

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

RENAN GUSTAVO DE OLIVEIRA

Hidrolisados proteicos em rações extrusadas para tilápia: produtividade e
qualidade dos péletes

Toledo
2024

RENAN GUSTAVO DE OLIVERA

Hidrolisados proteicos em rações extrusadas para tilápia: produtividade e
qualidade dos péletes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de 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 Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Rogério Boscolo
Co-orientador: Prof. Dr. Arcangelo Augusto Signor

Toledo

2024

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

de Oliveira, Renan Gustavo

Hidrolisados proteicos em rações extrusadas para tilápia: produtividade e qualidade dos péletes / Renan Gustavo de Oliveira; orientador Wilson Rogério Boscolo; coorientador Arcangelo Augusto Signor. -- Toledo, 2024.

37 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico 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. Consumo de energia. 2. Extrusão. 3. Estabilidade de rações. 4. Rações para peixe. I. Boscolo, Wilson Rogério, orient. II. Signor, Arcangelo Augusto, coorient. III. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

RENAN GUSTAVO DE OLIVEIRA

Hidrolisados proteicos em rações extrusadas para tilápia: produtividade e
qualidade dos péletes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de 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 Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

COMISSÃO JULGADORA



Prof. Dr. Arcangelo Augusto Signor
Instituto Federal do Paraná (Presidente)

Prof. Dr. Pitágoras Augusto Piana
Universidade Estadual do Oeste do Paraná



Prof. Dr. Sidnei Klein
Instituto Federal do Paraná

Aprovada em: 21 de junho e 2024
Local de defesa: Mini Auditório do Gerpel

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho exclusivamente
aos meus pais e meu irmão por todo
amor e incentivo repassado.*

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Wilson Rogério Boscolo pela confiança, conhecimento e incentivos repassados, onde mesmo à distância não mediu esforços para me orientar.

Ao professor, co-orientador, amigo e companheiro de trabalho Arcangelo Augusto Signor, pela confiança, conhecimento e incentivos repassados durante todos os momentos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca pelos conhecimentos repassados.

Aos amigos pelo apoio concedido.

Aos professores do colegiado de Aquicultura do IFPR campus Foz do Iguaçu pelas contribuições e a própria instituição pela liberação para realização do Mestrado.

Não tenha medo de viver, de correr atrás
dos sonhos. Tenha medo de ficar parado.
(ANITA GARIBALDI)

Hidrolisados proteicos em rações extrusadas para tilápia: produtividade e qualidade dos péletes

RESUMO

O crescimento da aquicultura impulsionou a produção de ração e os estudos voltados à nutrição aquática, principalmente na inclusão de novos produtos nas dietas, visando a melhoria no desempenho produtivo. Este trabalho teve como objetivo avaliar se a inclusão de hidrolisado enzimático de penas (HEP) e proteína hidrolisada de frango (PHF) em rações extrusadas para tilápia melhoram os índices de produtividade da extrusora e a qualidade dos péletes. Para isso, foram formuladas três dietas (controle, HEP e PHF), misturadas, processadas em extrusora Exteec[®] Ex-30R de 40 kg/h, secas em estufa e submetidas às avaliações. Foram realizadas seis extrusões (réplicas) para cada dieta, com seis repetições a cada três minutos. Analisamos os índices que avaliam a produtividade de ração da extrusora e as estabilidades física e química dos péletes. Análises de variância foram realizadas afim de identificar diferenças das médias entre os tratamentos para todas as análises. A produção de ração seca e o consumo de água diminuíram significativamente nas dietas com inclusão, ao mesmo tempo em que o consumo de energia e a relação consumo/produção aumentaram. Sobre os índices de estabilidade física, houve diminuição da densidade e aumento significativo da expansão com as inclusões. A quantidade de finos foi menor para a dieta HEP e semelhantes entre controle e PHF. A fluvariabilidade das rações foi de 100% ao longo de 20 minutos. Não houve diferença na dureza dos péletes. Para a estabilidade química dos péletes, resultados semelhantes para a umidade de extrusão e atividade de água, com diminuição nas dietas contendo hidrolisados. A perda de fósforo total por lixiviação foi maior para HEP e iguais para controle e HEP, com diferenças estatísticas. Para amônia total, a dieta controle obteve a maior perda e as contendo hidrolisados foram semelhantes. A dieta controle apresentou câmaras de ar maiores e em menor quantidade, e as dietas contendo hidrolisados apresentaram câmaras menores com diferentes formatos, na microestrutura dos péletes. Conclui-se que, dietas com inclusão de hidrolisados proteicos em rações extrusadas para tilápia prejudicam os índices de produtividade da extrusora, em razão do maior gasto energético e menor produtividade, altera significativamente os índices de estabilidade física dos péletes, reduzindo a densidade e aumentando a expansão, e melhora os índices de estabilidade química, com redução da umidade, atividade de água e perda de amônia por lixiviação.

Palavras-chave: Consumo de energia. Extrusão. Estabilidade de rações. Rações para peixe.

Protein hydrolysates in extruded tilapia feed: productivity and quality of pellets

ABSTRACT

The growth of aquaculture has boosted feed production and studies focused on aquatic nutrition, mainly on the inclusion of new products in diets, aiming to improve production performance. This work aimed to evaluate whether the inclusion of enzymatic hydrolyzed feathers (HEP) and hydrolyzed chicken protein (PHF) in extruded feed for tilapia improves the extruder's productivity rates and the quality of the pellets. For this, three diets were formulated (control, HEP and PHF), mixed, processed in an Exteec® Ex-30R 40 kg/h extruder, dried in an oven and subjected to evaluations. Six extrusions (replicates) were performed for each diet, with six repetitions every three minutes. We analyze the indices that evaluate the extruder's feed productivity and the physical and chemical stability of the pellets. Analysis of variance was performed in order to identify differences in means between treatments for all analyses. Dry feed production and water consumption decreased significantly in diets with inclusion, at the same time that energy consumption and the consumption/production ratio increased. Regarding physical stability indices, there was a decrease in density and a significant increase in expansion with inclusions. The amount of fines was lower for the HEP diet and similar between control and PHF. Feed buoyancy was 100% over 20 minutes. There was no difference in the hardness of the pellets. For the chemical stability of the pellets, similar results for extrusion humidity and water activity, with a decrease in diets containing hydrolysates. Total phosphorus loss by leaching was greater for HEP and equal for control and HEP, with statistical differences. For total ammonia, the control diet had the highest loss and those containing hydrolysates were similar. The control diet presented smaller and larger air chambers, and the diets containing hydrolysates presented smaller chambers with different shapes in the microstructure of the pellets. It is concluded that diets including protein hydrolysates in extruded feeds for tilapia harm the extruder's productivity indices, due to greater energy expenditure and lower productivity, significantly altering the physical stability indices of the pellets, reducing density and increasing expansion, and improves chemical stability indices, with reduced humidity, water activity and ammonia loss through leaching.

Keywords: Energy consumption. Extrusion. Feed stability. Fish feed.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1 Formulação das rações.....	12
2.2 Hidrolisados proteicos utilizados	13
2.3 Características da extrusora	14
2.4 Índices de produtividade da extrusora	15
2.4.1 Produção de ração seca.....	15
2.4.2 Consumo de energia	15
2.4.3 Relação consumo de energia/produção	16
2.4.4 Consumo de água	16
2.5 Índices de estabilidade física das rações.....	16
2.5.1 Capacidade de flutuação na água.....	16
2.5.2 Densidade da ração	16
2.5.3 Expansão dos péletes	16
2.5.4 Finos da ração	16
2.5.5 Dureza dos péletes	17
2.6 Índices de estabilidade química das rações	17
2.6.1 Umidade de extrusão	17
2.6.2 Atividade de água	17
2.6.3 Lixiviação de nutrientes.....	17
2.6.4 Microestrutura dos péletes.....	17
2.7 Análises estatísticas	18
3 RESULTADOS	18
4 DISCUSSÃO	23
5 REFERÊNCIAS	27
APÊNDICE A – Análise da metodologia de processamento das dietas	32
APÊNDICE B – Resultados das análises de produtividade da extrusora e qualidade dos péletes das rações.....	35
APÊNDICE C – Resultados da análise de componentes principais.....	36

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura é uma das atividades que mais cresce nos últimos anos. Tal crescimento exige uma ampla demanda de ração para o cultivo, onde foi prevista a produção de 1,44 milhão de toneladas no ano de 2023 no Brasil para piscicultura (Sindirações, 2023). Em razão disso, a nutrição aquática vem sendo muito estudada (Naylor *et al.*, 2021) principalmente na inclusão de novos produtos na dieta visando a melhoria no desempenho produtivo (Hou Yongqing *et al.*, 2017; da Silva *et al.*, 2021; Rocha *et al.*, 2021).

Em estudos com peixes a utilização do hidrolisado proteico como suplemento alimentar tem proporcionado resultados satisfatórios em relação ao crescimento. Pesquisas demonstram que a inclusão desses produtos, como a proteína hidrolisada de frango (PHF) (Rocha *et al.*, 2021) e o hidrolisado enzimático de penas (HEP) (Xavier, 2022) em baixas concentrações, 3 e 1%, respectivamente, melhoram os aspectos produtivos de alevinos de tilápia.

Uma vez que novos ingredientes se tornam disponíveis e ocorrem avanços tecnológicos de equipamentos, é obrigatória uma compreensão completa dos fatores que afetam a qualidade dos péletes (Behnke, 2001). No entanto, a maioria dos estudos alimentares avalia o valor de novos ingredientes em termos de qualidade nutricional, com foco principal na digestibilidade, desempenho de crescimento, saúde e consumo de ração, negligenciando os efeitos desses ingredientes na qualidade dos péletes (Sørensen, 2012).

Uma ração de qualidade é imprescindível para a produção de peixes, cujo processo de fabricação tem grande importância (Brito *et al.*, 2017). Para peixes, a extrusão é o processo predominante da fabricação de rações (Khater *et al.*, 2014), aumentando a digestibilidade e as propriedades funcionais, como estabilidade em água e fluotabilidade (Delgado & Reyes-Jaquez, 2018) e tem influência direta na qualidade dos péletes (Kraugerud *et al.*, 2011). A produção de rações extrusadas para peixes exige um rigoroso controle de processo. O setor demanda um produto de qualidade aceitável (Khater *et al.*, 2014), que garanta o consumo, taxa de conversão alimentar adequada e parâmetros produtivos (Rosentrater *et al.*, 2009). Obter péletes com qualidade satisfatória é um desafio, pois é resultado da interação entre as condições de processamento e os ingredientes.

