

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste documento será disponibilizado somente a partir de 01/10/2026.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO A PARTIR DE RESÍDUO DE LARANJA
COMO FONTE DE COMPOSTOS BIOATIVOS NO DESEMPENHO E SAÚDE DA
TILÁPIA-DO-NILO

WILLIAM DOS SANTOS XAVIER

Tese apresentada ao Programa
de Pós-graduação em Zootecnia
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor

BOTUCATU – SP

Dezembro de 2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO A PARTIR DE RESÍDUO DE LARANJA
COMO FONTE DE COMPOSTOS BIOATIVOS NO DESEMPENHO E SAÚDE DA
TILÁPIA-DO-NILO

WILLIAM DOS SANTOS XAVIER

Orientadora: Prof^a. Ass. Dra. Margaria Maria Barros
Coorientadores: Prof^a. Adj. Dra. Luciana Francisco Fleuri
Dr. Pedro Luiz Pucci Figueiredo de Carvalho

Tese apresentada ao Programa
de Pós-graduação em Zootecnia
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor

BOTUCATU – SP

Dezembro de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP

BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: MARIA CAROLINA A. CRUZ E SANTOS-CRB 8/10188

Xavier, William dos Santos.

Desenvolvimento de produto a partir de resíduo de laranja como fonte de compostos bioativos no desempenho e saúde da Tilápia-do-Nilo / William dos Santos Xavier. - Botucatu, 2023

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

Orientador: Margarida Maria Barros

Coorientador: Luciana Francisco Fleuri

Coorientador: Pedro Luiz Pucci Figueiredo de Carvalho

Capes: 50400002

1. Alimento Funcional. 2. Laranja. 3. Nutrição.
4. Tilápia-do-Nilo. 5. Sustentabilidade.

Palavras-chave: Aditivo funcional; Fragmento de casca de laranja; Nutrição e saúde; Oreochromis niloticus; Sustentabilidade.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



ATESTADO DE APROVAÇÃO - DEFESA

Atestamos que **WILLIAM DOS SANTOS XAVIER**, RA nº: ZNP190217, RG nº 69.013.287-6, expedido pela SSP/SP, defendeu, no dia 14/11/2023, a tese intitulada **Desenvolvimento de produto a partir de resíduo de laranja como fonte de compostos bioativos no desempenho e saúde da tilápia-do-Nilo**, junto ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia, Curso de Doutorado, tendo sido 'APROVADO'.

Atestamos ainda que a obtenção do título dependerá de homologação pelo Órgão Colegiado competente.

Botucatu, 14 de novembro de 2023

Claudia Cristina Moreci

Cláudia Cristina Moreci
Assistente Administrativo
Seção de Pós-Graduação / FMVZ

BIOGRAFIA DO AUTOR

William dos Santos Xavier, filho de Valdemir Xavier Gomes e Quitéria Maria dos Santos Xavier, nasceu no município de Canhotinho, Pernambuco, no dia 04 de setembro de 1993. Em março de 2012 ingressou no curso de graduação em Zootecnia na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE/UAG concluindo-o em 15 de fevereiro de 2017.

No mesmo ano, ingressou no mestrado em Zootecnia, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, câmpus de Botucatu, concentrando seus estudos na área de Nutrição e Saúde de Peixes. Avaliou a capacidade antioxidante e o desempenho produtivo da tilápia-do-Nilo alimentada com extrato de melão liofilizado. Obteve o título de Mestre no dia 07 de junho de 2019. Publicou artigo de dissertação em periódico *Aquaculture* intitulado “The putative effect of a SOD-rich melon pulp-concentrate on growth performance and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) under heat/dissolved oxygen-induced stress”.

Em agosto de 2019, ingressou no doutorado em Zootecnia, pela mesma instituição, no qual desenvolve projeto de pesquisa nos Laboratórios AquaNutri e Bioprocessos orientado pela Prof^a. Ass. Dra. Margarida Maria Barros e coorientado pela Prof^a. Adj. Dra. Luciana Francisco Fleuri e pelo Dr. Pedro Luiz Pucci Figueiredo de Carvalho. Atualmente, investiga os efeitos de produtos desenvolvidos a partir de resíduos agroindustriais como fonte de biomoléculas na alimentação e saúde da tilápia-do-Nilo.

Aos 14 de novembro de 2023 obteve o título de Doutor em Zootecnia.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,

Quitéria Maria dos Santos Xavier & Valdemir Xavier Gomes, por todo apoio, amor, compreensão e paciência, essa conquista é nossa!

À minha irmã,

Williani dos Santos Xavier, por ser quem você simplesmente é, um ser de muita luz em minha vida!

Às minhas professoras,

Amélia Cândida de Melo & Dinalci de Souza Tenório Ferreira, incentivadoras da minha caminhada científica-acadêmica!

Em especial à,

Tarsila Xavier Gomes da Silva (*in memoriam*) um anjo no céu e na terra!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me permitido que eu continuasse minha jornada e por ter me dado sabedoria e força, mostrando que sou capaz de conquistar os meus objetivos, sempre!

Aos meus pais Quitéria Maria dos Santos Xavier e Valdemir Xavier Gomes, pelo amor, apoio, todos os esforços por eles realizados e por toda sua dedicação. E que mesmo a distante se tornaram presente em todas as minhas conquistas até aqui! A minha irmã Williani dos Santos Xavier, por todo amor e que vibra diante todas as minhas conquistas.

A minha orientadora, Prof^a. Ass. Dra. Margarida Maria Barros, de quem eu tenho muito orgulho e admiração, e que foi uma das minhas motivações para deixar o meu Pernambuco e vir tentar a carreira no interior de São Paulo. Sou muito grato por todo aprendizado como pesquisador/profissional e cidadão; pela confiança depositada, e por toda oportunidade de desenvolver o meu potencial. Minha eterna gratidão à valiosa e privilegiada orientação!

A minha coorientadora, Prof^a. Dra. Luciana Francisco Fleuri, que me recebeu de braços abertos no seu grupo de Pesquisa, desempenhou papel fundamental na coorientação desta tese. Gratidão pela confiança, pelos ensinamentos e por todo suporte. Para mim foi um privilégio poder trabalhar diretamente com uma das maiores pesquisadoras da área de Bioprocessos. Estendo também os meus agradecimentos a sua aluna, Milene Pereira, a qual dividi aflições, medos, e por todo aprendizado, a vocês grandes mulheres, toda minha admiração!!!

Ao meu coorientador, Dr. Pedro Luiz Pucci Figueiredo de Carvalho, grande exemplo de profissional, que mesmo distante nunca mediu esforços para me auxiliar

durante todo o processo da escrita do projeto e desenvolvimento da tese. Meu muito obrigado Pedrão, por tudo sempre!

Aos amigos do grupo AquaNutri, Edgar Rodrigues, Matheus Gardim, Paulo Ito, Laís Alves, Jaime Freitas e Gabriel Alighieri, por todo apoio, compreensão, momentos maravilhosos vividos ao lado de vocês!!! Meu eterno obrigado, sem vocês nada disso seria possível!

