

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

**RENATO PAULO GLOWKA**

**UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS DE CERVEJARIA EM DIETAS PARA**  
**JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO**

TOLEDO

2025

**RENATO PAULO GLOWKA**

**UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS DE CERVEJARIA EM DIETAS PARA JUVENIS  
DE TILÁPIA DO NILO**

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

Orientador: Prof. Dr. – Wilson Rogério Boscolo

Coorientador: Prof. Dr. – Marcos Weingartner

TOLEDO

2025

## FICHA CATALOGRÁFICA

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

Glowka, Renato Paulo

Utilização de subprodutos de cervejaria em dietas para juvenis de tilápia do Nilo / Renato Paulo Glowka; orientador Wilson Rogério Boscolo; coorientador Marcos Weingartner. -- Toledo, 2025.  
65 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, 2025.

1. Aquicultura. 2. Oreochromis niloticus. 3. Nutrição animal. 4. Subprodutos vegetais. I. Boscolo, Wilson Rogério, orient. II. Weingartner, Marcos, coorient. III. Título.

**FOLHA DE APROVAÇÃO****RENATO PAULO GLOWKA**

Utilização de subprodutos de cervejaria em dietas para juvenis de tilápia do Nilo

Tese 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 doutor em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

**COMISSÃO JULGADORA**

Prof. Dr. Wilson Rogério Boscolo

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Presidente)

Prof. Dr. Aldi Feiden

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Arcangelo Augusto Signor

Universidade Estadual do Oeste do Paraná / Instituto Federal do Paraná

Profa. Dra. Maude Regina de Borba

Universidade Federal da Fronteira Sul

Prof. Dr. Ronan Maciel Marcos

Universidade Federal da Fronteira Sul

Aprovado em: 11 de agosto de 2025.

## AGRADECIMENTOS

À minha esposa Karen e ao meu filho Saulo...por entenderem este NOSSO propósito, e apoiarem nos momentos difíceis (viagens longas, cansativas, desgastantes) e nos momentos de ausência;

Aos meus pais Pedro (*in memoriam*) e Eva Glowka, pelos ensinamentos (diretos e indiretos) e cobranças para sempre sermos exemplos positivos perante a sociedade;

Ao professor Wilson Rogério Boscolo por me oportunizar esta jornada, árdua, mas com todo seu conhecimento, paciência e humildade tornou-a mais leve e possível;

Ao professor Marcos Weingartner que sempre colaborou em TUDO e está presente em todos os momentos, pela amizade, paciência, parceria e ensinamentos;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná *campus* Toledo por toda estrutura e apoio institucional;

À Universidade Federal da Fronteira Sul por proporcionar meu crescimento profissional;

Ao Programa de Pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca (PREP), que possibilitou a formação e capacitação intelectual através de seus docentes;

Aos professores do PREP, por dividir e disponibilizar seus conhecimentos;

Aos professores Dr. Aldi Feiden; Dra. Maude Regina de Borba; Dr. Arcangelo Augusto Signor; Dr. Ronan Maciel Marcos; Dr. Altevir Signor; Dr. Jorge Erick Garcia Parra, por aceitarem a missão como membros da banca;

À secretária do PREP Carla por todo apoio;

Aos colegas de CAAEX (UFFS) que me aturaram durante este tempo: Edeimar, Edimar, Elder e Suzanna;

À COPACOL, em especial ao amigo Diego Werlang, pela disponibilização de juvenis de tilápia para realização dos experimentos;

À Cervejaria Bräuheim, em especial ao Daniel, pela disponibilização dos resíduos de cervejaria, ingrediente teste deste trabalho;

Ao amigo Dr. Giovano Neumann, pela disponibilização de juvenis de tilápia para realização dos experimentos;

À COPROSSEL pela disponibilização de ingredientes para a formulação das dietas;

Aos amigos e colegas que auxiliaram nas biometrias e com os experimentos de maneira geral, especialmente à Dra. Vanessa Gomes da Silva e Edimar Tenutti;

Aos bolsistas do LABNUTRI (UFFS): Leila, Thais e Nicolas, pelo auxílio com análises;

À servidora técnica da UFFS e amiga Sílvia Dovadoni pelo auxílio com as análises de fibra;

À Silmara e Alessandra (GEMAQ), pelas análises, auxílio na produção das rações e amizade construída;

Ao prof. Alexandre Monkolski, pelo incentivo, ensinamentos, amizade e o coração GIGANTE que possui;

À prof. Maude Regina de Borba, pela disponibilização do Laboratório de Nutrição para análises e por toda sua ajuda;

Aos vigilantes da UFFS, fundamentais para me “manter informado” em relação às quedas de energia durante a realização dos experimentos;

Ao Prof. Dr. Paulo Bittencourt (UTFPR) pelas análises de energia;

Aos amigos do INEO: Carlos Henrique Orsi, Tiago Debona, Vinícius Valiente dos Santos, pela amizade, pelo café e pelo mate, divididos durante as estadias em Toledo;

E a todos aqueles que de alguma maneira, direta ou indiretamente, contribuíram para esta conquista.

“Podem me chamar de louco, mas aprendi com os mais quebrados a não galopar nas pedras, nem pelear por muito pouco.” A autenticidade é a maior diferença entre os que são, e os que tentam ser.”

**Jayme Caetano Braun**

## RESUMO GERAL

O objetivo do presente trabalho foi determinar os coeficientes de digestibilidade aparente (CDAs) da proteína, energia, cálcio, fósforo e aminoácidos, constituintes do resíduo seco de cervejaria (BSG) e avaliar o efeito de diferentes níveis de inclusão deste resíduo na dieta sobre o desempenho zootécnico e histologia do intestino e fígado de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Para o estudo de digestibilidade, os peixes (n = 320; 80/tanque; peso corporal médio =  $13 \pm 5,20$  g) foram distribuídos aleatoriamente em quatro tanques cilindro-cônicos de fibra de vidro de 200 L, sendo alimentados com uma dieta referência e uma dieta teste, isenta e com 20% BSG, respectivamente. Os CDAs da proteína (67%) e de aminoácidos foram considerados adequados, indicando que o ingrediente testado teve boa absorção. O alto teor de fibra pode ter contribuído para a baixa absorção de energia, gerando índices negativos de CDA. Devido ao seu baixo custo, ampla disponibilidade, composição e digestibilidade dos nutrientes, o BSG mostrou potencial para ser utilizado na formulação de dietas para a tilápia do Nilo. No estudo de desempenho e histologia de peixes alimentados com concentrações crescentes de BSG, foi adotado delineamento inteiramente casualizado, em quadruplicata, em que 300 juvenis de tilápia do Nilo (peso médio inicial  $5,07 \pm 0,97$ g) foram acondicionados em 20 tanques de polietileno com capacidade de 60 L (15 peixes/unidade experimental) e alimentados, até a saciedade aparente, quatro vezes ao dia (07:00; 11:00; 15:00 e 18:00 h), durante 43 dias. Para tal, foram formuladas cinco dietas experimentais isoproteicas (320 g de proteína  $\text{kg}^{-1}$ ) e isoenergéticas (3.400 kcal  $\text{kg}^{-1}$ ) contendo diferentes concentrações de BSG (0, 5, 10, 15 e 20%). Ao final do período experimental, foram avaliados o desempenho zootécnico e histologia do intestino e fígado dos peixes. Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA de um fator e ao teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). A inclusão dietética de até 20% de BSG não afetou o ganho de peso ( $p > 0,05$ ). A inclusão de 15% de BSG na dieta proporcionou os melhores resultados quanto às taxas de conversão alimentar e de eficiência proteica ( $p < 0,05$ ). Os peixes alimentados com dietas contendo BSG não apresentaram alterações histológicas no intestino e fígado. Recomenda-se a inclusão de 15% de BSG em dietas para juvenis de tilápia do Nilo.

**Palavras-chave:** *Oreochromis niloticus*, subprodutos vegetais, aquicultura, nutrição animal

## ABSTRACT

The objective of this study was to determine the apparent digestibility coefficients (ADCs) of protein, energy, calcium, phosphorus, and amino acids, constituents of brewery dry residue (BSG), and to evaluate the effects of different levels of inclusion of this residue in the diet on the growth performance and histology of the intestine and liver of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). For the digestibility study, fish (n = 320; 80/tank; average body weight =  $13 \pm 5.20$  g) were randomly distributed in four 200 L cylindrical fiberglass tanks and fed two diets: a reference diet and a test diet containing BSG. The ADCs of protein (67%) and amino acids were considered high, indicating that the tested ingredient had good absorption. The high fiber content may have contributed to the low energy absorption, generating negative ADC values. Due to its low cost, wide availability, composition, and nutrient digestibility, BSG showed potential for use in diet formulation for Nile tilapia. For the work on performance and histology, a completely randomized design in quadruplicate was adopted, in which 300 juvenile Nile tilapia ( $5.07 \pm 0.97$ g) were placed in 20 polyethylene tanks with a capacity of 60 L (15 fish/experimental unit) and fed, until apparent satiety, four times a day (07:00; 11:00; 15:00 and 18:00), for 43 days. For this purpose, five experimental isoprotein (320 g protein kg<sup>-1</sup>) and isoenergetic (3,400 kcal kg<sup>-1</sup>) diets with increasing BSG concentrations (0, 5, 10, 15, and 20%) were formulated. At the end of the experimental period, zootechnical performance and histology of the intestine and liver were evaluated. The data obtained were subjected to one-way ANOVA and Tukey's test ( $p < 0.05$ ). The dietary inclusion of up to 20% BSG did not affect weight gain ( $p > 0.05$ ). The inclusion of 15% BSG in the diet provided the best results in terms of feed conversion rates and protein efficiency ( $p < 0.05$ ). Fish fed diets containing BSG showed no histological alterations in the intestine and liver. The inclusion of 15% BSG in diets for juvenile Nile tilapia is recommended.

**Keywords:** *Oreochromis niloticus*, Plant By-Products, Aquaculture, Animal Nutrition.

**LISTA DE SIGLAS**

FAO – Food and Agriculture Organization  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
BSG - Brewer's Spent Grain – (Grão Gasto de Cervejaria)  
NRC - National Research Council  
MAPA - Ministério Da Agricultura E Pecuária  
CDA – Coeficientes De Digestibilidade Aparente  
UFFS – Universidade Federal Da Fronteira Sul  
UNIOESTE - Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná  
LQA - Laboratório De Controle De Qualidade De Alimentos (LQA)  
MS – Matéria Seca  
FB – Fibra Bruta  
GPC – Ganho de peso corporal  
TCE - Taxa de crescimento específico  
IHS – Índice hepatossomático  
TCA - Taxa de conversão alimentar  
TEP- Taxa de eficiência proteica  
FC - Fator de condição

## LISTA DE FIGURAS

## CAPÍTULO II

- Figura 1.** Efeito dos níveis de inclusão de BSG no ganho de peso corporal (g) de juvenis de tilápia do Nilo (*O. niloticus*).....48
- Figura 2.** Fotomicrografia para observação histológica do intestino médio de juvenis de tilápia do Nilo submetidos a diferentes níveis dietéticos de BSG (0, 5, 10, 15 e 20%). Vilosidades intestinais (V); parede intestinal (W); VL – comprimento das vilosidades, VW - Largura das vilosidades. Aumento de 40x. ....51
- Figura 3.** Fotomicrografia de corte transversal de fígado de juvenis de tilápia do Nilo submetida a diferentes níveis dietéticos de BSG (0, 5, 10, 15 e 20%). Sinusoides sanguíneos (H); vasos sanguíneos hepáticos (seta vermelha). Aumento 100x. ....54

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

**Tabela 1.** Composição percentual das dietas referência e teste, utilizadas para determinar o coeficiente de digestibilidade aparente de BSG pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).....25

**Tabela 2.** Composição química das dietas (%) referência e teste, respectivas fezes e do BSG.....29

**Tabela 3.** Composição centesimal e de aminoácidos do BSG no presente estudo comparativamente aos trabalhos de Cheng et al. (2004); San Martin et al. (2020) e Nazzaro et al. (2021).  
..... 30

**Tabela 4.** Coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) dos nutrientes e nutrientes digestíveis do BSG para juvenis de tilápia do nilo.....31

**Tabela 5.** Comparação entre a composição do BSG e outros ingredientes convencionais e a estimativa de exigências de proteína, fósforo e de aminoácidos essenciais para tilápias da pós reversão até 100g.....34

### CAPÍTULO II

**Tabela 1.** Formulação e composição nutricional calculada das dietas experimentais, com base na matéria natural, para os diferentes níveis de inclusão de resíduo de cervejaria (BSG). .....43

