

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E
ENGENHARIA DE PESCA

HERIVELTO BECK DE SOUZA

HIDROLISADOS PROTEICOS: DIGESTIBILIDADE APARENTE DOS
NUTRIENTES PARA A TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*)

Toledo

2024

HERIVELTO BECK DE SOUZA

**HIDROLISADOS PROTEICOS: DIGESTIBILIDADE APARENTE DOS
NUTRIENTES PARA A TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Altevir Signor
Coorientadora: Prof. Dra. Débora Machado Fracalossi

Toledo
2024

Beck de Souza, Herivelto

HIDROLISADOS PROTEICOS: DIGESTIBILIDADE APARENTE DOS
NUTRIENTES PARA A TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*) /
Herivelto Beck de Souza; orientador Altevir Signor;
coorientadora Débora Machado Fracalossi. -- Toledo, 2024.

57 p.

Tese (Doutorado Campus de Toledo) -- Universidade Estadual
do Oeste do Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas,
Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia
de Pesca, 2024.

1. Aminoácidos. 2. Aquicultura. 3. Resíduo Industrial. 4.
Nutrição de peixes. I. Signor, Altevir, orient. II. Machado
Fracalossi, Débora, coorient. III. Título.

Dedico a minha mãe, Renilda Beck, que não mediu esforços para me ajudar, me ensinou desde sempre que o esforço vale a pena e que sempre devemos correr atrás dos sonhos. E dedico ao meu amado companheiro André Bertocco, por proporcionar todo apoio em minhas tomadas de decisões e suporte durante essa realização pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Institucionais

Gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos (Processo CNPQ 142147/2020-6). Agradeço o Grupo de Estudos em Manejo na Aquicultura - GEMAQ, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, campus Toledo, a Central Analítica Multiusuário de Medianeira (CEANMED) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus de Medianeira e ao Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LABNUTRI), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pela disponibilização da estrutura laboratorial e técnica para a execução de diferentes etapas experimentais. Agradeço a Brasil Foods S/A (BRF Ingredients) pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do projeto relacionado ao capítulo II do presente trabalho.

Especiais

Agradeço aos envolvidos na idealização e realização do projeto em que o presente trabalho está inserido: ao professor Dr. Altevir Signor, pela concepção da ideia e toda orientação durante o período da pós-graduação e à professora Dra. Débora Machado Fracalossi, pela coorientação e equipe técnica do Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LABNUTRI-UFSC). Ao professor Ilton Baraldi por todo apoio na utilização de equipamentos e parceria interinstitucional entre a UNIOESTE e a UTFPR-Medianeira. Além disso, um agradecimento aos membros do Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura (GEMAQ) que auxiliaram da melhor maneira possível durante a realização dos experimentos, e aos colegas de profissão Leone Medina, Jéssica Nascimento, Tayná Sgnaulin por todo o suporte. Sem vocês, tudo seria mais difícil, obrigado!

Agradeço a vocês membros da banca por contribuírem com o trabalho e no momento da defesa. Ao professor Dr. Altevir Signor, novamente, fica meu carinho e admiração. Ao professor Dr. Aldi Feiden, um divisor de águas para minha vida profissional durante a graduação, em que possui grande influência no meu cargo atual de professor. Ao Dr. Bruno Sosa, um colega de profissão que não tivemos muito contato, no entanto, a sua empatia e generosidade é notável. A Dra. Débora Xavier, uma das responsáveis por eu seguir na carreira acadêmica, sempre promovendo suporte profissional e emocional, você sabe o quanto é especial para mim. E por fim, a professora Dra. Thaís Souto Bignotto, sendo ela a minha orientadora durante a graduação em Engenharia de Pesca, que mostrou os caminhos da

pesquisa e graças a ela eu pude seguir meus próprios passos, obrigado por tanto. Esse momento não seria o mesmo sem vocês.

RESUMO GERAL

O aumento da produção global de proteína animal requer o direcionamento dos resíduos do processamento para fins tecnológicos e sustentáveis. Os resíduos da cadeia do abate de pescados e de aves correspondem a 11% e 30% do seu total, respectivamente, sendo matérias-primas de elevada qualidade nutricional, sendo denominados coprodutos. Soluções biotecnológicas, como o processo hidrolítico, surgem para aproveitamento integral dos nutrientes disponibilizados. O objetivo do estudo foi avaliar os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da proteína (CDAPB), da energia (CDAEB) e dos aminoácidos essenciais e não essenciais de hidrolisados proteicos de pescado (HFP) (Capítulo I) e hidrolisado proteico de frango (PHF) (Capítulo II) por juvenis de tilápia-do-Nilo. O HFP foi obtido a partir da hidrólise enzimática com o uso de alcalase (0,5%) como protease e atomizado pelo método *spray dryer*. O HFP foi produto pela BRF Ingredients e incorporados diferentes substâncias coadjuvantes em sua composição. Analisou-se a composição físico-química (matéria seca – MS; proteína bruta – PB; energia bruta – EB; aminoácidos essenciais; e não essenciais) dos ingredientes testes, das rações e das fezes dos peixes. As dietas experimentais foram compostas por 80% da dieta referência e 20% dos hidrolisados proteicos, sendo o HFP; PHF; PHF com maltodextrina (PHFMalto); PHF com levedura (PHFLevedura); e PHF com amido (PHFAmido). Para o ensaio de digestibilidade aparente, juvenis de tilápia-do-Nilo foram distribuídos aleatoriamente em um sistema com recirculação de água composto por tanques cônicos cilíndricos (500L), adaptados com copo coletor de fezes. Os animais foram alimentados até a saciedade aparente cinco vezes ao dia às 8h, 11h, 13h, 15 e 17h, totalizando 14 dias de coletas de fezes. Seguiu-se o método indireto de coleta de material, utilizando-se 0,1% de óxido de cromo III (Cr_2O_3) como marcador inerte nas dietas. Em relação ao HFP, os valores médios do CDAPB e do CDAEB para o HFP foram 92,90% e 91,59%, respectivamente. O CDA referentes aos aminoácidos essenciais e não essenciais foram todos elevados (> 90%), com exceção do fenilalanina (77,93%). Em relação aos PHFs, os valores médios obtidos PHFMalto (97,85 e 96,24%) e PHFLevedura (98,39 e 97,98%) foram inferiores ao do PHF sem a utilização de coadjuvantes (99,77 e 100,00%), com exceção do CDAEB do PHFAmido (99,27 e 100,00%) ($p < 0,05$). Foram constatadas diferenças significativas entre os CDAs dos diferentes hidrolisados proteicos avaliados ($p < 0,05$) para praticamente todas as frações nutricionais analisadas, exceto para alguns aminoácidos tais como a fenilalanina, valina, ácido glutâmico e cistina ($p > 0,05$). Conclui-se que o HFP apresenta valores elevados das frações nutricionais de interesse para a aquicultura, como o

teor de proteína bruta (92,46%) e o triptofano ($0,71 \text{ g kg}^{-1}$), além de elevadas taxas de digestibilidade aparente para tilápia-do-Nilo. Além disso, conclui-se que a inclusão de substâncias coadjuvantes no PHF apresenta-se como alternativa para a composição deste produto, visto que são disponibilizadas frações nutricionais de interesse para a aquicultura, além de elevadas taxas de digestibilidade aparente para tilápia-do-Nilo.

Palavras-chave: Aminoácidos; Aquicultura; Resíduo Industrial, Nutrição de peixes.

GENERAL ABSTRACT

The increase in global animal protein production requires processing waste for technological and sustainable purposes. Waste from the fish and poultry slaughter chain corresponds to 11% and 30% of the total, respectively, and is a raw material with high nutritional quality and is referred to as co-products. Biotechnological solutions, such as the hydrolytic process, are emerging to fully utilize the nutrients available. The objective of the study was to evaluate the apparent digestibility coefficients (CDA) of protein (CDAPB), energy (CDAEB), and essential and non-essential amino acids of fish protein hydrolysates (HFP) (Chapter I) and chicken protein hydrolysate (PHF) (Chapter II) by juvenile Nile tilapia. The ADC was obtained from enzymatic hydrolysis using alcalase (0.5%) as protease and atomized by the spray dryer method. The PHF was produced by BRF Ingredients and incorporated different adjuvant substances in its composition. The physicochemical composition (dry matter – DM; crude protein – CP; gross energy – GE; essential and non-essential amino acids) of the test ingredients, feed, and fish feces were analyzed. The experimental diets were composed of 80% of the reference diet and 20% of protein hydrolysates, being HFP; PHF; PHF with maltodextrin (PHFMalto); PHF with yeast (PHFLevedura); and PHF with starch (PHFAmido). For the apparent digestibility test, juvenile Nile tilapia were randomly distributed in a system with water recirculation composed of cylindrical conical tanks (500 L), adapted with a feces collection cup. The animals were fed to apparent satiety five times a day at 8:00 a.m., 11:00 a.m., 1:00 p.m., 3:00 p.m., and 5:00 p.m., totaling 14 days of fecal collection. The indirect method of material collection was followed, using 0.1% chromium oxide III (Cr_2O_3) as an inert marker in the diets. Regarding HFP, the average values of CDAPB and CDAEB for HFP were 92.90% and 91.59%, respectively. The CDA for essential and non-essential amino acids were all high (>90%), except phenylalanine (77.93%). Regarding the PHFs, the mean values obtained for PHFMalto (97.85 and 96.24%) and PHFLevedura (98.39 and 97.98%) were lower than those for PHF without the use of adjuvants (99.77 and 100.00%), except the CDAEB of PHFMido (99.27 and 100.00%) ($p < 0.05$). Significant differences were observed between the CDAs of the different protein hydrolysates evaluated ($p < 0.05$) for practically all nutritional fractions analyzed, except for some amino acids such as phenylalanine, valine, glutamic acid and cystine ($p > 0.05$). It is concluded that HFP presents high values of nutritional fractions of interest for aquaculture, such as crude protein content (92.46%) and tryptophan (0.71 g kg⁻¹), in addition to high apparent digestibility rates for Nile tilapia. Furthermore, it is concluded that the inclusion of

adjuvant substances in PHF presents an alternative for the composition of this product, since nutritional fractions of interest for aquaculture are made available, in addition to high apparent digestibility rates for Nile tilapia.

Keywords: Amino acids; Aquaculture; Industrial waste; Fish nutrition.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	7
GENERAL ABSTRACT.....	9
CAPÍTULO I	15
HIDROLISADO PROTEICO DE PESCADO ATOMIZADO: INFORMAÇÕES NUTRICIONAIS PARA DIETAS DE TILÁPIA-DO-NILO (<i>Oreochromis niloticus</i>)	15
RESUMO.....	15
FISH PROTEIN HYDROLYZATE ATOMIZED: NUTRITIONAL INFORMATION FOR NILE TILAPIA (<i>Oreochromis niloticus</i>) DIETS.....	17
ABSTRACT	17
1. INTRODUÇÃO	18
2. METODOLOGIA	19
2.1. Produção e caracterização do hidrolisado proteico de pescado atomizado (HFP)	19
2.2. Composição proximal e de aminoácidos	20
2.3. Determinação do coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) do HFP	21
2.3.1. Dietas experimentais	21
2.3.2. Animais utilizados.....	23
2.3.3. Manejo diário do ensaio de digestibilidade.....	24
2.3.4. Parâmetros de qualidade de água	24
2.3.5. Determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA).....	24
3. RESULTADOS	25
4. DISCUSSÃO.....	26
5. CONCLUSÃO	29
AGRADECIMENTOS	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
CAPÍTULO II.....	35
DIGESTIBILIDADE APARENTE DE HIDROLISADOS PROTEICOS DE AVES COM SUBSTÂNCIAS COADJUVANTES EM RAÇÕES PARA JUVENIS DE TILÁPIA-DO-NILO (<i>Oreochromis niloticus</i>)	35
RESUMO.....	35

APPARENT DIGESTIBILITY OF POULTRY PROTEIN HYDROLYZATES WITH SUPPORTING SUBSTANCES IN FEEDS FOR JUVENILE NILE TILAPIA (<i>Oreochromis niloticus</i>)	37
ABSTRACT	37
1. INTRODUÇÃO	38
2. METODOLOGIA	40
2.1 Dietas experimentais.....	40
2.2 Animais utilizados	43
2.3 Manejo diário do ensaio de digestibilidade	43
2.4 Determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA)	43
2.5 Análises estatísticas	44
3. RESULTADOS	44
4. DISCUSSÃO.....	48
5. CONCLUSÃO	50
AGRADECIMENTOS	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
CONCLUSÃO GERAL	56

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1. Composição do hidrolisado proteico de pescado atomizado (HFP).....	21
Tabela 2. Composição e valores nutricionais da dieta referência e com hidrolisado proteico de pescado (HFP) (valores com base na matéria seca)	22
Tabela 3. Média (desvio padrão) dos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) dos nutrientes e energia dos hidrolisados proteicos de frango (PHF) da BRF Ingredients pela tilápia-do-Nilo (valores com base na matéria seca)	25

Capítulo II

Tabela 1. Composição química dos hidrolisados proteicos de frango produzidos pela BRF Ingredients	41
Tabela 2. Formulação (%) e composição das dietas referência e testes com hidrolisados proteicos de frango (PHF) da BRF Ingredients (valores com base na matéria seca).....	42
Tabela 3. Média (desvio padrão) dos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) dos nutrientes e energia da dieta referência e do hidrolisado proteico de pescado (HFP) pela tilápia-do-Nilo (valores com base na matéria seca)	46

Tese elaborada e formatada conforme as
normas da publicação científica Aquaculture.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/journal/aquaculture/publish/guide-for-authors>

1
2 **CAPÍTULO I**

3 **HIDROLISADO PROTEICO DE PESCADO ATOMIZADO: INFORMAÇÕES**
4 **NUTRICIONAIS PARA DIETAS DE TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis***
5 ***niloticus*)**
6

7 Herivelto Beck de Souza¹; Leone de Souza Medina¹; Tayna Sgnaulin¹; Victor Santos
8 Lira da Nóbrega¹; Débora Oliveira Tatyane Xavier¹; Débora Machado Fracalossi²;
9 Altevir Signor³

10 ¹ Programa de pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, Universidade Estadual do
11 Oeste do Paraná (UNIOESTE), Toledo, Brasil.