Aos colegas e amigos, Igor Simões, Carlos Alves, Jéssica Cruvinel, Dona Margot, Juan Nicolai, Lucas Rodrigues, Fernanda Garcia, Nilton Picco, Samantha Toloto, Denilson Pereira, Lucas Toloto, Carlos Alexandre e Leonardo Nazário pelos bons momentos aqui vividos, por todas nossas conversas, confissões, alegrias, festas, abraços, e momentos que foram eternizados no meu ser!

À coordenação do Programa de Pós-graduação em Zootecnia – PPGZOO, pela minha formação, especificamente a Cláudia Moreci por todo apoio, carinho e conselhos durante meus 6 anos no programa!

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

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processo: 2020/05420-1), pela bolsa concedida.

À Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – UNESP, Câmpus de Botucatu.

Enfim, o meu MUITO OBRIGADO!!!

RESUMO GERAL

Resíduos são fontes diretas de biomoléculas, as quais podem ser obtidas durante a alimentação, ou em processos fermentativos por meio do metabolismo de microrganismos capazes de produzir compostos exógenos como, por exemplo, a partir da fermentação em estado sólido (FES). Assim, a pesquisa teve como objetivo o desenvolvimento de produtos e a obtenção de biomoléculas e compostos bioativos a partir do resíduo de laranja submetidos ou não a FES e precipitação com sulfato de amônio (PSA). O fragmento de casca de laranja (frit) foi submetido aos processos FES e precipitação de proteínas. A precipitação das biomoléculas proteicas do produto fermentado foi realizada utilizando o método de *salting-out* com sulfato de amônio a 60% (PSA60). Quatro métodos de processamento foram testados: FB (frit bruto) submetido a PSA (FB + PSA60), FB submetido a FES (FB + FES), e FB bruto submetido a FES e PAS (FB + FES + PSA60). Após o desenvolvimento, os produtos foram aplicados em dietas de tilápia-do-Nilo. Para isso, foram utilizados 330 tilápias com cerca de $89,6 \pm 1,3$ g de peso inicial distribuídos aleatoriamente em 15 aquários com capacidade de 500L em densidade de 22 peixes/aquário alimentados durante 34 dias com as dietas experimentais. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, dieta basal sem suplementação do FB, dieta basal com suplementação do FB, dieta basal com suplementação do FB + FES, dieta basal com suplementação do FB + PSA60 e dieta basal com suplementação de FB + FES + PSA60, e três repetições. Ao término do período de alimentação foram avaliados os índices de desempenho produtivo. Em seguida um grupo de peixe foi submetido ao desafio por transporte durante 4h e o outro grupo submetido a infecção por *Aeromonas hydrophila* durante 14 dias. Os parâmetros avaliados foram: perfil hematológico, resposta imune e, capacidade antioxidante antes e após os desafios por transporte e infecção por *A. hydrophila*. No momento antes e após o desafio bacteriano foi realizada a expressão dos genes TNF- α e IL-1 β . Os dados foram submetidos à análise de variância, ao nível de 5% de significância. Em caso de diferenças significativas foi realizado o teste de Tukey ($P < 0,05$). A utilização da FES somada a PSA contribuiu para a obtenção de produtos com efeitos promissores, melhorando a digestibilidade dos nutrientes da ração e a saúde das tilápias.

Palavras-chave: Aditivo funcional; fragmento de casca de laranja; nutrição e saúde; *Oreochromis niloticus*; sustentabilidade.

ABSTRACT

Agro-industrial byproducts serve as sources of bioactive molecules that can be optimized by using biotechnological processes, such as solid-state fermentation (SSF). SSF is a feasible microbial fermentation process that can be applied to organic substrates in absence of free water. The products obtained from SSF exhibit higher concentrations of bioactive molecules in comparison to raw agro-industrial byproducts. This study aimed to develop potential aquafeed additives when submitting or not orange-peel fragment (OPF) to SSF using *Aspergillus niger*. Four methods were used to develop the potential aquafeeds: OPF lyophilization, OPF lyophilization with partial purification, SSF of OPF, SSF of OPF with partial purification. Briefly, after SSF, the products were submitted to lyophilization during 48h and partial purification by fractioning following the salting-out method using ammonium sulfate at 60% saturation. The same purification protocol was applied in the lyophilized OPF. Two different groups of male Nile tilapia, one with 150 fish ($130.7\text{g} \pm 48.7$) was randomly distributed in 10, 250 L-aquarium (15 fish /tank) for digestibility trial, and the other group comprised of 330 male Nile tilapia ($89.6\text{g} \pm 1.3\text{g}$) being randomly distributed in 15, 500-L aquarium (22 fish/tank) for a feeding trial to evaluate the health parameters. Both groups were fed diets supplemented by the following products using OPF as subtract: OPF, OPF + PAS60, SSF + OPF, and SSF + OPF + PAS60 with two and three replicates/tank, respectively. The diets were formulated containing 30 % crude protein and 18 MJ kg^{-1} crude energy. The nutritional digestibility for dry matter, crude protein, crude energy, crude lipid and ash was determined after 18 days of feeding and the growth performance was evaluated after 34 days. Two groups of fish from the feeding trial were subjected to transport induced stress (TIS) and bacterial challenge (BC - *Aeromonas hydrophila*). The health parameters evaluated, before and after stress were: hematological profile, non-specific immune activity, antioxidant capacity, and gene expression. The results ($P < 0.05$) showed that OPF + PAS60, SSF + OPF + PAS60 improved the digestibility, non-specific immune responses, antioxidant capacity, and gene expression when subjected to stress conditions.

Keywords: Functional additive; nutrition and health; orange peel fragment; *Oreochromis niloticus*; sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Resposta primária, secundária e terciária dos peixes durante o estresse. Schreck e Tort (2016)..... 20
- Figura 2.** Divisão anatômica da laranja e denominações industriais dos subprodutos e resíduos gerados. Adaptado de Okino-Delgado e Fleuri (2016).....27
- Figura 3.** Propriedades biológicas demonstradas para compostos bioativos encontrados nos resíduos e subprodutos usados como aditivos funcionais para peixes. Adaptado de Leyva-López et al. (2020).....29
- Figura 4.** Fluxograma de utilização dos resíduos agrícolas na aquicultura. Adaptado de Kari et al. (2023).....34

CAPÍTULO 3

- Figura 1.** Taxa de sobrevivência de juvenis de tilápia alimentadas com dietas contendo diferentes produtos desenvolvidos a partir do resíduo de laranja durante após 14 dias de infecção por *A. hydrophila*. CN: Controle Negativo = sem infecção. CP: Controle Positivo = com infecção.....125
- Figura 2.** Expressão relativa do gene TNF- α de juvenis tilápias do Nilo alimentadas com dietas contendo diferentes produtos desenvolvidos a partir do resíduo de laranja antes e após infecção bacteriana. CN: Controle Negativo = sem infecção. CP: Controle Positivo = com infecção.....126
- Figura 3.** Expressão relativa do gene IL-1 β de juvenis tilápias do Nilo alimentadas com dietas contendo diferentes produtos desenvolvidos a partir do resíduo de laranja após 14 dias de infecção por *A. hydrophila*. CN: Controle Negativo = sem infecção. CP: Controle Positivo = com infecção.....127