**Tabela 2.** Índices de crescimento, sobrevivência, IHS e utilização alimentar de juvenis de *O. niloticus* alimentados com diferentes níveis de inclusão de resíduo de cervejaria (BSG) nas dietas.....47

**Tabela 3.** Morfologia intestinal de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com dietas suplementadas ou não com BSG.....51

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>11</b>
1.1 REFERÊNCIAS .....	15
<b>2 CAPÍTULO I - DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDADE APARENTE DE RESÍDUO DE CERVEJARIA PARA TILÁPIA DO NILO.....</b>	<b>20</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	21
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
2.4 CONCLUSÕES .....	35
2.5 REFERÊNCIAS .....	35
<b>3 CAPÍTULO II - DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E AVALIAÇÃO HISTOLÓGICA DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO ALIMENTADOS COM RESÍDUO DE CERVEJARIA (BSG) .....</b>	<b>39</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	40
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
<b>3.2.1 Peixes e condições experimentais .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.2 Dietas experimentais.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.3 Desempenho zootécnico.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.4 Histologia.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.5 Análise estatística.....</b>	<b>46</b>
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	46
<b>3.3.1 Desempenho zootécnico.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.2 Histologia.....</b>	<b>50</b>
3.4 CONCLUSÕES .....	55
3.5 REFERÊNCIAS .....	55
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As diversidades presentes nos sistemas alimentares aquáticos oferecem uma variedade de benefícios e serviços ambientais, econômicos e sociais. Esses sistemas representam soluções viáveis e oferecem oportunidades para incrementar a segurança alimentar e nutricional global, melhorar os meios de subsistência e preservar o meio ambiente, sempre buscando obter uma aquicultura sustentável. Com produção de animais aquáticos 4% superior em relação a 2020, os dados referentes à produção total em 2022 foram de 185 milhões de toneladas, com a aquicultura representando 51% deste total e a aquicultura continental mundial com 59,1 milhões de toneladas (FAO, 2024).

Das espécies de peixes produzidas pela aquicultura, a tilápia foi responsável por 5,3 milhões de toneladas em 2022, caracterizando-se como a segunda espécie mais produzida mundialmente e a terceira mais cultivada (5,0 milhões de toneladas) (FAO, 2024). No Brasil, em 2023, foram produzidos pela aquicultura 655 mil toneladas de pescado, sendo a tilápia a espécie mais produzida com 442 mil toneladas, representando 67,5% do total nacional (IBGE, 2024).

O aumento no consumo do pescado vem sendo registrado ao longo das décadas, porém, a maior parcela sempre foi de origem pesqueira. Em constante crescimento, o pescado para fins de consumo oriundo da aquicultura superou aquele de origem extrativista em 2018. Com o crescimento da atividade, surgem novos desafios para uma aquicultura em que a produção seja capaz de atender as demandas cada vez maiores de pescado (Msangi et al., 2013; FAO, 2024). Arelado a estes crescimentos, de produção e consumo, está o aumento na demanda por matérias primas utilizadas nos processos de produção, capazes de atender todo esse crescimento. Por essas razões, é necessário realização de pesquisa acerca de ingredientes alternativos nas dietas para aquicultura, que possam manter esse crescimento (Gatlin et al., 2007; Rosas et al., 2019).

Os valores econômicos investidos nas rações em piscicultura representam de 40 a 60% do custo total de produção e, dependendo do manejo, pode até mesmo superar estes percentuais em custos operacionais efetivos (Carneiro et al., 1999; Scorvo-Filho et al., 2010; Gonçalves et al., 2012; Føre et al., 2018). Para amenizar os custos de produção e realizar um manejo alimentar acurado, economicamente eficiente e ambientalmente adequado, é necessário conhecer as exigências nutricionais das espécies, bem como a composição dos alimentos utilizados na formulação e preparo das dietas para a alimentação e nutrição das espécies de criação (Cyrino et al., 2010; Gonçalves et al., 2012).

Em razão de seus ingredientes possuírem relações de mercado onde há flutuações de demandas e, por consequência, de custos, o preço da ração para peixes tem aumentado nos últimos anos (Hlophe & Moyo, 2014). Assim, rações inovadoras para peixes, utilizando ingredientes alternativos ou subprodutos, com o objetivo de reduzir o custo das rações comerciais são muito importantes (Kalita et al., 2007). Outro exemplo é a busca pela redução da dependência considerável da aquicultura em relação aos recursos marinhos. Para isso, é de fundamental importância a melhoria da eficiência alimentar e da substituição da farinha e do óleo de peixe, almejando menores taxas de conversão alimentar (Naylor et al., 2009).

O uso de novos ingredientes nas rações para aquicultura tem apresentado crescimento, mas suas contribuições para soluções em escala comercial ainda não estão bem definidas. Tais incertezas permanecem em torno da eficácia dos novos alimentos em seus diferentes estágios do ciclo de vida e suas taxas de alimentação. Mesmo assim, a adoção de novos alimentos pode ajudar no crescimento sustentável da aquicultura, que se tornará cada vez mais importante para a segurança alimentar (Cottrell et al., 2020).

A formulação das rações não é apenas um exercício de identificação de "substitutos" ou "alternativas", mas sim um processo de identificação de diferentes combinações de matérias primas que se complementam umas às outras proporcionando o melhor resultado. Vários conjuntos de dados importantes são necessários para apoiar nas formulações e seus nutrientes. Perfis completos da composição nutricional são essenciais, mas informações detalhadas da matéria prima também devem incluir dados de digestibilidade, palatabilidade, utilização e funcionalidade nas criações. Esse pacote de informações leva tempo e recursos para ser gerado (Turchini et al., 2019).

Os peixes, tanto no ambiente natural quanto em criações, exigem diferentes nutrientes para manutenção de suas atividades fisiológicas normais, na qual a proteína e a energia são muito importantes, sendo a parte proteica a mais exigida, principalmente para o seu crescimento. Portanto, devido à alta demanda proteica na dieta de peixes e o valor elevado deste nutriente, a busca por fontes proteicas alternativas tem sido alvo de estudos de muitos pesquisadores (Boscolo et al., 2011).

A utilização de subprodutos de origem vegetal ou animal na alimentação animal há tempos é uma realidade e sua incorporação nas dietas depende, entre vários fatores, da disponibilidade do produto, se é sazonal ou não, dos níveis inseridos na formulação de rações, da competição com os outros produtos alternativos, da segurança de utilização, dos custos e, principalmente, do valor nutricional. Assim, o interesse econômico e ambiental no aproveitamento de subprodutos industriais para utilização como ingredientes alternativos em

rações, têm aumentado expressivamente nos últimos anos devido à sua alta e contínua produção, além de sua perspectiva de futuro com grande disponibilidade a um custo reduzido (Barrows et al., 2008). A ênfase na importância das pesquisas e suas abrangências, dos detalhes que as compõem, reforça o quão complexo é desenvolver trabalhos neste tema.

Em piscicultura, os sistemas de criação e métodos de manejo usados para a produção de tilápia são os mais variados. Principalmente porque a tilápia é um organismo eficiente sob o ponto de vista de aproveitar bem os nutrientes naturais e converter alimentos de origem vegetal, possibilitando sua produção, às vezes, com ingredientes de baixo custo. Exemplos de bons rendimentos zootécnicos foram obtidos alimentando-se tilápias apenas com farelo de arroz, resíduos de cervejaria, polpa de café ou resíduos animais (NRC, 2011). Aqui, faz-se uma ressalva importante de que mesmo sendo eficientes sob o ponto de vista alimentar, a criação de tilápias (ou outras espécies) requer, sim, dietas balanceadas para que se obtenha sucesso durante sua cadeia de produção, do contrário, certamente sistemas extensivos apenas sejam possíveis.

Um importante resíduo agroindustrial gerado é o das cervejarias. O resíduo de cervejaria é um subproduto obtido a partir do malte cervejeiro, que possui valor nutricional heterogêneo (Velasco et al., 2009). Sua composição química pode oscilar de acordo com a variedade de cevada, o tempo da colheita, as condições de maltagem e trituração, com a qualidade e tipo de ingredientes adicionados no processo e a tecnologia utilizada na fabricação de cerveja, para a obtenção de sabores diferenciados (Santos et al., 2003; Mussatto, 2014). É um subproduto agroindustrial importante em termos de quantidade gerada, baixo custo e composição química valiosa. Os estudos têm se concentrado há tempos no reaproveitamento desse material para aplicações importantes, mas na última década as pesquisas nessa área têm se intensificado, possivelmente motivadas por preocupações ambientais e econômicas (Mussatto, 2014). Sua ampla disponibilidade é indicativa de que pode ser um ingrediente promissor na busca de fontes alternativas de proteína para dietas de animais aquáticos. Isso se deve principalmente à falta de fontes de proteína vegetal suficientes, como a soja, em algumas partes do mundo (Zerai et al., 2008), além da soja ser uma *commoditie*, cujo custo tem se mostrado elevado, também pela alta demanda e disputa entre as diferentes cadeias alimentares que a utilizam.

O maior volume de subprodutos sólidos produzidos pelas cervejarias são os grãos usados do malte, seguidos pela levedura usada, representando 80% e 10% do total dos subprodutos sólidos resultantes do processo de produção de cerveja, respectivamente (Mathias et al., 2015). No entanto, o alto teor de umidade (entre 80 e 85%) desse resíduo é o fator mais limitante para a sua utilização, pois dificulta o transporte, armazenamento e conservação (Kaur & Saxena, 2004; Cabral Filho et al., 2007). Para sua melhor utilização e conservação, há

necessidade de desenvolver um método custo-efetivo de retirada da alta umidade, pois, mesmo sendo um subproduto de baixo custo, esse processo de desidratação não pode encarecer ao ponto de inviabilizar economicamente o seu uso.

A composição dos resíduos de cervejaria pode conter: matéria seca de 20-23%; proteína bruta de 19% (NRC) a 24,6% (Carvalho et al., 2004; Brochier & Carvalho, 2009); extrato etéreo de 3-5%; fibra bruta de 18-20% e um bom perfil de aminoácidos (NRC, 2011). Já o resíduo seco de cervejaria ou grão gasto de cervejaria (BSG - do inglês *brewers' spent grain*) apresenta teores de proteína bruta entre 21,33 e 30,8% (Valadares Filho et al., 2006), com variável conteúdo de aminoácidos (San Martín et al., 2020). Apesar de alguns trabalhos sobre a composição nutricional deste subproduto, faltam mais detalhes para que se possa utilizar de forma padronizada e em maior escala. Conforme sua composição nutricional citada na literatura, este subproduto pode ser utilizado como ingrediente capaz de substituir parcialmente matérias primas como farelo de soja ou farinha de peixes, que são ingredientes proteicos e de elevado custo. É necessário realizar estudos para definir níveis adequados de inclusão para cada espécie e respectivos estágios de desenvolvimento. A inclusão de fontes de proteína deve ser considerada não apenas para proporcionar um melhor crescimento e conversão alimentar, mas também do ponto de vista econômico e da disponibilidade local (Citação).

A importância de estudos dos resíduos de cervejaria se faz tanto por uma destinação ambientalmente correta quanto por seus valores nutricionais. As leveduras utilizadas nos processos de produção de cerveja contêm valores nutricionais interessantes. Além dos níveis de proteína bruta que podem ultrapassar 50%, o seu perfil de aminoácidos é capaz de atender as necessidades do salmão do Atlântico (Agboola et al., 2021).

Estevez et al. (2021) realizaram testes utilizando os resíduos de cervejarias como fonte de proteína, substituindo a farinha de peixe, onde registraram resultados importantes de inclusão de 30% do resíduo de levedura de cervejaria e 15% de resíduo do malte, em dietas para uma espécie de peixe carnívoro marinho, a dourada (*Sparus aurata*), resultando em crescimento e conversão alimentar semelhantes aos obtidos com ração comercial. Outros trabalhos, com truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (Cheng et al., 2004), robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*) (Campos et al., 2018) e três espécies de carpas (Kaur & Saxena, 2004), também obtiveram resultados positivos, mostrando-se possível a inclusão dos resíduos de cervejaria em dietas para peixes. Nestes trabalhos, entretanto, faltaram detalhamentos metodológicos da utilização dos resíduos quanto a sua forma de apresentação (úmida ou desidratada).

