciente de matéria-prima para evitar desperdícios e promover a reciclagem dos resíduos são condições essenciais para a garantia de processos mais econômicos e com menor impacto ambiental (LIMA, 2013).

Sendo a cidade de Manaus a capital do Brasil que mais consome tabaqui, com um consumo per capita de 26 quilos de tabaqui, totalizando 60 mil toneladas por ano (incer, há a geração de grande quantidade de resíduos, tais como: restos de músculos, cabeça, pele, ossos, escamas e vísceras (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Esses resíduos orgânicos, quando processados em novos produtos, apresentam potencial para utilização como ingredientes na alimentação para

animais de interesse zootécnico e de companhia (SALES e OLIVEIRA, 2015; MAGALHÃES *et al.*, 2019).

3. CONCLUSÃO

É evidente a importância dos trabalhos desenvolvidos até o presente momento, a fim de desenvolver não só a literatura científica acerca do uso de resíduos pesqueiros para formulação de rações para a alimentação de tambaqui *Colossoma Macropomum*, assim como produzir soluções práticas e alternativas à cadeia produtiva de pescado, visando diminuir custos de produção e impactos ambientais. Se faz necessário maior envolvimento da sociedade científica para produção e exposição de dados que fomentem um maior e melhor uso de ingredientes alternativos para alimentação de peixes, contribuindo diretamente com a produção local e nacional.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma NBR-10004: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.**

ALMEIDA, F. L.; LOPES, J. S.; CRESCENCIO, R.; IZEL, A. C. U.; CHAGAS, E. C.; BOIJINK, C. Early puberty of farmed tambaqui (*Colossoma macropomum*): Possible influence of male sexual maturation on harvest weight. **Aquaculture**, 452, 224-232, 2016. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/aqua-online.

ANDRADE, P.D.M.M.; CARMO, M.G.T. Ácidos graxos n-3: um link entre eicosanóides, inflamação e imunidade. **Revista de Metabolismo e Nutrição**, v. 8, n. 3, p. 135-143, 2006.

ARAÚJO, H.D.S. 2020. Sorgo sem tanino em dietas de juvenis de tambaqui. 2020. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM.

ARAÚJO-LIMA, C.; e GOULDING, M. (1998). **Os frutos do tambaqui: ecologia, conservação e cultivo na Amazônia**. Tefé, AM: Sociedade Civil de Mamirauá, Brasília: CNPq.

ARAÚJO-LIMA, C.A.R.M.; e GOMES, L.C. (2005). Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: Baldissierotto, B.; e Gomes, L.C. **Espécies Nativas para Piscicultura no Brasil** (pp. 67–104). UFSM, Santa Maria.

ARIDE, P.H.R.; ROUBACH, R.; VAL, A.L. Tolerance response of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) to water pH. **Aquaculture Research**, 38: 588-594, 2007.

BALDISSEROTTO, B. Respiração e circulação. In: BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. 2ª ed. Santa Maria: Editora UFSM. p.53-75, 2009.

BARTHEM, R. B.; FABRÉ, N. N. **Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia**. In: **A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira** / Coordenado por Mauro Luis Ruffino. – Manaus: Ibama/ProVárzea, 2004.

BELDA, M.C.R.; POURCHET-CAMPOS, M.A. Ácidos graxos essenciais em nutrição: uma visão atualizada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.11, n.1, p.5-35, 1991.

BERGMAN, A.M.; TRUSHENSKI, J.T.; DRAWBRIDGE, M. Replacing Fish Oil with Hydrogenated Soybean Oils in Feeds for Yellowtail. **North American Journal of Aquaculture**, 80: 141-152, 2018.

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

BLANCHARD, H.; PÉDRONO, F.; CATHELIN, D.; RIOUX, V.; LEGRAND, P. Comparative effects of well-balanced diets enriched in α -linolenic or linoleic acids on LC-PUFA metabolism in rat tissues. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids (PLEFA)**, v. 88, n. 5, p. 383-389, 2013.

BORGHESI, R.; LIMA, L. K. F.; SUCASAS, L. F. A.; MARTO, V. C. O.; OETTERER, M. **Elaboração de silagens ácidas e ácida co-seca de vísceras de tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 6 p. Embrapa Pantanal. Circular técnica, 106, 2013.

BRABO, M.F.; SILVA, A.R.L.; BARROS, K.D.N.; RODRIGUES, R. P.; CAMPELO, D.A.V.; e VERAS, G.C. (2021). Custo de produção de rações alternativas para peixes onívoros no estado do Pará, Amazônia, Brasil. **Agrarian**, 14(51), 127-135. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v14i51.10670>

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 30.691, de 29 de março de 1952. Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2017.

BRASIL, Governo do Brasil, Economia e Emprego. Produção de peixes no Brasil cresce com apoio de pesquisas da Embrapa. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/01/producao-de-peixes-no-brasil-cresce-com-apoio-de-pesquisas-da-embrapa>> Acesso em: 12 de novembro de 2018.

CALDER C.P. Polyunsaturated Fatty Acids and Inflammation: Therapeutic Potential in Rheumatoid Arthritis. **Current Rheumatology Reviews**, 2009; 5(4). <https://dx.doi.org/10.2174/157339709790192558>.

CALDER, P. C. Omega-3 fatty acids and inflammatory processes. **Nutrients**, v. 2, n. 3, p. 355-374, 2010.

CHEN Y.; *et al.* Effects of dietary fish oil replacement by soybean oil and l-carnitine supplementation on growth performance, fatty acid composition, lipid metabolism and liver health of juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*. **Aquaculture**, 734596, 2019.

DA SILVA, R.S.; FRANÇA, S.M.A.F.; YAMAGUCHI, K.K.L. (2020). Identificação das espécies de peixes mais comercializadas em um município no interior do Amazonas / Analyses of the fish species commercialization in countryside of Amazonas. *Brazilian Journal of Development*, 6(4), 20483–20498. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-284>

EMRE, Y. *et al.* Effect of replacing dietary fish oil 377 with soybean oil on growth performance, fatty acid composition and haematological parameters 378 of juvenile meagre, *Argyrosomus regius*. **Aquaculture Research**, 47: 2256-2265, 2015.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. **Towards Blue Transformation**. Rome: FAO. 2022. 266p. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc0461en> Acesso em 29 março 2023.

FERREIRA, C.; SILVA, E.; GASPAR, F.; e VENEZA, I. (2021). Torta de buriti (*Mauritia flexuosa*) como ingrediente alternativo em rações para juvenis de Tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Research, Society and Development**, 10(8), 1-8. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17345>.

FRACALOSSO, D.M.; CYRINO, J.E.P. **Nutriaqua**: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2013.

GARLOCK, T., *et al.*, 2020. A Global Blue Revolution: Aquaculture Growth Across Regions, Species, and Countries. **Rev. Fish. Sci. Aquac.** 28, 107–116. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1678111>

GHASEMI, F.S.; WANG, F.; SINCLAIR, A.J.; ELLIOTT, G.; TURCHINI, G.M. (2019). How does high DHA fish oil affect health? A systematic review of evidence. **Critical Reviews In Food Science and Nutrition**, 59(11), 1684– 1727. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1425978>

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

GONZÁLEZ-ROVIRA, A.; MOURENTE, G.; ZHENG, X.; TOCHER, D.R.; PENDÓN, C., 2009. Molecular and functional characterization and expression analysis of a $\Delta 6$ fatty acyl desaturase cDNA of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L.). **Aquaculture**, 298: 90–100.

HENDERSON, R.J. Fatty acid metabolism in freshwater fish with particular reference to polyunsaturated fatty acids. **Archive Animal Nutrition** v.49, p.5-22, 1996.

HILSDORF, A.W.S; HALLERMAN, E; VALLADÃO, G.M.R., *et al.* The farming and husbandry of *Colossoma macropomum*: from Amazonian waters to sustainable production. **Rev Aquac.** 2021;14(2):993-1027

HISANO, H.; MARUYAMA, M. R.; ISHIKAWA, M. M., MELHORANÇA, A.; e OTSUBO, A. **A. Potencial da utilização da mandioca na alimentação de peixes.** Embrapa Agropecuária Oeste-Documentos - INFOTECA-E, 1ª edição: editores Embrapa Agropecuária. Oeste, 2008.

IDAM, Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas. **Relatório de Atividades – RAT**, 2021. Disponível em <<http://www.idam.am.gov.br/biblioteca/relatorio-de-atividades-rat-2020/>> Acessado em: 05 de junho de 2023.

JAKOBSSON, A.; WESTERBERG, R. e JACOBSSON, A., 2006. Fatty acid elongases in mammals: Their regulation and roles in metabolism. **Progress in Lipid Research**, 45: 237–249.

JORDAL, A.E.O.; LIE, O.; TORSTENSEN, B.E. Complete replacement of dietary fish oil with a vegetable oil blend affects liver lipid and plasma lipoprotein levels in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **Aquaculture Nutrition**, v.13, p.114-130, 2007.

KANG, J. X.; LIU, A. The role of the tissue omega-6/omega-3 fatty acid ratio in regulating tumor angiogenesis. **Cancer and Metastasis Reviews**, v. 32, n. 1-2, p. 201-210, 2013.

KUBITZA, F.; CAMPOS, J. L. O aproveitamento dos subprodutos do processamento de pescado. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 94, p. 23-29, 2006.

LEAVER, M. J., *et al*, 2008b. Functional genomics reveals increases in cholesterol biosynthetic genes and highly unsaturated fatty acid biosynthesis after dietary substitution of fish oil with vegetable oils in Atlantic salmon (*Salmo salar*). **BMC Genomics**, 9: 299

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de bioquímica**. Savier: São Paulo, 1995.

LEONARD, A E.; PEREIRA, S. L.; SPRECHER, H.; HUANG, Y., 2004. Elongation of long chain fatty acids. **Progress in Lipid Research**, 43: 36–54.

LI, Y.; LIANG, X.; ZHANG, Y.; GAO, J. Effects of different dietary soybean oil levels on growth, lipid deposition, tissues fatty acid composition and hepatic lipid metabolism related gene expressions in blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) juvenile. **Aquaculture**, v. 451, p. 16-23, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.08.028>

LIMA, C.A.S.; MACHADO BUSSONS, M.R.F.; DE OLIVEIRA, A.T.; ARIDE, P.H.R.; DE ALMEIDA O’SULLIVAN, F.L.; PANTOJA-LIMA, J. 2020. Socioeconomic and profitability analysis of Tambaqui *Colossoma macropomum* fish farming in the state of Amazonas, Brazil. **Aquaculture Economics & Management**, 24(4), 406-421.

LIMA, L. K. F. Reaproveitamento de resíduos sólidos na cadeia agroindustrial do pescado. **Embrapa Pesca e Aquicultura**, 2013.

LIMA, M. DE L. Os fluxos de conhecimentos na piscicultura do Estado do Amazonas: uma análise da trajetória e das condições institucionais. **Revista ConTexto**, v. 5, n. 8, p. 1-20, 2005.

LOS, D.A.; e MURATA, N., 1998. Structure and expression of fatty acid desaturases. **Biochimica et Biophysica Acta**, 1394: 3-15.