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Composição químico-bromatológica analisada dos produtos, frit bruto (FB), frit bruto submetido a fermentação em estado sólido (FB + FES), frit bruto submetido a precipitação com sulfato de amônio 60% (FB + PSA60), e frit bruto submetido a fermentação e precipitação com sulfato de amônio 60% (FB + FES + PSA60). 70

Tabela 2. Atividades biológicas e quantificação de biomoléculas dos produtos, frit bruto (FB), frit bruto submetido a fermentação em estado sólido (FB + FES), frit bruto submetido a precipitação com sulfato de amônio 60% (FB + PSA60), e frit bruto submetido a fermentação em estado sólido e precipitação com sulfato de amônio 60% (FB + FES + PSA60). 71

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Formulação das dietas experimentais.....113

Tabela 2. Sequência de primers utilizados na expressão relativa dos genes IL-1 β e TNF- α alvo da tilápia-do-Nilo submetidas a infecção por *A. hydrophila* durante 14 dias.....114

Tabela 3. Coeficiente de digestibilidade (%) das dietas experimentais sob ação dos produtos, frit bruto (FB), frit bruto submetido a fermentação em estado sólido (FB + FES), frit bruto submetido a precipitação com sulfato de amônio 60% (FB + PSA60), e frit bruto submetido a fermentação em estado sólido e precipitação com sulfato de amônio 60% (FB + FES + PSA60).115

Tabela 4. Desempenho produtivo de juvenis de tilápia alimentadas com diferentes produtos desenvolvidos a partir do resíduo de laranja durante 34 dias.....116

Tabela 5. Parâmetros hematológicos de juvenis de tilápia alimentadas com diferentes produtos desenvolvidos a partir do resíduo de laranja durante 34 dias e após transporte durante 4 horas.....117

Tabela 6. Parâmetros bioquímicos de juvenis de tilápia alimentadas com diferentes produtos desenvolvidos a partir do resíduo de laranja durante 34 dias e após transporte durante 4 horas.....	118
Tabela 7. Metabolismo oxidativo dos neutrófilos (mg/mL^{-1}), atividade do sistema complemento (% de hemólise) e atividade da lisozima ($\mu\text{g/mL}^{-1}$) de juvenis de tilápia alimentadas com diferentes produtos desenvolvidos a partir do resíduo de laranja durante 34 dias e após transporte durante 4 horas.....	119
Tabela 8. Atividade das enzimas do sistema antioxidante (SOD, CAT e GPx) e concentração de malondialdeído (MDA) nos fígados de juvenis de tilápia alimentadas com diferentes produtos desenvolvidos a partir do resíduo de laranja durante 34 dias e após transporte durante 4 horas.....	120
Tabela 9. Parâmetros hematológicos de juvenis de tilápia alimentadas com diferentes produtos desenvolvidos a partir do resíduo de laranja durante 34 dias e após 14 dias de infecção por <i>A. hydrophila</i>	121
Tabela 10. Parâmetros bioquímicos de juvenis de tilápia alimentadas com diferentes produtos desenvolvidos a partir do resíduo de laranja durante 34 dias e após 14 dias de infecção por <i>A. hydrophila</i>	122
Tabela 11. Metabolismo oxidativo dos neutrófilos (mg mL^{-1}), atividade do sistema complemento (% de hemólise) e atividade da lisozima ($\mu\text{g/mL}$) de juvenis de tilápia alimentadas com diferentes produtos desenvolvidos a partir do resíduo de laranja durante 34 dias e após 14 dias de infecção por <i>A. hydrophila</i>	123
Tabela 12. Atividade das enzimas do sistema antioxidante (SOD, CAT e GPx) e concentração de malondialdeído (MDA) nos fígados juvenis de tilápia alimentadas com diferentes produtos desenvolvidos a partir do resíduo de laranja durante 34 dias e após 14 dias de infecção por <i>A. hydrophila</i>	124

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

ACTH	Hormônio adrenocorticotrófico
C3	Sistema complemento
CO ₂	Dióxido de carbono
CRFs	Corticotrofinas
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FES	Fermentação em Estado Sólido
NH ₃	Amônia
NH ₄ ⁺	Amônio
αMSH	Hormônio melanócito estimulante
PAS	Precipitação por Sulfato de Amônio
(NH ₄) ₂ SO ₄	Sulfato de amônio
PDA	Potato dextrose agar
B.O.D	Demanda Bioquímica de Oxigênio
NaOH	Hidróxido de sódio
p-NPP	p-nitrofenil palmitato
p-NPB	p-nitrofenil butirato
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
KOH	Hidróxido de potássio
OPF	Orange peel fragment
SOD	Superóxido dismutase
CAT	Catalase
GPx	Glutathione peroxidase
Hb	Hemoglobina
Htc	Hematócrito
VCM	Volume corpuscular médio
CHCM	Concentração de hemoglobina corpuscular média
A:G	Albumina:globulina
NBT	Nitroblue tetrazolium chloride

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

1. Considerações Iniciais.....	17
2. Revisão de Literatura	18
2.1 Estresse e desafios da piscicultura intensiva	18
2.2 Estresse por transporte	21
2.3 Infecção por <i>Aeromonas hydrophila</i>	24
2.4 Produção de resíduos e potencial biotecnológico da laranja.....	26
2.5 Fermentação em Estado Sólido e <i>Aspergillus niger</i>	29
2.6 Produção e valorização dos resíduos agroindustriais	31
2.7 Perspectivas e desafios do uso de resíduos agroindústrias, biomoléculas e compostos bioativos na piscicultura.....	33
2.8 Uso de proteínas e enzimas na nutrição e saúde animal	35
Referências	40

CAPÍTULO 2

ABSTRACT	52
1. Introduction	53
2. Materials and methods	55
2.1 Waste acquisition and standardization.....	55
2.2 Fungal culture slants	55
2.3 Solid-state fermentation (SSF)	56
2.4 Protein precipitation with ammonium sulfate (PAS).....	56
2.5 Lipase activity (E.C. 3.1.1.3).....	57
2.6 Specificities of lipases, palmitate (p-NPP) and butyrate (p-NPB)	57
2.7 Protease activity (E. C. 3.4.21.12)	58
2.8 Total soluble protein.....	59
2.9 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl antioxidant activity (DPPH)	59
2.10 Chemical-bromatological composition.....	60
2.11 Statistical analysis	60
3. Results	60
4. Discussão	61
5. Acknowledgments.....	64