Para Jayant et al. (2018) a substituição dietética de até 50% do farelo de soja por resíduos de cervejaria, acarretou os melhores resultados para crescimento e conversão alimentar para o

*Pangasianodon hypophthalmus*. Resultados semelhantes foram obtidos por Zerai et al. (2008), para a espécie tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), os quais concluíram que os resíduos da cerveja podem substituir, de forma eficiente, até 50% da proteína da farinha de peixe de uma ração comercial, sem nenhum efeito adverso no crescimento e na conversão alimentar da tilápia. Entretanto, Nazzaro et al. (2021), em trabalho com truta arco-íris (*O. mykiss*) e dourada (*S. aurata*), após a hidrólise do resíduo de levedura e do grão de malte não observaram maior digestibilidade dos ingredientes. Os resultados obtidos no estudo comparativo de crescimento, utilização de nutrientes e composição corporal em *P. Hypophthalmus*, sugeriram que o nível de substituição de 50% do farelo de soja por resíduos de cervejaria pode reduzir o custo da ração em 27,5% sem afetar o crescimento e a conversão alimentar desta espécie (Jayant et al., 2018). Argumenta-se aqui a necessidade de priorizar o aumento da produtividade, otimizando e utilizando os diferentes recursos disponíveis, visando uma crescente produção para que o setor possa atender as demandas.

No Brasil, segundo o Anuário da Cerveja elaborado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), o número de estabelecimentos de cervejaria registrados saltou de 195 em 2013 para 1.847 em 2023. Além disso, a distribuição dos estabelecimentos entre os municípios e estados também merece destaque, evidenciando-se ampla distribuição, disponibilidade e acessibilidade do BSG em praticamente todo o país (Brasil, 2024).

Assim, o presente estudo teve como objetivo determinar a composição centesimal e os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) da proteína, energia, cálcio, fósforo e aminoácidos do resíduo de cervejaria (BSG) em dietas para juvenis de tilápia do Nilo, bem como avaliar o desempenho zootécnico e características histológicas de juvenis de tilápia alimentados com níveis crescentes de BSG na dieta.

## 1.1 REFERÊNCIAS

AGBOOLA, J.O.; ØVERLAND, M.; SKREDE, A.; HANSEN, J.Ø. Yeast as a major protein-rich ingredient in aquafeeds: a review of the implications for aquaculture production. **Reviews in Aquaculture**, n. 13, p. 949-970, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12507>.

BARROWS, F.T.; BELLIS, D.; KROGDAHL, A.; SILVERSTEIN, J.T.; HERMAN, E.M.; SEALEY, W.M.; RUST, M.B.; GATLIN, DM. Report of the plant products in aquafeed strategic planning workshop: an integrated, interdisciplinary research roadmap for increasing utilization of plant feedstuffs in diets for carnivorous fish. **Reviews in Fisheries Science**, n. 16, p. 449-455, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/10641260802046734>.

BOSCOLO, W.R.; SIGNOR, A.; FREITAS, J.M.A.; BITTENCOURT, F.; FEIDEN, A. Nutrição de peixes nativos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, n. 40, p. 145-154, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Anuário da Cerveja 2024**: Ano de referência 2023 / Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: MAPA/SDA, 2024.

BROCHIER, M.A.; CARVALHO, S. 2009. Aspectos ambientais, produtivos e econômicos do aproveitamento de resíduo úmido de cervejaria na alimentação de cordeiros em sistema de confinamento. **Ciência e Agrotecnologia**, n. 33(5), p. 1392-1399, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000500028>.

CABRAL FILHO, S.L.S.; BUENO, I.C.S.; ABDALLA, A.L. Substituição do feno de tifton pelo resíduo úmido de cervejaria em dietas de ovinos em manutenção. **Ciência Animal Brasileira**, n. 8(1), p. 65-74, 2007.

CAMPOS, I.; MATOS, E.; ARAGÃO, C.; PINTADO, M.; VALENTE, L.M.P. Apparent digestibility coefficients of processed agro-food by-products in European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. **Aquaculture Nutrition**, V.24, p.1274-1286, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.12665>.

CARNEIRO, P.C.F.; MARTINS, M.I.E.G.; CYRINO, J.E.P. Estudo de caso da criação comercial da tilápia vermelha em tanques-rede – avaliação econômica. **Informações Econômicas**, n. 29(8), p. 52-61, 1999.

CARVALHEIRO, F.; ESTEVES, M.P.; PARAJÓ, J.C.; PEREIRA, H.; GÍRIO, F.M. Production of oligosaccharides by autohydrolysis of brewery's spent grain. **Bioresource Technology**, n. 91(1), p. 93– 100, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00148-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00148-2).

CHENG, Z.J.; HARDY, R. W.; HUIGE, N.J. Apparent digestibility coefficients of nutrients in brewer's and rendered animal by-products for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)). **Aquaculture Research**, 2004, v.35, p.1–9. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.00941.x>.

COTTRELL, R.S., BLANCHARD, J.L., HALPERN, B.S.; METIAN, M.; FROEHLICH, H.E. Global adoption of novel aquaculture feeds could substantially reduce forage fish demand by 2030. **Nature Food**, n. 1: p. 301–308, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0078-x>.

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

ESTEVEZ, A.; PADRELL, L.; IÑARRA, B.; ORIVE, M.; SAN MARTIN, D. Brewery by-products (yeast and spent grain) as protein sources in gilthead seabream (*Sparus aurata*) feeds. **Aquaculture**, n. 543, p. 736921, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736921>.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in action**. Rome, FAO, 2024. DOI: <https://doi.org/10.4060/cd0683en>.

FØRE, M.; FRANK, K.; NORTON, T.; SVENDSEN, E.; ALFREDSEN, J.A.; DEMPSTER, T.; EGUIRAUN, H.; WATSON, W.; STAHL, A.; SUNDE, L.M.; SCHELLEWALD, C.; SKØIEN, K.R. ALVER, M.O.; BERCKMANS, D. Precision fish farming: a new framework to improve production in aquaculture. **Biosystems Engineering**, n.173, p.176-193, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.10.014>.

GATLIN III D.M.; BARROWS, F.T.; BROWN, P.; DABROWSKI, K.; GAYLORD, T.G.; HARDY, R.W.; HERMAN, E.; HU, G.; KROGDAHL, A.; NELSON, R.; OVERTURF, K.; RUST, M.; SEALEY, W.; SKONBERG, D.; SOUZA, E.J.; STONE, D.; WILSON, R.; WURTELE, E. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review. **Aquaculture Research**, v.38, p.551–579, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01704.x>.

GONÇALVES, L.U.; RODRIGUES A.P.O.; MORO G.V.; CARGNIN-FERREIRA E.; CYRINO J.E.P. Morfologia e Fisiologia do Sistema Digestório de Peixes. In: FRACALOSSO D.M.; CYRINO J.E.P. (Eds), **NUTRIAQUA: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, Florianópolis, SC, 2012.

HLOPHE, S.N.; MOYO, N.A.G. Replacing fishmeal with kikuyu grass and moringa leaves: effects on growth, protein digestibility, histological and haematological parameters in *Clarias gariepinus*. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, n. 14, p. 795-806, 2014. DOI: [10.4194/1303-2712-v14\\_3\\_22](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14_3_22).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Pecuária Municipal**. 2024. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm\\_2023\\_v51\\_br\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2023_v51_br_informativo.pdf).

JAYANT, M.; HASSAN, M.A.; SRIVASTAVA, P.P.; MEENA, D.K.; KUMAR, P.; KUMAR, A.; WAGDE, M.S. Brewer's spent grains (BSGs) as feedstuff for striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* fingerlings: An approach to transform waste into wealth. **Journal of Cleaner Production**, n. 199, p. 716-722, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.213>.

KALITA P.; MUKHOPADHYAY P.K.; MUKHERJEE A.K. Evaluation of the nutritional quality of four unexplored aquatic weeds from North East India for the formulation of cost-effective fish feeds. **Food Chemistry**, n. 103, p. 204-209, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.007>.

KAUR, V.I.; SAXENA, P.K. Incorporation of brewery waste in supplementary feed and its impact on growth in some carps. **Bioresource Technology**, V.91, p. 101-104, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00073-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00073-7).

MATHIAS, T.R.S.; ALEXANDRE, V.M.F.; CAMMAROTA, M.C.; MELO, P.P.M.; SÉRVULO, E.F.C. Characterization and determination of brewer's solid wastes composition. **Journal Institute Brewing**, n. 121, p. 400-404, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/jib.229>.

MSANGI, S.; KOBAYASHI, M.; BATKA, M.; VANNUCCINI, S.; DEY, M.M.; ANDERSON, J.L. Fish to 2030: prospects for fisheries and aquaculture. **World Bank Report**, 83177-GLB, 2013. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/458631468152376668/pdf/831770WP0P11260ES003000Fish0to02030.pdf>.

MUSSATTO, S.I. Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, V.94(7), p.1264-75, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6486>.

NAYLOR, R.L.; HARDY, R.W.; BUREAU, D.P.; CHIU, A.; ELLIOTT, M.; FARRELL, A.P.; FORSTER, I.; GATLIN, D.M.; GOLDBURG, R.J.; HUA, K.; NICHOLS, P.D. Feeding aquaculture in an era of finite resources. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, n. 106(36), p. 15103-15110, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0905235106>.

NAZZARO, J.; SAN MARTIN, D.; PEREZ-VENDRELL, A.M.; PADRELL, L.; IÑARRA, B.; ORIVE, M.; ESTÉVEZ, A. Apparent digestibility coefficients of brewer's by-products used in feeds for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and gilthead seabream (*Sparus aurata*), **Aquaculture**, V.530, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735796>.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of fish and shrimp. Animal Nutrition Series, National Research Council of the National Academies, Washington, D.C. 2011. 376p. DOI: <https://doi.org/10.17226/13039>.

ROSAS, V. T.; POERSCH, L. H.; ROMANO, L. A.; TESSER, M. B. Feasibility of the use of Spirulina in aquaculture diets. **Reviews in Aquaculture**, v.11, p.1367–1378, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12297>.

SAN MARTIN, D.; ORIVE, M.; IÑARRA, B.; CASTELO, J.; ESTÉVEZ, A.; NAZZARO, J.; ILORO, I.; ELORTZA, F.; ZUFIA, J. Brewers' spent yeast and grain protein hydrolysates as second-generation feedstuff for aquaculture feed. **Waste and Biomass Valorization**, V.11, p.5307–5320. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101288>.

SANTOS, M.; JIMÉNEZ, J.J.; BARTOLOMÉ, B.; GÓMEZ-CORDOVÉS, C. DEL NOZAL, M.J. Variability of brewer's spent grain within a brewery. **Food Chemistry**, v.80, p.17-21, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00229-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00229-7).

SCORVO-FILHO, J.D.; FRASCA-SCORVO, C.M.D.; ALVES, J.M.C.; SOUZA, F.R.A. A tilapicultura e seus insumos, relações econômicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, n. 39, p. 1-7, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300013>.

TURCHINI, G.M.; TRUSHENSKI, J.T.; GLENCROSS, B.D. Thoughts for the future of aquaculture nutrition: realigning perspectives to reflect contemporary issues related to judicious use of marine resources in aquafeeds. **North American Journal of Aquaculture**, n. 81, p. 13-39, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/naaq.10067>.

VALADARES FILHO, S.C.; MAGALHÃES, K.A.; ROCHA JÚNIOR, V.R. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. 2 ed. Viçosa: UFV, 329 p. 2006.

VELASCO, F.O.; GONÇALVES, L.C.; TEIXEIRA, A.M. Resíduo de cervejaria para gado leiteiro. In: Gonçalves, L.C.; Borges, I.; Ferreira, P.D.S. (Ed.) **Alimentos para Gado de Leite**. Belo Horizonte: FEPMVZ p. 139-150, 2009.

ZERAI, D.B., FITZSIMMONS, K.M., COLLIER, R.J., DUFF, G.C. Evaluation of brewer's waste as partial replacement of fish meal protein in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, diets. **Journal of the World Aquaculture Society**, n. 39(4), p. 556-564, 2008. DOI: [10.1111/j.1749-7345.2008.00186.x](https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2008.00186.x).

Capítulo 1 – artigo redigido conforme as normas da revista *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, publicado em 13/02/2025. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/8951>.