Os ingredientes sofrem mudanças significativas durante o processo de condicionamento e extrusão, à medida que é aquecido, amassado e cisalhado (Sørensen, 2012). Diferenças na temperatura de extrusão tem impacto na gelatinização e na desnaturação do amido (Sørensen, 2012), e aliados às diferenças nos teores de umidade influenciam diretamente na dureza de péletes (Delgado & Reyes-Jaquez, 2018).

Embora a tecnologia de extrusão seja utilizada com o propósito de produzir alimentos com alta qualidade, pesquisas mostram que a qualidade das rações extrusadas varia com a formulação da dieta (Glencross *et al.*, 2010; Glencross *et al.*, 2011; Draganovic *et al.*, 2011; Kraugerud & Svihus 2011; Kraugerud *et al.*, 2011), configuração (Sørensen *et al.*, 2010) e parâmetros da extrusora (Morken *et al.*, 2012; Sørensen *et al.*, 2011). Péletes com qualidades físicas insatisfatórias podem afetar a taxa de esvaziamento gástrico e o consumo de ração, e as conclusões sobre a palatabilidade dos ingredientes podem ser facilmente confundidas por essas diferenças (Sørensen, 2012).

Além disso, péletes com instabilidade física tendem a sofrer maiores perdas de nutrientes por lixiviação. O alimento exógeno fornecido aos peixes deve permanecer estável na água por tempo suficiente para que a ração seja ingerida pelos peixes (Potrich *et al.*, 2011), evitando assim a desintegração dos péletes (Motikawa, 2006) e possíveis deteriorações da qualidade da água (Simon *et al.*, 2021).

Uma vez que a qualidade do pélete é afetado devido ao processamento e a sua formulação, os índices produtivos da extrusora também podem sofrer alterações. Esses índices têm influência direta no valor comercial das rações, que representa o maior custo na produção de peixes, principalmente da tilápia (Scorvo Filho *et al.*, 2010), chegando a 70% (Noskoski *et al.*, 2023). Logo, a inclusão de novos ingredientes pode afetar a produtividade da extrusora, aumentando o consumo energético, resultando no maior custo do produto final.

Levando em consideração a relevância de estudos sobre a qualidade dos péletes de rações extrusadas para peixes e, a importância da inclusão de novos produtos nas dietas visando a melhoria nos índices produtivos, este trabalho teve como objetivo avaliar se a inclusão de hidrolisados proteicos em rações extrusadas para tilápia alteram os índices de produtividade da extrusora e a qualidade dos péletes. Foi avaliado se a inclusão de HEP e PHF em rações extrusadas para tilápia alteram a: i) produção de ração, o consumo de energia e água da extrusora; ii) a estabilidade física dos péletes em termos de capacidade de flutuação na água, densidade da ração, expansão dos péletes, finos da ração e dureza dos péletes; e iii) a estabilidade química dos péletes em termos de umidade de extrusão, atividade de água, lixiviação de nutrientes e microestrutura dos péletes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Fábrica de Ração, Bloco H, do Instituto Federal do Paraná – Campus Foz do Iguaçu. Os hidrolisados HEP e PHF foram cedidos pela empresa Brasil Foods S/A (sector BRF® Ingredientes).

2.1 Formulação das rações

Foram avaliadas três dietas, sendo uma controle (sem adição de hidrolisado) e outras duas contendo 2% de inclusão de HEP e PHF (Tab. 1). As dietas foram formuladas de forma a serem isoenergéticas, isoprotéicas, isocalcíticas e isofosfóricas, com base em exigências propostas pela NRC (2011).

Os macros ingredientes foram pesados em balança de precisão nas proporções estabelecidas e submetidos a primeira moagem em moinho tipo martelo em peneira de 0,7 milímetros de diâmetro. Após, os demais ingredientes, exceto os hidrolisados, foram pesados em balança semi-analítica, misturados e submetidos a segunda moagem em peneira de 0,3 milímetros de diâmetro. De acordo com o peso da ração pós moagem, foi calculado a quantidade de hidrolisado para cada tratamento, misturado e extrusado em matriz de 1,7 mm, em extrusora Exteec[®] Ex-30R de 40 kg/h, sendo que a máquina foi regulada para cada réplica separadamente. Posteriormente, em estufa de ventilação forçada as rações foram secadas à 120°C por 30 minutos, desidratadas e submetidas às avaliações. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em um esquema de seis réplicas (extrusões) com seis repetições (três minutos cada) para cada tratamento. Entre cada réplica foi realizado a limpeza do condicionador, do canhão, sub matriz, matriz e aguardado o resfriamento dos motores, em média uma hora. Tal metodologia foi testada por meio de análise de variância nos termos das análises de produtividade (APÊNDICE A).

Tabela 1 – Formulações e níveis nutricionais das dietas experimentais com inclusão de hidrolisados para tilápia do Nilo. HEP= hidrolisado enzimático de penas. PHF= proteína hidrolisada de frango (continua).

Ingredientes (%)	Tratamentos		
	Controle	HEP	PHF
Farinha de penas	11,85	9,46	11,04
Farinha de vísceras	15,49	15,41	15,44
Milho grão	29,32	29,08	30,61
Soja farelo	29,5	30,18	27,30
Trigo farelo	10,32	10,27	10,30
PHF	0,00	0,00	2,00
HEP	0,00	2,00	0,00
Antifúngico	0,10	0,10	0,10
Antioxidante	0,02	0,02	0,02
DL-Metionina	0,33	0,33	0,31
Fosfato bicálcico	0,94	0,95	0,88
L-Lisina HCL	0,49	0,47	0,43

Tabela 1 – Formulações e níveis nutricionais das dietas experimentais com inclusão de hidrolisados para tilápia do Nilo HEP= hidrolisado enzimático de penas. PHF= proteína hidrolisada de frango (conclusão).

Níveis nutricionais (%)	Tratamentos		
	Controle	HEP	PHF
L-Treonina	0,29	0,28	0,29
Premix peixes	0,83	0,82	0,82
Sal comum	0,54	0,38	0,55
Níveis nutricionais (%)			
Amido	24,47	24,50	25,09
Arginina	2,41	2,43	2,41
Cálcio	1,00	1,00	1,00
Energia digestível (kcal kg ⁻¹)	3299,99	3299,99	3300,00
Fenilalanina + Tirosina	2,80	2,81	2,68
Fósforo	0,95	0,95	0,95
Gordura	7,59	7,34	7,22
Histidina	0,73	0,73	0,74
Isoleucina	1,53	1,54	1,52
Leucina	2,81	2,80	2,80
Lisina	2,16	2,16	2,16
Metionina + Cistina	1,59	1,57	1,52
Metionina	0,80	0,80	0,80
Proteína bruta	36,00	36,00	36,00
Sódio	0,36	0,36	0,36
Treonina	1,72	1,72	1,72
Triptofano	0,36	0,36	0,36
Valina	1,91	1,94	1,90

2.2 Hidrolisados proteicos utilizados

Os produtos utilizados foram o hidrolisado enzimático de penas (HEP) e a proteína hidrolisada de frango (PHF). Os produtos foram obtidos por hidrólise enzimática de penas e vísceras de frango, respectivamente, coletados após o abate dos animais e em um período inferior a três horas após o abate. Os hidrolisados foram fornecidos e produzidos pela Brasil Foods S/A (sector BRF[®] Ingredientes), cujas composições químicas estão descritas na tabela 2.

Tabela 2 – Composição química do hidrolisado enzimático de penas (HEP) e proteína hidrolisada de frango (PHF) (matéria seca como linha de base)

Composição química^a	HEP	PHF
Energia bruta (kJ g ⁻¹)	20,52	22,59
Gordura bruta (g kg ⁻¹)	26,12	81,14
Matéria seca (g kg ⁻¹)	962,74	935,71
Proteína bruta (g kg ⁻¹)	763,33	781,82
Aminoácidos essenciais (EAA) (g kg⁻¹)^{bc}		
Arginina	48,6	47,71
Histidina	7,16	17,63
Isoleucina	37,91	30,56
Leucina	63,66	55,35
Lisina	20,04	48,94
Metionina	6,95	17,41
Fenilalanina	38,63	30,03
Treonina	32,50	29,49
Triptofano	4,25	5,12
Valina	80,28	37,61
EAA totais	339,98	319,85
Aminoácidos não essenciais (NEAA) (g kg⁻¹)^b		
Ácido aspártico	57,43	66,04
Ácido glutâmico	83,61	103,45
Alanina	37,59	49,48
Cistina	20,98	9,93
Glicina	60,65	64,22
Prolina	73,74	43,38
Serina	77,48	30,35
Taurina	1,45	7,26
Tirosina	25,13	23,08
NEAA total	438,06	397,19
Aminoácidos totais	778,04	717,04

Adaptada de Santos Cardoso (2021). ^aValores determinados no Laboratório de Análise de Alimentos (LQA) – Grupo de Estudos de Manejo na Aquicultura – GEMAQ – Unioeste, Toledo-PR, Brasil. ^bLaboratório Comercial (CBO Análises Laboratoriais Ltda., Valinhos-SP, Brasil. ^cValores da análise realizado em triplicata.

2.3 Características da extrusora

A extrusora utilizada para o trabalho foi o modelo Ex-30R da Extec[®] (Fig. 1), com capacidade de produção de 40 kg/h. Apresenta painel elétrico, câmeras de refrigeração, silo,

tampas laterais e bica de saída em aço inoxidável. Conta com quatro motores 220v trifásicos Weg® para acionamento de cada parte do equipamento, totalizando 9,16 HP. Um motor elétrico principal, para acionamento do canhão, de 7,5 HP, acoplado por correias em “V” ao mancal de rolamentos, mais três motores com inversores de frequência, sendo um com 1,0 HP para o sistema de corte com rotação variável e outros dois de 0,33 HP para o condicionador e dosador. O motor do dosador também aciona o agitador contido dentro do silo, que direciona a ração para o condicionador.

O silo com agitador apresenta hélices internas para homogeneizar e dosar o produto na rosca dosadora do condicionador. O condicionador é duplo com roscas helicoidais para alimentação, o qual recebe a água a temperatura ambiente para umidificar a massa. A água para o resfriamento do canhão é conduzida por mangueiras que entram por cima e saem por baixo. O painel de controle elétrico apresenta componentes da marca Siemens®.



Figura 1 – Vistas laterais, frontal, painel elétrico de controle e componentes da extrusora Extec® EX-30R.

2.4 Índices de produtividade da extrusora

2.4.1 Produção de ração seca

A cada três minutos de extrusão, as rações foram coletadas em bandejas, submetidas a secagem e ao final foram pesadas em balança de precisão, para a quantificação da produção de ração seca, expresso em quilograma por hora (kg/h). Para cada tratamento foi realizado uma medição por repetição e expressos pela média de cada réplica (n=6).