12 ² Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina
13 (UFSC), Florianópolis, Brasil.

14 ³ Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE),
15 Toledo, Paraná.

16 Autor correspondente: heriveltobeck1994@gmail.com
17

18 **RESUMO**

19 O aumento da produção global de pescado requer o direcionamento dos resíduos do
20 processamento para fins tecnológicos e sustentáveis. O objetivo do estudo foi elaborar e
21 determinar a composição físico-química de hidrolisados proteicos de carcaça de tilápia-do-
22 Nilo (HFP), bem como avaliar os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da proteína
23 (CDAPB), da energia (CDAEB) e dos aminoácidos essenciais e não essenciais por juvenis de
24 tilápia-do-Nilo, para avaliar a sua aplicação em dietas para peixes. O HFP foi obtido a partir
25 da hidrólise enzimática com o uso de alcalase (0,5%) como protease e atomizado pelo método
26 *spray dryer*. Analisou-se a composição físico-química (matéria seca – MS; proteína bruta –
27 PB; energia bruta – EB; aminoácidos essenciais e não essenciais) do HFP, das rações e das
28 fezes dos peixes. Foram formuladas duas dietas, sendo uma referência e uma com o
29 ingrediente teste, composta por 80,24% da dieta referência e 19,76% de HFP, um ingrediente
30 com elevado teor proteico e de aminoácidos. Para o ensaio de digestibilidade aparente, 160
31 juvenis de tilápia-do-Nilo (255,70 ± 3,80 g) foram distribuídos aleatoriamente em um sistema
32 com recirculação de água composto por oito tanques cônicos cilíndricos (500 L), adaptados
33 com copo coletor de fezes. Os animais foram alimentados por 14 dias até a saciedade aparente
34 com cinco alimentações diárias às 8h, 11h, 13h, 15h e 17h. Seguiu-se o método indireto de
35 coleta material (fezes) utilizando-se 0,1% de óxido de cromo III (Cr₂O₃) como marcador
36 inerte nas dietas. Os valores médios do CDAPB e do CDAEB para o HFP foram 92,90% e

37 91,59%, respectivamente. Os CDA referentes aos aminoácidos essenciais e não essenciais
38 foram todos elevados (> 90%), com exceção daquele para fenilalanina (77,93%). Este estudo
39 demonstra a potencial utilização de hidrolisado proteico de pescado como alimento funcional
40 na nutrição de peixes e sustentabilidade.

41

42 **Palavras-chave:** Aminoácidos; Aquicultura; Carcaça de peixe, Nutrição de peixes.

43 **FISH PROTEIN HYDROLYZATE ATOMIZED: NUTRITIONAL**
44 **INFORMATION FOR NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) DIETS**
45

46 **ABSTRACT**

47 The increase in global fish production requires directing processing residues towards
48 technological and sustainable purposes. The study aimed to develop and determine the
49 physicochemical composition of Nile tilapia carcass protein hydrolysates (HFP) and to
50 evaluate the apparent digestibility coefficients (CDA) of protein (CDAPB), energy (CDAEB),
51 and essential and non-essential amino acids by Nile tilapia juveniles to assess its application
52 in fish diets. The HFP was obtained by enzymatic hydrolysis using alcalase (0.5%) as a
53 protease and spray dried. Physicochemical composition (dry matter – DM; crude protein –
54 CP; gross energy – GE; essential and non-essential amino acids) of the HFP, diets, and fish
55 feces were analyzed. Two diets were formulated, a reference diet and a test diet, consisting of
56 80.24% of the reference diet and 19.76% HFP, an ingredient with high protein and amino acid
57 content. For the apparent digestibility assay, 160 Nile tilapia juveniles (255.70 ± 3.80 g) were
58 randomly distributed in a water recirculation system with eight cylindrical conical tanks (500
59 L) fitted with feces collection cups. The animals were fed to apparent satiety for 14 days, with
60 five daily feedings at 8 a.m., 11 a.m., 1 p.m., 3 p.m., and 5 p.m. The indirect method was
61 followed for fecal material collection using 0.1% chromium oxide III (Cr₂O₃) as an inert
62 marker in the diets. The mean CDAPB and CDAEB values for the HFP were 92.90% and
63 91.59%, respectively. The CDA values for essential and non-essential amino acids were all
64 high (>90%), except for phenylalanine (77.93%). This study demonstrates the potential use of
65 fish protein hydrolysate as a functional food in fish nutrition and sustainability.

66
67 **Keywords:** Amino acids; Aquaculture; Fish carcass, Fish nutrition.
68

69

70

1. INTRODUÇÃO

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

A produção global da pesca e aquicultura atingiu o pico em cerca de 223,2 milhões de toneladas em 2022, sendo que a produção de organismos aquáticos correspondeu a cerca de 83% do total (FAO, 2024). Em relação à aquicultura, a tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) está entre as espécies de peixes mais produzidas mundialmente, com produção de 5,3 milhões de toneladas em 2022 (FAO, 2024). O grande interesse do setor produtivo por esta espécie é reflexo de seu pacote tecnológico bem desenvolvido, incluindo os aspectos nutricionais, relacionados a desempenho produtivo e digestibilidade, com sua capacidade de aceitação de alimentos artificiais a partir de fases iniciais, a resistência ao estresse e doenças, uma ampla faixa de tolerância térmica, com adaptação a elevadas densidades de estocagem e baixas taxas de oxigênio, a capacidade de reprodução em cativeiro, além do grande potencial de aceitação de mercado (Ng & Romano 2013; Mashai et al., 2016; Cardoso et al., 2021).

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

A partir do crescimento da produção global de pescado, surge a demanda por tecnologias sustentáveis que promovam melhorias na produtividade e qualidade nutricional dos alimentos. Os resíduos provenientes da aquicultura correspondem a 11% de todos os organismos aquáticos produzidos, sendo majoritariamente direcionados para elaboração de farinha e óleo de peixe (FAO, 2024). Uma alternativa aos resíduos de peixe, seria seu uso como farinha de resíduos de peixe, a qual apresenta alto valor nutricional, com altos valores de proteína, gordura e energia, e é produzida a partir de cabeça, nadadeiras, pele e vísceras, promovendo o aproveitamento integral do pescado e a redução dos custos na produção animal (Fracalossi et al., 2012). A partir disso, estudos buscam aplicar investigações científicas que possibilitem evoluir nos conhecimentos científicos e tecnológicos direcionados ao setor produtivo em busca de uma produção aquícola sustentável (Hua et al., 2019; FAO, 2024).

94

95

96

97

98

99

100

101

A adequada utilização de resíduos de processamento de pescado, matérias-primas ricas em proteínas, poderia ser alcançada por meio da conversão destes materiais em hidrolisados proteicos de pescado. O processo de hidrólise consiste na digestão prévia de proteínas presentes na matéria-prima pelo processo de hidrólise enzimática, ou seja, realiza-se a adição de proteases, tais como alcalase, flavorzime, papaína, entre outras, em suas condições ótimas de temperatura e pH, ocorrendo a fragmentação da proteína em aminoácidos e peptídeos de baixo peso molecular, possibilitando uma maior absorção dessas partículas pelos peixes (Zaraveze et al., 2009; Hou et al., 2017; Bingtong et al., 2020). Atualmente, os hidrolisados

102 proteicos de pescado representam um alimento alternativo em dietas para peixes, por serem
103 uma excelente fonte de aminoácidos disponíveis, com alta digestibilidade, para diversas
104 funções fisiológicas do corpo animal (Chalamaiah et al., 2012; Siddik et al., 2020).

105 Fatores como biodisponibilidade, particularmente a proteína digestível, aminoácidos
106 disponíveis e energia digestível, são essenciais para uma boa fonte de nutrientes alternativos
107 (Dong et al., 2010). Neste sentido, o conhecimento à cerca da digestibilidade dos ingredientes
108 torna-se uma ferramenta para a inclusão destes em formulações de rações para peixes, bem
109 como minimizar o impacto que alguns dos ingredientes presentes na formulação das rações
110 posam causar sobre o ambiente (Pezzato et al., 2002).

111 Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar nutricionalmente um
112 hidrolisado proteico de pescado (HFP), produzido a partir de coprodutos do processamento
113 industrial de peixes. Além disso, avaliou-se a disponibilidade de nutrientes e aminoácidos, a
114 partir da determinação do coeficiente de digestibilidade aparente (CDA), pela tilápia-do-Nilo
115 alimentadas com dietas contendo HFP.

116

117 **2. METODOLOGIA**

118 2.1. Produção e caracterização do hidrolisado proteico de pescado atomizado (HFP)

119 O HFP foi produzido no Laboratório de Qualidade de Alimentos (LQA), anexo ao
120 Grupo de Estudos em Manejo na Aquicultura (GEMAQ). O presente estudo foi aprovado pelo
121 Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade, conforme Certificado
122 Experimental de Uso de Animais (CEUA/Protocolo N° 45/19). A matéria-prima utilizada no
123 processo foram carcaças de tilápia, resultantes do processamento industrial, provenientes de
124 um entreposto de pescado da região de Toledo/PR. A matéria-prima fresca foi triturada em
125 um triturador mecânico de 5 mm e armazenada a -18°C até ser submetida ao processo de
126 hidrólise enzimática.

127 As carcaças trituradas foram dispostas em um reator de aço inox (5 L) com controle de
128 agitação (3000 rpm) e aquecimento. A temperatura de hidrólise foi de 75°C. Ao atingir a
129 temperatura desejada, foi incorporada a enzima Alcalase® (20%). O produto foi mantido em
130 agitação durante o período de 60 min para a ocorrência da hidrólise enzimática. Após, a
131 reação foi inativada com a elevação da temperatura para 90°C, com manutenção da agitação
132 durante 30 min. Em seguida, o hidrolisado foi reservado por 10 min e a porção líquida foi
133 separada e incorporado antioxidante BHT (0,02%) e antifúngico (0,02%), após isso, o produto

134 foi armazenado em câmara fria a -4°C . O processo de hidrólise enzimática seguiu a
135 metodologia proposta por Hou et al., (2017).

136 A atomização do HFP foi realizada através do método *spray dryer* (MSDi 1.0,
137 Labmaq do Brasil, Ribeirão Preto/SP, Brasil). A pressão de compressão do ar foi de 2–4 Bar,
138 fluxo de ar de 4,5 L/min, bomba peristáltica alimentadora de 0,9 L/h, temperatura da torre de
139 secagem 180°C com bico atomizador de 1 mm de abertura. O material foi coletado do ciclone
140 base em vidro de borossilicato, pesado e estocado a temperatura ambiente até análise e
141 utilização.

142

143 2.2. Composição proximal e de aminoácidos

144 A composição proximal do HFP (Tabela 1), que determina a umidade, conteúdo
145 mineral, proteína bruta e lipídios brutos, foi realizada de acordo com a AOAC (2016). O teor
146 de matéria seca foi calculado em amostras expostas à estufa a 105°C (Tecnal, modelo TE-
147 394/2) até atingirem peso constante. As cinzas foram avaliadas por calcinação a 550°C
148 (TRADELAB, modelo 200D TLA), e o conteúdo lipídico foi avaliado utilizando equipamento
149 de extração (Tecnal modelo TE-044-5/50) com solvente específico (éter de petróleo) para
150 lipídios. A determinação da proteína bruta foi realizada por meio de equipamento analisador
151 de nitrogênio (LECO, modelo FP-628), com digestão oxidativa com oxigênio puro (99,99%).
152 O teor de proteína bruta foi calculado multiplicando-se o teor de nitrogênio encontrado pelo
153 fator de correção 6,25 (Silva e Queiroz, 2002). A energia bruta foi determinada utilizando-se
154 uma bomba calorimétrica (Ika Works, modelo C2000).

155 A análise dos aminoácidos totais, exceto o triptofano, foi realizada por cromatografia
156 líquida de alta pressão (HPLC) em colunas de resina de troca catiônica e derivação pós-coluna
157 com ninidrina, produzindo “púrpura de Ruhemann” (Friedman 2004) e utilizando um
158 autoanalisador UV-VIS em 570 nm. Previamente às análises, as amostras foram hidrolisadas
159 com HCl 6 mol L^{-1} por 22 h a 110°C . O triptofano foi determinado após hidrólise enzimática
160 com Pronase a 40°C por 24 h, seguida de reação colorimétrica com 4-Dimetil-Amino-
161 Benzaldeído em ácido sulfúrico 10,6 mol L^{-1} e utilizando um autoanalisador UV-VIS a 590
162 nm, seguindo método descrito por Landry e Delhaye (1992), no laboratório comercial da
163 CBO Análise Laboratoriais Ltda., localizado na cidade de Valinhos-SP.

164

165

166

167
168

Tabela 1. Composição do hidrolisado proteico de pescado atomizado (HFP)

Parâmetros	HFP
Matéria Seca (g kg ⁻¹) ¹	937.35
Proteína Bruta (g kg ⁻¹) ²	924.60
Lipídeos (g kg ⁻¹) ¹	16.16
Matéria Mineral (g kg ⁻¹) ¹	64.35
Energia Bruta (kJ g ⁻¹) ¹	19.98
<i>Aminoácidos Essenciais (EAA) (g kg⁻¹)³</i>	
Arginina	42.60
Histidina	13.80
Isoleucina	26.20
Leucina	44.10
Lisina	53.60
Metionina	15.70
Fenilalanina	25.60
Treonina	28.30
Triptofano	7.10
Valina	30.60
Total EAA	287.70
<i>Aminoácidos Não Essenciais (NEAA) (g kg⁻¹)³</i>	
Ácido Aspártico	67.40
Ácido Glutâmico	90.50
Alanina	48.70
Cistina	6.50
Glicina	69.60
Prolina	38.90
Serina	26.30
Taurina	9.40
Tirosina	17.70
Hidroxiprolina	19.70
Total NEAA	394.70
Aminoácidos Totais (g kg⁻¹)	682.40

169
170
171
172
173

HFP = Hidrolisado Proteico de Pescado.