## 2 CAPÍTULO I - DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDADE APARENTE DE RESÍDUO DE CERVEJARIA PARA TILÁPIA DO NILO

Renato Paulo Glowka<sup>(1)\*</sup>, Marcos Weingartner<sup>(1)</sup> e Wilson Rogério Boscolo<sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> Universidade Federal da Fronteira Sul - Campus Laranjeiras do Sul Rodovia BR 158 – Km 405, CEP 85303270, Laranjeiras do Sul, PR, Brasil. E-mail: [renatoglowka@uffs.edu.br](mailto:renatoglowka@uffs.edu.br), [marcos.weingartner@uffs.edu.br](mailto:marcos.weingartner@uffs.edu.br)

<sup>(2)</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Rua da Faculdade, no 645, CEP 85903-000, Toledo, PR, Brazil. E-mail: [wilsonboscolo@hotmail.com](mailto:wilsonboscolo@hotmail.com)

\* autor correspondente

### **Determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente de resíduo de cervejaria para tilápia do Nilo**

**Resumo** — Este trabalho teve como objetivo determinar o coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) da proteína, energia, cálcio, fósforo e aminoácidos, constituintes do resíduo seco de cervejaria (BSG) em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Os peixes foram distribuídos aleatoriamente em quatro tanques cilindro-cônicos de fibra de vidro de 200 L, sendo alimentados com duas dietas: dieta referência e uma dieta teste, com BSG. Os CDAs da proteína (67%) e de aminoácidos foram considerados elevados, indicando que o ingrediente testado teve boa absorção. O alto teor de fibra pode ter contribuído para a baixa absorção de energia, gerando valores negativos de CDA. Devido ao seu baixo custo, ampla disponibilidade, composição e digestibilidade dos nutrientes, o BSG mostrou potencial para ser utilizado na formulação de dietas para a tilápia do Nilo.

**Palavras-chave:** *Oreochromis niloticus*, subprodutos vegetais, aquacultura, nutrição animal

### **Determination of apparent digestibility coefficients of brewery waste for Nile tilapia**

**Abstract** - This study aimed to determine the apparent digestibility coefficient (ADC) of protein, energy, calcium, phosphorus and amino acids, constituents of brewer spent grain (BSG) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). The fish were randomly distributed in four 200 L cylindrical fiberglass tanks and fed two diets: a reference diet and a test diet, with BSG. The ADCs of protein (67%) and amino acids were considered high, indicating that the tested ingredient had good absorption. The high fiber content may have contributed to the low energy absorption, generating negative ADC values. Due to its low cost, wide availability, composition and digestibility of nutrients, BSG showed potential to be used in the formulation of diets for Nile tilapia.

**Keywords:** *Oreochromis niloticus*, Plant By-Products, Aquaculture, Animal Nutrition.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Com o aumento na demanda de pescado oriundo de criações, as formulações de dietas para as espécies aquáticas têm sido desafiadoras, pela necessidade em atender as exigências nutricionais, mas também pela preocupação com os custos, financeiro e ao meio ambiente, que as criações representam (Føre et al., 2018). As matérias-primas utilizadas nestas formulações, historicamente foram baseadas nas suas propriedades nutricionais, disponibilidade e preço. No entanto, mais recentemente, os sistemas de produção passaram a incluir subprodutos da agroindústria, tornando necessária a atenção aos resíduos gerados no ambiente de criação (Kokou & Fountoulaki, 2018). Além dos custos da produção aquícola, em que a alimentação/nutrição representam mais de 60%, a disponibilidade sazonal, por vezes limitada, de ingredientes e os seus elevados preços são aspectos a serem considerados (Salin & Ataguba, 2018).

A necessidade de formulações com alimentos mais econômicos e eficientes têm aumentado, especialmente para ingredientes alternativos, à medida que ingredientes tradicionais, como a farinha de peixe, são totalmente explorados (Hodar et al., 2020). Fontes alternativas de proteína para ração possuem relativa importância para as pesquisas, já que a proteína é a porção mais cara da ração para peixes (Gasco et al., 2018), sendo o farelo de soja uma das fontes vegetais primárias comuns de proteína (NRC, 2011). Subprodutos e coprodutos de diferentes setores agrícolas proporcionam oportunidades de investigação para avaliar a viabilidade da utilização destes novos produtos como fontes alimentares em dietas (Van der Poel et al., 2020).

O crescimento da produção aquícola ao longo dos anos está relacionado e é o resultado de melhoria nas formulações de dietas para peixes e de técnicas de criação otimizadas que estiveram associadas à intensificação da atividade, bem como da melhoria do conhecimento sobre as necessidades nutricionais e da utilização de ingredientes e aditivos alimentares

alternativos (Boyd et al., 2020), através de inúmeros estudos nas últimas décadas. Atrelado a estes crescimentos, de produção e consumo, está o aumento na demanda por matérias primas utilizadas nos processos de produção, capazes de atender todo esse crescimento. Por essas razões, é necessária a pesquisa de ingredientes alternativos nas dietas da aquicultura, que possam manter esse crescimento (Gatlin et al., 2007).

Existe interesse crescente na exploração de resíduos gerados pela indústria alimentar, com foco na utilização dos recursos durante o maior tempo possível, de forma a extrair deles o máximo valor e depois recuperar e reutilizar os resíduos (Sousa et al., 2018). A busca por novas fontes alternativas de proteínas com baixo impacto ambiental e alto valor nutricional tem sido um desafio, visando reduzir o uso da farinha de peixe e do farelo de soja (Karlsen & Skov, 2022).

Os cuidados ao se utilizar resíduos nas formulações de dietas aquáticas vai muito além dos níveis de proteína neles contidos. É necessário um perfil de aminoácidos (AA) bem equilibrado para o crescimento ótimo. Também é importante conhecer os níveis de digestibilidade, uma vez que nutrientes não absorvidos serão disponibilizados ao ambiente, podendo prejudicar a qualidade deste ambiente. Vários estudos anteriores demonstraram que a composição de AA tem impacto significativo na retenção e excreção de nitrogênio, por exemplo (Karlsen & Skov, 2022).

Entre os produtos alternativos que podem ser utilizados na composição de rações, podemos destacar o resíduo de cervejaria ou grão gasto de cervejaria (BSG) que representa aproximadamente 85% do total de subprodutos gerados durante o processo de fabricação da cerveja (Mussatto, 2014). O BSG é rico em proteínas em comparação com outros subprodutos agroindustriais disponíveis em volumes expressivos (Sousa et al., 2018). Em 2022, a produção global de cerveja foi de mais de 189 bilhões de litros. Considerando os resíduos gerados,

aproximadamente 37 milhões de toneladas de BSG foram gerados. O Brasil foi o terceiro maior produtor, atrás apenas de China e Estados Unidos (Conway, 2024).

Por possuir volumes de produção elevados, disponibilidade constante e teor de proteína consideravelmente alto, o BSG é definido como uma fonte potencial e inexplorada de proteína para alimentação na aquicultura. Apesar das suas características favoráveis, poucos trabalhos investigaram sua utilização na produção de dietas para organismos aquáticos (Karlsen & Skov, 2022).

A composição do BSG pode variar devido a diferenças no tipo de grão de cevada; tipo de malte; cultivo de grãos; processo e equipamentos de fabricação de cerveja; tipo de lúpulo adicionado e o estágio da fermentação em que o BSG é coletado. Além disso, alguns processos cervejeiros podem incorporar outros adjuntos de cereais em seu processo, e restos desses adjuntos também podem estar presentes no BSG.

Devido à quantidade expressiva produzida anualmente, ao atual baixo valor de mercado, à crescente consciência ambiental, e por ser nutricionalmente favorável, os esforços devem ser direcionados buscando a valorização deste subproduto agroindustrial (Lynch et al., 2016). Mesmo as pequenas indústrias cervejeiras devem ter uma gestão cuidadosa dos resíduos para garantir a sua viabilidade econômica e ambiental (Nazzaro et al., 2021).

No Brasil, segundo o Anuário da Cerveja elaborado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), o número de estabelecimentos de cervejaria registrados saltou de 195 em 2013 para 1.847 em 2023. Além disso, a distribuição dos estabelecimentos entre os municípios e estados também merece destaque. Estes dados reforçam a ampla distribuição, disponibilidade e acessibilidade do BSG no país (Brasil, 2024).

As alternativas de ingredientes ambientalmente mais sustentáveis às atuais fontes de proteína podem apresentar desvantagens, principalmente com relação à excreção de fósforo, estando relacionada com a sua digestibilidade (Çantaş & Yildirim, 2020). A digestibilidade dos

nutrientes de um ingrediente pode variar de espécie para espécie devido a diferenças na fisiologia intestinal, por isso os resultados obtidos em diferentes espécies são difíceis de comparar (NRC, 2011). Antes de um ingrediente ser incluído numa ração comercial, é essencial avaliar a qualidade nutricional desta matéria-prima, incluindo a mensuração da digestibilidade (Nazzaro et al., 2021).

Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar o coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) da proteína, energia, cálcio, fósforo e aminoácidos, constituintes do BSG em tilápia do Nilo.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas 10 amostras do resíduo de cervejaria (BSG), em diferentes dias e diferentes produções de diferentes tipos de cerveja na Cervejaria Brauheim (Saudade do Iguaçu, PR), durante o mês de novembro de 2022. Devido o BSG conter alto teor de umidade, foi realizada desidratação através de estufa de secagem em temperatura de 55°C na Universidade Federal da Fronteira Sul, em Laranjeiras do Sul – Paraná, até atingir teores próximos a 10% de umidade.

Foram identificados os teores de fibra bruta das amostras, para posterior formulação das dietas utilizadas no ensaio de digestibilidade. A análise dos teores de fibra bruta do BSG foi realizada por digestão com solução de ácido sulfúrico, seguida de solução de hidróxido sódio e finalizada com combustão total da matéria orgânica a 600 °C por 4 h (Brito et al., 2021).

O ensaio de digestibilidade foi realizado no Laboratório de Piscicultura da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, Laranjeiras do Sul - Paraná, no período de 07 de janeiro a 06 de fevereiro de 2023. Os procedimentos do estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais, sob o protocolo CEUA N° 9791011222 da UFFS.

Juvenis de tilápia do Nilo (cepa GIFT, n= 320; peso corporal médio =  $13 \pm 5,20$  g) foram obtidos da Piscicultura Progresso (Toledo, Paraná), e 80 peixes foram distribuídos

aleatoriamente em cada um dos quatro tanques cilindro-cônicos de fibra de vidro de 200 L. Os tanques foram conectados a um sistema fechado de recirculação. Os níveis adequados de oxigênio dissolvido (OD) foram garantidos por aeração através de soprador e difusores e a temperatura foi controlada. Antes do ensaio de digestibilidade, os peixes foram aclimatados às condições de laboratório por duas semanas, durante as quais foram alimentados com ração extrusada comercial (320 g kg<sup>-1</sup> PB; Fishmix Plus Inicial® Algomix, Ouro Verde do Oeste, Paraná, Brasil) até a saciedade aparente, duas vezes ao dia (08h00 e 17h00).

Os tratamentos consistiram na avaliação de CDAs por juvenis de tilápia do Nilo alimentados com uma dieta teste e uma dieta referência, sendo a dieta teste elaborada a partir de 80% da dieta referência e 20% do ingrediente teste BSG.

Uma dieta referência contendo 308,9 g kg<sup>-1</sup> de proteína bruta (PB), 3121,23 kcal kg<sup>-1</sup> de energia digestível e 1,0 g kg<sup>-1</sup> de óxido de cromo (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) como marcador (Tabela 1) foi formulada para atender às necessidades dietéticas mínimas da tilápia do Nilo, conforme descrito em NRC (2011). Os macroingredientes foram moídos em moinho de martelo até 0,3 mm de tamanho de partícula, homogeneizados em misturador Y (TE 200/5; Tecnal, Piracicaba, São Paulo, Brasil), e umedecidos com 20% de água (relação peso/volume). O ingrediente teste (BSG) foi adicionado e homogeneizado para obtenção da segunda dieta (teste). A mistura foi extrusada em grânulos de 2 mm, seca por 24 horas em estufa de ventilação forçada a 55°C, embalada e armazenada sob refrigeração de 5°C até ser utilizada em análises laboratoriais e ensaios de digestibilidade.

**Tabela 1.** Composição percentual das dietas referência e teste, utilizadas para determinar o coeficiente de digestibilidade aparente de BSG pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Ingredientes (%)	Dieta referência	Dieta teste
Milho	39,73	
Farelo de soja (45%)	32,00	
Farinha de peixe tilápia (58%)	21,75	
Arroz quirera	5,00	
Mistura de minerais e vitaminas <sup>(1)</sup>	0,80	
Sal comum	0,50	

Propionato de cálcio	0,10	
Óxido de cromo	0,10	
Antioxidante (BHT)	0,02	
Dieta referência		80,00
Ingrediente teste (BSG)		20,00
<b>Total (%)</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

<sup>(1)</sup> Níveis de garantia por quilograma de produto: 10.000.000 UI de vitamina A, 4.000.000 UI de vitamina D3, 150.000 mg de vitamina E, 100.000 mg de vitamina K3, 25.000 mg de vitamina B1, 25.000 mg de vitamina B2, 25.000 mg de vitamina B6, 30.000 mcg de vitamina B12, 100.000 mg de niacina, 50.000 mg de pantotenato de cálcio, 6.000 mg de ácido fólico, 1.000 mg de biotina, 200.000 mg de inositol, 1.000 mg de ferro, 800 mg de iodo, 30.000 mg de manganês, 140.000 mg de zinco, 800 mg de selênio, 18.000 mg de cobre, 200 mg de cobalto, 124.000 mg de etoxiquina e 450.000 mg de sorbato de potássio.