2.4.2 Consumo de energia

Durante as extrusões foi mensurado a potência (Watts) da extrusora diretamente do disjuntor que alimenta toda a máquina, usando um alicate Wattímetro digital ET-4091 Minipa®, e os valores extraídos pelo software DMM Data Logger Bs157. O valor extraído foi

multiplicado pelo tempo de consumo de cada repetição e feito a média de cada réplica (n=6), sendo expresso em Watt-hora (Wh).

2.4.3 Relação consumo de energia/produção

Para determinar a quantidade de energia gasta por quilograma de ração produzida, os valores do consumo de energia foram divididos pela produção de ração de cada tratamento, sendo expressos os valores em Watt-hora por quilograma de ração (Wh/kg de ração) (n=6).

2.4.4 Consumo de água

A quantidade de água utilizada para extrusão das dietas foi retirada do rotâmetro instalado na extrusora, sendo contabilizado o consumo a cada repetição, expressos pela média das réplicas e em litros por hora (L/h) (n=6).

2.5 Índices de estabilidade física das rações

2.4.1 Capacidade de flutuação na água

Para cada repetição foram utilizados 100 péletes, introduzidos em becker's de vidro contendo 250ml de água destilada parada. Foi contabilizado a porcentagem de péletes que imergiram em 5, 10 e 20 minutos, conforme adaptação do método descrito por Pezzato *et al.*, (1995), expressos pela média de cada réplica (n=6).

2.5.2 Densidade da ração

Em uma proveta de 500ml foram colocados os péletes das rações, feito uma pequena pressão para assentar e, posteriormente, pesada em balança de precisão. A densidade foi calculada com base no peso deste volume dos péletes e expressa em gramas por litro (g/L) (Glencross *et al.*, 2010). Para cada tratamento foi realizado uma medição por repetição e expressos pela média de cada réplica (n=6).

2.5.3 Expansão dos péletes

Os diâmetros de 20 péletes aleatórios de cada repetição foram medidos usando Micrômetro Externo Digital Milsesimal modelo 3109 da Insize[®]. O diâmetro médio dos péletes de cada tratamento foi expresso em relação à abertura da matriz (1,7mm) para o cálculo da porcentagem de expansão (Glencross *et al.*, 2010), expressos pela média de cada réplica (n=6).

2.5.4 Finos da ração

Foram pesados 300g de ração em balança de precisão e submetidas a peneiragem em agitador de peneiras com peneira de 1,18mm (Tyler= 16) por dois minutos. Após a peneiragem,

a quantidade de finos foi pesada e calculada a porcentagem em relação a ração não peneirada (Schmidt *et al.*, 2004), para cada tratamento foi realizado uma medição por repetição e expressos pela média de cada réplica (n=6).

2.5.5 Dureza dos péletes

A dureza dos péletes foi medida em relação a resistência ao esmagamento, até ocorrer o cisalhamento, através da Máquina Universal de Ensaio Portátil da Biopdi[®]. Foi quantificado a resistência de seis péletes por repetição, o valor expresso em quilograma–força (kgf) e apresentado como a média de cada réplica (n=6).

2.6 Índices de estabilidade química das rações

2.6.1 Umidade de extrusão

Logo após a extrusão, as rações foram coletadas em bandejas de alumínio, pesadas em balança de precisão, submetidas a secagem em estufa (120° por 30min) pesadas novamente e calculado a porcentagem de umidade da extrusão das amostras. Para cada tratamento foi realizado uma medição por repetição e expressos pela média de cada réplica (n=6).

2.6.2 Atividade de água

A Atividade de água foi extraída pelo analisador de atividade de água LabSwift–aw da Novasina[®], seguindo o procedimento recomendado pela fabricante. Foram mensurados os valores das repetições de quatro réplicas aleatórias de cada tratamento (n=4), expressos em aw.

2.6.3 Lixiviação de nutrientes

Em becker's contendo 400ml de água destilada (Temperatura= 24,8°C e pH= 7,64), 5g de ração de cada réplica (n=6) foram expostos na água por 20 minutos. A água foi filtrada em funil de buchner com papel filtro qualitativo de 205µm, armazenadas em frascos respectivos para cada análise, mantidos sob refrigeração até a realização das análises, feitas no Laboratório de qualidade de água do Gerpel/Ineo. As amostras foram submetidas para determinação de fósforo total pelo Método SMEWW 4500-P B, E., com diluição de 10⁻³, e de nitrogênio amoniacal (amônia total) pelo Método SMWW 4500-NH3-F.

2.6.4 Microestrutura dos péletes

Os péletes foram caracterizados nas seções transversas através de corte dos péletes com navalha histológica, limpadas em descarga iônica, montados sobre stubs e metalizados em ouro. As amostras (n=3) foram examinadas quanto à morfologia das seções transversais dos péletes

em microscópio eletrônico de varredura (Tescan/VEGA3, Brun, Czech Republic), na Central de Microscopia Eletrônica da UFPR – Setor Palotina.

2.7 Análises estatísticas

Para determinar se houve diferenças nas avaliações entre os tratamentos, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA *one-way*) a 95% de significância, checando os pressupostos normalidade e homocedasticidade pelo teste de Shapiro–Wilk e Levene, respectivamente. Quando verificadas diferenças significativas, foi aplicado o teste de Tukey *a posteriori* afim de verificar quais médias diferiram entre si.

Com o intuito de verificar possíveis inter-relações entre as variáveis respostas (exceto Atividade de água e Lixiviação de Fósforo Total) foi aplicada uma Análise de Componentes Principais (PCA). O critério utilizado para retenção dos eixos foi o de Kaiser-Guttman, ou seja, autovalores maiores que um (1) (McCune *et al.*, 2002). Para determinar quais variáveis foram indicadoras dos eixos retidos, foi aplicado uma Análise Fatorial através da função “*dimdesc*” (Husson *et al.*, 2010). Todas as análises foram realizadas através do software estatístico *R* (R Core Team, 2024), e o valor das elipses multiplicados por 0,7 para melhor visualização no gráfico da PCA.

3 RESULTADOS

A inclusão de hidrolisados proteicos em rações extrusadas para tilápia interferiram nos índices de produtividade da extrusora bem como na qualidade dos péletes (Fig. 2, 3, 4 e 5 e APÊNDICE B). Em relação à produtividade, observou-se redução da produção de ração seca (Fig. 2A) e no consumo de água (Fig. 2D) nas dietas contendo hidrolisados. Para a produção, a dieta controle e PHF diferiram entre si, e o HEP foi semelhante aos dois, e no consumo de água não houve diferenças estatísticas.

Com relação ao Consumo de energia para a extrusão das dietas, foi possível observar um aumento com a inclusão de hidrolisado sendo a dieta PHF o maior consumo, porém, os testes não apontaram diferenças significativas entre eles (Fig. 2B). Quando calculamos o consumo energético por quilograma de ração produzida (Fig. 2C), observa-se que houve aumento na dieta com inclusão de PHF, seguida da dieta HEP e controle. Diferenças significativas foram encontrados, sendo a dieta controle semelhante a HEP e diferente da PHF, e as duas dietas contendo hidrolisados foram semelhantes entre si.

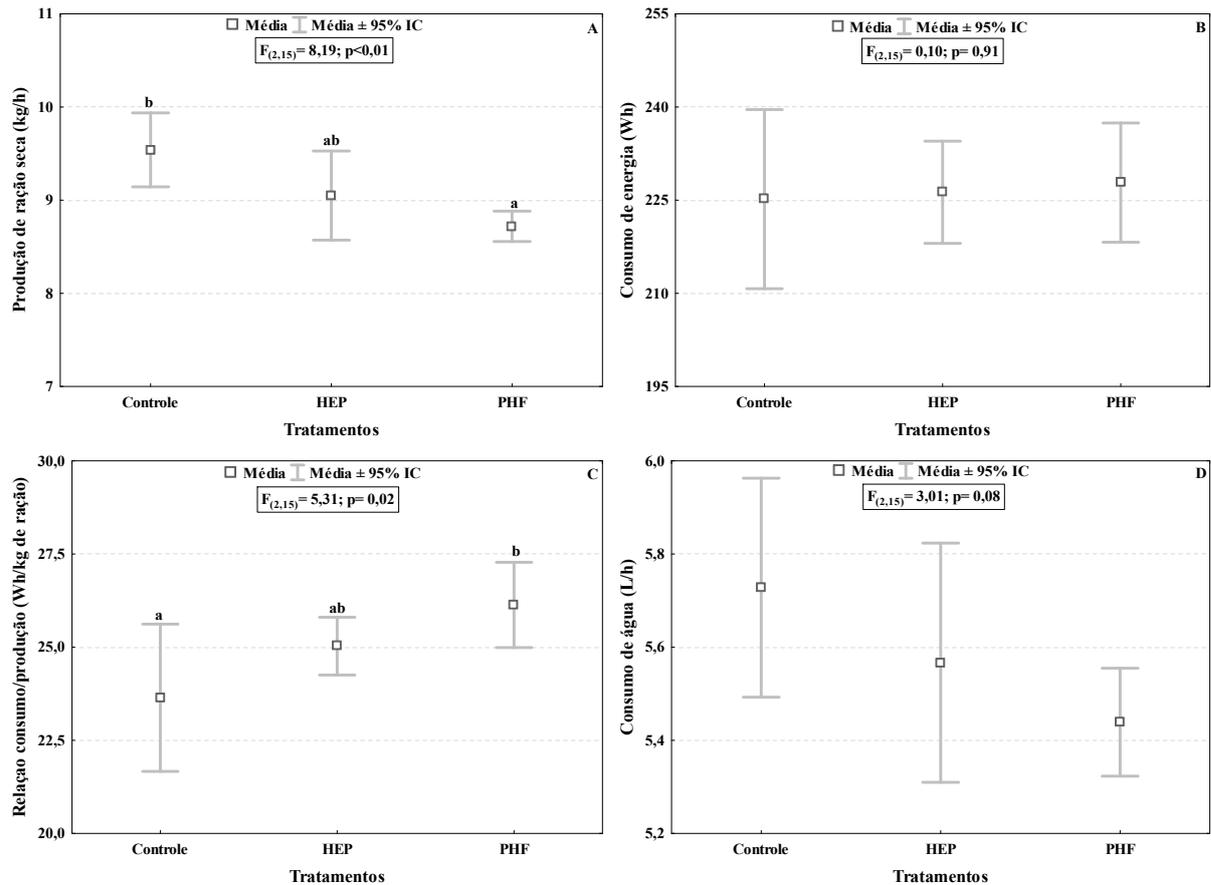


Figura 2 – Índices de produtividade da extrusora avaliadas pela produção de ração seca (A), consumo de energia (B), relação consumo/produção (C) e consumo de água (D) das dietas para tilápia do Nilo com inclusão de hidrolisados proteicos. Letras diferentes sobre as barras representam diferenças significativas. IC= Intervalo de Confiança. HEP= hidrolisado enzimático de penas. PHF= proteína hidrolisada de frango.