¹Valores determinados no Laboratório de Análise de Alimentos (LQA) Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura - GEMAq-Unioeste, Toledo-PR. ²Valor determinado no Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas - LABNUTRI-UFSC. ³Laboratório Comercial (CBO) Análises Laboratoriais Ltda., Valinhos-SP, Brasil).

174
175
176
177
178

2.3. Determinação do coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) do HFP

2.3.1. Dietas experimentais

Foram formuladas duas dietas, sendo uma referência e uma teste, com o hidrolisado proteico de pescado (HFP). A dieta-teste foi formulada e composta por 80,24% da dieta referência e 19,76% de proteína hidrolisada (Tabela 2) de acordo com Cardoso et al. (2021).

179 Os coeficientes de digestibilidade aparente da energia e nutrientes do HFP foram
 180 determinados empregando-se o método indireto, utilizando-se como marcador inerte 0,1% de
 181 óxido de cromo (Bremer Neto et al., 2003).

182 **Tabela 2.** Composição e valores nutricionais da dieta referência e com
 183 hidrolisado proteico de pescado (HFP) (valores com base na matéria seca)

Composição	Diets	
	Referência	HFP
Farelo de Soja	212.2	169.78
Farinha de Peixe	178.3	142.58
Farelo de Trigo	249.6	199.68
Arroz Quirera	50,0	39.99
Milho	297.7	238.17
Premix (min + vit) ¹	5.0	5.0
Cloreto de Colina	1.0	1.0
Vitamina C	1.0	1.0
Antifúngico	1.0	1.0
Antioxidante (BHT)	0.2	0.2
Sal (NaCl)	3.0	3.0
Óxido de Crômio III	1.0	1.0
Hidrolisado Proteico de Pescado (HFP)	-	197.6
<i>Composição físico-química²</i>		
Matéria Seca (g kg ⁻¹)	905.2	903.8
Proteína Bruta (g kg ⁻¹)	305.1	403.8
Energia Bruta (kJ g ⁻¹)	15.56	16.41
Lipídeos (g kg ⁻¹)	46.95	13.9
Matéria Mineral (g kg ⁻¹)	104.17	102.5
<i>Aminoácidos Essenciais (EAA (g kg⁻¹))³</i>		
Arginina	158.70	223.20
Histidina	48.20	77.70
Isoleucina	94.70	134.70
Leucina	194.00	249.50
Lisina	137.40	235.00
Metionina	54.80	66.90
Fenilalanina	218.10	144.60
Treonina	91.90	139.20
Triptofano	*	39.80
Valina	113.2	159.10
<i>Aminoácidos não essenciais (g kg⁻¹))³</i>		
Ácido Aspártico	252.50	338.00
Ácido Glutâmico	206.10	538.70
Alanina	164.30	218.70
Cistina	20.40	41.60

Glicina	204.20	278.40
Prolina	168.00	207.90
Serina	108.60	146.40
Taurina	0.90	21.70
Tirosina	70.50	99.40
Hidroxiprolina	55.69	72.30
Aminoácidos Totais	2208.90	3431.80

184 ¹Valor não calculado. ²Suplemento mineral e vitamínico - Níveis de garantia por quilograma do produto: Vit. A,
185 1.750.000 UI; Vit. D₃, 375.000 UI; Vit. E, 20.000 UI; Vit. K₃, 500 mg; Vit. B₁, 2.000 mg; Vit. B₂, 2.500 mg; Vit. B₆,
186 2.500 mg; Vit. B₁₂, 5.000 mg; Ac. Fólico, 625 mg; Pantotenato Ca, 7.500 mg; Vit. C, 37.500 mg; Biotina, 50 mg;
187 Inositol, 12.500 mg; Niacina, 8.750 mg; Co, 50 mg; Cu, 1.250 mg; Fe, 15.000 mg; I, 100 mg; Mn, 3.750 mg; Se, 7
188 5mg; Zn, 17.500 mg. ³Valores determinados no Laboratório de Análise de Alimentos (LQA) Grupo de Estudos de
189 Manejo na Aquicultura - GEMAQ-Unioeste, Toledo-PR. ³ Laboratório Comercial (CBO Análises Laboratoriais Ltda.,
190 Valinhos-SP, Brasil). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

191

192 Os ingredientes foram triturados individualmente em moinho tipo martelo com
193 peneira de 0,3 mm, pesados e misturados conforme as respectivas quantidades e dietas.
194 A homogeneização das dietas foi realizada manualmente e as mesmas foram
195 umedecidas com 20% de água, peneiradas por quatro vezes sucessivas em malha de 0,5
196 mm a fim de garantir a homogeneidade do óxido de cromo III. O processo de extrusão
197 foi realizado em extrusora (EX Micro[®]) com matriz de 3 mm. Após o processamento
198 das dietas, estas foram secas em estufa de circulação de ar forçado por 12 h a 55°C e na
199 sequência armazenadas em freezer (4°C).

200

201 2.3.2. Animais utilizados

202 Foram utilizados 160 juvenis de tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) com média de peso
203 $255,70 \pm 3,80$ g, distribuídos a partir de um delineamento experimental casualizado (DIC) em
204 8 unidades experimentais, correspondendo a 2 tratamentos (Referência e HFP) com 4 réplicas,
205 em um sistema com recirculação de água de tanques cônicos cilíndricos (500 L), adaptados
206 com copo coletor de fezes e biofiltro (1000 L) providos de aeração constante e controle da
207 temperatura da água.

208

209 2.3.3. Manejo diário do ensaio de digestibilidade

210 Foi realizado um período de adaptação dos animais às dietas e as condições do sistema
211 experimental por sete dias. O manejo diário consistiu na coleta das fezes no período de 14
212 dias às 7 h. Após, os peixes eram alimentados até saciedade aparente cinco vezes ao dia, às 8
213 h, 11 h, 13 h, 15 h e 17 h. A limpeza do sistema foi realizada duas vezes ao dia, após 30 min
214 da primeira e última alimentação, intervalo em que se desligava o sistema de recirculação, e
215 renovados 30% da água do sistema para retirada de material suspenso. O material coletado foi
216 armazenado em recipientes plásticos identificados e acondicionados em freezer a -15°C para
217 posteriores análises.

218

219 2.3.4. Parâmetros de qualidade de água

220 Os parâmetros físicos e químicos da água, como: pH, oxigênio dissolvido e
221 temperatura foram mensurados diariamente, pela manhã e tarde, com o auxílio de uma sonda
222 multiparâmetro (YSI - Professional Plus Multiparameter Water Quality Meter)
223 correspondendo aos valores médios de $6,81 \pm 0,16$; $5,20 \pm 0,15 \text{ mg L}^{-1}$ e $24,71 \pm 0,68^\circ\text{C}$,
224 respectivamente.

225

226 2.3.5. Determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA)

227 Os coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes, proteína bruta e
228 aminoácidos e da energia bruta foram calculados, em triplicata, após a determinação do
229 crômio nas dietas e fezes via espectrofotometria de acordo com Neto et al., (2005).

230
$$CDA_n = 100 - \left[100 \left(\frac{\%Cr_2O_3d}{\%Cr_2O_3f} \times \frac{\%Nf}{\%Nd} \right) \right]$$

231 Em que:

232 CDA_n : coeficiente de digestibilidade aparente do nutriente da dieta;

233 $\%Cr_2O_3d$: % de óxido de crômio na dieta;

234 $\%Cr_2O_3f$: % de óxido de crômio das fezes;

235 $\%Nf$: % de nutriente nas fezes;

236 $\%Nd$: % nutriente na dieta.

237

238
$$CDA(i) = CDA(dt) + (CDA_n(dt) - CDA_n(dr)) * \left[\left(\frac{0,8024 * Ddr}{0,1976 * Ding} \right) \right]$$

239 Em que:

240 $CDA(i)$ = coeficiente de digestibilidade aparente do ingrediente;

241 0,8024 = porcentagem da dieta referência;
 242 $CDA_n(dt)$ = coeficiente de digestibilidade aparente da dieta com ingrediente teste;
 243 0,1976 = porcentagem do ingrediente teste;
 244 $CDA_n(dr)$ = coeficiente de digestibilidade aparente da dieta referência;
 245 D_{dr} = % do nutriente na dieta referência;
 246 D_{ing} = % do nutriente no ingrediente teste.

247

248 3. RESULTADOS

249

250 A partir da composição química do HFP (Tabela 1), observa-se um elevado teor de
 251 cinzas, podendo estar relacionado à quebra de ossos na matéria-prima. A fração proteica do
 252 HFP foi de 924,60 (g kg⁻¹), como contribuição desta característica nutricional, a quantidade de
 253 aminoácidos foi representativa, seguindo padrões nutricionais desta categoria alimentar
 254 (Chalamaiah et al., 2012). Na composição aminoacídica do HFP, observou-se para a
 255 fenilalanina o valor de 25,60 (g kg⁻¹). Tais características nutricionais, influenciaram nos
 256 níveis nutricionais da dieta teste (Tabela 2), em que grande parte dos nutrientes tiveram um
 257 incremento positivo em relação a dieta referência, excetuando-se o aminoácido supracitado.
 258 Os CDA's (Tabela 3) da proteína bruta (PB), energia (EB) e dos aminoácidos do HFP foram
 259 elevados, apresentando somente valores abaixo de 80% para a fenilalanina, um aminoácido
 260 essencial.

261

Tabela 3. Média (desvio padrão) dos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) dos nutrientes e energia da dieta referência e do hidrolisado proteico de pescado (HFP) pela tilápia-do-Nilo (valores com base na matéria seca)

<i>Nutrientes</i>	<u>CDA Referência (%)</u>	<u>CDA HFP (%)</u>
Proteína	75.64 (1.41)	92.90 (3.05)
Energia	53.82 (3.01)	91.59 (0.72)
<i>Aminoácidos Essenciais</i>		
Arginina	89.17 (0.00)	100.00 (0.00)
Histidina	76.26 (0.01)	100.00 (0.00)
Isoleucina	79.65 (0.01)	99.33 (0.01)
Leucina	83.36 (0.01)	99.32 (0.01)
Lisina	80.29 (0.01)	100.00 (0.00)
Metionina	92.39 (0.00)	96.09 (0.00)
Fenilalanina	90.45 (0.00)	77.93 (0.02)
Treonina	72.80 (0.01)	100.00 (0.00)
Valina	78.39 (0.01)	97.99 (0.01)

Aminoácidos não essenciais

Ácido Aspártico	90.51 (0.00)	100.00 (0.00)
Ácido Glutâmico	79.78 (0.01)	100.00 (0.00)
Alanina	80.66 (0.01)	95.68 (0.01)
Cistina	84.70 (0.01)	100.00 (0.00)
Glicina	82.15 (0.01)	97.94 (0.00)
Prolina	86.67 (0.00)	98.09 (0.01)
Serina	83.22 (0.01)	100.00 (0.00)
Taurina	43.90 (0.04)	100.00 (0.00)
Tirosina	81.54 (0.00)	97.77 (0.01)
Hidroxiprolina	83.17 (0.01)	95.20 (0.01)

HFP = Hidrolisado Proteico de Pescado

4. DISCUSSÃO

O processo de hidrólise enzimática tem potencial significativo para utilização de resíduos ricos em PB. A conversão dessas matérias-primas em produtos biodisponíveis e com ótimas características nutricionais é essencial para elevar o aproveitamento de nutrientes das dietas pelos peixes (Siddik et al., 2020). O processo de hidrólise de proteínas é relativamente simples, no entanto, devem ser considerados fatores como a natureza, o armazenamento e a qualidade da matéria-prima, já que tais características podem interferir na qualidade e funcionalidade do produto final (Kristisson 2000).

Em forma líquida, o HFP pode deteriorar-se rapidamente devido ao alto teor de atividade água e à facilidade com que as bactérias utilizam proteínas como substratos para seu desenvolvimento. A forma atomizada possui uma vantagem definitiva por ser mais leve e fácil de transportar do que a forma líquida, além de aspectos positivos relacionadas a tempo de armazenamento (He et al., 2013).

O HFP produzido a partir de carcaças de tilápia-do-Nilo apresentou características nutricionais de interesse para a nutrição animal. O elevado teor de proteína bruta e aminoácidos obtidos reforça a eficácia do processo de hidrólise enzimática com a utilização de alcalase como protease no processo hidrolítico. A alcalase, operando em pH alcalino, foi relatada como sendo mais eficiente na hidrólise de proteínas de peixes (Herpandi et al., 2011). Os peptídeos de baixo peso molecular resultantes da hidrólise podem aumentar a utilização de aminoácidos, reduzindo a gliconeogênese e proporcionando maior aproveitamento nutricional de hidrolisados (Li et al., 2009; Wei et al., 2016).

Recomenda-se que o teor de umidade do HFP após atomização deve estar abaixo de 10% da composição total para manter sua qualidade nutricional e estabilidade das reações

287 químicas, sendo uma característica do nosso ingrediente teste (Bhaskar et al., 2008;
288 Chalamaiah et al., 2010). Níveis elevados de proteína são esperados para produtos
289 hidrolisados, como visto no HFP. A concentração de nutrientes, proteínas e aminoácidos
290 livres e complexados nos hidrolisados proteicos pode interferir nos resultados de
291 digestibilidade (Cardoso et al., 2021).