<sup>(2)</sup> BSG - grão gasto de cervejaria (do inglês *brewers' spent grain*).

Após as duas semanas de aclimação, os peixes foram alimentados com as dietas experimentais até a saciedade aparente, duas vezes ao dia (08h00 e 17h00), durante 7 dias antes de se iniciar a coleta de fezes. Após esse período, as fezes foram coletadas duas vezes ao dia, utilizando o sistema Guelph modificado (Citação), durante 10 dias. As fezes foram coletadas antes do início das alimentações, armazenadas e congeladas.

Após a coleta das fezes, os peixes foram alimentados até a saciedade e, após uma hora, o sistema de coleta de fezes foi acoplado novamente, visando garantir que sobras e/ou resíduos das dietas não fossem armazenados junto às fezes.

A matéria fecal coletada foi armazenada em recipientes plásticos em freezer para posterior análise. Para análise, as amostras fecais foram descongeladas em temperatura ambiente e posteriormente secas em estufa de circulação forçada de ar a 55°C por um período de 24h, trituradas em moedor multiuso (ARBEL), peneiradas para a retirada das escamas e em seguida enviadas ao laboratório para análises de composição química, energia, óxido de cromo e minerais.

Foram realizadas análises da concentração de cromo, da composição química do alimento teste, fezes e dietas no Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos (LQA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. As análises físico-químicas realizadas foram de proteína bruta, matéria seca, matéria mineral, extrato etéreo, energia bruta, conforme

metodologias descritas pela AOAC (1999). Também foram analisados teores de cálcio, fósforo e aminoácidos, de acordo com a AOAC (1999) pelo laboratório comercial (CBO Análises Laboratoriais Ltda., Valinhos-SP).

A análise para a determinação da concentração do cromo, nas fezes e nas dietas, foi determinada por espectrofotometria de absorção atômica, conforme metodologia descrita por (Bremer-Neto et al., 2005), para posterior cálculo do coeficiente de digestibilidade. O coeficiente de digestibilidade aparente dos ingredientes foi calculado com base na concentração de óxido de cromo e no teor de nutrientes na ração e nas fezes, conforme equações descritas abaixo.

As rações e fezes coletadas foram analisadas gravimetricamente para matéria seca (MS) por secagem a 103°C até atingirem peso constante. Após a determinação da MS, o teor de cinzas foi determinado gravimetricamente por incineração em mufla por 4 horas a 550°C. O conteúdo de lipídios foi avaliado utilizando equipamento de extração com solvente específico (éter de petróleo) para lipídios (método Soxhlet) (modelo Tecnal TE-044-5/50). A energia bruta foi determinada por uma bomba calorimétrica automática de oxigênio (Modelo C2000 Basic, IKA Works, EUA).

O teor total de nitrogênio foi medido pelo método Kjeldahl calculando a proteína bruta como  $N \times 6,25$  (fator de conversão proteica) utilizando sistemas de digestão (Tecnal, modelo TE-018).

A digestibilidade do resíduo seco de cervejaria foi determinada de acordo com o método e fórmulas apresentadas em Bureau et al. (1999). Foram analisados a proteína e o cromo das fezes dos peixes alimentados com as respectivas dietas. Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) para proteína, energia, aminoácidos, cálcio e fósforo do ingrediente teste e das dietas referência e teste foram determinados de acordo com a seguinte fórmula:  $CDA = 1 - (F / D \times Di / Fi)$ :

onde  $D$  = % de nutriente da dieta,  $F$  = % de nutriente das fezes,  $D_i$  = % indicador de digestão da dieta e  $F_i$  = % indicador de digestão das fezes.

Em seguida, o CDA dos resíduos da cervejaria foi calculado como:

$$\text{CDAI} = \text{CDAT} + ((1 - S)\text{DR} / \text{SDI}) \times (\text{CDAT} - \text{CDAR})$$

onde CDAI = coeficiente de digestibilidade aparente do ingrediente de teste, CDAT = coeficiente de digestibilidade aparente da dieta de teste, CDAR = coeficiente de digestibilidade aparente da dieta referência, DR = % nutriente da dieta de referência, DI = % de nutriente do ingrediente de teste, S = proporção do ingrediente teste na dieta teste (ou seja, 0,2), e 1-S = proporção da dieta referência na dieta do teste (ou seja, 0,8).

A temperatura ( $27,17 \pm 0,07^\circ\text{C}$ ), o oxigênio dissolvido ( $5,2 \pm 0,50 \text{ mg L}^{-1}$ ) e o pH ( $7,2 \pm 0,04$ ) da água foram medidos diariamente por meio de um leitor multiparâmetro modelo YSI® Professional Series. O nitrogênio amoniacal total ( $0,03 \pm 0,01 \text{ mg L}^{-1}$ ) foi medido semanalmente usando um kit comercial (Alfakit). Todos os parâmetros analisados estavam dentro dos limites aceitáveis para a tilápia do Nilo (El-Sayed, 2006).

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química do resíduo de cervejaria apresentou-se satisfatória para a espécie em estudo, com quantidades de proteína bruta (PB) acima de 22%, caracterizando-o como um ingrediente proteico. Os percentuais de PB verificados foram semelhantes aos obtidos por Cheng et al. (2004); San Martin et al. (2020); Nazzaro et al. (2021) (Tabela 2). O aspecto negativo se refere à quantidade de fibra bruta, com 18,40%, podendo impactar negativamente na digestibilidade e no processo de confecção das rações, como a extrusão. Porém, os resultados são semelhantes a outros trabalhos com o ingrediente (Cheng et al., 2004; Nazzaro et al., 2021; San Martin et al., 2020).

**Tabela 2.** Composição química das dietas (%) referência e teste, respectivas fezes e do BSG.

	MS	FB	EB	PB	EE
Dieta referência	95,27	4,27	4429,50	30,94	4,50
Fezes referência	95,03	31,11	3751,68	14,06	1,02
Dieta teste	96,27	6,44	4566,45	31,41	3,56
Fezes teste	95,31	28,30	3954,12	10,38	1,11
Resíduo cervejaria	95,24	18,40	4825,53	22,13	7,18

MS, matéria seca (%); FB, fibra bruta (%); EB, energia bruta (kcal kg<sup>-1</sup>); PB, proteína bruta (%) e EE, extrato etéreo (%).

Os teores de fibra bruta (FB) nas fezes provenientes de peixes alimentados com a dieta teste (Tabela 2) foram menores do que nas fezes resultantes da dieta referência, o que pode ser explicado pela retenção de outros compostos, reduzindo a fração de fibras nas fezes.

O teor de energia bruta do BSG encontrado no presente estudo foi de 4.825,53 kcal kg<sup>-1</sup>, um pouco acima do verificado por San Martin et al. (2020) (4.766,00 kcal kg<sup>-1</sup>), mas inferior ao que obtiveram Nazzaro et al. (2021) (5.181,00 kcal kg<sup>-1</sup>). Esta variação pode ser explicada pelos diferentes métodos de produção e de ingredientes utilizados nas cervejarias, que acabam interferindo na composição dos resíduos (Mussatto, 2014). No entanto, o nível encontrado é superior a outros ingredientes energéticos utilizados, como: triticale (3.955,50 kcal kg<sup>-1</sup>); sorgo (3.995,00 kcal kg<sup>-1</sup>); milho (3.826,00 kcal kg<sup>-1</sup>) e farelo de soja (4.210,15 (kcal kg<sup>-1</sup>) (Furuya et al., 2010).

O teor de cálcio obtido foi de 1,27%, não sendo encontrado na literatura trabalhos que apresentassem dados referentes a este mineral no ingrediente teste. O teor de fósforo (P) (0,54%) verificado foi semelhante ao encontrado por San Martin et al. (2020) e Nazzaro et al. (2021). Já Cheng et al. (2004) obtiveram como resultado 0,8% de P.

A Tabela 3 apresenta a composição centesimal, energética e de aminoácidos do ingrediente BSG, avaliado no experimento de digestibilidade para juvenis de tilápia do Nilo. Comparativamente aos trabalhos de Cheng et al. (2004); San Martin et al. (2020) e Nazzaro et al. (2021), houve aminoácidos com níveis variando em menor ou maior concentração.

Além de quantificar a concentração de aminoácidos presente em um ingrediente, é fundamental avaliar a sua digestibilidade pelo peixe em estudo. No BSG, mesmo apresentando percentual proteico de 22%, os coeficientes de digestibilidade foram fundamentais para qualificar este ingrediente para o uso nas formulações de dietas para a tilápia. Os coeficientes de digestibilidade do ingrediente avaliado no presente estudo estão apresentados na Tabela 4. O principal nutriente, a proteína bruta, teve digestibilidade de 67%, evidenciando que sua utilização como ingrediente em dietas para a espécie e fase de criação é possível. Nazzaro et al. (2021) obtiveram coeficientes de digestibilidade de 41%, da proteína do resíduo de cervejaria para espécie marinha dourada (*Sparus aurata*) e 67% para a espécie de água doce truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*). Para a tilápia, diferentes ingredientes e métodos de coleta de amostras fecais podem impactar nos CDAs. Parte desta variabilidade pode ser explicada por diferenças na composição química, origem e processamento desses vários ingredientes da ração (Köprüci & Özdemir, 2004).

**Tabela 3.** Composição centesimal e de aminoácidos do BSG no presente estudo comparativamente aos trabalhos de Cheng et al. (2004); San Martin et al. (2020) e Nazzaro et al. (2021).

	BSG	Nazzaro et al. (2021)	Cheng et al. (2004)	Cheng et al. (2004) <sup>(1)</sup>	San Martin et al. (2020)
Proteína Bruta (%)	22,13	24,71	20,8	21,00	22,73
Energia (kcal kg <sup>-1</sup> )	4825,53	5181,00	NA	NA	4766,00
Matéria seca (%)	95,24	92,00	NA	NA	92,00
Cálcio (%)	1,27	NA	NA	NA	NA
Fósforo (%)	0,54	0,53	0,8	0,8	0,49
E. Etéreo (%)	7,18	8,42	NA	NA	7,75
Cinzas (%)	3,66	3,91	4,80	5,30	3,60
Fibra Bruta (%)	18,39	18,78	14,60	15,80	17,28
<b>Aminoácidos (%)</b>					
Ácido Aspártico	1,42	1,72	1,45	1,61	1,58
Ácido Glutâmico	3,87	5,24	3,96	4,6	4,82
Serina	0,83	1,12	0,74	0,84	1,03
Glicina	0,87	0,88	0,83	0,94	0,81
Histidina	0,46	0,65	0,46	0,49	0,60
Taurina	0,01	NA	NA	NA	NA
Arginina	0,86	1,28	1,05	1,16	1,18

Treonina	0,79	0,91	0,76	0,86	0,84
Alanina	1,03	1,51	0,98	1,11	1,39
Prolina	1,70	2,51	1,78	2,08	2,31
Tirosina	0,69	0,96	0,63	0,69	0,88
Valina	1,11	1,27	1,13	1,27	1,17
Metionina	0,31	0,51	0,41	0,45	0,47
Cistina	0,28	NA	0,42	0,46	NA
Isoleucina	0,85	1,02	0,82	0,9	0,94
Leucina	1,51	2,48	1,59	1,78	2,28
Fenilalanina	1,07	1,45	1,17	1,31	1,33
Lisina	1,00	0,96	0,84	0,82	0,88
Hidroxirolina	0,03	< 0,03	NA	NA	<0,03
Triptofano	0,21	NA	0,28	0,22	NA

<sup>(1)</sup> secagem em alta temperatura; NA, não avaliado.

No presente estudo, os coeficientes de digestibilidade foram considerados elevados, o que indica que o ingrediente testado teve boa absorção. Isso significa que a eficiência com que os nutrientes do ingrediente são digeridos e absorvidos pelo organismo da espécie testada é alta, um indicativo de boa qualidade nutricional do ingrediente, quando comparado a ingredientes tradicionalmente utilizados nas formulações de dietas para aquicultura.