Referências	64
-------------------	----

CAPÍTULO 3

ABSTRACT	73
1. Introduction	74
2. Material e Métodos	76
2.1 Dietas experimentais	77
2.2 Ensaio de digestibilidade	78
2.3 Desempenho produtivo	80
2.4 Infecção por <i>A. hydrophila</i> e estresse por transporte	81
2.5 Perfil hematológico, bioquímico e imunológico	82
2.6 Capacidade antioxidante	85
2.7 Expressão gênica	86
2.8 Análise estatística	87
3. Resultados.....	88
3.1 Ensaio de digestibilidade	88
3.2 Desempenho produtivo	88
3.3 Perfil hematológico e bioquímico antes e após estresse por transporte	88
3.4 Parâmetros imunológicos antes e após estresse por transporte	89
3.5 Capacidade antioxidante e oxidação lipídica antes e após estresse por transporte	89
3.6 Perfil hematológico e bioquímico após infecção por <i>A. hydrophila</i>	90
3.7 Parâmetros imunológicos após infecção por <i>A. hydrophila</i>	91
3.8 Capacidade antioxidante e oxidação lipídica antes e após infecção por <i>A. hydrophila</i>	91
3.9 Expressão gênica (<i>IL-1β</i> e <i>TNF-α</i>) antes e após infecção por <i>A. hydrophila</i>	92
4. Discussão	92
5. Acknowledgments.....	101
Referências	101

CAPÍTULO 4

IMPLICAÇÕES.....	129
------------------	-----

CAPÍTULO 1

Considerações Iniciais

A presente tese está estruturada em quatro capítulos, no **Capítulo I** foi redigido a **Revisão de Literatura** na qual trata-se de uma breve abordagem sobre a utilização de técnicas de bioprocessos e o desenvolvimento de produtos a partir de resíduo agroindustrial, e seus possíveis efeitos na nutrição e saúde de peixes. A necessidade por fontes promissoras no controle e prevenção de doenças na produção de peixes suscitou o interesse do desenvolvimento e da busca por aditivos naturais de baixo custo, sustentáveis, de fácil aquisição e elaboração, sendo o uso de resíduos vegetais alternativa viável, que por sua vez, contribuem para o desenvolvimento sustentável da produção aquícola e da agroindústria. Mecanismos de ação benéfica têm sido propostos para estes aditivos, os quais podem favorecer a absorção e digestão dos nutrientes, modulação imunológica e ação antioxidante. Dentre os aditivos alternativos apresenta-se o fragmento de casca de laranja, resíduo oriundo do processamento do suco de laranja, o qual tem sido investigado quanto a sua composição, caracterização e aplicação em diferentes linhas de pesquisas. Em seguida, são apresentados os **Capítulo II** e **III** que foram redigidos de acordo com as normas do periódico *Aquaculture*. No **Capítulo II**, o resíduo (frit) adquirido após o processamento do suco da laranja foi submetido a técnicas de bioprocessos, e teve por objetivo a obtenção de aditivos funcionais a ser aplicado em dietas para peixes. Já no **Capítulo III** após obtenção dos produtos desenvolvidos no estudo anterior, os aditivos foram utilizados em dietas para juvenis de tilápia-do-Nilo, e teve por objetivo a avaliação dos efeitos no crescimento, utilização dos nutrientes e na saúde. Por fim, no **Capítulo IV** são apresentadas as implicações geradas a partir da utilização dos resíduos, desenvolvimento dos produtos, aplicação e impacto na cadeia da agroindústria e da aquicultura mundial.

2. Revisão de Literatura

2.1 Estresse e desafios da piscicultura intensiva

No sistema de produção intensivo o estresse é fator inerente, caracterizado como a condição em que a homeostase é ameaçada ou perturbada em decorrência da ação de agentes estressores (Wedemeyer e McLeay, 1981), os quais são classificados em agentes físicos (práticas de manejo, transporte, classificação por tamanho, altas densidades), químicos (oscilações de pH e temperatura, baixa saturação do oxigênio, presença de substâncias tóxicas) e de origem biológica (presença de patógenos) (Barton e Iwama, 1991).

A ação desses agentes estressores interfere na saúde, bem-estar e desempenho produtivo dos peixes, tendo como consequências perdas econômicas que gera em torno 84 milhões de dólares por ano (Tavares-Dias e Martins, 2017). A resposta ao estresse é iniciada e controlada por dois sistemas hormonais, os quais levam à liberação de catecolaminas (como adrenalina e noradrenalina e seu precursor dopamina) e de corticosteroides (principalmente cortisol). Juntos regulam os fatores secundários de resposta ao estresse que alteram a distribuição dos recursos necessários, como fontes de energia e oxigênio, para áreas vitais do corpo, além de comprometer o equilíbrio hidromineral e sistema imunológico. O estresse pode ser caracterizado de acordo com as respostas fisiológicas do animal, apresentando-se como resposta primária, secundária e terciária (Pickering, 1981) (Figura 1).

A resposta primária é caracterizada por meio da percepção do agente estressor pelo sistema nervoso central, e envolve a indução de resposta neuroendócrina em cascata na qual inclui a síntese e secreção de catecolaminas e corticosteroides. As catecolaminas,

por sua vez são liberadas e metabolizadas imediatamente após a ocorrência do agente estressante. Esta rápida liberação ocorre devido ao fato das células cromafins serem estimuladas por fibras ganglionares simpáticas. Devido a essa particularidade da curva de liberação das catecolaminas, o parâmetro mais utilizado para avaliar a resposta ao estresse é o cortisol (Wedemeyer, 1969). A cascata neuroendócrina envolve neuropeptídeos conhecidos como fatores liberadores de corticotrofinas (CRFs), os quais são transportados a partir do hipotálamo para a hipófise e estimulam a produção e secreção do hormônio adrenocorticotrófico (ACTH), mediada pelo hormônio melanócito estimulante (α MSH). Este hormônio, é liberado na corrente sanguínea e chega as células inter-renais, na qual estimula a produção de hormônios corticosteroides. Os níveis plasmáticos de ACTH podem se elevar rapidamente após a exposição a um estressor, assim os níveis de cortisol se elevam. Estas interações entre hipotálamo e a liberação de ACTH e de cortisol são reguladas pelo eixo hipotalâmico-hipofisário-inter-renal.

A reação secundária ao estresse, inclui respostas cardiovasculares e respiratórias que aumentam a distribuição de oxigênio, bem como os substratos de energia que são liberados na circulação, também como resultado da resposta ao estresse. Outras alterações fisiológicas que ocorrem são disfunção hidromineral, pois a adrenalina altera os padrões de fluxo sanguíneo branquial e a permeabilidade branquial, os quais favorecem a água que flui em seu gradiente osmótico, para dentro ou para fora do peixe, o qual depende da salinidade ambiental. A reação terciária é caracterizada pelo comprometimento do crescimento, alterações de comportamento e aumento da susceptibilidade a doenças. É neste estágio que as reais perdas na produção de peixes são observadas (Wedemeyer, 1969).

As consequências das reações terciárias ao estresse, podem ser notadas no metabolismo e crescimento dos peixes. Na resposta a estressores crônicos ocorre

acentuada queda no crescimento e menor ganho de peso, isto ocorre devido ao aporte energético da alimentação e das reservas corporais serem mobilizadas pelas alterações fisiológicas provocadas pela resposta ao estresse. Além disso, existe o custo energético associado a manutenção da homeostase. As calorías utilizadas na resposta ao estresse, representam uma porção do balanço energético total, que fica indisponível para as funções como crescimento e reprodução. Em peixes o aumento do cortisol plasmático pode ter efeitos deletérios na reprodução, tais como: supressão da concentração dos andrógenos, testosterona e 11-cetotesterona circulantes em machos, alteração na quantidade e qualidade dos gametas, redução das gônadas tanto masculinas quanto femininas e, diminuição os sítios de ligação para estradiol.