A análise de capacidade de flutuação não apresentou diferenças entre os tratamentos, sendo que ao longo dos 20 minutos testados houve 100% de flutuação dos péletes para todas as dietas (Fig. 3A). Dentre os índices de estabilidade física analisadas, observa-se que a densidade da ração diminuiu significativamente com a inclusão de hidrolisado, onde a dieta PHF diferiu das demais (Fig. 3B). Para a expansão dos péletes, houve aumento significativo com as inclusões, sendo que os tratamentos contendo os hidrolisados, foram semelhantes entre si, e a dieta controle diferente da dieta PHF (Fig. 3C).

Em relação aos fins da ração, maiores valores foram encontrados nos tratamentos controle e PHF, onde a dieta HEP obteve a menor média (Fig. 3D). Para a Dureza dos péletes (Fig.3E), não houve diferenças estatísticas entre as dietas, sendo que o tratamento PHF apresentou a menor força de cisalhamento, seguido do HEP e controle.

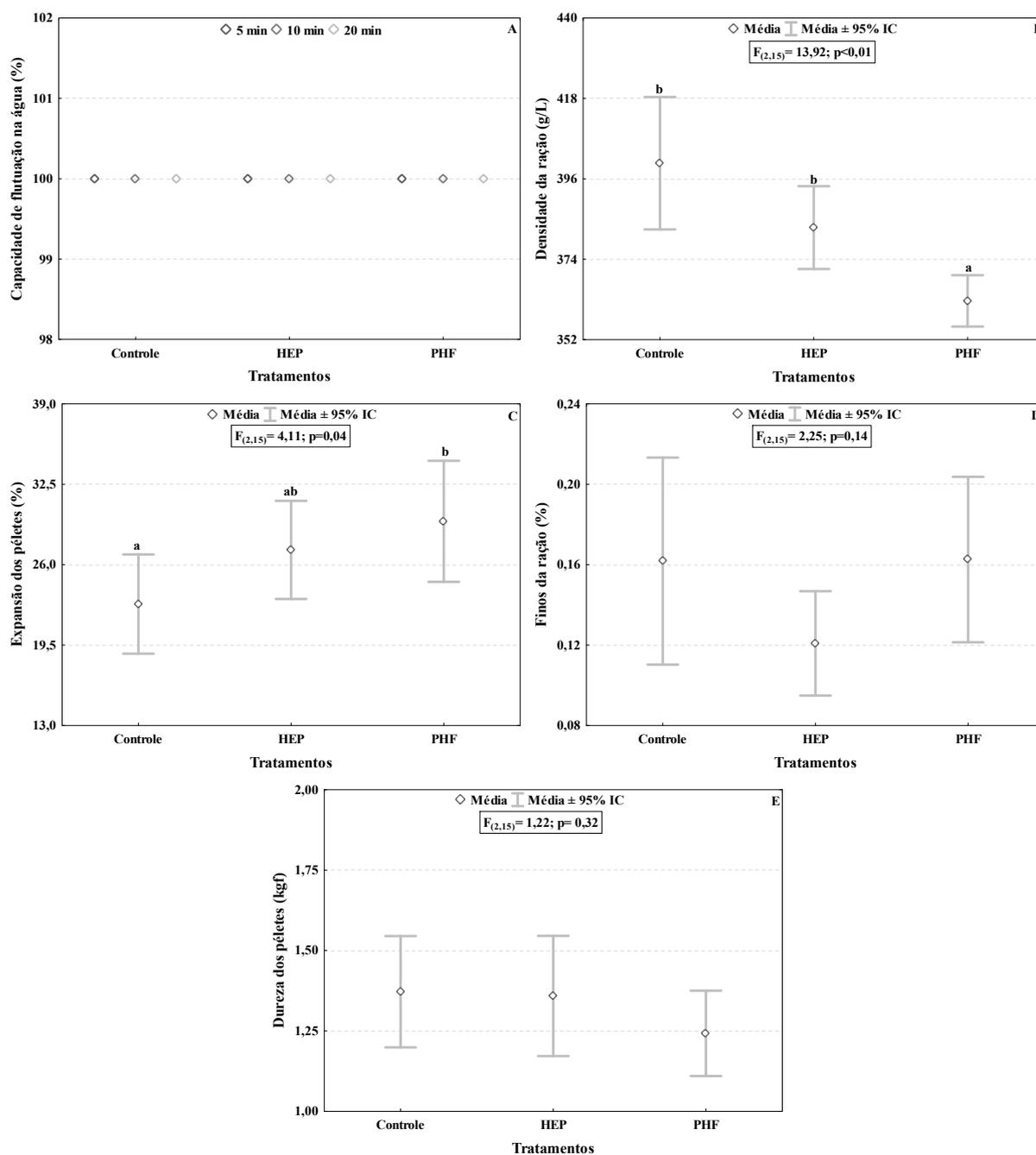


Figura 3 – Índices de estabilidade física dos péletes avaliadas pela capacidade de flutuação na água (A), densidade de ração (B), expansão dos péletes (C), finos da ração (D) e dureza dos péletes (E) das dietas para tilápia do Nilo com inclusão de hidrolisados proteicos. Letras diferentes sobre as barras representam diferenças significativas. IC= Intervalo de Confiança. HEP= hidrolisado enzimático de penas. PHF= proteína hidrolisada de penas.

Para a estabilidade química dos péletes, foram observados resultados semelhantes em relação à umidade e a atividade de água (Fig. 4A e B) ocorrendo a diminuição dos valores desses índices nas dietas contendo hidrolisados. As análises mostraram que a dieta controle diferiu estatisticamente da HEP, onde os tratamentos contendo hidrolisados foram semelhantes entre si, para a atividade de água.

Para a lixiviação, a perda de fósforo total para a água foi maior para a dieta HEP, seguida do controle e PHF (Fig. 4C), apesar da análise indicar diferenças estatística entre os tratamentos

o teste *post hoc* não indicou quais diferiram. Para a amônia total lixiviada, observamos diminuição dos valores nas dietas com hidrolisados (Fig. 4D), cujas médias não apresentaram diferenças significativas.

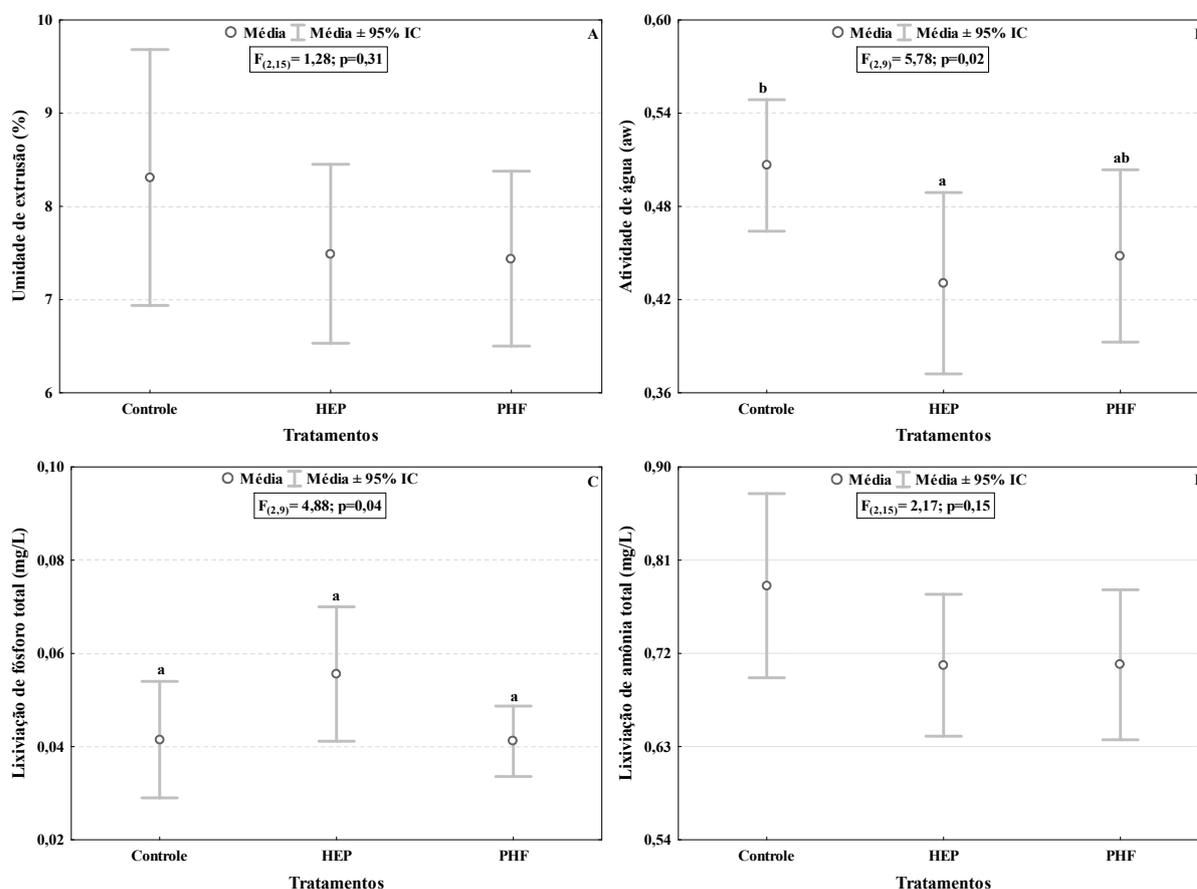


Figura 4 – Índices de estabilidade química dos péletes avaliados pela umidade (A), atividade de água (B), e lixiviação de fósforo total (C) e amônia total (D) das dietas para tilápia do Nilo com inclusão de hidrolisados proteicos. Letras diferentes sobre as barras representam diferenças significativas. IC= Intervalo de confiança. HEP= hidrolisado enzimático de penas. PHF= proteína hidrolisada de frango.

Os péletes da dieta controle (Fig. 5A) apresentaram câmaras de ar em menor quantidade e maior tamanho na micrografia em corte transversal quando comparadas com as dietas contendo hidrolisados. As dietas HEP e PHF apresentaram péletes com microestruturas semelhantes, composta de câmaras de ar menores com diferentes formatos (Fig. 5B e C).