**Tabela 4.** Coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) dos nutrientes e nutrientes digestíveis do BSG para juvenis de tilápia do Nilo.

Nutriente	Composição do BSG	Coeficiente de Digestibilidade Aparente (CDA) (%)	Nutrientes digestíveis
Proteína Bruta (%)	22,13	67,00	14,83
Energia (kcal kg <sup>-1</sup> )	4.825,53	-7,40	-357,09
Matéria seca (%)	95,24	-26,00	-24,76
Cálcio (%)	1,27	-28,84	-0,37
Fósforo (%)	0,54	-59,60	-0,32
<b>Aminoácidos (%)</b>			
Ácido Aspártico	1,42	113,30	1,61
Ácido Glutâmico	3,87	99,37	3,85
Serina	0,83	104,68	0,87
Glicina	0,87	99,17	0,86
Histidina	0,46	94,76	0,44
Arginina	0,86	114,50	0,98
Treonina	0,79	114,63	0,91
Alanina	1,03	84,98	0,88
Prolina	1,70	89,98	1,53
Tirosina	0,69	131,25	0,91

Valina	1,11	98,55	1,09
Metionina	0,31	125,42	0,39
Cistina	0,28	122,07	0,34
Isoleucina	0,85	100,18	0,85
Leucina	1,51	92,56	1,40
Fenilalanina	1,07	100,22	1,07
Lisina	1,00	93,45	0,93
Triptofano	0,21	105,84	0,22

Obs: taurina e hidroxiprolina apresentaram valores insignificantes (abaixo de 0,01)

Os coeficientes de digestibilidade do cálcio e do fósforo tiveram resultados negativos. Esta observação pode ser explicada pelo fato de os peixes absorverem os minerais da água através das brânquias e da superfície do corpo podendo estar relacionado à maior presença desses minerais na água, uma vez que o cálcio presente na água é utilizado mesmo quando este mineral está disponível na ração (Lewandowski et al., 2017).

A literatura apresenta estudos utilizando a levedura, porém, para o caso do grão gasto (BSG), não é possível encontrar muita informação sobre proteínas, aminoácidos ou CDAs em peixes. Este ingrediente só foi utilizado para a alimentação de alguns peixes de água doce, como as carpas (*Labeo rohita* e *Labeo catla*) (Kaur & Saxena, 2004) com bons resultados de crescimento e conversão alimentar, mas sem qualquer estudo prévio de digestibilidade. Contudo, estudos realizados com truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) e a espécie marinha dourada (*Sparus aurata*) (Nazzaro et al., 2021) verificaram boa digestibilidade de proteínas, lipídios e aminoácidos.

O BSG tem sido utilizado como excelente ingrediente para ruminantes, por possuir alto valor nutricional, com alto teor de proteínas, fibras e energia, e promover aumento na produção de leite e rendimento de gordura do leite. Nazzaro et al. (2021) consideraram alta digestibilidade de proteínas incluídas na dieta através do BSG a 20% e coeficientes de digestibilidade de aminoácidos na faixa de 70-96% para a maioria dos aminoácidos para truta arco-íris e dourada, utilizando o BSG seco ou hidrolisado, obtendo bons efeitos no crescimento em ambas as espécies.

O prejuízo na absorção de energia da ração com o ingrediente teste, pode estar associado ao alto teor de fibras (e de sua composição) do ingrediente, onde o teor de fibra bruta da dieta teste (6,44%) foi 50,8% superior a dieta referência (4,27%). A fibra tem a capacidade de reter a energia disponível na parede celular da estrutura morfológica do ingrediente (NRC, 2011), gerando valores negativos de CDA da energia. Resultados similares desta redução da digestibilidade da energia bruta foram observados com o aumento dos teores de fibra nas dietas nos quais os autores justificam o aumento de energia nas fezes pela retenção da mesma pela fibra (Guimarães et al., 2012; NRC, 2011; Silva et al., 2019).

Altos níveis de fibras em dietas reduzem a digestibilidade da energia podendo comprometer a digestão dos nutrientes ao afetar as características físicas no processo digestório e o acesso de enzimas endógenas ao substrato (Silva et al., 2019).

Os efeitos adversos do BSG nas dietas estão relacionados às espécies, fases de criação e aos níveis incorporados. Semelhante a outros animais monogástricos, a maioria dos peixes não possuem em seu intestino, enzimas ou mecanismos capazes de degradar polissacarídeos não amiláceos (celulose, hemicelulose, pectinas e quitinas) dificultando a inclusão alimentar de altos níveis de ingredientes ricos em fibras, pois podem afetar negativamente a digestão de nutrientes e o metabolismo, interferindo em sua saúde e crescimento (Kokou & Fountoulaki, 2018).

A Tabela 5 representa a comparação da composição do BSG com alguns ingredientes utilizados na formulação de dietas para peixes. Mesmo sendo um resíduo, devido seu uso principal ser para a produção da cerveja, o BSG se mostra excelente alternativa como ingrediente, superando todos os níveis de aminoácidos do milho e do sorgo. Quando comparado ao triticale, os aminoácidos metionina e cistina, fenilalanina + tirosina, lisina e principalmente o triptofano se destacam com concentração igual ou superior. Porém, ao realizar esta comparação com o farelo de soja, os percentuais de aminoácidos do BSG são inferiores. Assim,

o percentual de inclusão do BSG em dietas para tilápia precisa ser analisado e ajustado a fim de garantir o balanço correto de aminoácidos, de acordo com as necessidades de cada fase de criação.

**Tabela 5.** Comparação entre a composição do BSG e outros ingredientes convencionais e a estimativa de exigências de proteína, fósforo e de aminoácidos essenciais para tilápias da pós reversão até 100 g.

Nutriente	Composição BSG	Triticale grão <sup>1</sup>	Sorgo <sup>1</sup>	Milho <sup>1</sup>	Soja farelo <sup>1</sup>	Estimativa de exigências <sup>1</sup>	Contribuição (%) do BSG nas exigências
Proteína Bruta (%)	22,13	13,61	9,65	8,36	45,93	29,73	14,86
Proteína Dig. (%)	14,83	12,42	8,48	7,47	42,24	26,81	11,06
Energia Bruta (kcal kg <sup>-1</sup> )	4.825	3.955	3.995	3.826	4.210	-	965
Energia Dig. (kcal kg <sup>-1</sup> )	-	3.036	2.798	2.901	3.178	3.036	-
Fósforo (%)	0,54	-	-	-	-	0,65	21,15
<b>Aminoácidos (%)</b>							
Histidina	0,46	0,64	0,18	0,23	1,17	0,52	17,69
Arginina	0,86	1,30	0,31	0,38	3,36	1,26	13,49
Treonina	0,79	0,86	0,31	0,26	1,66	1,18	13,56
Valina	1,11	1,33	0,51	0,33	2,24	0,83	26,50
Metionina	0,31	0,26	0,18	0,12	0,50	0,52	11,54
Cistina	0,28	0,27	0,15	0,12	0,56	0,40	15,00
Isoleucina	0,85	1,03	0,38	0,23	2,18	0,93	18,28
Leucina	1,51	1,90	1,25	0,86	3,67	1,01	29,70
Fenilalanina + tirosina	1,76	1,77	0,70	0,68	3,44	1,65	21,21
Lisina	1,00	0,96	0,18	0,20	3,10	1,53	13,07
Triptofano	0,21	0,09	0,09	0,04	2,24	0,30	13,33

<sup>1</sup> – Adaptado de Furuya et al., 2010.

A fração (%) de contribuição do BSG na concentração de 20% em relação as exigências de proteína bruta e digestível, fósforo e de aminoácidos essenciais também estão apresentados na Tabela 5. Destaca-se a homogeneidade do perfil de aminoácidos essenciais, demonstrando interessante balanço entre estes aminoácidos. Com exceção da metionina (11,54%) os demais

aminoácidos essenciais contribuem acima dos 13%, com destaque para valina (26,50%) e leucina (29,70%).

## 2.4 CONCLUSÕES

1. O alto teor de fibra do BSG reduz a absorção de energia e limita o seu uso como ingrediente em dietas para a tilápia do Nilo.

2. As composições centesimal e de aminoácidos do BSG demonstram potencial para uso como ingrediente na formulação de dietas para tilápia do Nilo.

3. Os CDAs do BSG apresentam percentuais similares a outros ingredientes comumente utilizados na formulação de dietas para tilápia do Nilo, demonstrando seu potencial uso.

## 2.5 REFERÊNCIAS

Association of Official Agricultural Chemists – International (AOAC). **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17ed. AOAC. Washington, DC, USA. 1999.

BOYD, C.E.; D'ABRAMO, L.R.; GLENCROSS, B.D.; HUYBEN, D.C.; JUAREZ, L.M.; LOCKWOOD, G.S.; MCNEVIN, A.A.; TACON, A.G.J.; TELETCHEA, F.; TOMASSO, J.R.; TUCKER, C.S.; VALENTI, W.C. Achieving sustainable aquaculture: historical and current perspectives and future needs and challenges. **Journal World Aquaculture Society**, v.51, p.578-633, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Anuário da Cerveja 2024**: Ano de referência 2023 / Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: MAPA/SDA, 2024.

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

BRITO, J.M.; WERNICK, B.; DA CRUZ, T.P.; FURUYA, L.B.; MIRANDA, J.A.G.; RUDNIK, A.R.; FURUYA, V.R.B.; FURUYA, W.M. Top-spraying Xylanase and  $\beta$ -Glucanase improves digestible energy content and optimizes protein and amino acids digestibility in high-fiber diet fed to growing Nile tilapia. **Animal Feed Science and Technology**, v.278, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114991>.

BUREAU, D.P.; HARRIS, A.M.; CHO, C.Y. Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.180, p.345-358, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00210-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00210-0).

ÇANTAS, I. B.; YILDIRIM O. Supplementation of microbial phytase with safflower meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): the effects on growth, digestibility, environmental, and serum biological parameters. **Journal of Chemistry**, p.1-8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/4634796>.

CHENG, Z.J.; HARDY, R. W.; HUIGE, N.J. Apparent digestibility coefficients of nutrients in brewer's and rendered animal by-products for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)). **Aquaculture Research**, v.35, p.1-9, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.00941.x>.

CONWAY, J. **Statista**. Produção de cerveja no mundo de 1998 a 2022. 2024. Available at: <<https://www.statista.com/statistics/270275/worldwide-beer-production/>>. Accessed on: aug. 18 2024.

EL-SAYED, A.F.M. (Ed.). **Tilapia culture**. Segunda edição. CABI publishing, 2006. 348 p.

FØRE, M.; FRANK, K.; NORTON, T.; SVENDSEN, E.; ALFREDSEN, J.A.; DEMPSTER, T.; EGUIRAUN, H.; WATSON, W.; STAHL, A.; SUNDE, L.M.; SCHELLEWALD, C.; SKØIEN, K.R. ALVER, M.O.; BERCKMANS, D. Precision fish farming: a new framework to improve production in aquaculture. **Biosystems Engineering**, n.173, p.176-193, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.10.014>.

FURUYA, W.M. et al. **Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias**. Toledo: GFM, 2010, 100p.

GASCO, L., GAI, F., MARICCHIOLO, G., GENOVESE, L., RAGONESE, S., BOTTARI, T.; CARUSO, G. Fishmeal Alternative Protein Sources for Aquaculture Feeds. **Springer International Publishing**, p.1-28, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77941-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77941-6_1).

GATLIN III D.M.; BARROWS, F.T.; BROWN, P.; DABROWSKI, K.; GAYLORD, T.G.; HARDY, R.W.; HERMAN, E.; HU, G.; KROGDAHL, A.; NELSON, R.; OVERTURF, K.; RUST, M.; SEALEY, W.; SKONBERG, D.; SOUZA, E.J.; STONE, D.; WILSON, R.; WURTELE, E. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review. **Aquaculture Research**, v.38, p.551-579, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01704.x>.

GUIMARÃES, I.G.; PEZZATO, L.E.; BARROS, M.M.; FERNANDES, R.N. Apparent nutrient digestibility and mineral availability of protein-rich ingredients in extruded diets for Nile tilapia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, p.1801-1808, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000800001>.

HODAR, A.R.; VASAVA, R.; MAHAVADIYA, D.R.; JOSHI, N.H. Fish meal and fish oil replacement for alternative sources: a review. **Journal of Experimental Zoology Índia**, 23, p.13-21, 2020.

KARLSEN, F.; SKOV, P.V. Review – Potentials and limitations of utilising brewer's spent grain as a protein source in aquaculture feeds. **Journal of Cleaner Production**, v.357, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131986>.