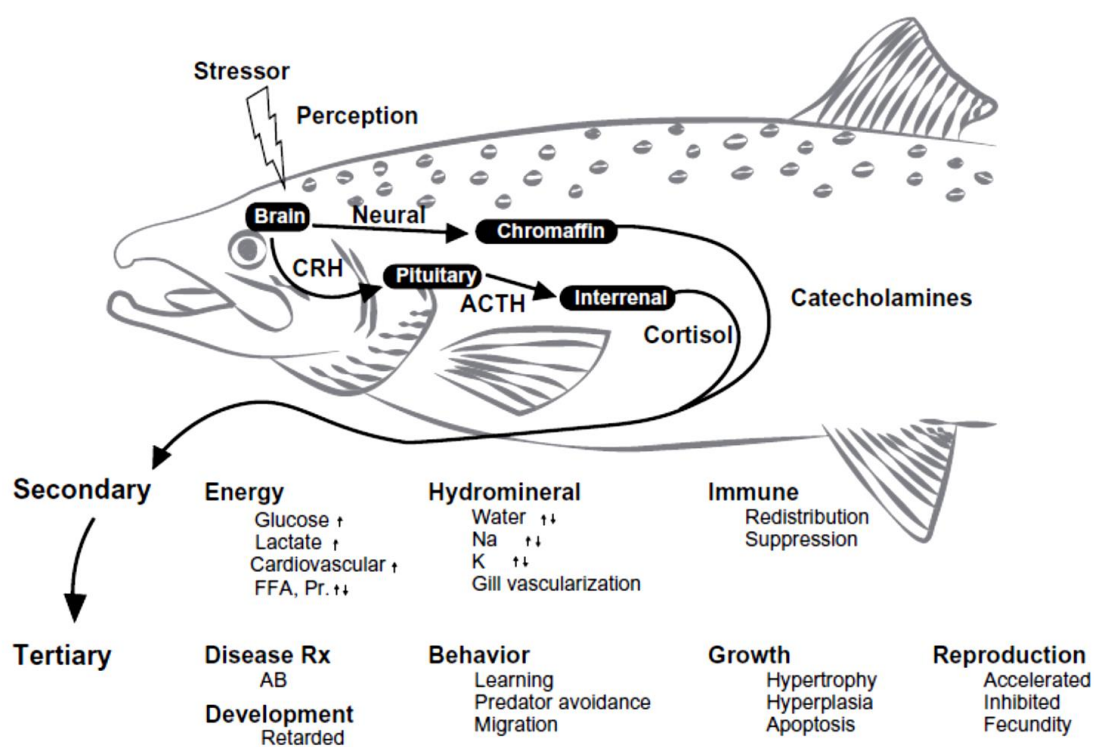


Figura 1. Resposta primária, secundária e terciária dos peixes durante o estresse. Schreck e Tort (2016).

As respostas fisiológicas ligadas ao estresse se baseiam principalmente na maneira pela qual o animal é submetido a esse estímulo, ou seja, os agentes estressores são

responsáveis pelo agravamento do estresse. Dentre os agentes estressores encontrados na piscicultura, o transporte e a infecção por bactérias patogênicas podem resultar em problemas graves para a produção, uma vez que, estão diretamente relacionadas a problemas de manejo realizadas de forma errônea.

Referências

- AIDOO, K. E.; HENDRY, R.; WOOD, B. J. B. Solid substrate fermentations. **Advances in Applied Microbiology**. Academic Press, p. 201-237, 1982.
- ARAÚJO, E. P.; DE CARVALHO, P. L. P. F.; DE FREITAS, J. M. A.; DA SILVA, R. L.; ROCHA, M. K. H. R.; TEIXEIRA, C. P.; BARROS, M. M. Dietary spray-dried plasma enhances the growth performance, villus: crypt ratio and cold-induced stress resistance in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 479, p. 675-681, 2017.
- ATHANÁZIO-HELIODORO, J. C.; OKINO-DELGADO, C. H.; FERNANDES, C. J. D. C.; ZANUTTO, M. R.; PRADO, D. Z. D.; DA SILVA, R. A.; DA SILVA, R. A.; FACANALI, R.; ZAMBUZZI, W. F.; MARQUES, M. O. M.; FLEURI, L. F. Improvement of lipase obtaining system by orange waste-based solid-state fermentation: production, characterization and application. **Preparative Biochemistry and Biotechnology**, v. 48, p. 565-573, 2018.
- BARROS, M. M.; FALCON, D. R.; DE OLIVEIRA ORSI, R.; PEZZATO, L. E.; FERNANDES JR, A. C.; GUIMARÃES, I. G.; FERNANDES JR. A.; PADOVANI, C. R.; SARTORI, M. M. P. Non-specific immune parameters and physiological response of Nile tilapia fed β -glucan and vitamin C for different periods and submitted to stress and bacterial challenge. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 39, p. 188-195, 2014.
- BARTON, B. A.; IWAMA, G. K. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. **Annual Review of Fish Diseases**, v. 1, p. 3-26, 1991.
- BEAZ-HIDALGO, R.; FIGUERAS, M. J. Molecular detection and characterization of furunculosis and other *Aeromonas* fish infections. **Health and Environment in Aquaculture**, p. 97-132, 2012.
- BECKER, A. G.; PARODI, T. V.; HELDWEIN, C. G.; ZEPPENFELD, C. C.; HEINZMANN, B. M.; BALDISSEROTTO, B. Transportation of silver catfish, *Rhamdia quelen*, in water with eugenol and the essential oil of *Lippia alba*. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 38, p. 789-796, 2012.