292 A inclusão de hidrolisados proteicos de pescado em dietas já demonstrou ser uma
293 excelente fonte de proteína para peixes, com bom valor nutritivo, podendo ser adicionados a
294 rações de peixes em fases iniciais de vida (Chotikachinda et al., 2013; Silva et al., 2017). O
295 uso de hidrolisados proteicos de pescado foi relatado em diferentes estudos, tendo como
296 principais matérias-primas peixes marinhos, como atum (*Thunnus calcarifer*), polaca do
297 alasca (*Theragra chalcogramma*), bonito (*Katsuwonus pelamis*) e peixes de água doce, como
298 tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*), carpa (*Cyprinus carpio*) e truta arco-íris
299 (*Onchorhynchus mykiss*) (Siddik et al., 2020).

300 A composição nutricional do HFP revelou elevados teores de proteína e aminoácidos
301 disponíveis. Os valores referentes a níveis de triptofano ($7,12 \text{ g kg}^{-1}$) para o HFP corroboram
302 com as informações acerca deste produto, revelando o potencial de aplicação em dietas para
303 peixes. O triptofano é um aminoácido com papel crucial na síntese de proteínas, além de
304 funções como a regulação da ingestão de alimentos e controle da resposta imune de peixes
305 (Wen et al., 2014). A suplementação adequada de triptofano leva à redução do
306 comportamento de estresse, efeitos benéficos no crescimento, na eficiência alimentar e na
307 sobrevivência na tilápia-do-Nilo (Prabu et al., 2017; Nguyen et al., 2019; Xu et al., 2022).

308 A digestibilidade dos nutrientes dos peixes aumenta com a inclusão de hidrolisado de
309 pescado (Bui et al., 2014). O elevado valor de CDA da proteína (92,90%) e da energia bruta
310 (91,59%) do HFP podem estar relacionados ao aumento da solubilidade e à quebra estrutural
311 da proteína em menores unidades peptídicas durante a hidrólise, apresentando elevadas taxas
312 de absorção de nutrientes e relacionados ao baixo conteúdo de fibras e cinzas presentes nesse
313 produto (Hevroy et al., 2005). Os resultados deste estudo corroboram com Silva et al., (2017)
314 e Sary et al., (2017) em que, ao avaliarem a digestibilidade aparente dos nutrientes de
315 hidrolisado proteico de pescado para tilápia-do-Nilo relataram valores variando de 89,5% a
316 99,28% e 98,3% a 99,13% de digestibilidade aparente da proteína e energia, respectivamente.
317 Além disso, Bui et al., (2014) obtiveram valores de digestibilidade de proteína bruta (90,0%)
318 para peixes (*Pargus major*) alimentados com dietas com hidrolisado proteico de tilápia-do-
319 Nilo.

320 Os benefícios do uso de hidrolisados proteicos relacionados à digestibilidade estão
321 associados a composição do produto que apresentam peptídeos de baixo peso molecular, o
322 que contribui para o seu aumento de absorção dos nutrientes, resultando em elevados valores
323 de digestibilidades (Khosravi et al., 2015a; Cardoso et al., 2021). A absorção rápida de
324 aminoácidos livres e pequenos peptídeos é devido à competição entre aminoácidos e ao
325 transporte destes (Debnath e Saikia, 2021). Os aminoácidos livres provindos de hidrolisados
326 de pescado são absorvidos principalmente no intestino delgado proximal, enquanto
327 dipeptídeos e tripeptídeos são absorvidos tanto nas regiões proximais quanto distais do
328 intestino delgado, relacionando-se a similaridade de seu perfil de aminoácidos com as
329 necessidades dos peixes (Debnath e Saikia, 2021; Siddik et al., 2020; Furuya et al., 2023). A
330 quantidade total de aminoácidos (ver Tabela 1), e os CDA dos aminoácidos do HFP maiores
331 que 90%, com exceção do aminoácido fenilalanina, reforçam a biodisponibilidade destes
332 componentes nutricionais do HFP. A fenilalanina corresponde a 3,75 % do total de
333 aminoácidos disponíveis no ingrediente teste, além disso, a dieta fornecida atendeu às
334 exigências de fenilalanina para a tilápia-do-Nilo (Furuya et al., 2023).

335 Em comparação com ingredientes comumente utilizados como fonte proteicas em
336 formulações de dietas para tilápia-do-Nilo, incluindo farinha de peixe, farinha de carne e
337 ossos e concentrados proteicos (Xavier et al., 2014; Vidal et al., 2017; Bibi et al., 2021), é
338 notável que o HFP apresenta características nutricionais favoráveis que reforçam sua
339 aplicação em dietas para os peixes. Apesar dos progressos alcançados na produção, utilização
340 e avaliação nutricional de hidrolisados de pescado na aquicultura, estudos relacionados à
341 viabilidade econômica do uso de HFP, a padronização de técnicas de fabricação e utilização
342 de enzimas são fundamentais para a avaliação da composição e funcionalidade destes
343 produtos.

344 Estudos sugerem que até 60% da biomassa de pescado processado pode se tornar
345 resíduos (Siddik et al., 2020). A utilização de subprodutos do processamento de pescado para
346 a produção de hidrolisados proteicos tem sido uma área de interesse crescente na
347 biotecnologia, favorecendo um sistema mais sustentável, em que o processo hidrolítico
348 amplia a segurança alimentar e a eficiência produtiva sem aumentar a pressão sobre os
349 recursos naturais e estimulando o maior aproveitamento dos nutrientes advindos do pescado
350 (Chalamaiah et al., 2012, Siddik et al., 2020).

351

352 **5. CONCLUSÃO**

353 A produção do hidrolisado proteico de pescado (HFP) de carcaça de tilápia-do-Nilo
354 eleva a concentração nutricional e o valor biológico do produto. A composição centesimal do
355 HFP, com teor de proteína bruta de 924,60 g kg⁻¹ revela que o produto apresenta elevado
356 valor biológico e qualidade nutricional. Além disso, os coeficientes de digestibilidade
357 aparente (>90%) revelam que o HFP é um potencial ingrediente proteico e de moléculas de
358 baixo peso molecular a ser utilizado como aditivo alimentar em dietas para tilápia-do-Nilo (*O.*
359 *niloticus*).

360

361 **AGRADECIMENTOS**

362 Gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e
363 Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos (Processo CNPQ 142147/2020-6).
364 Agradeço o Grupo de Estudos em Manejo na Aquicultura - GEMAQ, Universidade Estadual
365 do Oeste do Paraná – UNIOESTE, campus Toledo, a Central Analítica Multiusuário de
366 Medianeira (CEANMED) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus de
367 Medianeira e ao Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LABNUTRI), da
368 Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pela disponibilização da estrutura
369 laboratorial e técnica para a execução de diferentes etapas experimentais.

370

371

372 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

373

374 ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY – AOAC (2016).
375 **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**, 20th ed.
376 John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.

377

378 BIBI, F.; QAISRANI, S.N.; AKHTAR, M. (2021). Nutritive evaluation, metabolizable
379 energy and digestible amino acid contents of different indigenous feedstuff for Nile tilapia
380 (*Oreochromis niloticus*). **Brazilian Journal of Biology**, v.81, p.44-52.
381 <https://doi.org/10.1590/1519-6984.216198>

382

383 BHASKAR, N.; BENILA, T.; RADHA, C.; LALITHA, R.G. (2008) Optimization of
384 enzymatic hydrolysis of visceral waste proteins of Catla (*Catla catla*) for preparing protein

385 hydrolysate using a commercial protease. **Bioresour. Technol.** 99, 335–343.
386 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.015>

387

388 BINGTONG L.; YONGLIANG Z.; LIPING S. (2020) Identification and
389 characterization of the peptides with calcium-binding capacity from tilapia (*Oreochromis*
390 *niloticus*) skin gelatin enzymatic hydrolysates. **Journal of Food Science.** 85(1):114-122.
391 <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14975>

392

393 BREMER NETO, H.; GRANER, C. A. F.; PEZZATO, L. E.; PADOVANI, C. R.
394 (2005) Determinação de rotina do cromo em fezes, como marcador biológico, pelo método
395 espectrofotométrico ajustado da 1,5-difenilcarbazida. **Ciência rural**, v.35, n.3, p. 691 – 697.
396 <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000300033>

397

398 BUI, H.T.D.; KHOSRAVI, S.; FOURNIER V.; HERAULT, M.; LEE, K.J. (2014).
399 Growth performance, feed utilization, innate immunity, digestibility and disease resistance of
400 juvenile red seabream (*Pagrus major*) fed diets supplemented with protein hydrolysates.
401 **Aquaculture**, 418–419: 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.09.046>

402

403 CARDOSO, M.S.; GODOY, A.C.; OXFORD, J.H.; RODRIGUES, R.; CARDOSO,
404 M.S.; BITTENCOURT, F.; SIGNOR, A.; BOSCOLO, W.R.; FEIDEN, A. (2021). Apparent
405 digestibility of protein hydrolysates from chicken and swine slaughter residues for Nile
406 tilapia, **Aquaculture**, v. 530, 735720. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735720>

407

408 CHALAMAIAH, M.; DINESH KUMAR, B.; HEMALATHA, R.; JYOTHIRMAYI,
409 T. (2012). Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition,
410 antioxidant activities and applications: A review. **Food Chemistry**, 135(4), 3020–3038.
411 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.100>

412

413 CHOTIKACHINDA, R.; TANTIKITTI, C.; BENJAKUL, S.; RUSTAD, T.;
414 KUMARNSIT, 504 E. (2013) Production of protein hydrolysates from skipjack tuna
415 (*Katsuwonus pelamis*) viscera as feeding attractants for Asian seabass (*Lates calcarifer*).
416 **Aquaculture Nutrition**, v.19, 773-784. <https://doi.org/10.1111/anu.12024>

417

418 DEBNATH, S.; SAIKIA, S.K. (2021). Absorption of protein in teleosts: a review.
419 **Fish Physiology and Biochemistry**, 47, 313-326. [https://doi.org/10.1007/s10695-020-00913-](https://doi.org/10.1007/s10695-020-00913-6)
420 [6](https://doi.org/10.1007/s10695-020-00913-6)

421
422 DONG, X.H.; GUO, Y.X.; YE, J.; SONG, W.; HUANG, X.; WANG, H. (2010)
423 Apparent digestibility of selected feed ingredients in diets for juvenile hybrid tilapia,
424 *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*. **Aquaculture Research**, v.41, p. 1356 – 1364.
425 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02424.x>

426
427 FAO. (2024). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024**. Blue
428 Transformation in action. Rome.

429
430 FRACALOSSO, D.M.; CYRINO, J.E.P. (2013) Nutriaqua: nutrição e alimentação de
431 espécies de interesse para a aquicultura brasileira, editora Aquabio. ISBN: 978-85-60190-03-
432 4.

433
434 FURUYA, W.M.; CRUZ, T.P.d.; GATLIN, D.M., III. (2023). Amino Acid
435 Requirements for Nile Tilapia: An Update. **Animals** 2023, 13, 900.
436 <https://doi.org/10.3390/ani13050900>

437
438 HAGEN S.R.; FROST B.; AUGUSTIN J. (1989) Precolumn Phenylisothiocyanate
439 Derivatization and Liquid-Chromatography of Amino-Acids in Food. *Journal of The*
440 *Association of Official Analytical Chemists* 72 (6): 912-916.
441 <https://doi.org/10.1093/jaoac/72.6.912>

442
443 HE S.; FRANCO C.; ZHANG W. (2013) Functions, applications and production of
444 protein hydrolysates from fish processing co-products (FPCP). **Food Research**
445 **International**, 50: 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.031>

446
447 HERPANDI, H.; ROSMA A.; NADIAH, W.A.W.; FEBRIANTO, N.A.; HUDA, N.
448 (2017). Optimization of Enzymatic Hydrolysis of Skipjack Tuna By-Product Using
449 Protamex®: A Response Surface Approach. **Journal of Fundamental and Applied Sciences**,
450 9(2S), 845-860. <https://doi.org/10.4314/jfas.v9i2s.55>

451
452 HEVROY, E.M.; ESPE, M.; WAAGB, R.; SANDNES, K.; RUUD, M.; HEMRE, G.-
453 I. (2005). Nutrient utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed increased levels of fish
454 protein hydrolysate during a period of fast growth. **Aquaculture Nutrition**, v.11, p.301-313.
455 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2005.00357.x>
456
457 HOU, Y.; WU, Z.; DAI, Z.; WANG, G.; WU, G. (2017). Protein hydrolysates in
458 animal nutrition: Industrial production, bioactive peptides, and functional significance.
459 **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 8:24. [https://doi.org/10.1186/s40104-017-](https://doi.org/10.1186/s40104-017-0153-9)
460 [0153-9](https://doi.org/10.1186/s40104-017-0153-9)
461
462 KHOSRAVI, S.; BUI H.T.D.; RAHIMNEJAD, S.; HERAULT, M., FOURNIER, V.,
463 KIM, S.; JEONG, J.B.; LEE, K.J. (2015a) Dietary supplementation of marine protein
464 hydrolysates in fish-meal based diets for red sea bream (*Pagrus major*) and olive flounder
465 (*Paralichthys olivaceus*). **Aquaculture** 435: 371–376.
466 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.019>
467
468 LANDRY, J.; DELHAYE, S.; JONES, D.G. (1992). Determination of tryptophan in
469 feedstuffs: Comparison of two methods of hydrolysis prior to HPLC analysis. **Journal of the**
470 **Science of Food and Agriculture**, 58:439-441. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740580321>
471
472 LI P., MAI, K.; TRUSHENSKI J.; WU, G. (2009). New developments in fish amino
473 acid nutrition: towards functional and environ-mentally oriented aquafeeds. **Amino Acids** 37:
474 43–53. <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0171-1>
475
476 MASHAI, N.; RAJABIPOUR, F.; MOHAMMADI, M.; SARSANGI, H.; BITARAF,
477 A.; HOSSEIN-ZADEH, H.; SHARIF-ROHANI, M. (2016). Reproduction of Nile tilapia,
478 *Oreochromis niloticus* in brackish water. **Journal of Applied Aquaculture**, 28(1), 1–8.
479 <https://doi.org/10.1080/10454438.2015.1104943>
480
481 NGUYEN, L.; SALEM, S.M.R.; SALZE, G.P.; DINH, H.; DAVIS, D.A. (2017)
482 Tryptophan Requirement in Semi-Purified Diets of Juvenile Nile Tilapia *Oreochromis*
483 *niloticus*. **Aquaculture**, 502, 258–267. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.049>

484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516

PEZZATO, L. E.; MIRANDA, E. C.; BARROS, M. M.; PINTO, L.G.Q.; FURUYA, W. M.; PEZZATO, A. C. (2002) Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Brazilian Journal of Animal Science**, v. 31, n.4, p. 1595 – 1604. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000700001>

PRABU, E.; RAJAGOPALSAMY, C.B.T.; AHILAN, B.; JEEVAGAN, I.J.M.A.; RENUHADEVI, M. (2017) Effect of Dietary Supplementation of Biofloc Meal with Tryptophan on Growth and Survival of GIFT Tilapia. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, 6, 3426–3434. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.411>

SARY, S.; DE PARIS, L.D.; BERNARDI, D.; LEWANDOWSKI, V.; SIGNOR, A.; BOSCOLO, W.R. (2017). Tilapia by-product hydrolysate powder in diets for Nile tilapia larvae. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, 39(1):1-6. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i1.32805>

SIDDIK, M.A.B.; HOWIESON, J.; FOTEDAR, R.; PARTRIDGE, G.J. (2020). Enzymatic fish protein hydrolysates in finfish aquaculture: A review. **Reviews in Aquaculture**, 13(1), 406-430. <https://doi.org/10.1111/raq.12481>

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2002.