KAUR, V.I.; SAXENA, P.K. Incorporation of brewery waste in supplementary feed and its impact on growth in some carps. **Bioresource Technology**, v.91, p.101-104, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00073-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00073-7).

KOKOU, F.; FOUNTOULAKI, E. Aquaculture waste production associated with antinutrient presence in common fish feed plant ingredients. **Aquaculture**, v.495, p.295-310, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.003>.

KÖPRÜCÜ, K.; ÖZDEMİR, Y. Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v.250, p.308-316, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.12.003>.

LEWANDOWSKI, V.; FEIDEN, A.; SIGNOR, A.; BITTENCOURT, F.; MORO, E.B.; PESSINI, J.E.; BOSCOLO, W.R. Digestibility of vegetalenergetic ingredients supplemented with phytase for silver catfish (*Rhamdia voulezi*). **Aquaculture**, v.467, p.71–75, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.05.022>.

LYNCH, K.M.; STEFFEN, E.J.; ARENDT, E.K. Brewers' Spent Grain: A Review with an Emphasis on Food and Health. **Journal of The Institute of Brewing**, v.122, p.553–568, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/jib.363>.

MUSSATTO, S.I. Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.94(7), p.1264-75, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6486>.

NAZZARO, J.; SAN MARTIN, D.; PEREZ-VENDRELL, A.M.; PADRELL, L.; IÑARRA, B.; ORIVE, M.; ESTÉVEZ, A. Apparent digestibility coefficients of brewer's by-products used in feeds for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and gilthead seabream (*Sparus aurata*). **Aquaculture**, v.530, 2021, p.1-8, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735796>.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL . **Nutrient requirements of fish and shrimp**. Animal Nutrition Series, National Research Council of the National Academies, Washington, D.C. 2011. 376p. DOI: <https://doi.org/10.17226/13039>.

SALIN, K.R.; ATAGUBA; G.A. Aquaculture and the Environment: Towards Sustainability. **Sustainable Aquaculture**, cap.4. p.1–62, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73257-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73257-2_1).

SAN MARTIN, D.; ORIVE, M.; IÑARRA, B.; CASTELO, J.; ESTÉVEZ, A.; NAZZARO, J.; ILOORO, I.; ELORTZA, F.; ZUFIA, J. Brewers' spent yeast and grain protein hydrolysates as second-generation feedstuff for aquaculture feed. **Waste and Biomass Valorization**, v.11, p.5307–5320, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01145-8>.

SILVA, R.S.; SANTO, R.V.E; BARBOSA, A.V.C.; SANTOS, M.A.S.; CORRÊA, R.O.; MARTINS JUNIOR, H.; LOURENÇO JUNIOR, J.B. Digestibilidade aparente do farelo de palmiste em tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Arquivos Brasileiros de Medicina**

**Veterinária e Zootecnia**, v.71, n.5, p.1595-1600, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10968>.

SOUSA, D.; VENÂNCIO, A.; BELO I.; SALGADO, J.M. Mediterranean agro-industrial wastes as valuable substrates for lignocellulolytic enzymes and protein production by solid-state fermentation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v.98, p.5248-5256, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9063>.

VAN DER POEL, A.F.B.; ABDOLLAHI, M.R.; CHENG, H.; COLOVIC, R.; DEN HARTOG, L.A.; MILADINOVIC, D.; PAGE, G.; SIJSSENS, K.; SMILLIE, J.F.; THOMAS, M.; WANG, W.; YU, P.; HENDRIKS, W.H. Future directions of animal feed technology research to meet the challenges of a changing world. **Animal Feed Science and Technology**, v.270, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114692>.

### 3 CAPÍTULO II - DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E AVALIAÇÃO HISTOLÓGICA DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO ALIMENTADOS COM RESÍDUO DE CERVEJARIA (BSG)

#### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar diferentes níveis de inclusão de resíduo seco de cervejaria (BSG) na dieta sobre o desempenho zootécnico e histologia do intestino e fígado de juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Foi adotado um delineamento inteiramente casualizado em quadruplicata, em que 300 juvenis de tilápia do Nilo ( $5,07 \pm 0,97$ g) foram acondicionados em 20 tanques de polietileno com capacidade de 60 L (15 peixes/unidade experimental) e alimentados, até a saciedade aparente, quatro vezes ao dia (07:00; 11:00; 15:00 e 18:00), durante 43 dias. Para tal, foram formuladas cinco dietas experimentais isoproteicas (320 g de proteína  $\text{kg}^{-1}$ ) e isoenergéticas (3.400 kcal  $\text{kg}^{-1}$ ) com concentrações crescentes de BSG (0, 5, 10, 15 e 20%). Ao final do período experimental, foram avaliados o desempenho zootécnico e histologia do intestino e fígado. A inclusão de até 20% de BSG não afetou o ganho de peso ( $p > 0,05$ ). A inclusão de 15% de BSG na dieta proporcionou os melhores resultados quanto as taxas de conversão alimentar e de eficiência proteica ( $p < 0,05$ ). Os peixes alimentados com dietas contendo BSG não apresentaram alterações histológicas no intestino e fígado. Por proporcionar melhores resultados de conversão alimentar e eficiência proteica, recomenda-se a inclusão de 15% de BSG em dietas para juvenis de tilápia do Nilo.

**Palavras-chave:** *Oreochromis niloticus*, subprodutos vegetais, aquicultura, nutrição animal.

**Abstract** - This study aimed to evaluate different levels of inclusion of brewer's spent grain (BSG) in the diet on the zootechnical performance and histology of the intestine and liver of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). A completely randomized design in quadruplicate was adopted, in which 300 juvenile Nile tilapia ( $5.07 \pm 0.97$  g) were placed in 20 polyethylene tanks with a capacity of 60 L (15 fish/experimental unit) and fed, to apparent satiety, four times a day (07:00; 11:00; 15:00 and 18:00), for 43 days. For this purpose, five experimental isoproteic (320 g protein  $\text{kg}^{-1}$ ) and isoenergetic (3,400 kcal  $\text{kg}^{-1}$ ) diets were formulated with increasing concentrations of BSG (0, 5, 10, 15, and 20%). At the end of the experimental period, zootechnical performance and histology of the intestine and liver were evaluated. The inclusion of up to 20% BSG did not affect weight gain ( $p > 0.05$ ). The inclusion of 15% BSG in the diet

provided the best results in terms of feed conversion and protein efficiency ratios ( $p < 0.05$ ). Fish fed diets containing BSG showed no histological alterations in the intestine and liver. The inclusion of 15% BSG in diets for juvenile Nile tilapia is recommended.

**Keywords:** *Oreochromis niloticus*, Plant By-Products, Aquaculture, Animal Nutrition.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Em 2022 a produção mundial de animais aquáticos foi estimada em 185,4 milhões de toneladas, sendo 91 milhões de toneladas provenientes da pesca e 94,4 milhões de toneladas da aquicultura. Da produção total, 38% (70,4 milhões de toneladas) teve origem em águas continentais (84% da aquicultura e 16% da pesca de captura), enfatizando a importância da aquicultura continental para o setor (FAO, 2024).

A tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, representa 10,6% da produção da aquicultura continental mundial (FAO, 2024), o que a torna uma das espécies de peixes economicamente mais importantes na aquicultura. Além disso, apresenta distribuição generalizada, adaptando-se facilmente em regiões com diferentes climas, possui hábito alimentar onívoro e, portanto, possibilidade de aproveitamento de ampla variedade de dietas (Raposo et al., 2024). É a principal espécie aquícola produzida no Brasil, com produção estimada em 442 mil toneladas em 2023, representando 67,5% do total nacional (IBGE, 2024).

As dietas utilizadas nas criações de organismos aquáticos são formuladas com matérias-primas de origem animal e vegetal. O farelo de soja, principal insumo de origem vegetal, é considerado uma fonte proteica de qualidade, no entanto, é um dos ingredientes mais caros da ração e possui forte competição com outras criações, portanto, novas fontes de proteína vegetal têm sido estudadas (Naylor et al., 2021).

Alguns fatores são importantes para a melhoria dos sistemas alimentares na aquicultura, tais como a utilização de ingredientes para ração adaptados aos peixes; formulações de ração

baseadas em requisitos nutricionais precisos; melhoria na eficiência das rações e contribuição à saúde animal (Naylor et al., 2021).

Dentre os produtos alternativos que podem ser utilizados na composição de rações, destaca-se o resíduo de cervejaria ou grão gasto de cervejaria (do inglês *brewers' spent grain* - BSG), que representa aproximadamente 85% do total de subprodutos gerados durante o processo de fabricação da cerveja (Mussato, 2014; Rachwał et al., 2020). Além disso, o BSG é rico em proteínas em comparação com outros subprodutos agroindustriais disponíveis em volumes significativos (Sousa et al., 2018; Glowka et al., 2025). Em 2022, a produção global de cerveja foi de mais de 189 bilhões de litros. Considerando os resíduos gerados, aproximadamente 37 milhões de toneladas de BSG foram produzidos. O Brasil foi o terceiro maior produtor de cervejas, atrás apenas de China e Estados Unidos (Conway, 2024).

O sucesso da incorporação de insumos vegetais em dietas é altamente dependente da espécie de peixe, da sua fase de criação e do nível de inclusão na dieta (Daniel, 2018; Naylor et al., 2021). A definição da melhor formulação de dietas está diretamente relacionada às taxas de crescimento e saúde dos animais aquáticos, afetados tanto pela disponibilidade quanto pela absorção de nutrientes no trato gastrointestinal (Trichet, 2010; Chen, et al., 2020).

O fígado e o intestino são órgãos que estão diretamente relacionados a condições de toxicidade e absorção de nutrientes, respectivamente, a partir de alimentos fornecidos aos animais. Desta forma, podem ser analisados como indicadores desta situação (Chattaraj et al., 2024). Alterações observadas no fígado e intestino podem refletir o status nutricional dos peixes, sendo que gorduras e proteínas dos alimentos têm propriedade de modificar as estruturas do fígado (Rašković et al., 2011) e níveis de fibras dos alimentos podem impactar nas estruturas do intestino (Chattaraj et al., 2024). O fígado desempenha papel fundamental no metabolismo alimentar e as alterações histológicas são consideradas um sinal confiável na avaliação do estado nutricional (Ostaszewska et al., 2005; Rašković et al., 2011). Portanto, o objetivo deste

trabalho foi avaliar o efeito de diferentes níveis de inclusão de BSG na dieta, sobre o desempenho zootécnico e histologia do intestino e fígado de juvenis da tilápia do Nilo.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Peixes e condições experimentais

Os procedimentos do estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais, sob o protocolo CEUA N° 9791011222, da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS). O ensaio foi realizado no Laboratório de Piscicultura da UFFS, *campus* Laranjeiras do Sul-PR.

Foram utilizados 300 juvenis de tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, oriundos de piscicultura comercial, com peso médio inicial de  $5,07 \pm 0,97$ g, acondicionados (15 juvenis/unidade experimental) em 20 tanques retangulares de polietileno (34 x 32 x 65,5 cm; 60 L de volume útil), cobertos com redes de náilon. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, contendo cinco tratamentos e quatro repetições.

Previamente ao início do experimento, os peixes foram aclimatados às condições do laboratório por 10 dias e alimentados com a dieta referência (Tabela 1). Durante a realização do experimento foi utilizado um sistema de recirculação de água, composto por filtro mecânico (bag) e biológico (mídia biológica) para a manutenção dos parâmetros de qualidade da água aceitáveis para a espécie. Foi fornecida aeração constante, por meio de soprador de ar e difusor de pedra porosa, em cada tanque para manter níveis adequados de oxigênio dissolvido.

Após o período de aclimação, os peixes foram distribuídos aleatoriamente nas unidades experimentais para os quatro grupos de tratamento dietético e o tratamento referência. Os grupos foram alimentados manualmente quatro vezes ao dia (07:00; 11:00; 15:00 e 18:00), até a saciedade aparente, durante 43 dias. Diariamente, foi registrado a quantidade de ração ofertada e realizado o sifonamento das unidades experimentais para remoção de resíduos.

Durante todo o período experimental os indicadores de qualidade da água foram monitorados. Diariamente, o pH ( $7,13 \pm 0,20$ ), temperatura ( $27,15 \pm 2,1^\circ\text{C}$ ) e concentração de oxigênio dissolvido ( $6,25 \pm 0,8 \text{ mg L}^{-1}$ ) e, semanalmente, a salinidade ( $1,94 \pm 0,20 \text{ g L}^{-1}$ ), alcalinidade ( $60,00 \pm 10,00 \text{ CaCO}_3 \text{ mg L}^{-1}$ ), amônia total ( $0,22 \pm 0,08 \text{ mg L}^{-1}$ ) e nitrito ( $0,45 \pm 0,05 \text{ mg L}^{-1}$ ) da água, os quais permaneceram dentro da faixa de conforto para a criação da espécie (Webster & Lim, 2006).