- BECKER, A. G.; PARODI, T. V.; ZEPPENFELD, C. C.; SALBEGO, J.; CUNHA, M. A.; HELDWEIN, C. G.; BALDISSEROTTO, B. Pre-sedation and transport of *Rhamdia quelen* in water containing essential oil of *Lippia alba*: metabolic and physiological responses. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 42, p. 73-81, 2016.
- BELÉM-COSTA, A.; CYRINO, J. E. P. Antibiotic resistance of *Aeromonas hydrophila* isolated from *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) and *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). **Scientia Agricola**, v. 63, p. 281-284, 2006.
- BELTRÁN, J. M. G.; ESPINOSA, C.; GUARDIOLA, F. A.; ESTEBAN, M. Á. In vitro effects of *Origanum vulgare* leaf extracts on gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) leucocytes, cytotoxic, bactericidal and antioxidant activities. **Fish and Shellfish Immunology**, v. 79, p. 1-10, 2018.
- BEN-OTHTMAN, S.; JÖUDU, I.; BHAT, R. Bioactives from agri-food wastes: Present insights and future challenges. **Molecules**, v. 5, p. 510, 2020.
- BOGUT, I.; HAS-SCHÖN, E.; ČAČIĆ, M.; MILAKOVIĆ, Z.; NOVOSELIĆ, D.; BRKIĆ, S. Linolenic acid supplementation in the diet of European catfish (*Silurus glanis*): Effect on growth and fatty acid composition. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 18, p. 1-6, 2002.
- BONDAD-REANTASO, M. G.; MACKINNON, B., KARUNASAGAR, I., FRIDMAN, S., ALDAY-SANZ, V., BRUN, E., GROUMELLE, M. L., LI, A., SURACHETPONG, W., KARUNASAGAR, I., HAO, B., DALL'OCCO, A., URBANI, R., CAPUTO, A. Review of alternatives to antibiotic use in aquaculture. **Reviews in Aquaculture**, p. 1-31, 2023.
- BOWYER, P. H.; EL-HAROUN, E. R.; SALIM, H. S.; DAVIES, S. J. Benefits of a commercial solid-state fermentation (SSF) product on growth performance, feed efficiency and gut morphology of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed different UK lupin meal cultivars. **Aquaculture**, v. 523, p. 735192, 2020.
- CAPUTO, A.; BONDAD-REANTASO, M. G.; KARUNASAGAR, I.; HAO, B.; GAUNT, P.; VERNER-JEFFREYS, FRIDMAN, S.; D., DORADO-GARCIA, A. Antimicrobial resistance in aquaculture: A global analysis of literature and national action plans. **Reviews in Aquaculture**, 15, 568-578, 2023.

- CARVALHO, L. M. S.; LUZ, M. S.; DA SILVA FREIRE, L.; DE MOURA ROCHA, M. Influência do tratamento térmico frente aos compostos antinutricionais em feijão-caupi. **Nutrivisa Revista de Nutrição e Vigilância em Saúde**, v. 10, p. e10227-e10227, 2023.
- CECCATO-ANTONINI, S. R.; SHIRAHIGUE, L. D.; VARANO, A.; DA SILVA, B. N.; BRIANTI, C. S.; DE AZEVEDO, F. A. Citrus essential oil: would it be feasible as antimicrobial in the bioethanol industry?. **Biotechnology Letters**, v. 45, p. 1-12, 2023.
- CHAUHAN, V.; KANWAR, S. S. Bioactive peptides: Synthesis, functions and biotechnological applications. **Biotechnological Production of Bioactive Compounds**, p. 107-137, 2020.
- CHEN, H. **Modern solid-state fermentation**. Netherlands: Springer, 2013.
- DASH, S. S.; DAS, B. K.; PATTAIK, P.; SAMAL, S. K.; SAHU, S.; GHOSH, S. Biochemical and serological characterization of *Flavobacterium columnare* from freshwater fishes of Eastern India. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 40, p. 236-247, 2009.
- DENT, C. E.; SCHILLING, J. A. Studies on the absorption of proteins: the amino-acid pattern in the portal blood. **Biochemical Journal**, v. 44, p. 318, 1949.
- DREW, M. D.; RACZ, V. J.; GAUTHIER, R.; THIESSEN, D. L. Effect of adding protease to coextruded flax: pea or canola: pea products on nutrient digestibility and growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Animal Feed Science and Technology**, v. 119, p. 117-128, 2005.
- DU, F.; XU, G.; GAO, J.; NIE, Z.; XU, P.; GU, R. Transport-induced changes in hypothalamic–pituitary–interrenal axis gene expression and oxidative stress responses in *Coilia nasus*. **Aquaculture Research**, v. 47, p. 3599-3607, 2016.
- DURAND, A. Bioreactor designs for solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 13, p. 113-125, 2003.
- FEI, H.; LIN, G. D.; ZHENG, C. C.; HUANG, M. M.; QIAN, S. C.; WU, Z. J.; HAN, B. N. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Yarrowia lipolytica* lipase 2 on

immunology and growth performance of Hybrid sturgeon. **Fish and Shellfish Immunology**, v. 82, p. 250-257, 2018.

FERREIRA, P. D. M. F.; ROCHA, J. S.; GOMES, J. R.; CALDAS, D. W.; MARTINS, M. T. S.; DE OLIVEIRA, J. M.; SALARO, A. L.; ZUANON, J. A. S. *Curcuma longa* supplementation in the diet of *Astyanax aff. bimaculatus* in preparation for transport. **Aquaculture Research**, v. 48, p. 4524-4532, 2017.

FLEURI, L. F.; OKINO, C. H.; PEREIRA, M. S.; DA SILVA, J. V. I. PROCESSO PARA OBTENÇÃO DE EXTRATO CONCENTRADO DE LIPASE. 2015, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020150180888, título: "PROCESSO PARA OBTENÇÃO DE EXTRATO CONCENTRADO DE LIPASE", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 29/07/2015.

FREIRE G. D. M.; CASTILHO F. L. Lipases em Biocatálise. In: Bon et al. (org). Enzimas em biotecnologia: **Produção, aplicação e mercado**. **Interciência**, Rio de Janeiro, 369, 2008.

FRERICHS, G. N; MILLAR, S. D. **Manual for the Isolation and Identification of Fish Bacterial Pathogens**. Pisces Press, Stirling, 1993.

GOLOMBIESKI, J. I.; SILVA, L. V. F.; BALDISSEROTTO, B.; DA SILVA, J. H. S. Transport of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fingerlings at different times, load densities, and temperatures. **Aquaculture**, v. 216, p. 95-102, 2003.

GUARDIOLA, F. A.; BAHÍ, A.; JIMÉNEZ-MONREAL, A. M.; MARTÍNEZ-TOMÉ, M.; MURCIA, M. A.; ESTEBAN, M. A. Dietary administration effects of fenugreek seeds on skin mucosal antioxidant and immunity status of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). **Fish and Shellfish Immunology**, v. 75, p. 357-364, 2018.

GUSMÃO, O. R.; FERRAZ, L. M.; RÊGO, A. P. B.; DE ASSIS, F. G. D. V.; LEAL, P. L. Produção de enzimas por *Aspergillus* spp. sob fermentação em estado sólido em casca de café. **Scientia Plena**, v. 10, n. 11, 2014.

HALVER, J. E.; HARDY, R. W. Nutrient flow and retention. **Fish Nutrition** (pp. 755-770). Academic Press. 2003.