MAGALHÃES, A.O.; MÁRSICO, E.T.; SOARES JÚNIOR, M.S.; MONTEIRO, M.L.G. 2019. Evaluation of the technological quality of snacks extruded from broken grains of rice and mechanically separated tilapia meat flour. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 45, n. 2, p. 429.

MARQUARDT, A.; STÖHR, H.; WHITE, K.; WEBER, B. H., 2000. cDNA cloning, genomic structure, and chromosomal localization of three members of the human fatty acid desaturase family. **Genomics**, 66(2): 175-83.

MEANTE, R.E.X.; e DÓRIA, C.R.C. Caracterização da Cadeia Produtiva da Piscicultura no Estado de Rondônia: Desenvolvimento e Fatores Limitantes. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia- RARA**, v.9, n.4, set/dez, 2017. P.164-181.

MELLO, F.D.; OLIVEIRA, C.A.L.; STREIT, D.; *et al.* Estimation of genetic parameters for body weight and morphometric traits of tambaqui *Colossoma macropomum*. **J Fish Sci.** 2016;10(2):96-100.

MENDONÇA, P. P.; FERREIRA, R. A.; VIDAL JUNIOR, M. V.; ANDRADE, D. R.; SANTOS, M. V. B., FERREIRA, A. V.; REZENDE, F. P. Influência do fotoperíodo no desenvolvimento de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 223, p. 323-331, 2009.

MEURER, F.; HAYASHI, C.; BOSCOLO, W.R. *et al.* **Lipídeos na alimentação de alevinos revertidos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus* L.)**. Revista Brasileira de Zootecnia, v.31, n.2, p.566-573, 2002.

MOHANTA, K. N.; MOHANTY, S. N.; JENA, J.; SAHU, N. P. A dietary energy level of 14.6 MJ kg⁻¹ and protein-to-energy ratio of 20.2 g MJ⁻¹ results in best growth performance and nutrient

accretion in silver barb *Puntius gonionotus* fingerlings. **Aquaculture Nutrition**, v. 15, n. 6, p. 627–637, 2009.

MONROIG, O.; ZHEN, X.; MORAIS, S.; LEAVER, M. J.; TAGGART, J. B.; TOCHER, D. R., 2010. Multiple genes for functional Δ^6 fatty acyl desaturases (Fad) in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): gene and cDNA characterization, functional expression, tissue distribution and nutritional regulation. **Biochimica et Biophysica Acta**, 1801: 1072–1081.

MONROIG, O.; LI, Y.; TOCHER, D. R., 2011. Δ^8 desaturation activity varies among fatty acyl desaturases of teleost fish: high activity in Δ^6 desaturases of marine species. *Comparative Biochemistry Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 159(4): 206-213.

MORAIS, I.S.; ALMEIDA, F.L.O. Biologia, habitat e cultivo do tambaqui *Colossoma macropomum* (CUVIER, 1816), **Scientia Amazonia**, v. 6, n. 1, 81-93, 2017.

MORAIS, M.M. *et al.* Estudo do processo de refi no do óleo de pescado. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, 2001.

MORI-PINEDO, L.A. Exigências protéico-energéticas de alevinos de tambaqui, *Colossoma macropomu*. Tese de doutorado do programa de Pós-Graduação em Biologia de Água Doce e Pesca Interior – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Universidade Federal do Amazonas, 2010.

NELSON, D.L. & COX, M.M. **Lehninger: princípios de bioquímica**. 4ª Ed. São Paulo: Servier, p.1202-2006.

NRC - National Research Council. Nutrient requirements of fish and shrimp. Animal Nutrition Series National Research Council of the National Academies. Washington: The **National Academies Press**, 376p, 2011.

NUNES, M.L. Silagem de pescado. In: OGAWA, M.; MAIA, E.L. **Manual de pesca**. São Paulo: Livraria Varela. p.371-379, 1999.

NUNES, E. S. S.; CAVERO, B. A. S.; PEREIRA FILHO, M. E. ROUBACH, R. Enzimas digestivas exógenas na alimentação de juvenis de tambaqui. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 139-143, 2006.

OETTERER, M. Industrialização do pescado cultivado. **Guaíba: Agropecuária**, 200p, 2002.

OLIVEIRA, V.M.; ASSIS, C.R.D.; HERCULANO, P.N.; CAVALCANTI, M.T.H.; DE SOUZA BEZERRA, R.; FIGUEIREDO, A.L. (2017). Collagenase from smooth weakfish: extraction, partial purification, characterization and collagen specificity test for industrial application. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 43, n. 1, p. 52-64.

OLIVEIRA, A.C.B.; MIRANDA, E.C.; CORREA, R. Exigências nutricionais e alimentação do tambaqui. In: FRACALOSSO, D.M.; CYRINO, J.E.P. (Ed.). **Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. Florianópolis: Sociedade brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, p. 231-240, 2012.

OLIVEIRA, R. C.; BERNARDI, J. V. E, WANDERLEY, R.; ALMEIDA, R. MANZATTO, A. G. Fish consumption by traditional subsistence villagers of the Rio Madeira (Amazon): impact on hair mercury. **Annals of Human Biology**, 37: 629-642, 2010.

OLSEN, J. V.; SHAO-EN, O., MANN, M. (2004). Trypsin Cleaves Exclusively C-terminal to Arginine and Lysine Residues. **Molecular & Cellular Proteomics**. Vol. 3.6, pp. 608 – 614.

PANTOJA-LIMA, Jackson; SANTOS, S. M.; Oliveira, A.T.; ARAUJO, R. L.; SILVA JUNIOR, J. A. L.; BERNARDINO, G.; ALVES, R. R. S.; FERRAZ FILHO, A.; GOMES, A. L.; ARIDE, P. H. R. **Pesquisa e transferência de tecnologia aliadas para desenvolvimento da aquicultura no Estado do Amazonas In: Aquicultura no Brasil: novas perspectivas**. 1 ed. São Carlos : Pedro & João, 2015, v.2, p. 743-761.

PEIXE BR. **Associação Brasileira da Psicicultura**, 2022. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/>> Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

PEDROZA-FILHO, M.X.; RODRIGUES, A.P.O.; REZENDE, F.P. Dinâmica da produção de tambaqui e demais peixes redondos no Brasil. **Bol. Ativos Aquicultura** 2016, 2, 1–5.

PENDER-CUDLIP, M. C., KRAG, K. J., MARTINI, D., YU, J., GUIDI, A., SKINNER, S. S., KANG, J. X. Delta-6-desaturase activity and arachidonic acid synthesis are increased in human breast cancer tissue. **The Official journal of the Japanese Cancer Association**, v. 104, n. 6, p. 760-764, 2013.

PEREIRA, S. L.; LEONARD, A. E.; MUKERJI, P., 2003. Recent advances in the study of fatty acid desaturases from animals and lower eukaryotes. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, 68: 97–106.

PEREIRA, J. A. **Geração de resíduos industriais e controle ambiental**. Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará. Pará, 2002.

PINHO, S.M.; DAVID, L.H.; GARCIA, F.; KEESMAN, K.J.; PORTELLA, M.C.; GODDEK, S. South American fish species suitable for aquaponics: A review. **Aquac. Int.** 2021, 29, 1427–1449.

PINTO, B.V.V. *Elaboração de Fishburger com Resíduos da Filetagem da Tilápia do Nilo (Oreochromis niloticus, Linnaeus 1758) adicionado de Transglutaminase*. 2017. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

PRESTES, L., *et al.* Proactively averting the collapse of Amazon fisheries based on three migratory flagship species. **PLoS ONE** 2022, 17, e0264490

RIBEIRO, A. *et al.* Parâmetros metabólicos de pacus alimentados com diferentes fontes de óleo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n. 8, p. 1035-1042, 2013

RIBEIRO P.A.P., BRESSAN M.C., LOGATO P.V.R.; GONÇALVES A.C.S. Nutrição lipídica para peixes. **Revista Eletrônica Nutritime**, 4, 436-455, 2007.

RICHARD, N.; MOURENTE, G.; KAUSHIK, S.; CORRAZE, G. replacement of a large portion of fish oil by vegetable oils does not affect lipogenesis, lipid transport and tissue lipid uptake in European seabass (*Dicentrarchus labrax* L.). **Aquaculture**, v.261, p.1077-1087, 2006b. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.07.021.

RISTIC, M.D.; FILIPOVIC, S.S.; SAKAC, M.L.J. Liquid protein feedstuffs from freshwater fish by-products as a component of animal feed. **Romanian Biotechnological Letters**, v.7, n.3, p.729-736, 2002.

ROCHA, Â.M.A. 2019. **Desempenho e exigência de proteína na dieta de alevinos de Pacamã (*Lophiosilurus alexandri*)**. Dissertação (Mestrado em zootecnia), Universidade Federal da Bahia, Salvador - BA.

ROCHA, A. S. **Óleo de pequi (*Caryocar brasiliense*, Camb) na alimentação de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*, CURVIER 1818)**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 79p. Tese de Doutorado, 2018.

RODRIGUES, A. P. O. Nutrição e alimentação do tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Boletim Instituto Pesca**, São Paulo, 40. v. 1, p. 135 – 145, 2014.

ROSSETTO, J.F.; SIGNOR, A. 2021. Inovações tecnológicas empregadas em coprodutos gerados pelo processamento do pescado. **Pubvet**, v. 15, p. 134.

SALES, R.O.; OLIVEIRA, A.C. 2015. Evaluation of chemical composition, mineral, amino acid profile and fatty acid acid silage of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) cultured in Indaiatuba - SP. **Brazilian Journal of Hygiene and Animal Sanity**, v. 9, n. 3, p. 348-363.

SALINI, M., *et al.* Marginal efficiencies of long chain-polyunsaturated fatty acid use by barramundi (*Lates calcarifer*) when fed diets with varying blends of fish oil and poultry fat. **Aquaculture**. v. 449, 48-57, 2015.

SANTOS, G. M.; FERREIRA, E. J. G.; ZUANON, J. A. S. **Peixes comerciais de Manaus**. In: Geraldo (Ed.). – Manaus: Ibama/AM, ProVárzea, 2006.

SANTOS, L.; PEREIRA-FILHO, M.; SOBREIRA, C.; ITUASSU, D.I.; FONSECA, FA.L. Exigência proteica de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) após privação alimentar. **Acta Amazônica** v.40, n. 3, p. 597-604, 2010.

SÁNCHEZ-MUROS, M.J.; GARCÍA-REJÓN, L.; LUPIÑEZ, J.A.; LA HIGUEIRA, M. Long-term nutritional effects on the primary liver and kidney metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). II. Adaptive response of glucose 6-phosphate dehydrogenase activity to high-carbohydrate/low-protein and high-fat/non-carbohydrate diets. **Aquaculture Nutrition**, v.2, p.193-200, 1996. DOI: 10.1111/j.1365-2095.1996.tb00059.x

SARGENT, J.R.; TOCHER, D.R.; BELL, G. The lipids. In: HALVER, J.E. (Ed.). **Fish nutrition**. Washington: Academic Press, p. 181-247, 2002.