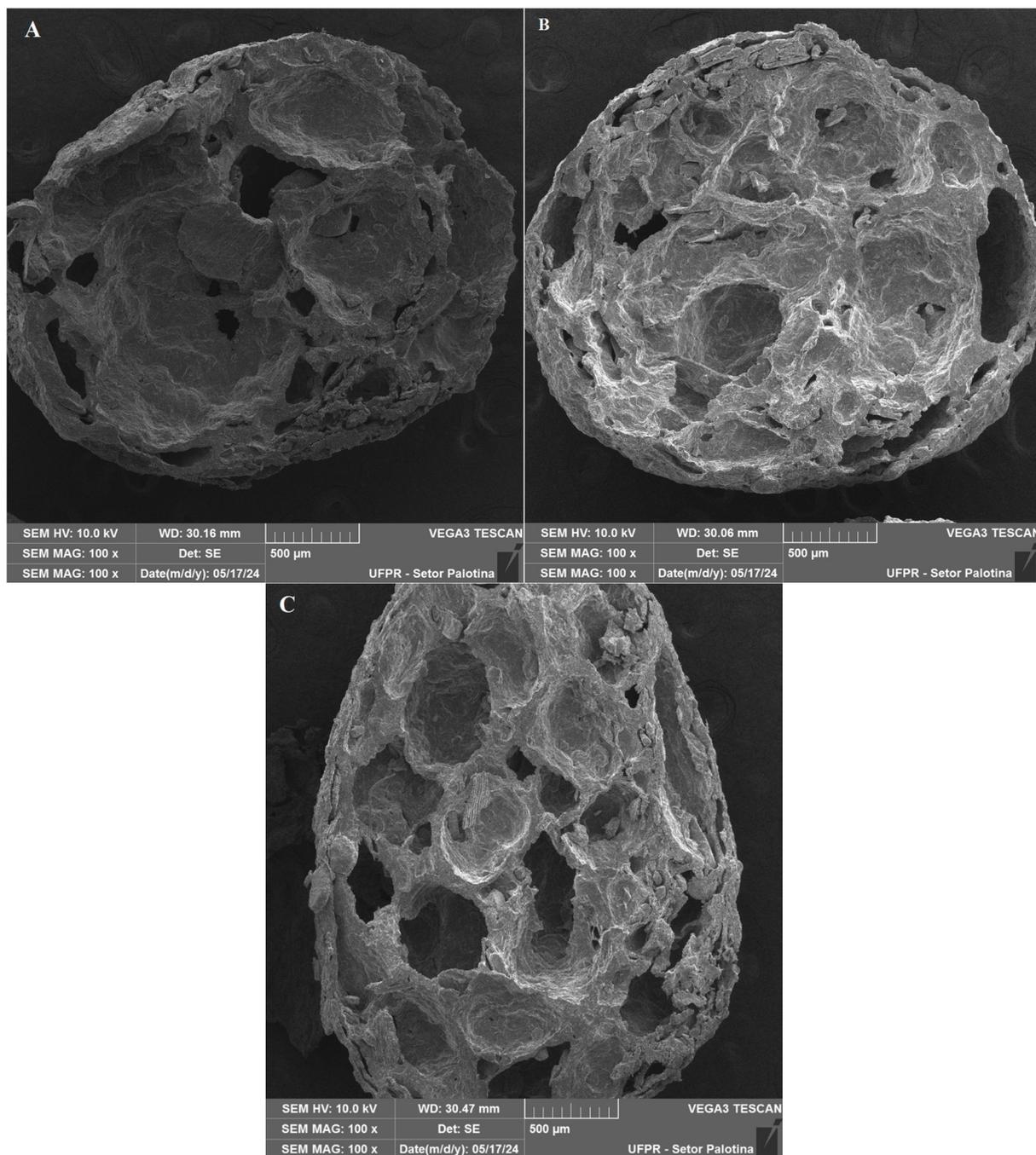


Figura 5 – Micrografias em corte transversal dos péletes de dietas para tilápia do Nilo com inclusão de hidrolisados proteicos, sendo dieta controle (A), HEP (B) e PHF (C).

Ao avaliar as inter-relações das variáveis respostas analisadas pela PCA, três eixos retidos para interpretação da PCA, explicando 61,21% das ordenações, apresentando autovalores de 1,84 (PCA1); 1,59 (PCA2) e 1,09 (PCA3) (Fig. 6 e APÊNDICE C). A análise fatorial mostrou que seis variáveis respostas estão associadas ao eixo 1 (PCA1), sendo que a produção de ração, densidade da ração, consumo de água e lixiviação de amônia apresentaram relação negativa, principalmente para o tratamento controle, e a relação consumo/produção e expansão dos péletes com relação positiva, mais associada com o tratamento PHF. Para o eixo 2 (PCA2), consumo de energia, finos da ração, relação consumo/produção e lixiviação de

amônia tiveram correlação positiva com a dieta controle e PHF, e apenas a dureza dos péletes obteve relação negativa, estando mais associada aos tratamentos controle. O eixo 3 obteve apenas três variáveis relacionadas, expansão dos péletes e finos da ração (positivo) e umidade de extrusão (negativo).

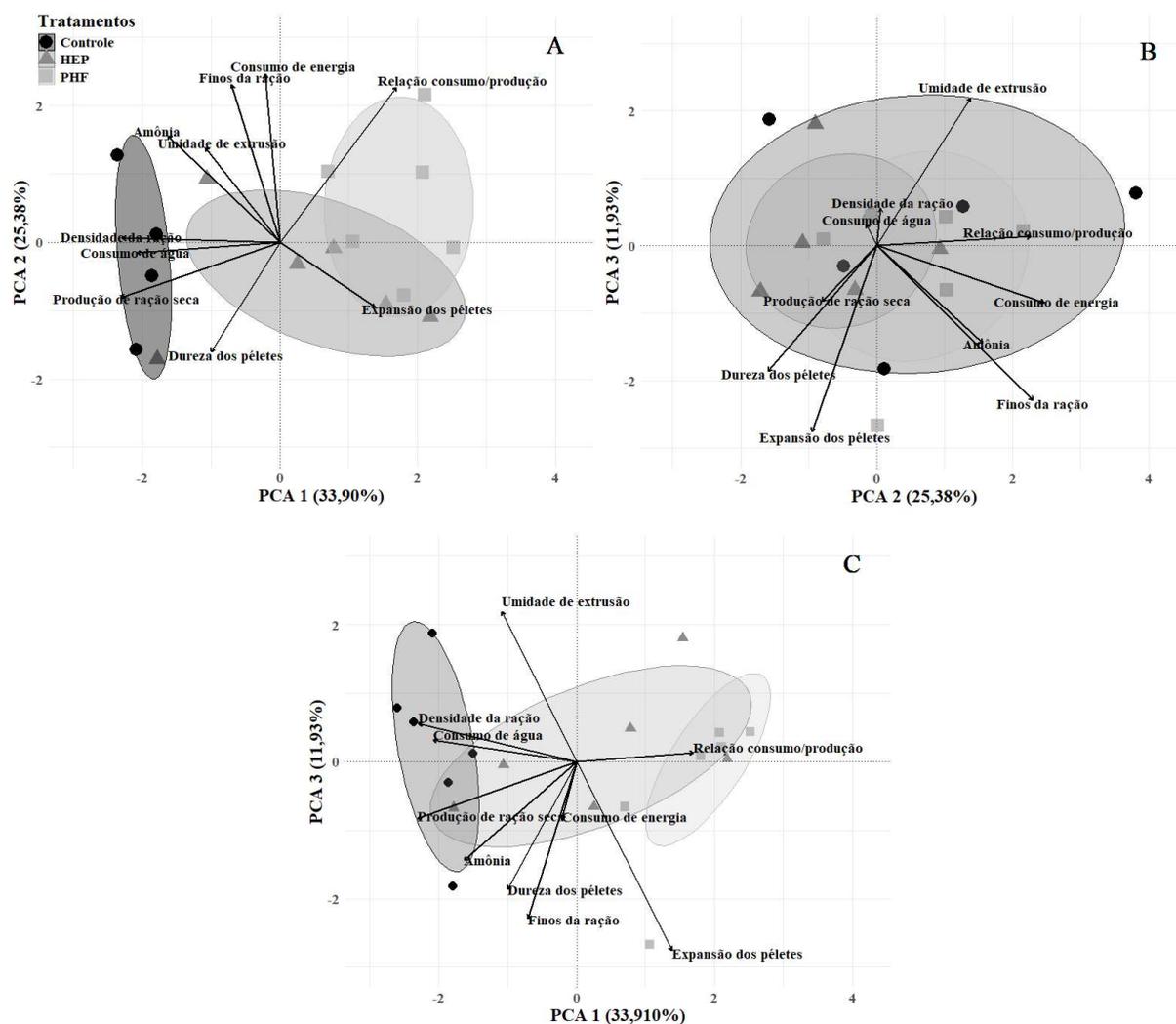


Figura 6 – Análise PCA das inter-relações das variáveis respostas com as dietas para tilápia com inclusão de hidrolisados proteicos. Eixo 1 vs Eixo 2 (A), Eixo 2 vs Eixo 3 (B) e Eixo 1 vs Eixo 3 (C).

4 DISCUSSÃO

Dietas contendo hidrolisados proteicos em sua formulação apresentaram diferenças significativas nos índices de produtividade da extrusora e na qualidade dos péletes. Sobre as análises de produção das rações, os resultados indicaram que apesar da igualdade das médias de consumo e da diferença entre os tratamentos, a dieta contendo PHF necessita de mais energia para a produção, uma vez que em uma hora de processamento, a extrusora consome em média 1,33% mais energia que a dieta controle. Ao mesmo tempo em que o consumo é maior, a produção de ração é menor para a mesma dieta, produzindo em média 5,32% menos que a dieta controle. As relações desses resultados expressam que, o custo de produção da ração em relação

ao consumo de energia, da dieta contendo PHF é maior, onde tal relação consumo/produção aumentou para as dietas contendo inclusões, principalmente PHF, representando 2,03 e 6,50% para HEP e PHF, respectivamente.

Levando em consideração uma produção de 100 kg de ração, o tempo para a produção seria de 10h52min, 11h03min e 11h28min para os tratamentos controle, HEP e PHF, respectivamente. As diferenças representam 1,75 e 5,62% para HEP e PHF, respectivamente. Com isso, a dieta contendo PHF consumiria um total de 2.613 Wh, ao mesmo que as dietas HEP e controle consumiriam 2.499 e 2.445 Wh, respectivamente.

Outros fatores que podem acarretar no custo da ração são a densidade e a sua expansão. A densidade é uma propriedade importante na qualidade dos péletes e está diretamente relacionada com a expansão durante a extrusão (Glencross *et al.*, 2011). Nesse trabalho, observamos que a dieta contendo PHF apresentou a menor densidade e a maior expansão. Esses resultados podem estar relacionados à formulação da dieta (Behnke, 2001), onde alguns nutrientes podem ter influências.