SILVA, T. C.; ROCHA, J. D. M.; MOREIRA, P.; SIGNOR, A.; BOSCOLO, W. R. (2017) Fish protein hydrolysate in diets for Nile tilapia post-larvae. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, 485 – 492. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000700002>

VIDAL, L.V.O.; XAVIER, T.O.; MOURA, L.B. de; GRACIANO, T.S.; MARTINS, E.N.; FURUYA, W.M. (2017). Apparent digestibility of soybean coproducts in extruded diets for Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v.23, p.228-235. <https://doi.org/10.1111/anu.12383>

517 XAVIER, T.O.; MICHELATO, M.; VIDAL, L.V.O.; FURUYA, V.R.B.; FURUYA,
518 W.M. (2014). Apparent protein and energy digestibility and amino acid availability of
519 commercial meat and bone meal for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Journal of the**
520 **World Aquaculture Society**, v.45, p.439-446. <https://doi.org/10.1111/jwas.12127>

521
522 WEN, H.; FENG, L.; JIANG, W.; LIU, Y.; JIANG, J.; LI, S.; TANG, L.; ZHANG, Y.;
523 KUANG, S.; ZHOU, X. (2014). Dietary tryptophan modulates intestinal immune response,
524 barrier function, antioxidant status and gene expression of TOR and Nrf2 in young grass carp
525 (*Ctenopharyngodon idella*). **Fish & Shellfish Immunology**, 40(1), 275-287.
526 <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2014.07.004>

527
528 WHITE J.A.; HART R.J.J.; FRY J.C. (1986) An Evaluation of The Waters Pico-Tag
529 System For The Amino-Acid-Analysis of Food Materials. **Journal of Automatic Chemistry**
530 8(4): 170-177. <https://doi.org/10.1155/S1463924686000330>

531
532 XU, C.; HUANG, X.P.; GUAN, J.F.; CHEN, Z.M.; MA, Y.C.; XIE, D.Z.; NING, L.J.;
533 LI, Y.Y. (2022) Effects of Dietary Leucine and Valine Levels on Growth Performance,
534 Glycolipid Metabolism and Immune Response in Tilapia GIFT *Oreochromis niloticus*. **Fish**
535 **& Shellfish Immunology**, 121, 395–403. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.01.028>

536
537 ZARAVEZE, E. R; SILVA, C. M.; SALAS-MELLADO, M. (2009) Funcionalidade
538 de hidrolisados proteicos de cabrina (*Prionotus punctatus*) obtidos a partir de diferentes
539 proteases microbianas. **Química Nova**, v. 32, n. 7, 1739 – 1743.
540 <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000700011>

541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554

CAPÍTULO II

DIGESTIBILIDADE APARENTE DE HIDROLISADOS PROTEICOS DE AVES COM SUBSTÂNCIAS COADJUVANTES EM RAÇÕES PARA JUVENIS DE TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*)

Herivelto Beck de Souza¹; Leone de Souza Medina¹; Tayna Sgnaulin¹; Victor Santos
Lira da Nóbrega¹; Débora Oliveira Tatyane Xavier¹; Wilson Rogério Boscolo²; Altevir
Signor^{2*}

¹ Programa de pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, Universidade Estadual do
Oeste do Paraná (UNIOESTE), Toledo, Paraná, Brasil.

² Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE),
Toledo, Paraná, Brasil.

Autor correspondente: altevir.signor@gmail.com

RESUMO

Os resíduos de frango têm ganhado especial atenção pois seu grande volume resultante da
cadeia produtiva pode refletir em problemas ambientais e sua valorização resultaria em
redução de custos. Este estudo foi conduzido com intuito de determinar o coeficiente de
digestibilidade aparente (CDA) do hidrolisado proteico de frango (PHF) com distintas
substâncias coadjuvantes. Foram formuladas cinco dietas, sendo uma referência e quatro
testes compostas por 80% da dieta referência e 20% de proteína hidrolisada de frango (PHF);
PHF com maltodextrina (PHFMalto); PHF com levedura (PHFLevedura); e PHF com amido
(PHFAmido). Para o ensaio de digestibilidade aparente 432 juvenis de tilápia-do-Nilo
(*Oreochromis niloticus*) (150,08 ± 0,95 gramas) foram distribuídos aleatoriamente em um
sistema com recirculação de água composto por 20 tanques cônicos cilíndricos (500L),
adaptados com copo coletor de fezes. Os animais foram alimentados até a saciedade aparente
cinco vezes ao dia as 8h, 11h, 13h, 15h e 17h, totalizando 14 dias de coleta de fezes. Seguiu-
se o método indireto de coleta de material, utilizando-se 0,1% de óxido de cromo III (Cr₂O₃)
como marcador inerte nas rações. Os valores médios dos coeficientes de digestibilidade
aparente da proteína (CDAPB) obtidos para o PHFMalto (97,85 e 96,24%) e PHFLevedura
(98,39 e 97,98%) foram inferiores ao do PHF sem a utilização de coadjuvantes (99,77 e
100,00%), com exceção do coeficiente de digestibilidade aparente da energia (CDAEB) do
PHFAmido (99,27 e 100,00%) (p<0,05). Foram constatadas diferenças significativas entre os
CDAs dos diferentes hidrolisados proteicos avaliados (p<0,05) para praticamente todas as
frações nutricionais analisadas, exceto para alguns aminoácidos tais como a fenilalanina,

576 valina, ácido glutâmico e cistina ($p>0,05$). Conclui-se que a inclusão de substâncias
577 coadjuvantes no PHF apresenta-se como alternativa para a composição deste produto, visto
578 que tais produtos disponibilizam frações nutricionais de interesse para a aquicultura, além de
579 elevadas taxas de digestibilidade aparente para tilápia-do-Nilo.

580

581 **Palavras-chave:** Aminoácidos; Aquicultura; Nutrição de peixes; Peptídeos bioativos;
582 Subprodutos agroindustriais.

583 **APPARENT DIGESTIBILITY OF POULTRY PROTEIN HYDROLYZATES**
584 **WITH SUPPORTING SUBSTANCES IN FEEDS FOR JUVENILE NILE**
585 **TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)**
586

587 **ABSTRACT**

588 Chicken waste receives special attention because its large volume resulting from the
589 production chain can result in environmental problems and its valorization would result in
590 cost reduction. This study was conducted with the intention of determining the apparent
591 digestibility coefficient (CDA) of chicken protein hydrolyzate (PHF) with different
592 supporting substances. Five diets were formulated, one reference and four tests consisting of
593 80% of the reference diet and 20% hydrolyzed chicken protein (PHF); PHF with maltodextrin
594 (PHFMalto); PHF with yeast (PHFLevedura); and PHF with starch (PHFAmido). For the
595 apparent digestibility test, 432 juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) (150.08 ± 0.95 g)
596 were randomly distributed in a system with water recirculation composed of 20 cylindrical
597 conical tanks (500L), adapted with a collecting cup. The animals were fed until satiety
598 apparently five times a day at 8 am, 11 am, 1 pm, 3 pm and 5 pm, totaling 14 days of feces
599 collection. The indirect method of material collection was followed, using 0.1% chromium III
600 oxide (Cr_2O_3) as an inert marker in the feed. The average values of protein apparent
601 digestibility coefficients (CDAPB) obtained for PHFMalto (97.85 and 96.24%) and
602 PHFLevedura (98.39 and 97.98%) were lower than that of PHF without the use of adjuvants
603 (99.77 and 100.00%), with the exception of energy apparent digestibility coefficients CDAEB
604 from PHFAmido (99.27 and 100.00%) ($p < 0.05$). Significant differences were found between
605 the CDA of the different protein hydrolysates evaluated ($p < 0,05$) for practically all
606 recommended nutritional fractions, except for some amino acids such as phenylalanine,
607 valine, glutamic acid and cystine ($p > 0,05$). It is concluded that the inclusion of supporting
608 substances in PHF presents itself as an alternative for the composition of this product, since
609 such products provide nutritional fractions of interest for aquaculture are available, in addition
610 to high apparent digestibility rates for Nile tilapia.

611
612 **Key-words:** Aquaculture; Agroindustrial byproducts; Fish nutrition; Amino acids; Bioactive
613 peptides

614

615

1. INTRODUÇÃO

616

617 A produção mundial de proteínas de origem animal, a qual compreende os bovinos,
618 suínos, aves e ovinos foi estimada em 330 milhões de toneladas no ano de 2017, destacando-
619 se a carne de aves (ABPA, 2024). Diante do cenário atual de expansão da produção de
620 proteínas de origem animal ao satisfazer as necessidades alimentares humanas surgem
621 desafios, e um deles é a geração de resíduos (FAO, 2024). Os resíduos devem ser gerenciados
622 de forma adequada, a fim de evitar a contaminação do meio ambiente e as graves
623 consequências, como a disseminação de doenças e danos ambientais (Malav et al., 2018).

624 Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2024), a avicultura tem
625 se destacado como um dos setores mais relevantes para o fornecimento de proteína animal
626 globalmente, com o Brasil ocupando uma posição de destaque ao lado dos Estados Unidos e
627 da China. Aproximadamente 30% do peso vivo do frango é constituído de resíduos que
628 requerem tratamento específico para minimizar o impacto ambiental. Esses tratamentos
629 podem ser físicos, químicos ou biológicos, e sua aplicação adequada é essencial para reduzir o
630 potencial poluente (Fracalossi et al., 2012; Ferreira et al., 2017).

631 A dieta desempenha um papel crucial na eficiência da produção animal, influenciando
632 diretamente tanto o desempenho dos animais quanto os custos de produção. Portanto, escolher
633 insumos apropriados é fundamental não apenas para otimizar o crescimento e a saúde dos
634 animais, mas também para assegurar a sustentabilidade da produção (Schulter & Vieira Filho,
635 2017). Neste sentido, estudos são desenvolvidos acerca de soluções biotecnológicas para
636 aproveitamento de coprodutos agroindustriais, os quais são ricos em diversos nutrientes,
637 dentre elas, tem-se o processo hidrolítico, que por meio de atividades enzimáticas pode
638 transformar aparas e vísceras de aves, em um alimento funcional e biodisponível para a cadeia
639 produtiva animal (Toldrá et al., 2016).

640 A inclusão de carboidratos de alto peso molecular, como maltodextrina e amido, no
641 processamento de hidrolisados proteicos pode otimizar o processo de secagem e
642 microencapsulação, evitando a degradação do material proteico, protegendo e estabilizando as
643 moléculas do produto final (Krishnan et al., 2005; Ogava et al., 2023). A associação de
644 ingredientes alternativos, como fontes proteicas e energéticas, o amido e a maltodextrina, em
645 dietas para peixes torna-se uma possibilidade nutricional (Gonçalves et al., 2010). A
646 maltodextrina é um produto resultado da hidrólise parcial ácida e/ou enzimática do amido,

647 constituída por unidades de D-glicose (Marchal et al., 1999). O amido representa a principal
648 fonte de carboidrato encontrada em rações práticas para organismos aquáticos (Moro, 2015),
649 sendo composto por dois polissacarídeos: amilose e amilopectina, que possuem propriedades
650 importantes no processo de extrusão, aglutinação dos nutrientes e formação dos péletes
651 (Boscolo et al., 2008).

652 Além disso, outra opção de enriquecimento de produtos é a utilização de levedura, um
653 importante grupo de microorganismos utilizados como aditivos na nutrição animal, por
654 possuírem alta composição aminoacídica, peptídeos, sendo empregados como palatilizantes
655 para peixes (Dubey et al., 2010; Ozório et al., 2012; Hassan, 2011). A levedura de cana-de-
656 açúcar (*Saccharomyces cerevisiae*) é um subproduto da indústria sucroalcooleira, com grande
657 produção em diversas regiões do Brasil, e possui alto valor nutritivo (Gonçalves et al., 2010).
658 Por meio do processo de hidrólise, as leveduras liberam nucleotídeos e nucleosídeos, produtos
659 altamente digestíveis. Além destes, disponibilizam aminoácidos e peptídeos, sendo fortemente
660 recomendadas para nutrição animal (Andrade et al., 2011).