SEPROR, Secretaria de produção rural do estado do Amazonas. **Pesca e Piscicultura**. Disponível em: <<http://www.sepror.am.gov.br/pesca-e-psicultura/>>. Acesso em: 05 de novembro de 2018.

SOARES, K.J.A.; RIBEIRO, F.B.; BOMFIM, M.A.D.; e MARCHÃO, R.S. (2017). Valor nutricional de alimentos alternativos para tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Archivos de Zootecnia**, 66 (256), 491-497. <https://www.uco.es/ucopress/az/index.php/az/>

SIMOPOULOS, A. P. Evolutionary aspects of diet: the omega-6/omega-3 ratio and the brain. **Molecular neurobiology**, v. 44, n. 2, p. 203-215, 2011.

SINDIRAÇÕES. **Boletim estatístico do setor**. Dezembro, 2022. Disponível em: <https://sindiracoes.org.br/wpcontent/uploads/2022/12/boletim_informativo_do_setor_dezembro_2022_vs_final_port_sindiracoes.pdf>. Acesso em 06 de janeiro de 2023.

SIQUEIRA, T.V. Aquicultura: a nova fronteira para aumentar a produção mundial de alimentos de forma sustentável. **Boletim regional, urbano e ambiental**, IPEA, 2018.

SILVA, T.B.A. **Fontes de lipídios dietéticos e desempenho imunológico do pacu (*Piaractus mesopotamicus*)**. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens), 2011.

SWENSON, M.J.; REECE, W.O. **Dukes: fisiologia dos animais domésticos**. 11.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 856p.

SUCASAS, L. F. A. **Avaliação do resíduo do processamento de pescado e desenvolvimento de co-produtos visando o incremento da sustentabilidade da cadeia produtiva**. 2011. 166f. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo.

TAVARES, M.M.; **Fontes de óleos vegetais em dietas para lambari-do-rabo-amarelo (*Astyanax altiparanae*): desempenho produtivo, perfil de ácidos graxos, rendimento e composição de carcaça**. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 2011.

TOCHER, D. M. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. **Reviews in Fisheries Science**, Tokyo, v. 11, p. 107-184, 2003.

TORSTENSEN, B.E.; LIE, O.; HAMRE, K. A factorial experimental design for investigation of effects of dietary lipid content and pro- and antioxidants on lipid composition in Atlantic salmon (*Salmo salar*) tissues and lipoproteins. **Aquaculture Nutrition**, v.7, p.265-276, 2001.

ULIANA, O.; SILVA, J.H.S.; REZENDE NETO, J. Diferentes fontes de lipídios testadas na criação de larvas de jundiá (*Rhamdia quelen*), pisces, pimelodidae. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 129-133, 2001.

UNITED NATIONS. **Report of the United Nations Conference to Support the Implementation of Sustainable Development Goal 14: conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development**. New York: UN, jun. 2017b. Disponível em:<<https://digitallibrary.un.org/record/1301296>>.

WILLIAMS, K.C. A review of feeding practices and nutritional requirements of postlarval groupers. **Aquaculture**, 292: 141–152, 2009.

VAGNER, M. e SANTIGOSA, E., 2011. Characterization and modulation of gene expression. and enzymatic activity of Δ -6 desaturase in teleosts: A review. **Aquaculture**, 315: 131-143

VAL, A.L.; OLIVEIRA, A.M. *Colossoma macropomum* – A tropical fish model for biology and aquaculture. J. Exp. Zool. Part A Ecol. **Integr. Physiol.** 2021, 335, 761–77

VALLADÃO, G.M.R.; GALLANI, S.U.; PILARSKI, F. South American fish for continental aquaculture. **Rev. Aquac.** 2016, 10, 351–369

VAN DER MEER, M.B.; J.E. ZAMORA; VERDEGEM, M.C.J. Effect of dietary lipid level on protein utilization and the size and proximate composition of body compartments of *Colossoma macropomum* (Cuvier). **Aquaculture Research**, v.28,p. 405-417, 1997.

VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, G. S. **Produção e caracterização de silagem, farinha e óleo de tilápia e sua utilização na alimentação animal**. 2006. Disponível em: <http://www.pesca.sp.gov.br/producao_caracterizacao.pdf> Acesso em: 15 de novembro de 2018.

VIDOTTI, ROSE MEIRE. **Silagem de pescado. Capítulo de livro: Tecnologia do pescado: ciência, tecnologia, inovação e legislação.** Editor Alex Augusto Gonçalves. São Paulo : Editora Atheneu, 2011.

ZAMPELAS, A.; MORGAN, L.M.; FURLONGE R, N.; WILLIAMS, C.M. Effects of dietary fatty acid composition on basal and hormone-stimulated hepatic lipogenesis and on circulating lipids in the rat. **British Journal of Nutrition**, v.74, p.381-392, 1995.

A ser submetido a revista *Fishes* (FI: 2,3)

CAPÍTULO II

Óleo de subprodutos de peixes na alimentação de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*): desempenho zootécnico, hematologia e viabilidade econômica

Pedro Alves de Oliveira Filho^{1*}, João Paulo Ferreira Rufino¹, Paula Ribeiro dos Santos¹, Jackson Pantoja-Lima², Jesaías Ismael da Costa², Thyssia Bonfim Araújo da Silva², Ana Paula Nunes De Sena², Diany Bastos Bezerra², Manoel Pio Nonato Neto², Harison Santos de Oliveira³, Ariany Rabello da Silva Liebl¹, Adriano Teixeira de Oliveira^{1,4}

¹Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros, Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, Coroado I, CEP: 69067-005, Manaus, Amazonas, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Presidente Figueiredo, Avenida Onça-Pintada, S/N - Galo da Serra, CEP: 69735-000, Presidente Figueiredo, Amazonas, Brasil

³Médico veterinário, CRMV-PE 4638, Rua Renato Buarque de Macêdo, 60 - Centro, CEP 55400-000, Catende, Pernambuco, Brasil

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Centro, Av. Sete de Setembro, 1975 - Centro, 69020-120 Manaus, Amazonas, Brasil

*Autor para correspondência: pedro_oliveira92@hotmail.com

Resumo

Os lipídios são fundamentais para fisiologia dos peixes, sendo um dos principais constituintes orgânicos dos tecidos corporais e tendo o metabolismo muito influenciado pela dieta. O objetivo desse estudo foi avaliar a substituição do óleo de soja por diferentes níveis de óleo de subprodutos de peixes, avaliando desempenho zootécnico, hematologia e índices econômicos na produção de tambaqui *Colossoma macropomum*. O óleo de subprodutos de peixes (OSP) foi adicionado em níveis crescentes de substituição ao óleo de soja (OS) (0, 20, 40, 60 80 e 100% OSP) em dietas para tambaqui (30% PB; 3.600 Kcal de energia bruta por Kg). Juvenis de tambaqui ($9,1 \pm 2,1$ g; $7,8 \pm 0,5$ cm) foram alojados aleatoriamente em 18 caixas circulares de polietileno (310 L; 20 peixes/caixa; n= 3). Os peixes foram alimentados três vezes por dia (8h, 12h e 17h), até a saciedade aparente, durante 13 semanas. As dietas não influenciaram o desempenho dos peixes, no entanto, a conversão alimentar de 1,58 foi registrada para os peixes alimentados com 60% de OSP. Os eritrócitos (p=0,05) dos peixes alimentados com até 80% de substituição de óleo de soja por óleo de subprodutos de peixes ($2,53$ a $3,32 \cdot 10^6/\mu\text{L}$), mantiveram-se dentro dos limites esperados para tambaqui. O teor de colesterol (p=0,01 e de glicose (p=0,04) foram influenciados pelas dietas. A substituição de OS por OSP diminuíram as porcentagens do índice hepatossomático (p=0,05) e o peso do fígado (p=0,05), o que pode demonstrar equilíbrio metabólico energético. As dietas com OSP tiveram o custo de produção variando de R\$ 1,94 a R\$ 2,56, sem influência nos índices econômicos. O óleo de subprodutos de pescado pode ser incluído em até 60% da formulação de dietas para juvenis de tambaqui, sem proporcionar prejuízos ao desempenho zootécnico.

Palavras-chave: alimento alternativo, piscicultura, ingrediente energético, resíduo de pescado, sustentabilidade.

Abstract

Lipids are fundamental to the physiology of fish, being one of the main organic constituents of body tissues and having metabolism greatly influenced by diet. The objective of this study was to evaluate the replacement of soybean oil with different levels of fish by-product oil, evaluating zootechnical performance, hematology and economic indices in the production of tambaqui *Colossoma macropomum*. Fish by-product oil (OSP) was added at increasing levels to replace soybean oil (SO) (0, 20, 40, 60, 80 and 100% OSP) in tambaqui diets (30% CP; 3,600 Kcal of energy gross per kg). Juvenile tambaqui (9.1 ± 2.1 g; 7.8 ± 0.5 cm) were randomly housed in 18 circular polyethylene boxes (310 L; 20 fish/box; n= 3). The fish were fed three times a day (8 am, 12 pm and 5 pm), until apparent satiety, for 13 weeks. The diets did not influence fish performance, however, a feed conversion ratio of 1.58 was recorded for fish fed 60% OSP. The erythrocytes ($p=0.05$) of fish fed with up to 80% replacement of soybean oil with fish by-product oil (2.53 to $3.32 \cdot 10^6/\mu\text{L}$) remained within the limits expected for tambaqui. Cholesterol content ($p=0.01$) and glucose content ($p=0.04$) were influenced by diets. Replacing OS with OSP decreased the percentages of the hepatosomatic index ($p=0.05$) and liver weight ($p=0.05$), which may demonstrate energetic metabolic balance. Diets with OSP had production costs ranging from R\$ 1.94 to R\$ 2.56, with no influence on economic indices. Oil from fish by-products it can be included in up to 60% of the formulation of diets for tambaqui juveniles, without causing harm to zootechnical performance.

Keywords: alternative food, fish farming, energy ingredient, fish waste, sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A piscicultura é a atividade de produção animal que mais cresce nos últimos anos, apresentando uma produção de 841.005 toneladas de peixes de cultivo (tilápia, peixes nativos e outras espécies) em 2021, o que representou um crescimento de 4,7% sobre a produção (PEIXE BR, 2022). Dentre os peixes nativos, que representaram 31,2% da produção no Brasil (262.370 toneladas) em 2021, o tambaqui *Colossoma macropomum* destaca-se como a espécie mais produzida e a segunda no ranking nacional com uma produção de aproximadamente 101 mil toneladas em 2019, ocorrendo principalmente nas regiões norte e nordeste do país segundo dados do IBGE (2020).

A viabilidade econômica da criação de tambaqui, como em qualquer outra espécie animal, depende da nutrição e apesar das características zootécnicas favoráveis, o custo com alimentação dessa espécie é considerado alto, representando cerca de 70-80% dos custos de produção (ALMEIDA *et al.*, 2019; LUIZ JÚNIOR *et al.*, 2018). Dessa forma, faz-se necessário a determinação das exigências nutricionais, a busca por alimentos alternativos e econômicos e a formulação de rações completas para o sucesso e sustentabilidade da produção (BRABO *et al.*, 2021; FERREIRA *et al.*, 2021).