- HARMON, T. S. Methods for reducing stressors and maintaining water quality associated with live fish transport in tanks: a review of the basics. **Reviews in Aquaculture**, v. 1, p. 58-66, 2009.
- HAYASHI, C.; BOSCOLO, W. R.; SOARES, C. M.; MEURER, F. Exigência de proteína digestível para larvas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), durante a reversão sexual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, p. 823-828, 2002.
- HUSSAIN, A. I.; ANWAR, F.; SHERAZI, S. T. H.; PRZYBYLSKI, R. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations. **Food Chemistry**, v. 108, p. 986-995, 2008.
- JANNATHULLA, R.; DAYAL, J. S.; AMBASANKAR, K.; MURALIDHAR, M. Effect of *Aspergillus niger* fermented soybean meal and sunflower oil cake on growth, carcass composition and haemolymph indices in *Penaeus vannamei* Boone, 1931. **Aquaculture**, v. 486, p. 1-8, 2018.
- KARI, Z. A.; SUKRI, S. A. M.; RUSLI, N. D.; MAT, K.; MAHMUD, M. B.; ZAKARIA, N. N. A.; WEE, W.; HAMID, N. K. A.; KABIR, M. A.; ARIFF, N. S. N. A.; ABIDIN, S. Z.; ZAKARIA, M. K.; GOH, K. W.; KHOO, M. I.; DOAN, H. V.; TAHILUDDIN, A.; WEI, L. S. Recent advances, challenges, opportunities, product development and sustainability of main agricultural wastes for the aquaculture feed industry – a review. **Annals of Animal Science**, v. 23, p. 25-38, 2023.
- LADANIYA, M. **Citrus fruit—biology, technology and evaluation**. Academic press, 2010.
- LANZA, C. M. CITRUS FRUITS| **Processed and Derived Products of Oranges**. p. 1346-1354, 2003.
- LEYVA-LÓPEZ, N.; LIZÁRRAGA-VELÁZQUEZ, C. E.; HERNÁNDEZ, C.; SÁNCHEZ-GUTIÉRREZ, E. Y. Exploitation of agro-industrial waste as potential source of bioactive compounds for aquaculture. **Foods**, 9, 843, 2020.
- LIM, L. C.; DHERT, P.; SORGELLOOS, P. Recent developments and improvements in ornamental fish packaging systems for air transport. **Aquaculture Research**, v. 34, p. 923-935, 2003.

- LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHIMIDELL, W. **Biotecnologia industrial**. 1ed. São Paulo: Blocher, v. 3, p. 616, 2002.
- LIU, W.; WU, J. P.; LI, Z.; DUAN, Z. Y.; WEN, H. Effects of dietary coated protease on growth performance, feed utilization, nutrient apparent digestibility, intestinal and hepatopancreas structure in juvenile Gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). **Aquaculture Nutrition**, v.24, p.47-55, 2018.
- MAHATO, N.; SINHA, M.; SHARMA, K.; KOTESWARARAO, R.; CHO, M. H. Modern Extraction and Purification Techniques for Obtaining High Purity Food-Grade Bioactive Compounds and Value-Added Co-Products from Citrus Wastes. **Foods**, v. 8, p. 523, 2019.
- MARTINEZ, C. B. R.; CÓLUS, I. M. S. Biomarcadores em peixes neotropicais para o monitoramento da poluição aquática na bacia do rio Tibagi. **A bacia do Rio Tibagi. Editora dos Editores**, p. 551-577, 2002.
- MATEOS, D.; ANGUITA, J.; NAHARRO, G.; PANIAGUA, C. Influence of growth temperature on the production of extracellular virulence factors and pathogenicity of environmental and human strains of *Aeromonas hydrophila*. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 74, p. 111-118, 1993.
- MONTEIRO, M. R. P.; OLIVEIRA, C. T.; SILVA, L. S.; MENDES, F. Q.; SANT'ANA, R. D. C. O. Efeito do tratamento térmico na digestibilidade, solubilidade e índice de atividade de urease em tremço (*Lupinus albus* e *Lupinus angustifolius*). **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 21, p. 487-493, 2010.
- NALIATO, R. F.; CARVALHO, P. L. P. F.; VICENTE, I. S. T.; XAVIER, W. D. S.; GUIMARÃES, M. G.; RODRIGUES, E. J. D.; ITO, P. I.; SARTORI, M. M. P.; BONFIM, F. P. G.; ORSI, R. O.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. Ginger (*Zingiber officinale*) powder improves growth performance and immune response but shows limited antioxidant capacity for Nile tilapia infected with *Aeromonas hydrophila*. **Aquaculture Nutrition**, v. 27, p. 850-864, 2021.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient Requirements of Fishes and Shrimp**. 2011.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger-7**. Artmed Editora, 2018.

- NGUGI, C. C.; OYOO-OKOTH, E.; MUCHIRI, M. Effects of dietary levels of essential oil (EO) extract from bitter lemon (*Citrus limon*) fruit peels on growth, biochemical, haemato-immunological parameters and disease resistance in Juvenile *Labeo victorinus* fingerlings challenged with *Aeromonas hydrophila*. **Aquaculture Research**, v. 48, p. 2253-2265, 2017.
- OKINO-DELGADO, C. H.; FLEURI, L. F. Obtaining Lipases from Byproducts of Orange Juice Processing. **Food Chemistry**, v. 163, p. 103-107, 2014.
- OKINO-DELGADO, C. H.; FLEURI, L. F. Orange and mango by-products: Agro-industrial waste as source of bioactive compounds and botanical versus commercial description-A review. **Food Reviews International**, v. 32, p. 1-14, 2016.
- OSTRENSKY, A.; DAL PONT, G.; WESTPHAL, G. G. C.; PEDRAZZANI, A. S. Use of clove, mint and camphor essential oils on confinement of clown anemonefish *Amphiprion ocellaris* (Cuvier 1830): anesthetic effects and influence on water quality. **Journal of Aquaculture Research & Development**, v. 7, p. 457, 2016.
- PAN, C. H.; CHIEN, Y. H.; WANG, Y. J. Antioxidant defence to ammonia stress of characins (*Hyphessobrycon eques* Steindachner) fed diets supplemented with carotenoids. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, p. 258-266, 2011.
- PAN, C. H.; CHIEN, Y. H.; WANG, Y. J. The antioxidant capacity response to hypoxia stress during transportation of characins (*Hyphessobrycon callistus* Boulenger) fed diets supplemented with carotenoids. **Aquaculture Research**, v. 41, p. 973-981, 2010.
- PANDEY, A.; SELVAKUMAR, P.; SOCCOL, C. R.; NIGAM, P. Solid-state fermentation for the production of industrial enzymes. **Current Science**, p. 149-162, 1999.
- PATERSON, B. D.; RIMMER, M. A.; MEIKLE, G. M.; SEMMENS, G. L. Physiological responses of the Asian sea bass, *Lates calcarifer* to water quality deterioration during simulated live transport: acidosis, red-cell swelling, and levels of ions and ammonia in the plasma. **Aquaculture**, v. 218, p. 717-728, 2003.
- PICKERING, A. D. (ed.). **Stress and Fish**. London: Academic Press. 1981.