A caracterização dos ingredientes utilizados é a primeira parte de qualquer processo de avaliação de rações para a aquicultura (Glencross *et al.*, 2007). O teor de lipídeos é um dos fatores que apresenta influência direta no processo de extrusão, pois aumenta a taxa de passagem da mistura, logo, diminui o atrito com o canhão da extrusora, necessário para extrusão dos péletes (Irungu *et al.*, 2018). Essa redução prejudica o cozimento do amido e altera as características físicas dos péletes, como densidade, expansão e flutuabilidade (Pacheco *et al.*, 2018).

Quando comparamos os índices físicos (densidade e expansão) e os níveis nutricionais (teor de lipídeos e amido), observamos que a dieta com maior teor de lipídeos obteve menor expansão e maior densidade, ao contrário ocorreu para o teor de amido. Maiores níveis de lipídeos reduzem a capacidade de expansão e prejudicam sua textura (Moro e Rodrigues, 2015). Resultados semelhantes foram encontrados com a inclusão de silagem de vísceras de peixes em dietas para tambaqui, onde, à medida que aumenta o nível de inclusão, os péletes apresentavam menor taxa de expansão e maior densidade, sendo que o teor de lipídeos pode ter interferido nesses resultados (Santana, 2023).

Outro teor que tem interferência direta nos índices físicos é o amido, o qual é adicionado à ração de peixes principalmente como um aglutinante parcialmente digerível e para facilitar a expansão da ração (Sørensen, 2012; Moro e Rodrigues, 2015). Durante o aquecimento na extrusão, a quantidade de água tem papel fundamental na propriedade do amido, principalmente a gelatinização. Em excesso de água, ocorre o inchamento dos grânulos até o seu rompimento,

causando mudanças irreversíveis na sua propriedade (Horonato *et al.*, 2013). Já em pequenas quantidades de água, ocorre o rompimento de seus grânulos sem a sua expansão (Farhat & Blanshard, 1997). Essas modificações podem ser benéficas, aumentando sua digestibilidade (Wulansari *et al.*, 1999) devido ao processo de gelatinização, onde os grânulos absorvem água, exsudam parte de amilose, e tornam-se mais susceptíveis à degradação enzimática (Rooney & Pflugfelder, 1996), e contribui diretamente na expansão da ração (Goelema, 1999).

A concentração de amido tem forte influência nesse índice, assim como as condições de processamento de extrusão (Chinnaswamy e Hanna, 1988). Esses mesmos autores relatam que a expansão do amido está mais afetada pelo teor de umidade e o tamanho da matriz, do que a velocidade do canhão e a temperatura. Como nossa metodologia consisti em realizar várias extrusões para cada tratamento, objetivando sempre a qualidade da ração, podemos dizer que as expansões encontradas nesse estudo estão diretamente relacionadas com os teores de lipídeos e amido das dietas, e não com as características de regulação da máquina.

Ao contrário da expansão, os valores de densidade diminuíram nas dietas contendo hidrolisados. Considerada uma propriedade importante em rações para aquicultura (Chevanan *et al.*, 2009, Glencross *et al.*, 2012), que determina a flutuabilidade ou velocidade de afundamento dos péletes (Chenavan *et al.*, 2007) e está diretamente relacionada ao grau de expansão durante a extrusão (Glencross *et al.*, 2011). Deve ser ajustada de acordo com as práticas de manejo alimentar e os hábitos alimentares das espécies alvo (Glencross *et al.*, 2011, Sørensen, 2012). Para peixes onívoros, é recomendado que a densidade dos péletes seja inferior a 525 g/L, o que garante uma flutuabilidade adequada na água em até 20 minutos (Chevanan *et al.*, 2009; Draganovic *et al.*, 2011). Esses fatos explicam os resultados obtidos no teste de flutuabilidade desse trabalho.

Resultados semelhantes na relação negativa entre expansão e densidade também foram encontrados por Glencross *et al.* (2011), que analisaram a inclusão de diferentes tipos de grãos e cereais em dietas para *Lates calcarifer*, observando valores entre 384 g/L com tapioca e 583 g/L com cevada-871. Já para a inclusão de soro de leite em rações extrusadas, Chevanan *et al.* (2009) mostraram que a inclusão contribuiu para o aumento da densidade, que justificam pelas alterações bioquímicas provocadas pelo teor de amido interagindo com o soro de leite.

A quantidade de finos nas rações tem relação direta com os fatores citados no parágrafo acima. Rações para peixes tendem a ser mais resistentes ao estresse mecânico durante o transporte e manuseio (Aarseth *et al.*, 2006), caracterizando como péletes densos e duros. Porém, a alimentação com rações muito duras pode causar distúrbios digestivos nos peixes, resultando em inchaço e ruptura do estômago (Pillay & Kutty, 2005). Ao contrário, péletes

macios ou com baixa estabilidade à água podem causar separação de óleo no estômago (Aas *et al.*, 2011), resultando na síndrome de distinção abdominal (Staunes *et al.*, 1990).

Menores durezas foram observadas nos péletes das dietas contendo hidrolisados, ao mesmo tempo, esses péletes apresentaram microestrutura composta de pequenas câmaras de ar em maior quantidade. Todas as variáveis, incluindo a composição da ração e as condições de processamento que interferem na expansão do produto, influenciam a estrutura e a durabilidade do pélete (Sørensen, 2012). Dureza mais elevada indica uma maior compactação das partículas dos péletes e menor perda de nutrientes lixiviados para a água. Nossos resultados mostram que, estatisticamente, não houve diferença nos valores de dureza e lixiviação das dietas, porém, podemos observar que a dieta com maior dureza (controle e HEP) obteve maior perda de fósforo total (HEP) e amônia total (controle).

O maior consumo de água na extrusão refletiu nos valores de umidade de extrusão e na atividade de água dos péletes das dietas, e estão dentro dos valores aceitáveis (Signor *et al.*, 2010, Beuchat *et al.*, 2013). A atividade de água representa a água livre, que está presente nos espaços intergranulares e entre os poros do alimento (Labuza, 1970), descrevendo o grau de disponibilidade dessa molécula para atuar como solvente e participar de reações químicas e bioquímicas (Robertson, 2010). Valores abaixo de 0,6 inibem o crescimento fúngico e microbiano (Beuchat *et al.*, 2013). Já a umidade representa a quantidade total de água contida no alimento, e para rações extrusadas de tilápia é recomendado valores abaixo de 10% (Signor *et al.*, 2010).

No entanto, apesar dos resultados negativos das características físicas para as inclusões, principalmente da dieta com PHF, estudos confirmam a eficácia da utilização desse hidrolisado no desempenho produtivo (Rocha *et al.*, 2021) e na palatabilidade atraente (Sanchez-Alves, *et al.*, 2019) para juvenis de tilápia. Melhorias de até 34,74% em ganho de peso e taxa de crescimento específico, e 39,11% em conversão alimentar com a inclusão de 2% de PHF foram observadas (Rocha *et al.*, 2021). A inclusão de 2% de HEP em dietas para alevinos também foi positiva na melhoria do desempenho produtivo, aumentado em 19,14% no ganho de peso, melhoria de 16,67 na conversão alimentar e 6,49% na taxa de crescimento específica (Xavier, 2022). Resultados semelhantes a esse trabalho, em relação a qualidade dos péletes, foram encontrados por Santana (2023), que observaram alterações das características físicas em dietas com inclusão de silagem, alterando o processo de extrusão, mas não afetando os índices zootécnicos de juvenis de tambaqui.

Os resultados presentes nesse estudo indicam que a inclusão de hidrolisados em dietas extrusadas para tilápia afetam os índices de produtividade da extrusora bem como os índices de estabilidade física e química dos péletes. Tais alterações, podem estar diretamente relacionadas à composição das dietas, que se modificam de acordo com a inclusão dos hidrolisados. Embora estudos destacam a utilização desses produtos em dietas para peixes, devido as melhorias nos índices zootécnicos, cabe uma análise mais detalhada em relação aos custos de produção dessas dietas aliados aos custos de produção, para então avaliarmos a real vantagem da utilização de hidrolisados para a alimentação de peixes.

Conclui-se então que, dietas extrusadas com inclusão de hidrolisados proteicos para tilápia prejudicam os índices de produtividade da extrusora, em razão do maior gasto energético e menor produtividade, altera significativamente os índices de estabilidade física dos péletes, reduzindo a densidade e aumentando a expansão, e melhora os índices de estabilidade química, reduzindo a atividade de água e a perda de nitrogênio total por lixiviação.

5 REFERÊNCIAS

AARSETH, K. A. et al. Reliable pneumatic conveying of fish feed. **Aquacultural engineering**, v. 35, n. 1, p. 14-25, 2006.

AAS, T. S. et al. Nutritional responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets with different physical qualities at stable or variable environmental conditions. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, n. 6, p. 657-670, 2011.

BEHNKE, Keith C. Factors influencing pellet quality. **Feed Tech**, v. 5, n. 4, p. 19-22, 2001.

BEUCHAT, Larry R., et al. Low--water activity foods: increased concern as vehicles of foodborne pathogens. **Journal of food protection**, v. 76, n. 1, p. 150-172, 2013.

BRITO, Johnny Martins de et al. Automação na tilapicultura: revisão de literatura, desempenho, piscicultura, tecnologias, tilápias. **Nutritime**, v. 14, n. 3, p. 5053-5062, 2017.

CHEVANAN, Nehru et al. Effect of die dimensions on extrusion processing parameters and properties of DDGS-based aquaculture feeds. **Cereal chemistry**, v. 84, n. 4, p. 389-398, 2007.

CHEVANAN, Nehru; MUTHUKUMARAPPAN, Kasiviswanathan; ROSENTRATER, Kurt A. Extrusion studies of aquaculture feed using distillers dried grains with solubles and whey. **Food and Bioprocess Technology**, v. 2, p. 177-185, 2009.

CHINNASWAMY, R.; HANNA, M. A. Optimum extrusion-cooking conditions for maximum expansion of corn starch. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 3, p. 834-836, 1988.

DA SILVA, Ana Riquelle Barbosa et al. Formulação de ração para tilápia com substituição de ingredientes convencionais por ingredientes alternativos. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 3, p. 3683-3693, 2021.

DELGADO, Efren; REYES-JAQUEZ, Damian. Extruded aquaculture feed: a review. **Extrusion of metals, polymers and food products. InTechOpen, London**, p. 145-163, 2018.

DRAGANOVIC, Vukasin et al. Assessment of the effects of fish meal, wheat gluten, soy protein concentrate and feed moisture on extruder system parameters and the technical quality of fish feed. **Animal Feed Science and Technology**, v. 165, n. 3-4, p. 238-250, 2011.