Em 2020 o consumo per capita foi de 20,5 Kg de peixe, com projeção para superar 25 Kg no ano de 2050 (FAO, 2022). Concomitante ao aumento do consumo de pescado, há grande desperdício de resíduos como: restos de carne, cabeça, pele, ossos, escamas e vísceras (OLIVEIRA *et al.*, 2017; LIEBL *et al.*, 2021). Esses resíduos são fontes ricas de proteína de alto valor biológico e aminoácidos essenciais, lipídeos e ácidos graxos essenciais, colágeno, vitaminas e minerais (ROSSETTO *et al.*, 2021; LIEBL *et al.*, 2022) que podem ser aproveitados na produção de óleo de resíduo de pescado.

Com o aumento da demanda e escassez no mercado, observa-se constante aumento nos valores comerciais para farinha e óleo de peixe (ANTUNES, 2019). Além disso, a utilização desses ingredientes produzidos a partir do extrativismo não proporciona a sustentabilidade da aquicultura

(FAO, 2018). O crescimento da aquicultura mundial é uma realidade, porém deve ser acompanhado com a sustentabilidade de todo processo produtivo (STEVENS *et al.*, 2018; FAO, 2022).

Os lipídios são fundamentais para fisiologia dos peixes, sendo um dos principais constituintes orgânicos dos tecidos corporais e tendo o metabolismo muito influenciado pela dieta animal (MEURER *et al.*, 2002). Sua importância nas dietas considera seu potencial energético, se apresentando como fonte de energia e ácidos graxos essenciais para o desenvolvimento adequado dos animais, atendendo a demanda energética na forma de Adenosina Trifosfato (ATP) e ainda contribuem para o carreamento de vitaminas lipossolúveis (ROCHA, 2018).

Assim sendo, objetiva-se com este estudo, avaliar a substituição de óleo de soja por óleo de subprodutos (resíduos) de pescado no desempenho zootécnico, parâmetros de saúde e avaliação dos índices econômicos na produção de tambaqui, a fim de contribuir com o uso de ingredientes alternativos para substituir ingredientes convencionais na fabricação de rações de peixes onívoros.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Desenho experimental

O presente estudo foi conduzido no Laboratório de Aquicultura do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas, Campus Presidente Figueiredo, com duração total de 60 dias. Foram utilizados 360 juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*), com peso médio inicial de 9,1 g, provenientes do Centro de Treinamento Tecnologia e Produção em Aquicultura (CTTPA), localizado na Estrada de Balbina no Município de Presidente Figueiredo, Amazonas.

Os peixes foram mantidos em sistema fechado de recirculação de água dotado de filtro mecânico, biológico, e aeração contínua, sendo o fotoperíodo ajustado para 12/12 horas de luz natural e artificial. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 6 tratamentos (6 níveis de substituição, 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de óleo de subprodutos de peixe) e 3 repetições.

Durante o período experimental, foi aferido a temperatura, o oxigênio dissolvido, o pH e a condutividade elétrica, três vezes por semana com uso de aparelho multiparâmetro digital (AKSO[®], modelo AK88, São Leopoldo, RS, Brasil). Uma vez por semana, a amônia e o nitrito foram mensurados pelo método colorimétrico com os reagentes do Spectro Kit da marca Alfakit[®] (Florianópolis, SC, Brasil). A amônia total (mg/L de N-NH₃) foi mensurada pelo método azul de indofenol, comprimento de onda 630 nm, e o nitrito (mg/L de N-NO₂) pelo método NTD

(Nitrogênio Total Dissolvido), comprimento de onda 535 nm. As leituras foram realizadas no fotolorímetro (AT 10P, Alfakit[®], Florianópolis, SC, BR). Os valores de temperatura ($28,53 \pm 0,05$ °C), oxigênio dissolvido ($6,87 \pm 0,12$ mg/L), pH ($6,2 \pm 0,04$), condutividade elétrica ($160,29 \pm 0,52$ µS/cm), amônia ($0,2 \pm 0,03$ mg/L) e o nitrito ($0,1 \pm 0,01$ mg/L), durante todo o período experimental permaneceram dentro do recomendado para a criação de tambaqui. A qualidade da água esteve dentro do recomendado para piscicultura (BALDISSEROTO, 2002; CAVERO *et al.*, 2009).

As dietas experimentais foram isoproteicas e isoenergéticas (30% PB; 3600 Kcal EB), com uso de 6% de teor lipídico (óleo de soja) como base (plano nutricional controle) para substituição os princípios éticos estabelecidos pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA).

2.2. *Aclimação dos peixes*

Os peixes foram aclimatados às condições experimentais por sete dias, em caixas circulares de polietileno com volume útil de 310 L, com renovação de água e aeração constante até observar a retomada da sua atividade normal de alimentação.

Para análise biométrica inicial, a alimentação dos peixes foi suspensa por 24 horas. Os peixes foram separados em lotes homogêneos, quanto a peso e comprimento, nas unidades experimentais. Posteriormente, os animais foram alimentados com dieta experimental controle (30% PB) até a saciedade aparente durante dois dias para aclimação, iniciando o experimento no dia seguinte.

2.3. *Obtenção do óleo de subprodutos de peixes e processamento de obtenção na indústria*

O óleo de subprodutos de peixes (OSP) é proveniente de um frigorífico localizado no município de Itacoatiara, Amazonas. Para fins de caracterização, este óleo é produto da fabricação da farinha de pescado que foi oriunda do processamento dos subprodutos coletados após o beneficiamento. Neste processo, os subprodutos (cabeça, estrutura óssea, nadadeiras, resíduo tecidual e visceral) são selecionados, lavados, coletados em monoblocos, triturados e conduzido ao digestor para cocção. O produto cozido é desidratado e desengordurado através da centrifugação.

O óleo foi acondicionado em recipiente apropriado, transportado até o Setor de Aquicultura do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, e incluído na fabricação das dietas experimentais.

2.4. Dietas experimentais

As dietas experimentais foram confeccionadas na fábrica de rações do Setor de Aquicultura do INPA. Estas foram formuladas (Tabela 1) com base em pesquisas com exigências para juvenis peixes onívoros e utilizando o programa de formulação de rações SuperCrac (versão 6.2 Premium da TD Software, Viçosa-MG). As dietas tiveram a substituição de óleo de soja por óleo de subprodutos de peixes (0%; 20%; 40%; 60%; 80%; 100%) e os demais ingredientes que compõe as dietas. Na etapa de fabricação, as dietas foram moídas, misturadas e homogeneizadas, sendo adicionadas a 10% de água e extrusadas utilizando uma extrusora semi-industrial. Pellets de 1,5 a 2,5mm foram secos em estufa de circulação forçada (45°C por 24 horas) e armazenadas em potes plásticos identificados.

Tabela 1 - Formulação e composição nutricional das dietas com níveis crescentes de substituição de óleo de soja por óleo de subprodutos de peixes.

Ingrediente (g/kg)	Substituição de OS por OSP					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
Farelo de soja	418,20	418,20	418,20	418,20	418,20	418,20
Milho grão	319,60	319,60	319,60	319,60	319,60	319,60
Farelo de trigo	181,80	181,80	181,80	181,80	181,80	181,80
Óleo de soja	60,00	48,00	36,00	24,00	12,00	0,00
Óleo de subprodutos de peixes	0,00	12,00	24,00	36,00	48,00	60,00
Suplemento vitamínico e mineral ¹	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40	9,40
Fosfato bicálcico	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
L-Lisina	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80
DL-Metionina	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Sal	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
BHT	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Amido (%)	29,04					
Proteína bruta (%)	30,09					
Lipídeos (%)	3,05					
Fibra bruta (%)	5,22					
Matéria mineral (%)	5,22					
Extrato não nitrogenado (%) ²	56,42					

Energia bruta
(kcal/Kg)

4312,7

¹Suplemento vitamínico mineral para peixes, valores por kg da dieta: ácido fólico (250 mg), ácido pantotênico (5000 mg), antioxidante (600 mg), biotina (125 mg), cobalto (25 mg), cobre (2000 mg), ferro (13.820 mg), iodo (100 mg), manganês (3750 mg), niacina (5000 mg), selênio (75 mg), vitamina A (1.000.000 UI), vitamina B1 (1250 mg), vitamina B12 (3750 mg), vitamina B2 (2500 mg), vitamina B6 (2485 mg), vitamina C (28.000 mg), vitamina D3 (500.000 UI), vitamina E (28.000 UI), vitamina K3 (500 mg), zinco (17.500 mg).

³Extrativo não nitrogenado calculado = (100 - (proteína bruta + lipídeos + fibra bruta + matéria mineral)).

2.5. Análise de desempenho

No final do experimento, após jejum de 12 horas para o esvaziamento do trato gastrointestinal, os peixes foram coletados e anestesiados com 50mg/L de óleo de cravo (INOUE *et al.*, 2003), para avaliação dos seguintes parâmetros de desempenho:

- Sobrevivência (S, %) = (número de peixes final x 100) / número de peixes inicial;
- Ganho de peso (GP, g) = peso final - peso inicial;
- Comprimento total final (CTF, cm);
- Conversão alimentar aparente (CAA) = alimento ofertado / ganho em peso;
- Taxa de crescimento relativo (TCR, %) = (peso final - Peso inicial) x 100;
- Índice hepatossomático (IHS, %) = peso total do fígado / peso total do peixe.

2.6. Hematologia, bioquímica plasmática e Hepatologia

Um total de 10 peixes de cada tratamento (0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de óleo de subproduto de peixe) foram destinados para a coleta sanguínea e análise dos parâmetros sanguíneos que foram dosados no sangue total (eritrograma) e no plasma sanguíneo (bioquímica do plasma).

As amostras de sangue foram coletadas por meio de punção do vaso caudal utilizando seringas de 3 mL e agulhas hipodérmicas estéreis 22G x 1” (0,70x25mm). Estas amostras foram acondicionadas em microtubos de 1,5 ml com anticoagulante EDTA 10%, sendo mantidas sob refrigeração a 4°C para posterior análise dos parâmetros sanguíneos conforme Ranzani-Paiva *et al.* (2013).

Para o eritrograma foram analisado o Hematócrito (Ht, %), a Hemoglobina (Hb, g/dL), a Contagem de Eritrócitos (RBC, x10⁶ cel/ μ L), o Volume Corpuscular Médio (VCM, fL), a Hemoglobina Corpuscular Média (HCM, pg), e Concentração de Hemoglobina Corpuscular Média (CHCM, g/dL). O Ht foi determinado pelo método de microhematócrito, em tubos capilares heparinizado, centrifugados a 12.000 rpm durante 10 minutos em centrífuga de microhematócrito

(FANEM 241 N). A leitura foi realizada através de cartão padronizado para determinar o volume de sedimentação dos eritrócitos presente no volume de sangue total. A Hb foi avaliada através do método da cianometahemoglobina, com a diluição de 10 µL de sangue em 2,5 mL do reagente de Drabkin, e após homogeneização ficando em repouso por 20 minutos. A leitura foi realizada em espectrofotômetro com comprimento de onda de 540 nm (BEL, modelo V-M5). A RBC foi obtida a partir da diluição de 10 µL de sangue total em 2 ml da solução formol citrato. As células foram contadas em câmara de Neubauer utilizando o microscópio óptico (Leica®, DM 500, Wetzlar, Germany). Os índices hematimétricos VCM, HCM e CHCM foram determinados em fórmulas preestabelecidas a partir dos valores de RBC, Ht e Hb.