661 Neste sentido, hidrolisados proteicos podem ser utilizados como estimulantes
662 alimentares, intensificadores de sabor e emulsificantes, potencializando a capacidade de
663 ligação à água ou nutrientes a serem adicionados aos alimentos, pois constituem uma
664 excelente fonte de nutrientes como aminoácidos essenciais, minerais e vitaminas (Toldrá et
665 al., 2012; Broggi et al., 2017).

666 Em relação à piscicultura, a tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) está entre as espécies de
667 peixes mais produzidas mundialmente, com produção de 5,3 milhões de toneladas em 2022
668 (FAO, 2024). A partir do crescimento da produção global de pescado, surge a demanda por
669 tecnologias sustentáveis que promovam melhorias na produtividade e qualidade nutricional
670 dos alimentos. Os hidrolisados proteicos advindos de processos industrial têm proporcionado
671 resultados relevantes quanto a aspectos de atratividade e palatabilidade, digestibilidade,
672 crescimento e sistema imune de peixes e sistema imunológico para tilápias (Lewandowski et
673 al., 2013; Khosravi et al., 2015; Alves et al., 2019b; Cardoso et al., 2021; Santos et al., 2023).

674 A determinação da digestibilidade tem sido prioridade para a nutrição de organismos
675 aquáticos, tanto para avaliar ingredientes ou a qualidade de rações. O conhecimento do
676 coeficiente de digestibilidade dos alimentos e dos nutrientes permite a formulação de rações
677 para melhor atender às exigências nutricionais para crescimento, manutenção e sanidade,
678 evitando tanto a sobrecarga fisiológica quanto a ambiental (Pezzato et al., 2002). Diante do
679 exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a disponibilidade de nutrientes, energia e

680 aminoácidos, a partir da determinação do coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) de
681 hidrolisados proteicos de frango (PHF), investigando ainda a inclusão de coadjuvantes como a
682 maltodextrina, amido e levedura ao PHF para tilápia-do-Nilo.

683

684 **2. METODOLOGIA**

685

686 O ensaio experimental foi realizado no Laboratório de Aquicultura do Grupo de
687 Estudos em Manejo e Aquicultura (GEMAQ) na Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
688 Campus Toledo, Paraná, Brasil. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de
689 Animais (CEUA) da Universidade, conforme Certificado Experimental de Uso de Animais
690 (CEUA/Protocolo N° 45/19)

691 2.1 Dietas experimentais

692 Foram formuladas e elaboradas cinco dietas experimentais, uma referência e quatro
693 dietas-testes, contendo 80,24% da dieta referência e 19,76% do ingrediente que foram
694 avaliados, de acordo com Cardoso et al. (2020). Quatro produtos desenvolvidos pela BRF
695 Foods, foram testados: hidrolisado de frango padrão (PHF), PHF com inclusão de
696 Maltodextrina (PHFMalto), inclusão de Levedura (PHFLevedura) e inclusão de Amido
697 (PHFAmido). A composição química dos hidrolisados proteicos pode ser observado na
698 Tabela 1. Os demais ingredientes foram reduzidos proporcionalmente com a inclusão dos
699 ingredientes teste, no entanto, as dietas não foram formuladas para serem isonitrogenadas e
700 isoenergéticas (Tabela 2).

701 Os ingredientes foram triturados em moinho tipo martelo (MCS 280) com peneira de
702 0,6 mm de diâmetro. Após a moagem, os ingredientes foram pesados, homogeneizados,
703 umedecidos (20%) e submetidos ao processo de extrusão em matriz de 3 mm em extrusora
704 (EX - Micro®). Posteriormente, as dietas foram secas em estufa de circulação de ar forçado
705 por um período de 12 h a 55°C.

706 **Tabela 1.** Composição química dos hidrolisados proteicos de frango produzidos pela
 707 BRF Ingredients.

	Ingrediente			
	PHF	PHFMalto	PHFLevedura	PHFAmido
<i>Composição Proximal</i> ¹				
Umidade (g Kg ⁻¹)	49.30	46.33	57.98	59.81
Proteína Bruta (g Kg ⁻¹)	734.03	593.32	569.11	563.06
Extrato Etéreo (g Kg ⁻¹)	52.42	58,12	56.01	75.07
Matéria Mineral (g Kg ⁻¹)	43.42	28.54	46.37	38.84
Energia Bruta (kJ g ⁻¹) ²	22.72	21.05	21.17	21.13
<i>Aminoácidos Essenciais (g Kg⁻¹)¹</i>				
Arginina	44.70	33.70	32.20	34.60
Histidina	17.60	12.60	12.70	12.70
Isoleucina	28.20	21.60	23.60	22.20
Leucina	51.90	38.60	40.00	39.00
Metionina	16.30	14.60	12.40	13.50
Lisina	50.40	36.90	37.20	34.10
Fenilalanina	27.80	18.70	21.50	20.90
Treonina	30.90	22.30	24.40	23.00
Valina	31.60	24.30	27.80	26.30
<i>Aminoácidos não essenciais (g Kg⁻¹)¹</i>				
Ácido Aspártico	59.2	46.7	48.3	44
Ácido Glutâmico	91.8	94.3	71.9	70.6
Alanina	46.7	33.7	35.5	34
Cistina	16.4	5.8	8.2	8.1
Glicina	59.7	42.2	37.4	42.1
Prolina	41	28.3	27.8	31.2
Serina	30.1	20.3	25.2	22.1
Taurina	6.4	2.8	4.3	6.1
Tirosina	20.7	16	17	16.6
Hidroxiprolina	-	11.6	12.2	17
Aminoácidos Totais (g Kg⁻¹)	673.7	528.2	502.5	518.4

PHF = Hidrolisado Proteico de Frango; PHFMalto = PHF com maltodextrina; PHFLevedura = PHF com levedura; PHFAmido = PHF com amido.

¹ Laboratório Comercial (CBO Análises Laboratoriais Ltda., Valinhos-SP, Brasil). ²Valores determinados no Laboratório de Análise de Alimentos (LQA) Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura - GEMAAq-Unioeste, Toledo-PR. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

708
 709
 710
 711
 712
 713

714 **Tabela 2.** Formulação (%) e composição das dietas referência e testes com
 715 hidrolisados proteicos de frango (PHF) da BRF Ingredients (valores com base na matéria
 716 seca).

Ingredientes ($g\ kg^{-1}$)	Dietas				
	Referência	PHF	PHFMalto	PHFLevedura	PHFAmido
Farelo de Soja	212.20	169.80	169.80	169.80	169.80
Farinha de Peixe	178.30	142.60	142.60	142.60	142.60
Farelo de Trigo	249.60	199.70	199.70	199.70	199.70
Arroz quirera	50.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Milho	297.70	238.20	238.20	238.20	238.20
Premix (min + vit) ¹	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Cloreto de colina	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Vitamina C	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Antifúngico	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Antioxidante (BHT)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Sal comum	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Óxido de Crômio	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
PHF Padrão	-	197.6	-	-	-
PHF Malto	-	-	197.60	-	-
PHF Levedura	-	-	-	197.60	-
PHF Amido	-	-	-	-	197.60
<i>Composição Centesimal ($g\ kg^{-1}$)²</i>					
Umidade	71.80	56.00	55.80	61.70	67.00
Proteína	254.00	363.20	329.90	316.20	259.80
Extrato Etéreo	54.50	61.10	52.70	50.90	47.20
Matéria Mineral	105.30	89.90	88.30	94.20	103.80
Energia ($kcal\ g^{-1}$)	15.44	17.07	17.24	16.69	16.23
<i>Aminoácidos Essenciais ($g\ Kg^{-1}$)³</i>					
Arginina	15.90	21.30	18.90	18.50	15.70
Histidina	4.80	6.70	6.50	5.90	4.80
Isoleucina	9.50	13.50	12.00	12.10	9.70
Leucina	19.40	26.10	23.30	23.10	19.30
Metionina	5.50	10.30	8.90	8.40	5.00
Lisina	13.70	21.80	19.90	19.30	14.40
Fenilalanina	21.80	39.90	31.70	30.40	21.00
Treonina	10.70	32.60	9.20	13.10	11.40
Valina	13.10	33.30	11.30	15.50	13.80
<i>Aminoácidos não essenciais ($g\ Kg^{-1}$)³</i>					
Ácido Aspártico	25.20	34.30	28.00	29.30	24.00
Alanina	16.40	21.00	18.60	18.60	14.60
Cistina	2.00	4.10	3.20	3.00	2.60
Glicina	20.40	22.80	20.90	19.50	16.00
Prolina	16.80	18.50	17.10	16.10	14.50
Serina	10.90	14.40	12.80	13.20	10.80
Taurina	0.10	1.40	0.90	0.90	0.10
Tirosina	7.10	9.70	8.50	8.50	7.10
Hidroxiprolina	5.60	6.10	5.90	4.70	3.70
Aminoácidos Totais	236.10	351.20	294.10	307.10	249.00

717 PHF = Hidrolisado Proteico de Frango; PHFMalto = PHF com maltodextrina; PHFLevedura = PHF com levedura; PHFAmido = PHF com
718 amido. Valores com base na matéria seca.
719 ¹Níveis de garantia por quilograma do produto: Vit. A, 10.000.000 UI; Vit. D₃, 4.000.000 UI; Vit. E, 150.000 mg; Vit. K₃, 100.000 mg; Vit.
720 B₁, 25.000 mg; Vit. B₂, 25.000 mg; Vit. B₆, 25.000 mg; Vit. B₁₂, 30.000 mcg; Niacina, 100.000 mg; Pantotenato Ca, 50.000 mg; Ác. Fólico,
721 6.000 mg; Biotina, 1.000 mg; Inositol, 200.000 mg; Ferro, 1.000 mg; Iodo, 800 mg; Manganês, 30.000 mg; Zinco, 140.000 mg; Selênio, 800
722 mg; Cobre, 18.000 mg; Cobalto, 200 mg; Etoxiquin, 124.000 mg; Sorbato de potássio, 450.000 mg. ²Valores determinados no Laboratório
723 de Análise de Alimentos (LQA) Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura - GEMaQ-Unioeste, Toledo-PR. ³Laboratório Comercial (CBO
724 Análises Laboratoriais Ltda., Valinhos-SP, Brasil). Todas as análises foram realizadas em triplicata.
725

726 2.2 Animais utilizados

727 Para a condução do ensaio de digestibilidade, 360 juvenis de tilápia-do-Nilo com peso
728 médio de 150,08 ± 0,95 g foram distribuídos em um delineamento experimental inteiramente
729 casualizado (DIC), constituído por cinco tratamentos (Referência; PHF; PHFMalto; PHF
730 Amido; PHF Levedura) e quatro réplicas. Os peixes foram distribuídos aleatoriamente em 20
731 tanques cônico-cilíndricos (capacidade para 500 L), apropriados para a coleta de fezes, em
732 sistema de recirculação com biofiltro central, aeração artificial por soprador de ar e controle
733 de temperatura por termostato.
734

735 2.3 Manejo diário do ensaio de digestibilidade

736 . A temperatura, oxigênio dissolvido e pH durante o período experimental foram de
737 26,8 ± 0,80 °C; 6,80 ± 0,15 mg L⁻¹ e 4,50 ± 0,75, respectivamente. Os animais foram
738 alimentados durante 14 dias até a saciedade aparente, cinco vezes ao dia (8h00, 11h00, 13h00,
739 15h00 e 17h00) e, após o período adaptativo de sete dias às condições e dietas experimentais,
740 foram coletas amostras de fezes. Diariamente, uma hora após a última alimentação, realizava-
741 se a limpeza dos tanques, com renovação de um terço da água e desligando o sistema de
742 recirculação. As amostras de fezes foram coletadas com um copo coletor diariamente, antes
743 da primeira alimentação e imediatamente congeladas a -15°C. O período de coleta foi de 14
744 dias.
745

746 2.4 Determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA)

747 Os coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes e da energia foram
748 determinados empregando-se o método indireto, utilizando-se como marcador inerte 0,1% de
749 óxido de cromo (Bremer Neto et al., 2003). Os nutrientes e a energia dos ingredientes testes,
750 das rações e das fezes, assim como o teor de óxido cromo III (Cr₂O₃) das rações e das fezes,
751 foram determinados de acordo com metodologias descritas no AOAC (2000). A energia bruta
752 foi determinada utilizando-se uma bomba calorimétrica (Ika Works, modelo C2000).

753 Os coeficientes de digestibilidade aparente da proteína bruta, aminoácidos totais,
754 energia bruta e seus respectivos valores digestíveis foram determinados de acordo com o
755 NRC (2011):

756

$$757 \quad CDA(n) = 100 - \left[100 \left(\frac{\%Cr_2O_3d}{\%Cr_2O_3f} \times \frac{\%Nf}{\%Nd} \right) \right]$$

758 Em que:

759 CDA(n): coeficiente de digestibilidade do nutriente;

760 %Cr₂O₃d: % de óxido de cromo na dieta;

761 %Cr₂O₃f: % de óxido de cromo das fezes;

762 %Nf: % de nutriente nas fezes;

763 %Nd: % nutriente na dieta.