FARHAT, I.A.; BLANSHARD, J.M.V. - **Carbohydr. Polym.**, v. 34, p.263, 1997.

GLENCROSS, Brett D.; BOOTH, Michael; ALLAN, Geoff L. A feed is only as good as its ingredients—a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. **Aquaculture nutrition**, v. 13, n. 1, p. 17-34, 2007.

GLENCROSS, Brett et al. Evaluation of the influence of different species and cultivars of lupin kernel meal on the extrusion process, pellet properties and viscosity parameters of salmonid feeds. **Aquaculture Nutrition**, v. 16, n. 1, p. 13-24, 2010.

GLENCROSS, B.; RUTHERFORD, N.; HAWKINS, W. A comparison of the growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) when fed soybean, narrow-leaf or yellow lupin meals in extruded diets. **Aquaculture nutrition**, v. 17, n. 2, p. e317-e325, 2011.

GLENCROSS, B. et al. An assessment of cereal grains and other starch sources in diets for barramundi (*Lates calcarifer*)—implications for nutritional and functional qualities of extruded feeds. **Aquaculture Nutrition**, v. 18, n. 4, p. 388-399, 2012.

GOELEMA, Jacob Otto. **Processing of legume seeds: effects on digestive behaviour in dairy cows**. Wageningen University and Research, 1999.

HONORATO, Cláudia Aparecida; ALMEIDA, L. C.; MORAES, Gilberto. Processamento de dieta: seus efeitos no aproveitamento de carboidrato para peixes. **Revta Eletrôn. Nutritime**, v. 10, n. 5, p. 2700-2715, 2013.

HOU YONGQING, Hou YongQing et al. Protein hydrolysates in animal nutrition: industrial production, bioactive peptides, and functional significance. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 8, n. 24, 2017.

HUSSON, François; LÊ, Sébastien; PAGÈS, Jérôme. **Exploratory multivariate analysis by example using R**. Boca Raton: CRC press, 2010.

IRUNGU, F. G. et al. Physico-chemical properties of extruded aquafeed pellets containing black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and adult cricket (*Acheta domesticus*) meals. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 4, n. 1, p. 19-30, 2018.

KHATER, El-Sayed G.; BAHNASAWY, Adel H.; ALI, Samir A. Physical and Mechanical Properties of Fish Feed Pellets. **J Food Processing Technology**, v. 5, n. 378, 2014.

KRAUGERUD, O. F.; SVIHUS, B. Effects of online pretreatment of plant ingredients on processing responses and physical properties in extruded fish feed. **Animal feed science and technology**, v. 168, n. 3-4, p. 250-256, 2011.

KRAUGERUD, Olav Fjeld; JØRGENSEN, Håvard Y.; SVIHUS, Birger. Physical properties of extruded fish feed with inclusion of different plant (legumes, oilseeds, or cereals) meals. **Animal Feed Science and Technology**, v. 163, n. 2-4, p. 244-254, 2011.

LABUZA, Theodore P. Water content and stability of low moisture and intermediate moisture foods. **Food Technol**, v. 24, p. 543-550, 1970.

MCCUNE, Bruce; GRACE, James B.; URBAN, Dean L. **Analysis of ecological communities**. Glenden Beach, OR: MjM software design, 2002.

MORKEN, T. et al. Effects of feed processing conditions and acid salts on nutrient digestibility and physical quality of soy - based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture Nutrition**, v. 18, n. 1, p. 21-34, 2012.

MORO, G.V.; RODRIGUES, A.P.O. **Rações para organismos aquáticos: tipos e formas de processamento**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 32p. 2015.

MOTIKAWA, Sandra. **Digestibilidade proteica de rações comerciais para o camarão rosa *Farfantepenaeus paulensis* Pérez-Farfante (1967): avaliação por métodos in vivo e in vitro**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2006.

NAYLOR, Rosamond L. et al. A 20-year retrospective review of global aquaculture. **Nature**, v. 591, n. 7851, p. 551-563, 2021.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of fish**. Washington: National Academy of Science, 2011.

NOSKOSKI, Luís Eduardo Carvalho et al. Analysis of zootechnical and economic indicators in carp and tilapia production: Análise dos indicadores zootécnicos e econômicos na produção de carpas e tilápia. **Concilium**, v. 23, n. 18, p. 507-521, 2023.

PACHECO, Peterson DG et al. Thermal energy application on extrusion and nutritional characteristics of dog foods. **Animal Feed Science and Technology**, v. 243, p. 52-63, 2018.

PEZZATO, Luiz Edivaldo et al. Estabilidade química de dietas para organismos aquáticos confeccionadas com aglutinantes nutritivos. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 22, n. 1, p. 125-131, 1995.

PILLAY, T.V.R.; KUTTY, M.N. **Feed and nutrition**. In: *Aquaculture: Principles and Practices*, 2nd edn. pp. 105–173. Blackwell publishing, Oxford, 2005.

POTRICH, Flávia Renata et al. Estabilidade e lixiviação de nutrientes com rações de diferentes níveis proteicos. **Revista Cultivando o Saber**, v. 4, n. 3, p. 77-87, 2011.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria, 2024.

ROBERTSON, Gordon L. Food quality and indices of failure. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 17, 2010.

ROCHA, Joana D.'Arc Maurício et al. Proteína hidrolisada de frango em dietas para alevinos de tilápia. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e154101421796-e154101421796, 2021.

ROONEY, L. W.; PFLUGFELDER, R. L. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of animal science**, v. 63, n. 5, p. 1607-1623, 1986.

ROSENTRATER, K. A.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; KANNADHASON, S. Effects of ingredients and extrusion parameters on aquafeeds containing DDGS and corn starch. **Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition**, v. 1, n. 2, p. 44-60, 2009.

SANCHES-ALVES, Denis Rogério et al. Compelling palatability of protein hydrolysates for Nile tilapia juveniles. **Latin american journal of aquatic research**, v. 47, n. 2, p. 371-376, 2019.

SANTANA, T. M. **Produção e caracterização de silagem de vísceras de peixe como ingrediente em rações para tambaqui**. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros) - Universidade Federal do Amazonas. 2023.

SANTOS CARDOSO, Marjana et al. Apparent digestibility of protein hydrolysates from chicken and swine slaughter residues for Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 530, p. 735720, 2021.

SCHMIDT, Alessandra; DE LIMA, Gustavo JMM; COLDEBELLA, Arlei. Método Embrapa de avaliação de peletização. 2004.

SCORVO FILHO, João Donato et al. A tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 112-118, 2010.

SIGNOR, Arcangelo Augusto, et al. Performance of juvenile Nile tilapia fed diets with enzymatic complex. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p. 977-983, 2010.

SIMON, Cedric J. et al. Feeding behaviour and bioavailability of essential amino acids in shrimp *Penaeus monodon* fed fresh and leached fishmeal and fishmeal-free diets. **Animals**, v. 11, n. 3, p. 847, 2021.

SINDIRAÇÕES, SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. 2023. Boletim informativo do setor, Dezembro/ 2023. Disponível em: <https://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2023/12/boletim_informativo_setor_dez23_vs_final_port_sindiracoes.pdf> Acesso em: 11 abril 2024.

SØRENSEN, Mette et al. Starch source, screw configuration and injection of steam into the barrel affect the physical quality of extruded fish feed. **Aquaculture Research**, v. 41, n. 3, p. 419-432, 2010.

SØRENSEN, Mette. et al. Pea and wheat starch possess different processing characteristics and affect physical quality and viscosity of extruded feed for Atlantic salmon. **Aquaculture Nutrition**, v. 17, n. 2, p. e326-e336, 2011.

SØRENSEN, M. A review of the effects of ingredient composition and processing conditions on the physical qualities of extruded high-energy fish feed as measured by prevailing methods. **Aquaculture nutrition**, v. 18, n. 3, p. 233-248, 2012.

STAURNES, Magne; ANDORSDDOTTIR, Gudrid; SUNDBY, Anne. Distended, water-filled stomach in sea-farmed rainbow trout. **Aquaculture**, v. 90, n. 3-4, p. 333-343, 1990.

WULANSARI, R.; MITCHELL, J. R.; BLANSHARD, J. M. V. Starch conversion during extrusion as affected by added gelatin. **Journal of food science**, v. 64, n. 6, p. 1055-1058, 1999.

XAVIER, Debora Tatyane Oliveira. **Proteína hidrolisada de penas em dietas para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2022. Tese (Doutorado em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2022.

APÊNDICE A – Análise da metodologia de processamento das dietas

Para determinar se a metodologia de processamento foi efetiva, os dados de produção de ração seca e consumo de energia das repetições de cada tratamento foram submetidos a análise de variância (ANOVA *one-way*) a 95% de significância, checando os pressupostos normalidade e homocedasticidade pelo teste de Shapiro–Wilk e Levene, respectivamente. Quando verificadas diferenças significativas, foi aplicado o teste de Tukey *a posteriori* afim de verificar quais médias diferiram entre si. Se os pressupostos da ANOVA não foram atingidos, o método de transformação em “raiz quadrada” foi utilizado e novamente submetidos aos testes, e se mesmo assim os pressupostos não foram atendidos, foi aplicado o teste similar não-paramétrico de Kruskal–Wallis, seguido do teste de Dunn *a posteriori*, em caso de diferenças significativas, para comparação das médias.