Na análise da bioquímica do plasma, realizada após a separação do plasma sanguíneo por centrifugação, foi determinado os níveis de glicose (mg/dL), colesterol (mg/dL), triglicerídeos (mg/dL) e proteínas totais (g/dL) por meio de kits comerciais Labtest® enzimáticos específico para cada constituinte e posterior leitura em aparelho de espectrofotômetro (BEL®, modelo V-M5; Monza, Milano, Itália).

Na verificação da higidez dos animais através da hepatologia, os fígados foram coletados e uma balança com precisão de 0,001g foi utilizada para informação sobre o peso. Os dados foram tabulados e inseridos no cálculo do índice hepatossomático (IHS), de acordo com Grisdale-Helland et al. (2011) e Liebl et al (2021):

$$\bullet \text{ IHS} = (\text{Peso do fígado} / \text{Peso do peixe}) * 100.$$

2.7. *Composição centesimal dos peixes*

Um total de 10 peixes de cada tratamento (0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de óleo de subprodutos de peixes) foram separados e abatidos para análise à composição centesimal (AOAC, 2012). Para preparação das amostras, foram feitas as moagens de músculos dos juvenis de tambaqui em estado íntegro. Após a moagem as amostras foram separadas e pesadas para a obtenção dos valores referentes à porcentagem de umidade, proteína bruta, lipídeos e cinzas. O teor de umidade foi determinado inicialmente pela pré-secagem a 65 °C durante 72 horas e posterior secagem definitiva a 105°C durante 12 horas até peso constante. A proteína bruta foi determinada pelo método de Kjeldahl ($N \times 6,25\%$), os lipídeos por extração de éter etílico e as cinzas por aquecimento em forno tipo mufla a 450 °C durante 24h.

2.8. Viabilidade econômica

Para a análise de viabilidade econômica, foram usados os resultados obtidos no desempenho produtivo dos peixes em cada tratamento analisados segundo a metodologia proposta por Matsunaga *et al.* (1976), Shang (1990) e Coutinho *et al.* (2018). Para determinação do preço da ração e dos custos de produção foram utilizados apenas os valores por quilo das matérias-primas utilizadas e o preço atualizado destas na região no período de realização do experimento. Para o cálculo do custo do óleo dos subprodutos de peixes levou-se em consideração apenas as despesas com transporte e manejo do produto (mão-de-obra), estimando-se o preço por quilo/litro do produto em R\$ 2,30.

Os custos fixos não se alteraram à curto prazo durante o período experimental, sendo constituídos pela depreciação de instalações (energia elétrica, água, tela de galpão dentre outros) e equipamentos, onde os juros sobre o capital fixo não se alteraram em curto prazo e foram considerados constantes em todos os tratamentos. O custo variável considerou apenas as despesas com alimentação dos peixes e mão-de-obra.

O custo alimentar (CA), único custo de produção utilizado como variável foi determinado através da aquisição dos ingredientes e confecção da ração, sendo estimado pela seguinte fórmula:

$$CA = CRA \times PR$$

onde CA = custo com alimentação (R\$), CRA = consumo de ração acumulado (kg) e PR = preço do quilo de ração (R\$/kg).

O custo de produção por kg de pescado foi obtido do quociente do total de kg de pescado produzidos pelo custo total de produção em cada tratamento, neste caso o custo alimentar, pela fórmula:

$$CPP = Q \div CA$$

onde CPP = custo de produção de pescado, Q = quantidade de kg de pescado produzidos, e CA = custo alimentar.

A receita bruta foi obtida a partir do cálculo entre a produção de pescado e o preço de venda por kg do produto, através da fórmula:

$$RB = Q \times PV$$

onde RB = receita bruta (R\$), Q = quantidade de kg de pescado produzidos por unidade, e PV = preço de venda de cada kg de pescado. O preço de venda do pescado, aplicando cálculo de

margem bruta de valor agregado bruto, determinou-se por meio preço praticado na região com o valor fixo de R\$ 8,00.

O lucro bruto (LB) denota do cálculo monetário entre a diferença do total acumulado da venda de kg de pescado com o custo descontado de produção que oriunda do custo com alimentação. A dedução entre a receita bruta e o custo com alimentação foi determinado pela fórmula,

$$LB = RB - CA$$

onde LB = lucro bruto (R\$), RB = receita bruta (R\$) e CA = custo com alimentação (R\$).

Logo, o índice de lucratividade indica a taxa disponível de capital após o pagamento dos custos, no caso custo com alimentação, e é oriundo da relação entre a margem de lucro bruto e a receita bruta, através da fórmula:

$$IL = (LB \div RB) \times 100$$

O índice de conversão econômica (ICE) diz respeito entre a relação produtiva e o resultado econômico obtido, sendo dado pela fórmula:

$$ICE = (CD/PP) * CUSD$$

Onde ICE = índice de conversão econômica (R\$/Kg), CD = consumo da dieta (Kg), PP = produção de peixe (Kg) e CUSD = custo da dieta (R\$).

O ponto de equilíbrio define a quantidade da produção que apresenta retorno zero. No caso, trata-se de ponto de equilíbrio parcial, pois apresenta o volume de produção necessário para cobrir apenas os custos com alimentação. Sendo assim, considerando que a RB é produto da quantidade de kg de pescado produzidos (Q) e o preço de venda cada kg de pescado (PV), e o custo de produção (CP) produto entre a quantidade de ração consumida e o preço da ração conforme o tratamento utilizado, temos a seguinte relação matemática:

$$RB = Q \times PV \text{ e } CP = CRA \times PR$$

logo, o ponto de equilíbrio se estabelece quando: $RB = CP$, onde receita bruta é igual ao custo, ou, pela fórmula a seguir:

$$Q \times PV = CRA \times PR$$

2.10. Análise estatística

Todos os dados foram analisados por Análise de Variância *One-Way* usando o software R[®] (versão 4.1.3). Todos os comandos foram executados de acordo com Logan (2010). Primeiro, o teste de diferença honestamente significativa de Tukey foi usado para testar as diferenças

significativas entre os valores médios. Os resultados foram apresentados como médias e o nível de significância para diferenças foi estabelecido como $p < 0,05$. Em seguida, a regressão linear foi aplicada para analisar a influência da variável independente em cada variável dependente.

3. RESULTADOS

3.1. Desempenho zootécnico

Nos parâmetros de desempenho produtivo avaliados neste estudo, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$), ou seja, o estudo demonstrou não haver influência do nível de substituição de óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes sob ganho de peso e conversão alimentar (Tabelas 2).

Tabela 2. Desempenho de juvenis de tambaqui *Colossoma macropomum* alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes durante 13 semanas.

Variável	Níveis de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes						P valor	CV, %
	0%	20%	40%	60%	80%	100%		
Peso final (g/peixe)	68,78	70,67	76,44	65,87	73,00	71,22	0,62 ^{ns}	9,99
Comprimento total final (cm/peixe)	15,13	15,32	15,55	15,11	15,51	13,34	0,87 ^{ns}	3,19
Ganho de peso (g/peixe)	56,69	60,11	64,73	55,87	62,75	59,78	0,65 ^{ns}	11,40
Conversão alimentar aparente (kg/kg)	1,33	1,50	1,31	1,58	1,52	1,34	0,65 ^{ns}	16,62
Taxa de crescimento relativo (%/dia/peixe)	3,49	3,01	3,38	2,80	2,90	3,27	0,34 ^{ns}	14,21
Sobrevivência (%)	98,33	93,33	96,67	95,00	93,33	93,33	0,64 ^{ns}	4,42

As médias foram analisadas pela ANOVA-one way e pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ns – não significativo. CV – Coeficiente de variação.

3.2. Hematologia, bioquímica plasmática e Hepatologia

Nos parâmetros hematológicos (Tabela 3), os juvenis de tambaqui não apresentaram alterações influência da alimentação, com exceção da contagem de eritrócitos, que apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$). O maior valor para quantidade de eritrócitos (4,68 milhões/ μL)

foi obtido no maior nível de óleo de subprodutos de peixes (100%) utilizado. $Y = -1093,720 + 10,971x_1 + 10,963x_2$, $R^2: 0,13$

OSP – Óleo de subprodutos de peixes (x_1).

³ OS – Óleo de soja (x_2).

Tabela 3. Parâmetros hematológicos de juvenis de tambaqui *Colossoma macropomum* alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes durante 13 semanas.

Variável	Níveis de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes						P-valor	CV, %
	0%	20%	40%	60%	80%	100%		
Hematócrito (%)	37,17	38,00	32,92	33,83	37,58	35,00	0,35 ^{ns}	13,72
Hemoglobina (g/dL)	5,15	5,67	5,91	5,78	5,58	5,84	0,58 ^{ns}	13,38
Eritrócitos (milhões/ μ L)	3,41 ^b	2,91 ^c	3,02 ^b	3,32 ^b	2,53 ^c	4,68 ^a	0,05	4,91
VCM (fL)	121,97	134,02	114,25	119,94	150,34	99,91	0,38 ^{ns}	3,29
HCM (cp)	16,71	20,01	20,83	22,66	22,23	17,16	0,79 ^{ns}	4,30
CHCM (g/dL)	13,89	15,45	18,06	17,45	14,89	16,78	0,12 ^{ns}	18,86

As médias foram analisadas pela ANOVA-one way e pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ns – não significativo. CV – Coeficiente de variação.

Nos parâmetros bioquímicos (Tabelas 4 e 5), os peixes alimentados com dietas contendo 60% de substituição do óleo de soja por óleo de subprodutos de peixes apresentaram elevada ($p=0,04$) concentração de colesterol (180,25 mg/dL), sendo o R^2 de 0,44 pela análise estatística.

Tabela 4. Parâmetros bioquímicos do plasma sanguíneo de juvenis de tambaqui alimentados com rações contendo níveis crescentes de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes durante 13 semanas.

Variável	Níveis de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes						P-valor	CV, %
	0%	20%	40%	60%	80%	100%		
Glicose (mg/dL)	110,60 ^c	114,95 ^c	128,02 ^b	141,40 ^a	133,82 ^b	135,15 ^b	0,01	10,61
Colesterol (mg/dL)	160,12 ^b	177,33 ^b	134,21 ^c	180,25 ^a	140,95 ^c	120,87 ^b	0,04	16,91
Triglicerídeos (mg/dL)	107,04	117,00	111,87	108,96	118,29	114,66	0,09	16,38
Proteínas totais (g/dL)	2,75	2,72	2,71	2,68	2,71	2,53	0,19	5,95

As médias foram analisadas pela ANOVA-one way e pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ns – não significativo. CV – Coeficiente de variação.