764

$$765 \quad CDA(i) = CDA(dt) + (CDA_{dt} - CDA_{dr}) * \left[\left(\frac{0,8024 * D_{dr}}{0,1976 * D_{ing}} \right) \right]$$

766 Em que:

767 CDA(i) = coeficiente de digestibilidade aparente do ingrediente;

768 0,8024 = porcentagem da dieta referência;

769 CDA_{dt} = coeficiente de digestibilidade aparente da dieta teste;

770 0,1976 = porcentagem do ingrediente;

771 CDA_{dr} = coeficiente de digestibilidade aparente da dieta referência);

772 D_{dr} = % do nutriente na ração referência;

773 D_{ing} = % do nutriente no ingrediente teste.

774

775 2.5 Análises estatísticas

776 Os resultados foram submetidos a análise dos pressupostos de homogeneidade
777 (Levene) e normalidade (Shapiro-Wilk), e após a análise de variância ANOVA a 5% de
778 probabilidade, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%
779 de probabilidade utilizando o software Statistic 7.0 (StatSoft, 2004).

780

781 3. RESULTADOS

782

783 Ao avaliar a composição nutricional das rações (Tabela 1), observa-se que o nível
784 proteico e energético da ração controle é menor do que todas as rações em que os hidrolisados

785 proteicos foram inclusos, sugerindo-se que nutrientes e energia provenientes dos hidrolisados
786 proteicos sejam significativos. Ressalta-se que o presente estudo não teve como objetivo a
787 comparação da qualidade nutricional dos hidrolisados proteicos sobre a utilização de farinha
788 de peixe, visto que tal produto foi incluído em todas as formulações as rações avaliadas. A
789 adição de componentes energéticos, como Maltodextrina, Levedura e Amido aos hidrolisados
790 proteicos de frango resultou em uma diminuição no teor de proteína dos ingredientes, no
791 entanto não comprometeu a composição energética dos ingredientes (Tabela 2).

792 Em relação à digestibilidade, a maioria dos nutrientes disponibilizados pelos
793 ingredientes-testes foram utilizados pelos peixes. Todos os coeficientes de digestibilidade
794 aparente dos nutrientes e energia observados nas dietas testes são apresentados na Tabela 3,
795 revelando a relevância nutricional dos hidrolisados para aplicação em dietas para tilápia-do-
796 Nilo.

797 Observa-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) para os hidrolisados com
798 coadjuvantes em relação ao PHF padrão, sem inclusão de coadjuvantes. O valor do
799 coeficiente de digestibilidade aparente da proteína (CDAPB) foi maior para o PHF sem a
800 inclusão de maltodextrina, levedura ou amido em comparação aos demais. Portanto, ao
801 avaliar o coeficiente de digestibilidade aparente (CDAPB), a inclusão de coadjuvantes no
802 PHF não proporcionou efeito positivo sobre a utilização deste ingrediente pela tilápia-do-Nilo
803 ($p < 0,05$). Em relação ao CDAEB, o único coadjuvante que apresentou valores
804 significativamente igual ao PHF padrão foi o PHFAmido. O PHFMalto demonstrou valores
805 menores em relação ao PHF padrão em relação à maioria dos aminoácidos essenciais.

806 **Tabela 3.** Média (desvio padrão) dos coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) dos nutrientes e energia dos hidrolisados proteicos
 807 de frango (PHF) da BRF Ingredients pela tilápia-do-Nilo (valores com base na matéria seca).

	CDA (%)					<i>p</i> -valor
	Referência	PHF	PHFMalto	PHFLevedura	PHFAmido	
Proteína	98.02	99.77(0.06) ^a	97.85(0.30) ^c	98.39(0.13) ^c	99.27(0.17) ^b	0.000
Energia	96.13	100.00(0.00) ^a	96.24(0.02) ^c	97.98(0.14) ^b	100.00(0.00) ^a	0.000
<i>Aminoácidos Essenciais (%)</i>						
Arginina	98.47	99.74(0.11) ^a	97.79(0.20) ^b	98.40(0.31) ^{ab}	99.37(0.33) ^{ab}	0.004
Histidina	98.14	99.71(0.08) ^{ab}	97.96(0.41) ^b	98.94(0.66) ^{ab}	99.73(0.36) ^{ab}	0.009
Isoleucina	98.43	99.65(0.08) ^{ab}	97.53(0.71) ^c	98.55(0.19) ^{bc}	99.28(0.16) ^{abc}	0.001
Leucina	98.70	99.70(0.06) ^a	97.83(0.51) ^b	98.82(0.07) ^{ab}	99.47(0.14) ^{ab}	0.002
Metionina	99.19	100.00(0.00) ^a	99.64(0.16) ^b	99.83(0.10) ^{ab}	99.76(0.09) ^{ab}	0.004
Lisina	98.75	100.00(0.00) ^a	99.37(0.08) ^b	99.72(0.10) ^{ab}	99.91(0.06) ^{ab}	0.001
Fenilalanina	99.34	100.00(0.00)	99.24(0.57)	99.99(0.14)	99.81(0.17)	ns
Treonina	98.27	99.96(0.09) ^a	98.14(0.13) ^b	98.53(0.28) ^{ab}	99.64(0.15) ^{ab}	0.002
Valina	98.31	99.64(0.08)	97.17(0.68)	98.33(0.18)	99.23(0.20)	ns
<i>Média</i>	98.62	99.97	98.30	99.01	99.58	
<i>Aminoácidos não essenciais (%)</i>						
Ácido Aspártico	99.53	100.00(0.00) ^a	99.11(0.51) ^b	99.51(0.51) ^{ab}	99.94(0.12) ^{ab}	0.023
Ácido Glutâmico	98.89	100.00(0.00)	99.12(0.35)	100.00(0.00)	100.00(0.00)	ns
Alanina	98.33	99.67(0.09) ^{ab}	97.55(0.55) ^b	98.42(0.72) ^{ab}	99.34(0.89) ^{ab}	0.09
Cistina	98.60	99.87(0.07)	99.23(0.24)	99.52(0.20)	100.00(0.00)	ns
Glicina	98.63	99.78(0.03) ^{abc}	98.64(0.29) ^c	98.90(0.52) ^{bc}	99.30(0.48) ^{abc}	0.037
Prolina	98.86	99.95(0.09) ^a	98.68(0.21) ^b	99.02(0.16) ^{ab}	99.55(0.23) ^{ab}	0.003

808
809
810

Serina	98.78	100.00(0.00) ^{ab}	98.48(0.14) ^b	99.01(0.24) ^{ab}	99.98(0.15) ^{ab}	0.004
Taurina	96.02	100.00(0.00) ^a	100.00(0.00) ^a	99.88(0.18) ^{ab}	96.92(0.21) ^{ab}	0.000
Tirosina	98.66	99.90(0.11) ^a	97.61(0.77) ^b	98.96(0.06) ^{ab}	99.29(0.03) ^{ab}	0.002
Hidroxiprolina	98.03	-	99.72(0.24)	99.14(0.36)	98.45(0.54)	ns
<i>Média</i>	98.43	99.96	98.82	99.27	99.34	

PHF = Hidrolisado Proteico de Frango; PHFMalto = PHF com maltodextrina; PHFLevedura = PHF com levedura; PHFAmido = PHF com amido.

Médias com diferentes letras na mesma linha são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p < 0.05)

811 4. DISCUSSÃO

812

813 A qualidade nutricional do PHF vem sendo estudada, sendo um produto já conhecido
814 por ser rico em peptídeos bioativos. que são absorvidos por vias diferentes dos aminoácidos,
815 sendo utilizados de forma íntegra no metabolismo das tilápias (Rocha et al., 2021; Cardoso et
816 al., 2022).

817 Apesar da redução da proteína bruta (PB) no produto final, os PHFs com a
818 complementação dos coadjuvantes avaliados no presente estudo revelaram-se fontes proteicas
819 de excelente qualidade nutricional quando comparada a outras fontes proteicas utilizadas na
820 formulação de dietas práticas. No presente estudo, foi obtido um CDAPB de 99,77% para o
821 PHF, significativamente maior que para os demais PHFs testados, os quais também
822 apresentaram valores elevado (>96,00%). Elevados valores de digestibilidade aparente de
823 hidrolisados proteicos foram relatados para diferentes produtos, assim como para o
824 hidrolisado proteico de frango (PHF) utilizado como controle no presente estudo, com
825 coeficientes de digestibilidade aparente da PB de 93,61% e 90,84% pela tilápia-do-Nilo
826 (Rocha, 2018; Cardoso et al., 2021).

827 Outros hidrolisados proteicos de diferentes coprodutos de origem animal foram
828 avaliados para dietas de tilápia-do-Nilo. Por exemplo, hidrolisado de mucosa suína, fígado
829 suíno, penas e pescado com valores de 97,12%, 87,53%, 89,05%, 99,28% de CDA da
830 proteína bruta, respectivamente (Silva et al., 2017; Cardoso et al., 2021), corroborando o fato
831 de que suas partículas de baixo peso molecular e com propriedades funcionais e bioativas são
832 efetivamente absorvidas pelos peixes (Mora et al., 2014).

833 Em relação aos coeficientes de digestibilidade obtidos, a maioria dos nutrientes
834 disponibilizados foram bem utilizados pelos animais. Em relação aos CDAEB, observamos
835 excelentes valores para o PHF padrão e o PHF Amido, reforçando que o amido é uma fonte
836 de carboidratos que pode fornecer energia rapidamente aos peixes, além de que o processo de
837 extrusão pode favorecer a digestibilidade deste alimento (Tran-Duy et al., 2008).

838 Sabe-se que a deficiência de aminoácidos essenciais na alimentação de peixes reduz a
839 eficiência da utilização de nutrientes como a proteína, e por consequência há um impacto no
840 crescimento, diminuindo o ganho em peso e afetando a eficiência alimentar (NRC, 2011;
841 Furuya et al., 2023). Ocorreu a redução na quantidade de aminoácidos totais para os PHF
842 avaliados em relação ao produto controle, relacionando-se de maneira proporcional a redução
843 dos níveis de PB (Tabela 1). Os níveis de lisina fornecidos pelos PHF foram reduzidos em

844 uma proporção similar ao nível de proteína. A lisina é um aminoácido utilizado para cálculo
845 de proteína ideal em rações, sendo necessária cautela ao utilizar tais produtos em formulação
846 de rações, além de ser o primeiro aminoácido limitante em algumas fontes proteicas
847 alternativas à farinha de peixe (Bomfim et al., 2010). Em comparação com outros estudos que
848 avaliaram a digestibilidade de hidrolisados proteicos de coprodutos de aves. Rocha (2018)
849 encontrou valores de CDA para os aminoácidos do PHF entre 94,02% para a alanina e
850 99,77% para o triptofano, demonstrando que esses nutrientes foram eficientemente utilizados
851 pela tilápia-do-Nilo. assim como no presente estudo.

852 O estudo teve como objetivo, não somente avaliar o coeficiente de digestibilidade do
853 PHF pela tilápia-do-Nilo, mas também, investigar a inclusão de coadjuvantes com atividades
854 funcionais que possam elevar a qualidade nutricional deste alimento sem interferir em sua
855 excelente digestibilidade, como visto em estudos anteriores. Em relação a utilização da
856 maltodextrina, Muñoz-Ramirez (2005) estudando a utilização de diferentes fontes de
857 carboidratos para pacu (*Piaractus mesopotamicus*), relatou que as dietas formuladas com 20%
858 do carboidrato maltodextrina apresentou o melhor índice de digestibilidade aparente para
859 proteína e energia bruta.

860 O uso de hidrolisado com levedura apresentou elevado coeficiente de digestibilidade,
861 os componentes nutricionais presentes em leveduras, quando utilizados em baixos níveis de
862 inclusão, atuam positivamente no trato digestório e microbiota intestinal de peixes
863 favorecendo o desempenho animal e crescimento. sendo comumente disponibilizada em forma
864 autolisada ou íntegra (HISANO et al., 2008). A utilização de leveduras na composição do
865 hidrolisado proteico de frango não interferiu na elevada digestibilidade do produto, haja vista
866 a elevada digestibilidade deste aditivo. Ao avaliar os coeficientes de digestibilidade aparente
867 da proteína de dietas contendo diferentes níveis de leveduras, derivado da parede celular da
868 levedura *Saccharomyces cerevisiae*, foram observados valores de 88,17 a 90,41% de CDAs
869 para tilápia-do-Nilo (*O. niloticus*) (Schwarz et al., 2010). Visto seu alto valor nutricional e
870 ação imunoestimulante, as leveduras apresentam-se como importante ingrediente para compor
871 rações para organismos aquáticos, apresentando resultados positivos como substituto da
872 farinha de peixe (Oliva-Teles & Gonçalves. 2001; Gonçalves et al., 2010).

873 O reaproveitamento dos coprodutos oriundos do abate animal ganha cada vez mais
874 notoriedade. Essa característica nutricional do PHF, com elevada digestibilidade e
875 biodisponibilidade, advinda de processos biotecnológicos revela o potencial da utilização

876 destes hidrolisados em formulações de dietas. Avaliações de viabilidade econômica do PHF
877 tornam-se necessárias para que o produto seja efetivamente utilizado na cadeia aquícola.

878

879 **5. CONCLUSÃO**

880 Os elevados valores de CDA obtidos para o PHF com a inclusão ou não de substâncias
881 adjuvantes (>96%) para todos os nutrientes e energia revela o potencial deste ingrediente para
882 formulações de rações para peixes. O uso de substâncias coadjuvantes no processo de
883 elaboração de hidrolisados proteicos podem ser ferramentas aos formuladores de rações para
884 garantir a funcionalidade dos hidrolisados proteicos, haja vista os valores elevados de
885 coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes, energia e aminoácidos.

886

887 **AGRADECIMENTOS**

888 Gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e
889 Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos (Processo CNPQ 142147/2020-6) e a
890 empresa BRF Brasil Foods Ingredients, unidade de Curitiba-PR pelo apoio na aquisição dos
891 insumos para as dietas experimentais e apoio financeiro para as análises.

892

893 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

894

895 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). (2024) Relatório
896 Anual 2024. São Paulo.