- PISOSCHI, A. M.; POP, A. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. **European Journal of Medicinal Chemistry**, v. 97, p. 55-74, 2015.
- POTTINGER, T. G. The stress response in fish-mechanisms, effects and measurement. **Fish Welfare**, p. 32-48, 2008.
- REDDY, G. V.; BABU, P. R.; KOMARAIHAH, P.; ROY, K. R. R. M.; KOTHARI, I. L. Utilization of banana waste for the production of lignolytic and cellulolytic enzymes by solid substrate fermentation using two *Pleurotus* species (*P. ostreatus* and *P. sajor-caju*). **Process Biochemistry**, v. 38, p. 1457-1462, 2003.
- ROSALES, E.; COUTO, S. R.; SANROMÁN, M. A. Reutilisation of food processing wastes for production of relevant metabolites: application to laccase production by *Trametes hirsuta*. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 419-423, 2005.
- RODRIGUEZ GARCIA, S. L.; RAGHAVAN, V. Green extraction techniques from fruit and vegetable waste to obtain bioactive compounds – A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, p. 6446-6466, 2022.
- SALEM, M. E. S.; ABDEL-GHANY, H. M.; SALLAM, A. E.; EL-FEKY, M. M.; ALMISHERFI, H. M. Effects of dietary orange peel on growth performance, antioxidant activity, intestinal microbiota and liver histology of Gilthead sea bream (*Sparus aurata*) larvae. **Aquaculture Nutrition**, v. 25, p. 1087-1097, 2019.
- SAMPAIO, F. D.; FREIRE, C. A. An overview of stress physiology of fish transport: changes in water quality as a function of transport duration. **Fish and Fisheries**, v. 17, p. 1055-1072, 2016.
- SCHIMIDELL, W.; LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. **Biotechnologies Industrial**. 1ed. São Paulo: Blocher, v. 2, p. 554, 2001.
- SCHRECK, C. B. Stress and reproduction: the roles of allostasis and hormesis. **General and Comparative Endocrinology**, v. 165, p. 549–556, 2010.
- SCHRECK, C. B.; TORT, L. The concept of stress in fish. **Fish physiology**. Academic Press, v. 35, p. 1-34. 2016.
- SEBASTIÃO, F. A.; FURLAN, L. R.; HASHIMOTO, D. T.; PILARSKI, F. Identification of bacterial fish pathogens in Brazil by direct colony PCR and 16S rRNA gene sequencing. **Advances in Microbiology**, v. 5, p. 409, 2015.

- SECOMBES, C. J. The nonspecific immune system: cellular defenses. **The Fish Immune System: Organism, Pathogen and Environment**, v. 15, p. 63-103, 1996.
- SENA, A. C.; TEIXEIRA, R. R.; FERREIRA, E. L.; HEINZMANN, B. M.; BALDISSEROTTO, B.; CARON, B. O. SCHMIDT, D.; COUTO, R. D.; COPATTI, C. E. Essential oil from *Lippia alba* has anaesthetic activity and is effective in reducing handling and transport stress in tambacu (*Piaractus mesopotamicus* × *Colossoma macropomum*). **Aquaculture**, v. 465, p. 374-379, 2016.
- SHI, Z.; LI, X. Q.; CHOWDHURY, M. K.; CHEN, J. N.; LENG, X. J. Effects of protease supplementation in low fish meal pelleted and extruded diets on growth, nutrient retention and digestibility of gibel carp, *Carassius auratus gibelio*. **Aquaculture**, v. 460, p. 37-44, 2016.
- SILVA, B. C.; MOURIÑO, J. L. P.; VIEIRA, F. N.; JATOBÁ, A.; SEIFFERT, W. Q.; MARTINS, M. L. Haemorrhagic Septicaemia in the Hybrid Surubim (*Pseudoplatystoma corruscans* × *Pseudoplatystoma fasciatum*) Caused by *Aeromonas hydrophila*. **Aquaculture Research**, v. 43, p. 908-916, 2012.
- SWEETMAN, J. W.; TORRECILLAS, S.; DIMITROGLOU, A.; RIDER, S.; DAVIES, S. J.; IZQUIERDO, M. S. Enhancing the natural defences and barrier protection of aquaculture species. **Aquaculture Research**, v. 41, p. 345-355, 2010.
- TAVARES-DIAS, M.; MARTINS, M. L. An overall estimation of losses caused by diseases in the Brazilian fish farms. **Journal of Parasitic Diseases**, v. 41, p. 913-918, 2017.
- TEIXEIRA, R. R.; DE SOUZA, R. C.; SENA, A. C.; BALDISSEROTTO, B.; HEINZMANN, B. M.; COPATTI, C. E. Essential oil of *Aloysia triphylla* is effective in Nile tilapia transport. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 44, p. 17-24, 2018.
- TOCHER, D. R. Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. **Review in Fisheries Science**, v. 11, p. 107-184, 2003.
- VICENTE, I. S.; FLEURI, L. F.; CARVALHO, P. L.; GUIMARÃES, M. G.; NALIATO, R. F.; MÜLLER, H. D. C.; SARTORI, M. M. P.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. Orange peel fragment improves antioxidant capacity and haematological profile

- of Nile tilapia subjected to heat/dissolved oxygen-induced stress. **Aquaculture Research**, v. 50, p. 80-92, 2019.
- VILLAS-BÔAS, S. G.; ESPOSITO, E.; MITCHELL, D. A. Microbial conversion of lignocellulosic residues for production of animal feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 98, p. 1-12, 2002.
- WEDEMEYER, G. A.; MCLEAY, D. J. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. **Stress and Fish**, p. 295-321, 1981.
- WEDEMEYER, G. Stress-induced ascorbic acid depletion and cortisol production in two salmonid fishes. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 29, n. 3, p. 1247-1251, 1969.
- WONG, H.; SCHOTZ, M. C. The lipase gene family. **Journal of Lipid Research**, v. 43, p. 993-999, 2002.
- YILMAZ, S. Effects of dietary blackberry syrup supplement on growth performance, antioxidant, and immunological responses, and resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* to *Plesiomonas shigelloides*. **Fish and Shellfish Immunology**, v. 84, p. 1125-1133, 2019.
- ZAHRAN, E.; EL-GAWAD, E. A. A.; RISHA, E. Dietary Withania somnifera root confers protective and immunotherapeutic effects against *Aeromonas hydrophila* infection in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish and Shellfish Immunology**, v. 80, p. 641-650, 2018.
- ZANUTTO-ELGUI, M. R.; VIEIRA, J. C. S.; DO PRADO, D. Z.; BUZALAF, M. A. R.; DE MAGALHÃES PADILHA, P.; DE OLIVEIRA, D. E.; FLEURI, L. F. Production of milk peptides with antimicrobial and antioxidant properties through fungal proteases. **Food Chemistry**, v. 278, p. 823-831, 2019.
- ZEPPENFELD, C. C.; TONI, C.; BECKER, A. G.; DOS SANTOS MIRON, D.; PARODI, T. V.; HEINZMANN, B. M.; BARCELLOS, L. J. G.; KOAKOSKI, G.; DA ROSA, J. G. S.; LORO, V. L.; DA CUNHA, M. A.; BALDISSEROTTO, B. Physiological and biochemical responses of silver catfish, *Rhamdia quelen*, after transport in water with essential oil of *Aloysia triphylla* (L'Herit) Britton. **Aquaculture**, v. 418, p. 101-107, 2014.

ZHANG, M.; PAN, L.; FAN, D.; HE, J.; SU, C.; GAO, S.; ZHANG, M. Study of fermented feed by mixed strains and their effects on the survival, growth, digestive enzyme activity and intestinal flora of *Penaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 530, p. 735703, 2021.