Tabela 5. Análise de regressão e colinearidade da substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes em dietas para juvenis de tambaqui *Colossoma macropomum* sobre os parâmetros bioquímicos do plasma sanguíneo.

Variável	Correlação ¹		Modelo matemático ⁴	R ²
	OSP ²	OS ³		
Glicose (mg/dL)	0,71	-0,71	Y = 6804,55 -66,61x ₁ - 66,89x ₂	0,55
Colesterol (mg/dL)	-0,31	0,31	Y = 17845,7 -177,1x ₁ - 176,7x ₂	0,44
Triglicerídeos (mg/dL)	0,10	-0,10	-	-
Proteínas totais (g/dL)	-0,36	0,36	-	-

¹ Correlação - coeficiente de correlação entre as variáveis independentes (níveis de ORP(x₁) e OS(x₂)) com a variável dependente analisada.

² OSP – Óleo de subprodutos de peixes (x₁).

³ OS – Óleo de soja (x₂).

⁴ Modelo matemático ajustado de acordo com a influência da variável independente na variável dependente.

Foi observado uma redução do peso do fígado dos peixes (p<0.05) alimentados com dietas contendo óleo de soja (0,76g), em relação aos peixes alimentados com dietas contendo óleo de subprodutos de peixes, sendo o nível de 60% o que apresentou menor peso do fígado (0,51%). Comportamento semelhante foi observado no índice hepatossomático (IHS; p=0,05), que apresentou maior percentual (3,16%) nos peixes alimentados com dietas contendo óleo de soja, seguido de reduções (R²: 0,31; baixa correlação) nos peixes com níveis de óleo de subprodutos (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6. Parâmetros hepatológicos de juvenis de tambaqui *Colossoma macropomum* alimentados com rações contendo níveis crescentes de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes durante 13 semanas.

Variável	Níveis de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes						P-valor	CV, %
	0%	20%	40%	60%	80%	100%		
Fígado (g)	0,76 ^a	0,56 ^c	0,59 ^c	0,51 ^c	0,58 ^c	0,65 ^b	0,05	10,31
Índice hepatossomático (%)	3,16 ^a	2,64 ^c	2,49 ^c	2,52 ^c	2,85 ^b	2,85 ^b	0,05	14,56

As médias foram analisadas pela ANOVA-one way e pelo teste de Tukey (P<0,05). ns – não significativo. CV – Coeficiente de variação.

Tabela 7. Análise de regressão e colinearidade da substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes em rações para juvenis de tambaqui *C. macropomum* sobre os parâmetros hepatológicos.

Variável	Correlação ¹		Modelo matemático ⁴	R ²
	OSP ²	OS ³		
Fígado (g)	-0,22	0,22	Y = -141,9392 + 1,4246x ₁ + 1,4254x ₂	0,36
Índice hepatossomático (%)	-0,21	0,21	Y = -373,141 + 3,757x ₁ + 3,758x ₂	0,31

¹ Correlação - coeficiente de correlação entre as variáveis independentes (níveis de OSP(x₁) e OS(x₂)) com a variável dependente analisada.

² OSP – Óleo de subprodutos de peixes (x₁).

³ OS – Óleo de Soja (x₂).

⁴ Modelo matemático ajustado de acordo com a influência da variável independente na variável dependente.

3.3. Composição centesimal dos peixes

Na composição centesimal dos peixes, diferenças significativas (p<0,05) para proteína bruta foram observadas para o aumento dos níveis de substituição do óleo de soja por óleo dos subprodutos de peixes (Tabela 8). Para extrato etéreo (lipídios), foi observada uma redução do percentual em relação ao aumento dos níveis de óleo de subprodutos de peixes, sendo o maior e menor, 12,57% e 11,39%

Tabela 8. Composição centesimal (peixe inteiro) de juvenis de tambaqui *Colossoma macropomum* alimentados com dietas contendo níveis crescentes de substituição do óleo de soja pelo óleo subprodutos de peixes durante 13 semanas.

Variável	Níveis de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes						P-valor	CV, %
	0%	20%	40%	60%	80%	100%		
Umidade (%)	57,57	61,46	58,07	56,51	56,86	60,75	0,48 ^{ns}	6,26
Proteínas (%)	20,56 ^c	22,17 ^a	21,86 ^{ab}	21,59 ^b	21,78 ^{ab}	20,72 ^c	0,05	5,59
Lipídios (%)	12,57 ^a	12,08 ^{ab}	11,94 ^b	11,74 ^b	11,63 ^b	11,39 ^c	0,05	9,64
Minerais (%)	9,30	4,29	8,13	10,16	9,73	7,14	0,29 ^{ns}	3,73

As médias foram analisadas pela ANOVA-one way e pelo teste de Tukey (P<0,05). ns – não significativo. CV – Coeficiente de variação.

3.4. Viabilidade econômica

Os resultados da análise econômica (Tabelas 9) não apresentaram diferenças significativas ($p>0,05$).

Tabela 9. Análise econômica de juvenis de tambaqui *C. macropomum* alimentados com rações contendo níveis crescentes de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes durante 13 semanas.

Variável*	Níveis de substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes						P-valor	CV, %
	0%	20%	40%	60%	80%	100%		
Preço da ração, R\$/kg	2,08	2,01	1,94	1,87	1,80	1,72	-	-
Consumo total de ração (kg)	1,48	1,80	1,71	1,78	1,95	1,61	0,81 ^{ns}	12,70
Produção total de pescado (kg)	1,37	1,41	1,53	1,32	1,46	1,42	0,62 ^{ns}	9,99
Custo alimentar (kg)	3,08	2,12	1,95	1,96	2,02	1,65	0,81 ^{ns}	11,89
Custo de produção (R\$/kg)	2,28	2,56	2,14	2,51	2,36	1,94	0,52 ^{ns}	8,28
Receita bruta (R\$)	11,00	11,31	12,23	10,54	11,68	11,39	0,63 ^{ns}	9,99
Lucro bruto (R\$)	7,92	7,69	8,92	7,21	8,18	8,61	0,29 ^{ns}	11,95
Índice de lucratividade (%)	71,48	67,98	73,13	68,58	70,51	75,72	0,52 ^{ns}	7,38
Índice de conversão econômica (R\$/Kg)	2,28	2,56	2,15	2,51	2,36	1,94	0,52 ^{ns}	8,79
Ponto de equilíbrio (kg)	0,38	0,45	0,41	0,41	0,44	0,35	0,52 ^{ns}	11,89

As médias foram analisadas pela ANOVA-one way e pelo teste de Tukey ($P<0,05$). ns – não significativo. CV – Coeficiente de variação. Cálculos considerando lotes médios de 20 peixes.

4. DISCUSSÃO

4.1. Desempenho zootécnico

De forma descritiva, os dados de desempenho produtivo apontam que as maiores concentrações de óleo de subprodutos de peixes na dieta mantiveram, em média, o crescimento dos juvenis de tambaqui, o que poderia indicar que a energia que seria usada para o crescimento foi usada para esta finalidade. Apesar disso, peixes alimentados com 100% de óleo de subprodutos de peixes apresentaram uma performance de crescimento menor àquela verificada para os peixes alimentados com dietas apenas com óleo de soja.

Esses resultados diferem daqueles verificados por Chung et al. (2021) que, ao analisarem os efeitos do óleo essencial de gengibre sobre o desempenho de juvenis de tambaqui, verificaram efeito linear negativo para peso final, ganho de peso e comprimento total. Outrora, esses resultados corroboram com Trushenski et al. (2011), que verificaram que o óleo de soja pode substituir parcialmente o óleo de peixe em rações para *Rachycentron canadum* sem afetar o desempenho, porém alterando significativamente o perfil de ácidos graxos.

Quando analisamos esses estudos de acordo com os estágios de vida dos peixes, por exemplo, Abedian e Naderi (2015) relataram que o óleo de peixe pode ser completamente substituído pelo óleo de soja em dietas para larvas. No entanto, para juvenis, como utilizado neste estudo, Silva Junior et al. (2011) recomendaram essa substituição apenas até 50%. É importante mencionar também que quase estudos encontrados avaliaram peixes em estágio final de crescimento ou em terminação, demonstrando claramente uma tendência destes em utilizar a inclusão de óleo nas dietas como uma ferramenta para terminar rapidamente a carcaça dos peixes para que eles atinjam rapidamente o mercado consumidor.

Entretanto, a maioria das recomendações desses estudos relacionadas à substituição do óleo de peixe por óleo de soja em dietas para peixes apontou uma substituição parcial com níveis entre 20 a 80% como o ideal, independentemente da idade, com o nível recomendado como sendo de 50%. Esta recomendação é baseada especialmente nos resultados de desempenho (TRUSHENSKI et al., 2013a; NOORDIN et al., 2015; GONZALEZ-FELIX et al., 2016; LI et al., 2016) e o efeitos desta substituição na qualidade da carcaça, rendimento de carcaça, perfil de conteúdo lipídico da carne do peixe (TRUSHENSKI et al., 2011; TRUSHENSKI et al., 2013b; YU et al., 2017), e fisiologia (FIGUEIREDO-SILVA et al., 2005; YU et al., 2017).

4.2. Hematologia, bioquímica plasmática e Hepatologia

4.2.1. Hematologia

Hematócrito, hemoglobina e eritrócitos, são atuantes no transporte de oxigênio no organismo animal, sendo, juntamente com os índices hematimétricos, importantes na detecção de disfunções orgânicas relacionados a nutrição, tais como a anemia e a eritrocitose (HAN et al., 2012). No estudo atual, os juvenis de tambaqui apresentaram percentuais de hematócrito menores do que 45% (32,92 a 38,00%), o que os coloca numa posição livre de policitemia (aumento de todas as

células sanguíneas; Liebl et al., 2021) e dentro dos valores de referência encontrados por Tavares et al. (2009) para a espécie (26,00 a 38,00%).

Os eritrócitos dos peixes alimentados com até 80% de substituição de óleo de soja por óleo de subprodutos de peixes (2,53 a 3,32 $10^6/\mu\text{L}$), mantiveram-se dentro dos limites esperados para tambaqui (1,25 e 2,96 $10^6/\mu\text{L}$) e do intervalo de referência (1,62 a 3,38 ($10^6/\mu\text{L}$)). No entanto, tanto os peixes alimentados com 100% de OSP quanto os peixes com alimentação isenta de OSP, apresentaram eritrócitos maiores ($p=0,05$) do que os demais níveis, e superiores a referência para tambaqui. Os dados poderiam indicar ocorrência de eritrocitose, que tende a ocorrer em função do estresse, que ocasiona estímulo adrenérgico e induz a contração esplênica do baço (IKEFUTI et al, 2020). Esta sequência contribui para que maior quantidade de eritrócitos seja liberada. A composição da dieta também pode contribuir para esta condição, no entanto, considerando a discrepância entre os níveis afetados (100% de OSP e 100% de OS) e o percentual de sobrevivência de todos os tratamentos, intercorrências durante o manejo dos tanques, estresse durante a colheita de sangue ou estresse por combate a patógenos, podem ser a causa destes resultados.