897

898 ANDRADE. C. D.; ALMEIDA. V. V.; COSTA. L. B.; BERENCHTEIN. B.;
899 MOURÃO. G. B.; MIYADA. V. S. (2015) Levedura hidrolisada como fonte de nucleotídeos
900 para leitões recém desmamados. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 40. 788-796.
901 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000400012>

902

903 ALVES. R. S. A.; OLIVEIRA. S. R.; LUCZINSKI. T. G.; PAULO. I. G. P.;
904 BOSCOLO. W. R.; BITTENCOURT. F.; SIGNOR. A. (2019b) Palatability of protein
905 hydrolysates from industrial byproducts for Nile tilapia juveniles. **Animals**. 9. 2–11.
906 <https://doi.org/10.3390/ani9060311>

907

908 ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of
909 Analysis of Official Analytical Chemists. 17. ed. Arlington: Inc. 2000.

910

911 BOMFIM. M.A.D.; LANNA. E.A.T.; DONZELE. J.L.; QUADROS. M.; RIBEIRO.
912 F.B.; SOUSA. M.P. (2010) Níveis de lisina. com base no conceito de proteína ideal. em
913 rações para alevinos de tilápia-do-Nilo. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.39. n.1. p.1-8.
914 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000100001>

915

916 BOSCOLO. W. R.; HAYASHIII. C.; FEIDEN. A.; MEURER. F.; SIGNOR. A. A.
917 (2008) Apparent energy digestibility and meal nutrients from tilapia filleting industrial waste
918 for the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Ciência Rural**. Santa Maria. v.38. n.9. p.2579-
919 2586. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008005000022>

920

921 BREMER NETO. H.; GRANER. C. A. F.; PEZZATO. L. E.; PADOVANI. C. R.
922 (2005) Determinação de rotina do crômio em fezes. como marcador biológico. pelo método
923 espectrofotométrico ajustado da 1.5-difenilcarbazida. **Ciência rural**. v.35. n.3. p. 691 – 697.
924 <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000300033>

925

926 BROGGI. J. A.; WOSNIAK. B.; UCZAY. J. PESSATI. M. L.; FABREGAT. T. E. H.
927 P. (2017) Hidrolisado proteico de resíduo de sardinha como atrativo alimentar para juvenis de
928 jundiá. **Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária Zootecnia**. 69. 505–512.
929 <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8348>

930

931 CARDOSO. M.S.; GODOY. A.C.; OXFORD. J.H.; RODRIGUES. R.; CARDOSO.
932 M.S.; BITTENCOURT. F.; SIGNOR. A.; BOSCOLO. W.R.; FEIDEN. A. (2021) Apparent
933 digestibility of protein hydrolysates from chicken and swine slaughter residues for Nile
934 tilapia. **Aquaculture**. v. 530. 735720. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735720>

935

936 DUBEY. R.C.; MAHESHWARI. D.K.; SARAVANAMURTHU. R. Industrial
937 Exploitation of Microorganisms. I.K. International Publ. House P Ltd. New Delhi. 2010
938 p.436.

939

940 FAO. (2024). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024**. Blue
941 Transformation in action. Rome.

942

943 FERREIRA. A.; KUNH. S.S.; CREMONEZ. P.A.; DIETER. J.; TELEKEN. J.G;
944 SAMPAIO. S.C.; KUNH. P.D. (2018) Brazilian poultry activity waste: Destinations and
945 energetic potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 81. p. 3081-3089.
946 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.078>

947

948 FRACALOSSO. D.M.; CYRINO. J.E.P. (2013) Nutriaqua: nutrição e alimentação de
949 espécies de interesse para a aquicultura brasileira. editora Aquabio. ISBN: 978-85-60190-03-
950 4.

951

952 FURUYA. W.M.; CRUZ. T.P.d.; GATLIN. D.M. III. (2023) Amino Acid
953 Requirements for Nile Tilapia: An Update. **Animals**. 13. 900.
954 <https://doi.org/10.3390/ani13050900>

955

956 GONÇALVES. L.U.; CARVALHO. M.; VIEGAS. E.M.M. (2010) Utilização de
957 levedura íntegra e seus derivados em dietas para juvenis de tilápia-do-Nilo. **Ciência Rural**.
958 Santa Maria. v.40. n.5. p.1173-1179. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010000500027>

959

960 HASSAN. H. Antioxidant and immunostimulating activities of yeast (*Saccharomyces*
961 *cerevisiae*) autolysates. **World Applied Sciences Journal** 15. 1110–1119. 2011. ISSN 1818-
962 4952

963

964 HISANO. H.; SAMPAIO. F.G.; BARROS. M.M.; PEZZATO. L.E. (2008)
965 Digestibilidade aparente de rações contendo levedura íntegra, levedura autolisada e parede
966 celular pela tilápia-do-Nilo. **Boletim do Instituto de Pesca**. v. 34. n. 2. p. 281-287. ISSN:
967 0046-9939

968

969 KHOSRAVI. S.; BUI H.T.D.; RAHIMNEJAD. S.; HERAULT. M. FOURNIER. V.
970 KIM. S.; JEONG. J.B.; LEE. K.J. (2015a) Dietary supplementation of marine protein
971 hydrolysates in fish-meal based diets for red sea bream (*Pagrus major*) and olive flounder

972 (*Paralichthys olivaceus*). **Aquaculture** 435: 371–376.
973 <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.10.019>
974

975 KRISHNAN. S.; BHOSALE. R.; SINGHAL. R. S. (2005) Microencapsulation of
976 Cardomom oleoresin: evaluations of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch
977 as wall materials. **Carbohydrate Polymers**. 61(1). 95-102.
978 <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.02.020>
979

980 LEWANDOWSKI. V.; DECARLI. J.A.; PEDRON. F.A.; FEIDEN. A.; SIGNOR. A.;
981 BOSCOLO. W.R. (2013) Hidrolisados cárneos na alimentação do surubim do Iguçu
982 (*Steindachneridion melanodermatum*). **Revista Brasileira de Ciência Veterinária** 20. 222–
983 226. <https://doi.org/10.4322/rbcv.2014.008>
984

985 MARCHAL. L.M.; BEEFTINK. H.H.; TRAMPER. J. (1999) Towards a rational
986 design of commercial maltodextrins. **Trends in Food Science and Technology**. v. 10. n. 11.
987 p. 345-355. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)00018-2](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)00018-2)
988

989 MALAV. O.P.; BIRLA. R.; VIRK. K.S.; SANDHU. H.S.; MEHTA. N.; KUMAR. P.;
990 WAGH. R.V. (2018) Safe disposal of slaughter house waste. **Appro Poult Dairy Vet**
991 **Science**. 2:3–5. <https://doi.org/10.31031/apdv.2018.02.000542>
992

993 MORA. L.; REIG. M.; TOLDRÁ. F. (2016) Bioactive peptides generated from meat
994 industry by-products. **Food Research International**. v.65. p.344-349.
995 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.014>
996

997 MUÑOZ RAMÍREZ. A.P. (2005) Utilização de carboidratos digestíveis em dietas
998 para pacu. *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). 2005. iv. 123 f. Tese (doutorado) -
999 Universidade Estadual Paulista. Centro de Aquicultura.

1000

1001 NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2011. Nutrient requirements of fish and
1002 shrimp. National Academies Press. Washington. 379p.
1003

1004 OGAVA. L. E.; GODOY. A. C.; FANTINI-HOAG. L.; FERNANDES. V. L.;
1005 NEGRINI. C.; PISOL. C. D.; LEITE. O. D.; CANAN. C.; FIORESE. M. L.; BOSCOLO. W.
1006 R. (2023) Physical and Chemical Characterization of Chicken Viscera Hydrolysate:
1007 Nutritional Information for Nile Tilapia Diets. **Waste and Biomass Valorization**. v. S/ vol. p.
1008 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02192-7>
1009
1010 OLIVA-TELES. A.; GONÇALVES. P. (2001) Partial replacement of fishmeal by
1011 brewersyeast (*Saccharomices cerevisiae*) in diets for sea bass (*Dicentrarchus labrax*)
1012 juveniles. **Aquaculture**. v.202. n.3-4. p.269-278. [https://doi.org/10.1016/S0044-](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00777-3)
1013 [8486\(01\)00777-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00777-3)
1014
1015 OZÓRIO. R. O.; PORTZ. L.; BORGHESI. R.; CYRINO. J. E. (2012) Effects of
1016 dietary yeast (*Saccharomyces cerevisie*) supplementation in practical diets of tilapia
1017 (*Oreochromis niloticus*). **Animals**. 2(1). 16-24. <https://doi.org/10.3390/ani2010016>
1018
1019 PEZZATO. L. E.; MIRANDA. E. C.; BARROS. M. M.; PINTO. L.G.Q.; FURUYA.
1020 W. M.; PEZZATO. A. C. (2002) Digestibilidade aparente de ingredientes pela tilápia-do-Nilo
1021 (*Oreochromis niloticus*). **Brazilian Journal of Animal Science**. v. 31. n.4. p. 1595 – 1604.
1022 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000700001>
1023
1024 ROCHA J.D.A.M. (2018) Proteína hidrolisada de frango para tilápia-do-Nilo:
1025 digestibilidade e desempenho produtivo. Toledo – PR. Tese (doutorado) Programa Recursos
1026 Pesqueiros e Engenharia de Pesca. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
1027
1028 ROCHA. J.D.M.; ROSSETO. J. F.; SILVA. T.C.; FEIDEN. A.; BITTENCOURT. F.;
1029 BOSCOLO. W.R.; SIGNOR. A. (2021) Proteína hidrolisada de frango em dietas para
1030 alevinos de tilápia. **Research. Society and Development**. v. 10. n. 14. e154101421796.
1031 <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21796>
1032
1033 SANTOS. R. A.; BRISQUELEAL. J. C. P.; PIOVESAN. M. R.; SOUZA. O. J.;
1034 BOSCOLO. W. R.; BITTENCOURT. F. (2023) Attractiveness and palatability of feather
1035 protein hydrolysate for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Observatório De La**
1036 **Economía Latinoamericana**. 21(9). 11300–11317. <https://doi.org/10.55905/oelv21n9-043>

1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057

SCHWARZ. K. K.; FURUYA. W. M.; NATALI. M. R. M.; MICHELATO. M.;
GUALDEZI. M. C. (2010) Mananoligossacarídeo em dietas para juvenis de tilápias do Nilo.
Acta Scientiarum. Animal Sciences. 32. n.2. 197-203.
<https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v32i2.7724>

SILVA. T. C.; ROCHA. J. D. M.; MOREIRA. P.; SIGNOR. A.; BOSCOLO. W. R.
(2017) Fish protein hydrolysate in diets for Nile tilapia post-larvae. **Pesquisa Agropecuária
Brasileira.** v.52. 485 – 492. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000700002>

STATSOFT. Inc. (2005). STATISTICA (data analysis software system). version 7.1.
www.statsoft.com.

TRAN-DUY A.. SMIT B.. VANDAM A.A. SCHRAM J.W. (2008) Effects of dietary
starch and energy levels on maximum feed intake. growth and metabolism of Nile tilapia.
Oreochromis niloticus. **Aquaculture.** 277(3–4): 213–219.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.03.004>

TOLDRÁ. F.; MORA. L.; REIG. M. (2016) New insights into meat by-product
utilization. **Meat Science.** 120: 54 - 59. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.021>

1058

1059

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1060

1061 A reciclagem dos resíduos oriundos do abate animal ganha cada vez mais notoriedade.

1062 Os produtos avaliados no presente trabalho apresentaram características nutricionais de

1063 interesse na aquicultura. A elevada digestibilidade e biodisponibilidade, advinda de processos

1064 biotecnológicos revela o potencial da utilização de hidrolisados em formulações de dietas.

1065 O processo de atomização de hidrolisados proteicos promove a manutenção de sua

1066 qualidade nutricional, além de estar relacionado com o processo de incorporação de

1067 coadjuvantes funcionais que podem atuar no processo de microencapsulação e estabilidade

1068 das reações químicas no produto final.

1069 O uso de substâncias coadjuvantes no processo de elaboração de hidrolisados

1070 proteicos podem ser ferramentas aos formuladores de rações para garantir a funcionalidade

1071 dos hidrolisados proteicos, haja vista os valores elevados de coeficientes de digestibilidade

1072 aparente dos nutrientes, energia e aminoácidos.

1073 Avaliações de viabilidade econômica dos hidrolisados proteicos tornam-se necessárias

1074 para que o produto seja efetivamente utilizado na cadeia aquícola.

1075

CONCLUSÃO GERAL

1076

1077 A produção do hidrolisado proteico de pescado (HFP) atomizado de carcaça de tilápia-

1078 do-Nilo eleva a concentração nutricional e o valor biológico da matéria-prima. A composição

1079 centesimal do HFP, com teor de proteína bruta de 924,60 g kg⁻¹ revela que o produto

1080 apresenta elevado valor biológico e qualidade nutricional. Além disso, os coeficientes de

1081 digestibilidade aparente (CDA) da proteína bruta (92,90%) e da energia (91,59%) e de

1082 aminoácidos revelam que o HFP é um potencial ingrediente proteico e de moléculas de baixo

1083 peso molecular a ser utilizado como suplemento alimentar em dietas para tilápia-do-Nilo (*O.*

1084 *niloticus*).

1085 Elevados valores de CDA foram obtidos para o PHF, com a inclusão ou não de

1086 substâncias adjuvantes (>96%) para todos os nutrientes e energia, revelando o potencial deste

1087 ingrediente para formulações de rações para peixes. A inclusão de coadjuvantes com

1088 atividades funcionais, que possam elevar a qualidade nutricional deste alimento sem interferir

1089 em sua excelente digestibilidade, pode ser considerada uma ferramenta de manutenção da

1090

- 1091 qualidade nutricional e disponibilidade de nutrientes e peptídeos bioativos para tilápia-do-
1092 Nilo (*O. niloticus*).