As análises mostram que há diferenças nas avaliações de Produção de ração seca e no Consumo de energia entre as repetições (Fig. 7, Tab. 3), indicando a necessidade dos intervalos realizados para limpeza e resfriamentos dos motores. Sobre a Produção, apenas as dietas Controle ($H_{(5, N=36)}=24,5404$ $p =,0002$) e HEP apresentaram diferenças ($p<0,01$). Para o Consumo, as três dietas apresentaram diferenças significativas entre as repetições (Controle= $H_{(5, N=36)}=27,6426$ $p=,0000$; HEP= $p<0,01$ e PHF ($H_{(5, N=36)}=14,9490$ $p=,0106$

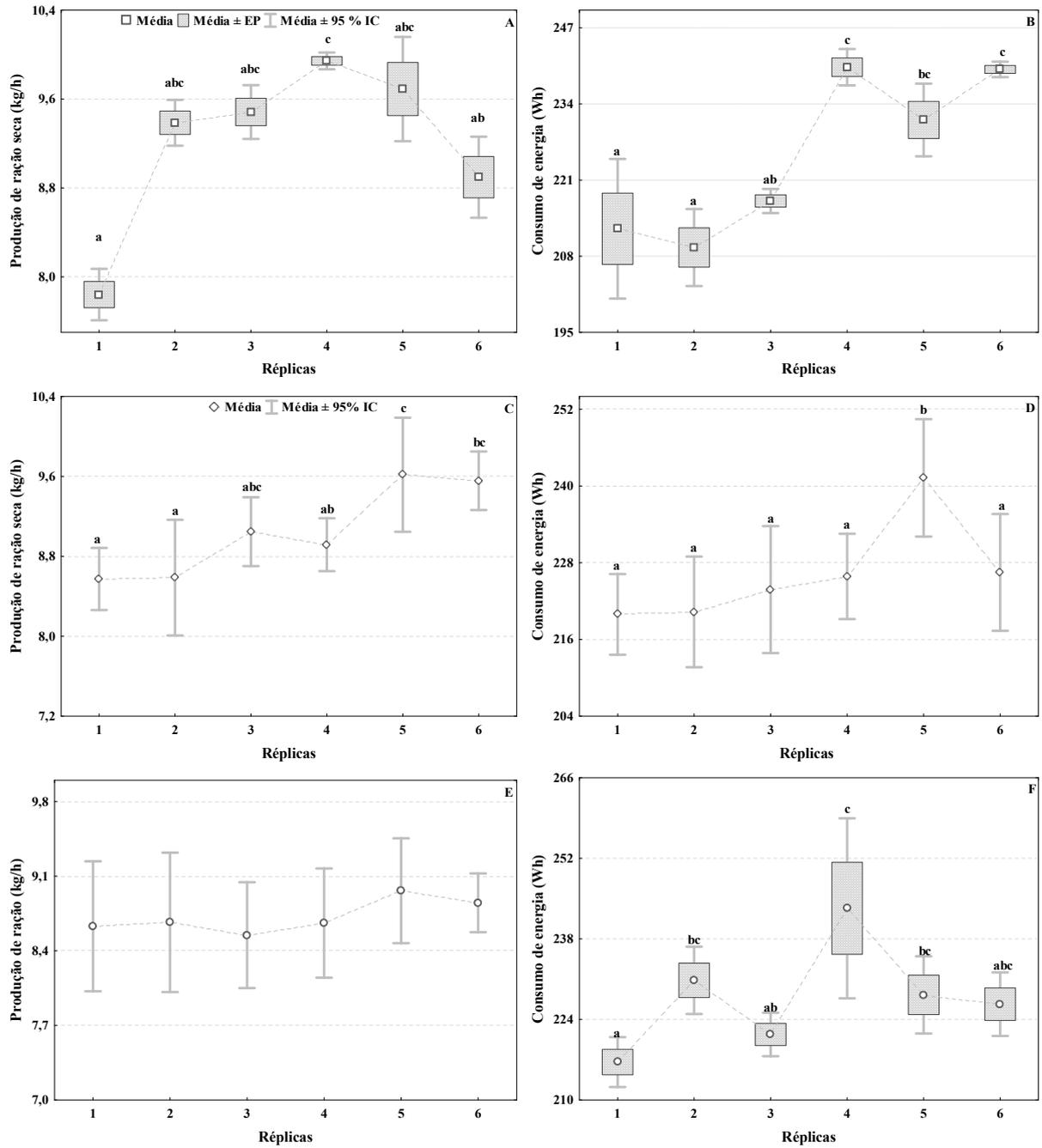


Figura 7 – Análises de efetividade da metodologia para a Produção de ração seca e Consumo de energia entre as réplicas para os tratamentos Controle (A e B), HEP (C e D) e PHF (E e F) de dietas para tilápia com inclusão de hidrolisados proteicos. Letras diferentes sobre as barras representam diferenças significativas. IC= Intervalo de confiança. EP =Erro padrão. HEP= hidrolisado enzimático de penas. PHF= proteína hidrolisada de frango.

Tabela 3 – Resultados das análises de produção de ração seca e consumo de energia por tratamento entre as réplicas.

Réplicas	Produção de ração seca (kg/h)	Consumo de energia (Wh)
Controle		
1	9,84 ± 0,29 ^a	212,69 ± 14,89 ^a
2	9,39 ± 0,26 ^{abc}	209,48 ± 8,21 ^a
3	9,48 ± 0,30 ^{abc}	217,43 ± 2,57 ^{ab}
4	9,94 ± 0,09 ^c	240,27 ± 3,88 ^c
5	9,69 ± 0,59 ^{bc}	231,26 ± 7,76 ^{bc}
6	8,90 ± 0,46 ^{ab}	239,89 ± 1,64 ^c
Valor de p	<0,01*	<0,01*
CV (%)	8,43	6,51
HEP		
1	8,57 ± 0,30 ^a	219,92 ± 6,01 ^a
2	8,59 ± 0,55 ^a	220,31 ± 8,25 ^a
3	9,05 ± 0,33 ^{abc}	223,80 ± 9,46 ^a
4	8,92 ± 0,25 ^{ab}	225,86 ± 6,36 ^a
5	9,62 ± 0,54 ^c	241,28 ± 8,75 ^b
6	9,56 ± 0,28 ^{bc}	226,49 ± 8,71 ^a
Valor de p	<0,01	<0,01
CV (%)	6,17	4,59
PHF		
1	8,63 ± 0,58 ^{ns}	216,59 ± 5,42 ^a
2	8,67 ± 0,62 ^{ns}	230,79 ± 7,31 ^{bc}
3	8,55 ± 0,47 ^{ns}	221,38 ± 4,72 ^{ab}
4	8,66 ± 0,49 ^{ns}	243,31 ± 19,56 ^c
5	8,96 ± 0,47 ^{ns}	228,26 ± 8,39 ^{bc}
6	8,85 ± 0,26 ^{ns}	226,65 ± 6,91 ^{abc}
Valor de p	0,71	0,01*
CV (%)	5,52	5,52

Letras diferentes ao lado dos números indicam diferenças significativas ($p < 0,05$). ^{ns}= não significativo ao nível de 95% de confiança. Valores apresentados como médias ± desvio padrão da média. CV= coeficiente de variação. *Teste não-paramétrico. HEP= hidrolisado enzimático de penas. PHF= proteína hidrolisada de frango.

APÊNDICE B – Resultados das análises de produtividade da extrusora e qualidade dos péletes das rações

Tabela 4 – Resultados das análises de Produtividade da extrusora e Qualidade dos péletes de dietas para tilápia com inclusão de hidrolisados proteicos.

Avaliações	Tratamentos			Valor de p	Valor de F	CV (%)	
	Controle	HEP	PHF				
Produtividade da extrusora							
Produção de ração seca (kg/h)	9,54 ± 0,38 ^b	9,05 ± 0,46 ^{ab}	8,72 ± 0,16 ^a	<0,01	8,19	5,27	
Consumo de energia (Wh)	225,17 ± 13,74 ^{ns}	226,28 ± 7,84 ^{ns}	227,83 ± 9,14 ^{ns}	0,91	0,10	4,40	
Relação Consumo/Produção (Wh/kg de ração)	23,64 ± 1,88 ^a	25,03 ± 0,74 ^{ab}	26,13 ± 1,09 ^b	0,02	5,31	6,53	
Consumo de água (L/h)	5,73 ± 0,22 ^{ns}	5,57 ± 0,24 ^{ns}	5,44 ± 0,11 ^{ns}	0,08	3,01	4,04	
Estabilidade física							
Capacidade de flutuação na água (%)	100 ± 0,00	100 ± 0,00	100 ± 0,00	-	-	-	
Densidade da ração (g/L)	400,28 ± 17,26 ^b	382,67 ± 10,79 ^b	362,61 ± 6,70 ^a	<0,01	13,92	5,14	
Expansão dos péletes (%)	22,81 ± 3,82 ^a	27,20 ± 3,78 ^{ab}	29,50 ± 4,66 ^b	0,04	4,11	18,11	
Finos da ração (%)	0,16 ± 0,05 ^{ns}	0,12 ± 0,02 ^{ns}	0,16 ± 0,04 ^{ns}	0,14	2,25	28,13	
Dureza dos péletes (kgf)	1,37 ± 0,16 ^{ns}	1,36 ± 0,18 ^{ns}	1,24 ± 0,13 ^{ns}	0,32	1,22	12,08	
Estabilidade química							
Umidade de extrusão (%)	8,31 ± 1,31 ^{ns}	7,49 ± 0,91 ^{ns}	7,44 ± 0,89 ^{ns}	0,31	1,28	13,86	
Atividade de água (aw)	0,51 ± 0,03 ^b	0,43 ± 0,04 ^a	0,45 ± 0,03 ^{ab}	0,02	5,78	9,78	
Lixiviação	Fósforo Total (mg/L)	0,04 ± 0,01 ^a	0,06 ± 0,01 ^a	0,04 ± <0,01 ^a	0,04	4,88	21,12
	Amônia Total (mg/L)	0,79 ± 0,08 ^{ns}	0,71 ± 0,07 ^{ns}	0,71 ± 0,07 ^{ns}	0,15	2,17	10,68

Letras diferentes ao lado dos números indicam diferenças significativas (p<0,05). ^{ns}= não significativo ao nível de 95% de confiança. Valores apresentados como médias ± desvio padrão. CV= coeficiente de variação. HEP= hidrolisado enzimático de penas. PHF= proteína hidrolisada de frango.

APÊNDICE C – Resultados da análise de componentes principais.

Tabela 5 – Resultados da análise de componentes principais. Percentual de variância e autovalores dos eixos retidos são apresentados. Correlação e valor de p listados para cada variável.

	Eixo 1		Eixo 2		Eixo 3	
Autovalor	1,87		1,59		1,09	
% de variância	33,90		25,38		11,93	
% acumulada	33,90		59,28		71,21	
Variáveis	Correlação	Valor de p	Correlação	Valor de p	Correlação	Valor de p
Produção de ração seca	-0,85	$9,22 \times 10^{-06}$	-	-	-	-
Consumo de energia	-	-	0,79	$1,12 \times 10^{-04}$	-	-
Consumo de água	-0,77	$2,14 \times 10^{-04}$	-	-	-	-
Relação con./prod.	0,62	$5,56 \times 10^{-03}$	0,72	$7,16 \times 10^{-04}$	-	-
Densidade da ração	-0,84	$1,14 \times 10^{-05}$	-	-	-	-
Expansão dos péletes	0,51	$3,03 \times 10^{-02}$	-	-	0,60	$8,09 \times 10^{-03}$
Finos da ração	-	-	0,73	$5,31 \times 10^{-04}$	0,50	0,04
Dureza dos péletes	-	-	-0,51	0,03	-	-
Umidade	-	-	-	-	-0,48	0,05
Lixiviação de Amônia	-0,60	$8,36 \times 10^{-03}$	0,50	0,04	-	-