O teor de hemoglobina dos peixes alimentados com níveis de substituição de OSP (5,15g/dL a 5,91g/dL) ficou abaixo dos valores de referência para tambaqui (6,3g/dL a 13,7g/dL), o que poderia sugerir uma condição anêmica (TAVARES DIAS et al., 2009). Os peixes analisados pesavam entre 68,78 e 76,44g, mas os valores de referência descritos na literatura foram obtidos com tambaquis pesando entre 369,5 e 1,630g. Fatores como a idade e o peso dos peixes, podem influenciar nos parâmetros hematológicos e há uma tendência no aumento da quantidade de hemoglobina em tambaquis à medida que os peixes crescem (CAMARGO et al., 2006; CENTENO et al. 2007). Ademais, os peixes deste estudo não apresentaram características quanto ao desempenho zootécnico que corroborem com tal condição.

Sendo obtidas a partir do teor de hemoglobina, a concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM; g/dL) e a hemoglobina corpuscular média (HCM; cp), também se mantiveram abaixo do que relata a literatura para tambaqui em piscicultura (TAVARES DIAS et al, 2009; LIEBL et al, 2022; COSTA et al, 2022). O volume corpuscular médio (VCM; fL) do sangue analisado esteve dentro do intervalo para tambaqui (VCM: 112,7-192,69fL), com exceção dos peixes do tratamento com 100% de OSP (VCM baixo; 99,91fL) (Tavares et al., 2009).

De modo geral, o VCM e a hemoglobina têm sua quantidade aumentada à medida que os eritrócitos aumentam. Porém, quando há aumento dos eritrócitos e diminuição dos demais índices

hematológicos, como ocorreu no atual estudo, os peixes podem estar em estado de estresse, tendo uma quantidade de oxigênio reduzida momentaneamente (MATOS & MATOS, 1995, EDWARDS et al., 2020). Em outros termos, ocorre uma policitemia transitória por hemoconcentração (MATOS & MATOS, 1995; EDWARDS et al., 2020). O fato pode estar relacionado com o manejo dos peixes durante a colheita de sangue, já que danos como entaves no consumo e na conversão alimentar, não foram refletidos no desempenho dos peixes durante o experimento com dietas.

4.2.2. *Bioquímica plasmática*

A concentração da glicose plasmática em peixes teleósteos é reputada como um biomarcador da condição de estresse fisiológico pois, após uma situação estressora, os glicocorticoides liberados contribuem para aumento da quantidade de glicose na corrente sanguínea (COSTA et al., 2011; RUIZ-JARABO et al., 2020). No estudo atual, as concentrações de glicose (110,60 a 141,40 mg/dL) variaram ($p=0,01$) e estiveram acima dos valores verificados para tambaqui por Silva et al. (2020), Costa et al. (2022) e Copatti et al. (2022). Porém, utilizando dietas para juvenis de tambaqui, Liebl et al., (2021) encontraram concentrações próximas a do atual estudo (102,55 a 156,46 mg/dL), e Aride et al., (2016) encontraram concentrações superiores (Glicose máxima próxima a 190 mg/dL) associando dieta e atividade dos peixes.

No corpo dos peixes, o colesterol é uma forma de armazenamento de energia que indica a condição nutricional e possíveis alterações do metabolismo de lipídeos e lipoproteínas do fígado (WAGNER e CONGLETON, 2004). No atual estudo, a concentração de colesterol plasmático foi influenciada pelo teor de lipídeos das dietas ($p=0,04$), sendo a maior quantidade (180,25 mg/dL) verificada nos peixes alimentados com 60% de inclusão de OSP. Os valores de colesterol encontrados neste estudo estão elevados em relação aos valores encontrados por alguns autores (RIBEIRO et al., 2016; SOUZA et., 2018; SANTOS, et a., 2022) em estudos sobre nutrição de tambaqui. Porém, os resultados (133,55 a 208,08 mg/dL) encontrados por Silva et al., (2020) se aproximam dos resultados da atual pesquisa.

Apesar das concentrações de colesterol e glicose plasmática estarem aumentadas em relação a maioria das literaturas verificadas, sugerindo estresse dos peixes, a conjuntura na bioquímica plasmática não foi corroborada pelo desempenho zootécnico. O nível (60% de OSP) com maior concentração de colesterol e de glicose foi também o nível com melhor conversão alimentar aparente.

4.2.3. Hepatologia

O peso no peso do fígado pode ser resultado de condições como o acúmulo de lipídios nos hepatócitos (esteatose hepática) e a degeneração hidrópica, que podem ter origem na nutrição dos peixes (MORAES et al., 2018; LIEBL et al., 2021)

Na avaliação dos parâmetros hepatológicos, o peso do fígado (g; $p=0,05$) e o índice hepatossomático (%; $p=0,05$) foram menores nos peixes alimentados com níveis de OSP (20 a 100%). Desta forma, fica evidenciado a contribuição do OSP no equilíbrio metabólico energético dos juvenis de tambaqui.

4.3. Composição centesimal dos peixes

A inclusão de níveis crescentes do OSP ($p=0,05$) resultou em menor deposição de gordura na carcaça dos juvenis de tambaqui, o que pode favorecer a melhor qualidade do produto em características como preservação e sabor.

A composição química do peixe varia de 24,0% para proteínas, 70,0 a 85,0% para umidade, e 15,0 a 1,0 e 2,0% para minerais, e pode ser alterada entre espécies ou dentro de uma mesma espécie, sendo tais alterações induzidas pela idade, tipo de cultivo, porção corporal e teor da dieta (ARBELÁEZ-ROJAS et al. 2002; LIEBL et al., 2022). Os níveis de OSP adicionados nas dietas (20, 40, 60, 80 e 100%) propiciaram aumento ($p=0,05$) na deposição de proteína na carcaça dos juvenis de tambaqui analisados, o que mostra uma boa assimilação da dieta.

Nos tratamentos com dietas do atual estudo, a concentração de umidade da carcaça esteve baixa e a dos minerais, alta, ainda que não tenham sido influenciadas pelas dietas ($p>0,05$). A baixa umidade favorece a preservação do produto, e a alta quantidade de minerais favorece a absorção de nutrientes. Ao se associarem com a composição aminoacídica intestinal, os minerais tendem a aumentar a absorção de nutrientes, o que propicia o transporte dos através das mucosas e previne a formação de compostos insolúveis que gerem fatores antinutricionais (LIEBL et al., 2022). No entanto, o resultado do atual estudo pode estar relacionado com a condução das análises laboratoriais. Como consequência, o teor de umidade pode ter influenciado a evidenciação dos minerais.

4.4. Viabilidade econômica

Neste estudo, a substituição do óleo de soja pelo óleo de subprodutos de peixes não afetou significativamente a viabilidade econômica da atividade produtiva proposta ($p > 0,05$). De forma abrangente, isso implicaria que tanto o uso do óleo de soja quanto do óleo de subprodutos de peixes estatisticamente traria um retorno econômico similar na produção dos juvenis de tambaqui.

Quando analisamos os estudos que apresentaram uma recomendação para a substituição total do óleo de peixe pelo óleo de soja, geralmente, os autores fazem uma série de reservas sobre os possíveis efeitos adversos, mesmo os resultados indicando incrementos no desempenho, qualidade da carcaça ou outras variáveis analisadas (RØRÅ et al., 2003; RØRÅ et al., 2005; SUJA et al., 2012). Entretanto, quase sempre não consideram a viabilidade econômica.

Mesmo assim, alguns estudos que apresentam comportamento semelhante aos resultados deste estudo sobre o uso de óleo de peixe e óleo de soja em dietas para peixes (SUJA et al., 2012), com o aspecto econômico sendo “o fiel da balança” entre a escolha de um ou de outro (BAIRAGI et al., 2016). Esses contrapontos nas recomendações sobre o uso do óleo de peixe em dietas para peixes ou sua substituição por óleos vegetais indicam que ainda não existe um substituto que possa efetivamente desempenhar o mesmo papel nas dietas sem que haja perdas ou reservas significativas relacionadas a efeitos adversos.

Com relação aos custos da atividade piscícola no Amazonas, LIMA et al. (2020) demonstraram que o custo operacional efetivo (COE) do ciclo produtivo foi estimado em US\$ 14.005,82. Os gastos com insumos (US\$ 8.960,49; 63,98%) foi o maior item dentre os custos totais apresentados pelos autores. Neste estudo ainda verificaram que as atuais formas de piscicultura apresentam baixa eficiência econômica no Amazonas, sendo, o elevado investimento em infra-estruturas, a dimensão e a utilização ineficiente da área disponível na definição da escala de produção do empreendimento identificado, e a combinação desfavorável do elevado preço da ração e do baixo preço do pescado não projetam confiança no potencial para obter retornos financeiros da atividade no curto e médio prazo, os principais fatores de impactos na produção de tambaqui que foram observados.

Assim, a aplicação de medidas que visam a redução dos custos de produção, como a utilização de tecnologias modernas produzidas através de pesquisas científicas, nas pisciculturas de tambaqui podem ser algumas soluções para melhorar a produtividade da atividade e, conseqüentemente, garantir a sustentabilidade deste setor produtivo (LIMA et al. 2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A substituição do OS por OSP pode ser feita em até 60% da formulação de dietas para juvenis de tambaqui, sem proporcionar prejuízos ao desempenho zootécnico e saúde. O uso do OSP favorece o aumento da concentração de proteínas e a diminuição da quantidade de lipídios na carcaça dos peixes.

Os índices econômicos foram similares ao desempenho dos peixes, porém podem ser melhorados com escalonamento da produção de OSP. O nível proposto para substituição obteve resultados positivos em relação ao aspecto econômico, pois tanto o uso do OS quanto do OSP trariam um retorno econômico similar na produção dos juvenis de tambaqui.

Por fim, destaca-se que são necessários novos estudos para entender melhor a ação dos compostos presentes no OSP no desenvolvimento nutricional dessa espécie.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDIAN KENARI, A.; NADERI, M. Effects of enriched Artemiaby fish and soybean oils supplemented with vitamin E on growth performance, lipid peroxidation, lipase activity and fatty acid composition of Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) larvae. **Aquac. Nutr.**, v. 22, p. 382-391, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.12260>.

AOAC - Association of Official Analytical Chemist. Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemist. 19th ed. Washington D.C.: AOAC, 2012.

BROWN, B.A. **Hematology: principles and procedures**. 2nd ed. Philadelphia: Lea e Febiger, 504p, 1976.

ARAÚJO, K. L. G. V. **Avaliação físico-química do óleo de peixe**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

ARRUDA, L.F. **Aproveitamento do resíduo do beneficiamento da Tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) para obtenção de silagem e óleo como subprodutos**. Dissertação

(Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2004.

BAIRAGI, S.; PERRIN, R.; FULGINITI, L.; CLEMENTE, T.; HUNGATE, C.; KEY, G. Economic feasibility of high Omega-3 soybean oil in mariculture diets: a sustainable replacement for fish oil. **Aquac. Econ. Manag.**, v. 21, p. 452-469, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/13657305.2016.1228711>

BORGHESI, R.; HISANO, H.; SUCASAS, L. F. A.; LIMA, L. K. F.; OETTERER, M. **Influência da Nutrição sobre a Qualidade do Pescado: especial referência aos ácidos graxos**. Corumbá, Embrapa Pantanal, p. 21. 2013.

BRELAZ, K.C.B.T.R., *et al.* Viabilidade econômica do óleo do resíduo de pescado na alimentação de poedeiras comerciais leves. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 14, n. 1, 2021.

CHATTERJEE, S.; HADI, A.S. **Regression Analysis by Example**. (4th ed.). New Jersey, US: John Wiley & Sons Ltd, 2006.

CHUNG, S., RIBEIRO, K., TEIXEIRA, D.V., & COPATTI, C.E. (2021). Inclusion of essential oil from ginger in the diet improves physiological parameters of tambaqui juveniles (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture**, 543, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736934>.

COUTINHO, J.J.O.; *et al.* Carbohydrate-to-lipid ratio in extruded diets for Nile tilapia farmed in net cages. **Aquaculture**, v. 497, p. 520-525, 2018.

DORMANN, C.F.; *et al.* Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. **Ecogeg.**, v. 36, p. 27-46, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x7>

DUARTE, C. M. *et al.* Will the oceans help feed humanity? BioScience, **American Institute of Biological Sciences**, v. 59, n. 11, p. 967-976, 2009.

FAO. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. **Towards Blue Transformation**. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>

FAO. The state of world fisheries and aquaculture: Meeting the sustainable development goals, **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2020.

FAO. 2018. **FishStatJ - programa computacional para séries cronológicas de estatísticas da pesca**. Disponível em: <<http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/es>> Acesso em: 17 de novembro de 2018.

FERRAZ, R.B; MACHADO, A.M; NAVARRO, J.C., *et al.* The fatty acid elongation genes *elovl4a* and *elovl4b* are present and functional in the genome of tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol.** 2020;245:110447. doi:10.1016/j.cbpb.2020.110447

FIGUEIREDO-SILVA, A.; ROCHA, E.; DIAS, J.; SILVA, P.; REMA, P.; GOMES, E.; VALENTE, L.M.P. Partial replacement of fish oil by soybean oil on lipid distribution and liver histology in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. **Aquaculture Nut.**, v. 11, p. 147-155, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00337.x>

GOMES, L.C.; SILVA, C.R. Impacto f pond managemente on tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier), production during growth-out phase. **Aquaculture Research**, v.40, p.825-832, 2009.

GUIMARÃES, G. & MARTINS, G.P. Nutritional requirement of two aquacultured fish species, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) and *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818): a mini review. **Journal of Applied Ichthyology**, v.31 (suppl.4), p.57-66, 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa da Pecuária Municipal**, 2020.

INOUE, L.A.K.A.; SANTOS NETO, C.; MORAES, G. Óleo de cravo como anestésico para juvenis de matrinxã *Brycon cephalus* (Gunther, 1869). **Ciência Rural**, v. 33, n. 5, p. 943-947, 2003.

LIMA, C. A. S.; BUSSONS, M. R. F. M.; OLIVEIRA, A. T.; ARIDE, P. H. R.; O SULLIVAN, F. L. A.; PANTOJA-LIMA, J. . Socioeconomic and Profitability Analysis of Tambaqui *Colossoma macropomum* Fish Farming in the State of Amazonas, Brazil. **Aquaculture economics & managemen**, v. 1, p. 1-16, 2020.

LOGAN, M. **Biostatistical design and analysis using R: a practical guide**. New Jersey, US: John Wiley & Sons Ltd, 2010.

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P.F.; TOLEDO, P.D.; DULLEY, R.D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I.A. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, v. 23, p. 123-139, 1976.

NASCIMENTO, M.S. *et al.* Avaliação e caracterização do processo de compostagem de resíduos de peixes. **Revista Pubvet**, v.12, n.11, a217, p.1-7, 2018.

NOORDIN, N.M.; ZENG, C.; SOUTHGATE, P.C.; ROMANO, N. Effects of dietary fish oil to soybean oil ratio on survival, development, and growth of early juveniles of the blue swimmer crab *Portunus pelagicus*. **J. Shellfish Res.**, v. 34, p. 1065-1072, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2983/035.034.0333>

NRC - National Research Council. Nutrient requirements of fish and shrimp. Animal Nutrition Series National Research Council of the National Academies. Washington: The **National Academies Press**, 376p, 2011.

PAULINO, R,R; PEREIRA, R.T; FONTES, T.V. *et al.* Optimal dietary linoleic acid to linolenic acid ratio improved fatty acid profile of the juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture**. 2018;488:9-16. doi:10.1016/j.aquaculture.2018.01.014

PEIXE BR. **Associação Brasileira da Psicicultura**, 2022. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/>> Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

PEREIRA, R. T.; PAULINO, R. R.; DE ALMEIDA, C. A. L.; ROSA, P. V.; ORLANDO, T. M.; FORTES-SILVA, R. Oil sources administered to tambaqui (*Colossoma macropomum*): growth, body composition and effect of masking organoleptic properties and fasting on diet preference. **Applied Animal Behavior Science**, v. 199, p. 103-110, 2018.

PIMENTA, M. E. S. G.; FREATO, T. A.; OLIVEIRA, G. R. Silagem de pescado: uma forma interessante de aproveitamento de resíduos do processamento de peixes. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.5, n. 4, p.592-598, 2008.

RANZANI-PAIVA, M.J.T.; PÁDUA, S.B.; TAVARES-DIAS, M.; EGAMI, M.I. **Métodos para análise hematológica em peixes**. Maringá: EdUEM, 2013.

REGOST, C.; ARZEL, J.; CARDINAL, M.; ROBIN, J.; LAROCHE, M.; KAUSHIK, S.J. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*). **Aquaculture**, v.193, p.291-309, 2001.

RØRÅ, A.M.B.; BIRKELAND, S.; HULTMANN, L.; RUSTAD, T.; SKÅRA, T.; BJERKENG, B. Quality characteristics of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets high in soybean or fish oil as affected by cold-smoking temperature. **LWT - Food Sci. Technol.**, v. 38, p. 201-211, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.06.008>

RØRÅ, A.M.B.; REGOST, C.; LAMPE, J. Liquid holding capacity, texture and fatty acid profile of smoked fillets of Atlantic salmon fed diets containing fish oil or soybean oil. **Food Res. Int.**, v. 36, p. 231-239, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00141-2](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00141-2)

ROSSETTO, J.F.; SIGNOR, A. 2021. Inovações tecnológicas empregadas em coprodutos gerados pelo processamento do pescado. **Pubvet**, v. 15, p. 134.

SARGENT, J.R.; TOCHER, D.R.; BELL, G. The lipids. In: HALVER, J.E. (Ed.). **Fish nutrition**. Washington: Academic Press, p. 181-247, 2002.

SHANG, Y.C. **Aquaculture economic analysis: an introduction**. World Aquaculture Society, 1990.

SILVA JÚNIOR, R.F.; NOVA, W.V.; FARIAS, J.L.; COSTA-BOMFIM, C.N.; TESSER, M.B.; DRUZIAN, J.I.; CORREIA, E.S.; CAVALLI, R.O. Replacement of fish oil by soybean oil in diets for cobia (*Rachycentron canadum*). **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 63, p. 980-987, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352011000400025>

SOUZA, Antonio Fábio Lopes de. **Rendimento, caracterização físico-química e composição de ácidos graxos de peixes siluriformes da Amazônia**. 2016. 195 f. Tese (Doutorado em Ciências Pesqueiras nos Trópicos) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

SUJA, B.; LOCHMANN, R.; SINK, T.; PHILLIPS, H.; CHEN, R. Effect of diets supplemented with soybean, flaxseed, or menhaden fish oil on the growth, feed utilization, immune status, and sensory properties of channel catfish in a recirculating system at 22 °C. **J. Appl. Aquac.**, v. 24, p. 16-31, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/10454438.2012.651418>

TRUSHENSKI, J.; SCHWARZ, M.; LEWIS, H.; LAPORTE, J.; DELBOS, B.; TAKEUCHI, R.; SAMPAIO, L.A. Effect of replacing dietary fish oil with soybean oil on production performance and fillet lipid and fatty acid composition of juvenile cobia *Rachycentron canadum*. **Aquaculture Nut.**, v. 17, p. 437-447, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00779.x>

TRUSHENSKI, J.; WOITEL, F.; SCHWARZ, M.; YAMAMOTO, F. Saturated fatty acids limit the effects of replacing fish oil with soybean oil with or without phospholipid supplementation in feeds for juvenile Cobia. **N. Am. J. Aquac.**, v. 75, p. 316-328, 2013a. DOI: <https://doi.org/10.1080/15222055.2012.713897>

TRUSHENSKI, J.; MULLIGAN, B.; JIRSA, D.; DRAWBRIDGE, M. Sparing fish oil with soybean oil in feeds for white seabass: effects of inclusion rate and soybean oil composition. **N. Am. J. Aquac.**, v. 75, p. 305-315, 2013b. DOI: <https://doi.org/10.1080/15222055.2012.720650>

TURCHINI, G.M., TORSTENSEN, B.E., NG, W. Fish oil replacement in finfish nutrition. **Reviews in Aquaculture**. v.1, p.10-57, 2009.

VAN KAMPEN, E.; ZIJLSTRA, W.G. Standardization of hemoglobinometry. II. The hemiglobincyanide method. **Clinica Chimica Acta**, v. 6, p. 538-544, 1961.

VISENTAINER, J. V.; SALDANHA, T.; BRAGAGNOLO, N.; FRANCO, M. R. B. **Relação entre teores de colesterol em filés de tilápias e níveis de óleo de linhaça na ração. Ciência e tecnologia de alimentos**, v.25, n.2, p.310-314, 2005.

WEN, Z. Y; CHEN, F. Heterotrophic production of eicosapentaenoic acid by microalgae. **Biotechnology advances**, v. 21, n. 4, p. 273-294, 2003.

YU, D.-H.; CHANG, J.-Z.; DONG, G.-F.; LIU, J. Replacement of fish oil with soybean oil in diets for juvenile Chinese sucker (*Myxocyprinus asiaticus*): effects on liver lipid peroxidation and biochemical composition. **Fish Physiol. Biochem.**, v. 43, p. 1413-1420, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0381-0>

11. CONCLUSÃO GERAL

Sabendo da importância da linha de pesquisa em alimentação alternativa para produção animal, os resultados gerados nesta tese são fundamentais para contribuir numa melhor compreensão da ação do ORP na dieta de peixes, visto que são encontrados poucos estudos envolvendo propriamente o ORP suplementado na dieta.

Existe a necessidade para que continuem sendo estimuladas as pesquisas sobre fontes lipídicas em dietas para peixes a fim de encontrar um substituto ideal que desempenhe esse papel sem afetar, principalmente no aspecto negativo, as principais características produtivas envolvidas na piscicultura ou apresentar o mesmo comportamento com uma relação custo benefício melhor,

principalmente utilizando espécies de peixes que sejam nativas do Brasil, como é o caso do tambaqui.