### 3.2.2 Dietas experimentais

Cinco dietas experimentais, isoproteicas ( $320 \text{ g de proteína digestível-ED kg}^{-1}$ ) e isoenergéticas ( $3.400 \text{ kcal ED kg}^{-1}$ ), foram formuladas para atender as exigências nutricionais da tilápia do Nilo (Furuya et al., 2010; NRC, 2011), quatro suplementadas com resíduo de cervejaria (BSG): 5, 10, 15 e 20% (BSG5, BSG10, BSG15 e BSG20) e uma referência, isenta do ingrediente teste (Tabela 1). Os macroingredientes foram moídos em moinho de martelo até  $0,3 \text{ mm}$  de tamanho de partícula, homogeneizados em misturador Y (TE 200/5; Tecnal, Piracicaba, São Paulo, Brasil), e umedecidos com 20% de água (relação peso/volume). A mistura foi extrusada em grânulos de  $2 \text{ mm}$ , seca por 24 horas em estufa de ventilação forçada a  $55^\circ\text{C}$ , embalada e armazenada sob refrigeração ( $5^\circ\text{C}$ ).

**Tabela 1.** Formulação e composição nutricional calculada das dietas experimentais, com base na matéria natural, para os diferentes níveis de inclusão de resíduo de cervejaria (BSG).

Ingrediente (%)	0	5	10	15	20
Milho grão	25,81	24,62	23,54	22,32	21,24
Farinha de vísceras de aves	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Farelo de soja	13,90	13,00	12,10	11,21	10,32
Farelo de trigo	10,00	8,00	6,00	4,00	2,00
Farinha de penas	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Farinha de carne e ossos	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Farinha de hemácias	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Farinha de trigo	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
BSG (resíduo)	0,00	5,00	10,00	15,00	20,00
Óleo de soja	5,10	4,31	3,61	2,83	2,12
Premix min/vit <sup>1</sup>	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Calcário	0,64	0,48	0,32	0,16	0,00
Sal comum	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
DL-Metionina	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42
L-treonina	0,33	0,32	0,31	0,3	0,29
L-lisina	0,23	0,22	0,22	0,21	0,20
Antifúngico BHT	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Cloreto de colina	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Vitamina C	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Propionato de cálcio	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
L-triptofano	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015

#### Níveis nutricionais

Proteína bruta	36,12	36,34	36,60	36,80	37,10
Proteína digestível <sup>2</sup>	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
Amido	24,80	23,35	21,90	20,45	19,00
Lipídio	10,10	9,61	9,00	8,52	8,02
Cálcio	1,88	1,88	1,87	1,87	1,87
Fósforo total	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
Fenilalanina+Tirosina total	2,78	2,80	2,83	2,85	2,88
Arginina total	2,30	2,23	2,17	2,11	2,05
Histidina total	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
Isoleucina total	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27
Leucina total	3,10	3,11	3,12	3,10	3,11
Lisina total	2,16	2,16	2,16	2,17	2,17
Metionina+Cistina total	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
Metionina total	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Treonina total	1,72	1,72	1,72	1,72	1,72
Triptofano total	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Valina total	2,10	2,10	2,10	2,20	2,20
Energia digestível (cal/kg) <sup>3</sup>	3410	3411	3412	3413	3414

<sup>1</sup>Níveis de garantia por quilograma do produto: vit. A - 500.000 UI; vit. D3 - 200.000 UI; vit. E - 5.000 mg; vit. K3 - 1.000 mg; vit. B1 - 1.500 mg; vit. B2 - 1.500 mg; vit. B6 - 1.500 mg; vit. B12 - 4.000 mg; ácido fólico - 500 mg; pantotenato de cálcio - 4.000 mg; vit. C - 15.000 mg; biotina - 50 mg; inositol - 10.000 mg; nicotinamida - 7.000 mg; colina - 40.000 mg; cobalto - 10 mg; cobre - 500 mg; ferro - 5.000 mg; iodo - 50 mg; manganês - 1.500 mg; selênio - 10 mg; zinco - 5.000 mg.

<sup>2</sup> Proteína digestível calculada

<sup>3</sup> Energia digestível calculada

### 3.2.3 Desempenho zootécnico

A biometria dos juvenis de tilápia do Nilo foi realizada no início e ao final do experimento. Ao final de 43 dias de alimentação, os exemplares foram mantidos em jejum por 24h e posteriormente anestesiados em solução de eugenol 100 mg L<sup>-1</sup> (Vidal et al., 2008). Todos os indivíduos tiveram seus pesos e medidas aferidos individualmente com balança de precisão

de 0,1mg e paquímetro. Neste momento, três animais de cada unidade experimental (n = 12) foram eutanasiados por secção medular e realizada a retirada das vísceras, que foram mantidas em gelo, para posterior pesagem e coleta de intestino e fígado para análise histológica. O desempenho zootécnico dos juvenis de *O. niloticus* alimentados com as diferentes dietas foi avaliado considerando-se os seguintes parâmetros, de acordo com NRC (2011): ganho em peso (GP) = peso final (g) – peso inicial (g); taxa de conversão alimentar (TCA) = consumo de ração (g)/ganho de peso corporal (g); taxa de crescimento específico (TCE) =  $[(\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial}) / \text{período de alimentação em dias}] \times 100$ ; taxa de eficiência proteica (TEP) = ganho de peso corporal (g)/ ingestão total de proteína (g); taxa de sobrevivência (%) = (número final de peixes/número inicial de peixes) x 100; fator de condição - FC =  $[\text{peso} / (\text{comprimento total}^3) \times 100]$ ; índice hepatossomático - IHS (%) =  $100 \times [\text{peso do fígado (g)} / \text{peso corporal (g)}]$ .

### 3.2.4 Histologia

As amostras histológicas foram coletadas de 3 peixes por unidade experimental (n = 12) para cada tratamento, totalizando 60 peixes. Para análise histológica, amostras de fígado e intestino (porção mediana) foram acomodadas em cassete histológico devidamente identificado e imerso em solução formalina 10% por 24h, retirado e mantido em álcool (70%) até o processo de fixação. O processo seguinte de desidratação ocorreu em trocas crescentes de concentração de álcool (70 a 100%), em seguida foi utilizado xilol para a diafanização e os blocos com os tecidos foram confeccionados em parafina para realizar os cortes histológicos. Os blocos foram acomodados e os cortes de 5 µm de espessura foram realizados em micrótomo (Micrótomo Rotativo Manual American Optical - Modelo: 820 - Série: 54637) acomodados em lâminas devidamente identificadas e submetidas à técnica de coloração HE (hematoxilina e eosina).

As lâminas foram analisadas em microscópio óptico (Olympus Optical, modelo BX51) com câmera digital (Rohs A59.4910) acoplada para captura de imagens. Para avaliar eventuais

alterações no intestino, foi analisado o tecido intestinal e mensurados a altura e largura de 18 vilosidades em cada tratamento, com o auxílio de software de análise de imagens (Image-Pro Plus®). Para determinar alterações no fígado, foram observadas as células hepáticas (hepatócitos), a estrutura ao redor dos vasos sanguíneos e presença ou ausência de hemorragias. Para ambas as análises foi utilizado aumento de 40x.

### **3.2.5 Análise estatística**

Os dados de desempenho zootécnico, altura e largura das vilosidades dos intestinos foram primeiramente testados quanto à normalidade e homocedasticidade e, em seguida, foram submetidos a análises de variância (ANOVA) de um fator. Quando observadas diferenças significativas, as médias foram submetidas ao teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Adicionalmente, os resultados de ganho de peso foram submetidos à análise da regressão.

## **3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.3.1 Desempenho zootécnico**

Os resultados de desempenho zootécnico e índices de utilização de ração, incluindo ganho de peso corporal (GPC), taxa de crescimento específico (TCE), índice hepatossomático (IHS), taxa de conversão alimentar (TCA), taxa de eficiência proteica (TEP), fator de condição (FC), e taxa de sobrevivência são apresentados na Tabela 2. Apenas os índices de TEP e TCA apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos dietéticos. Os maiores valores de GPC, TCE, FC foram observados no tratamento contendo 15% de BSG (BSG15). Entretanto, não foram significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) em comparação com peixes alimentados com as demais dietas (Referência, BSG5, BSG10, BSG20).

Foi verificado aumento gradativo no ganho de peso dos peixes alimentados com dietas contendo de 5 a 15% de inclusão de BSG, ocorrendo, entretanto, redução deste parâmetro na

concentração mais alta (20%) avaliada (Fig. 1). O tratamento BSG15 também apresentou melhor TCA e maior TEP ( $p < 0,05$ ) em comparação aos demais tratamentos. O tratamento contendo 15% de BSG resultou em redução da TCA em 16,4% em comparação à dieta referência. O mesmo tratamento elevou a TEP em 16,8%, quando comparado à dieta referência. Não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) das dietas sobre a taxa de sobrevivência dos peixes para os diferentes tratamentos dietéticos.

**Tabela 2.** Índices de crescimento, sobrevivência, IHS e utilização alimentar de juvenis de *O. niloticus* alimentados com diferentes níveis de inclusão de resíduo de cervejaria (BSG) nas dietas.

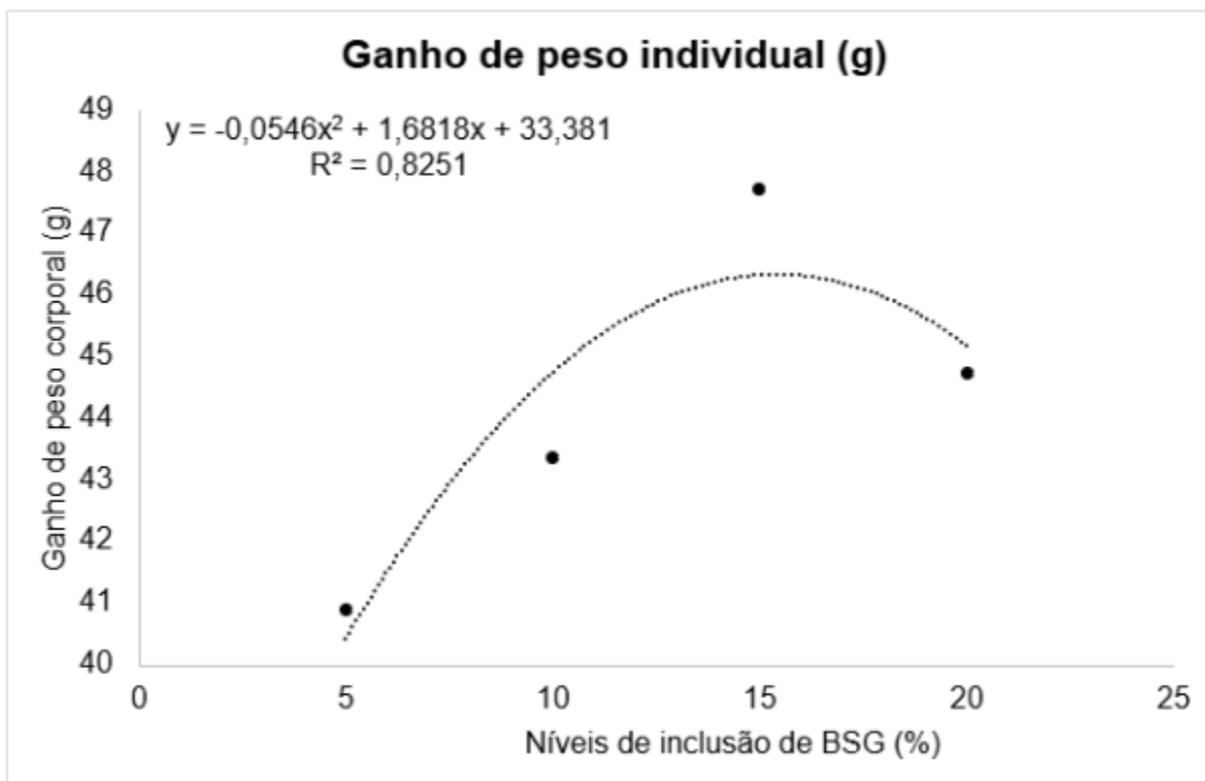
Parâmetros	Inclusão de resíduo de cervejaria (BSG) nas dietas (%)				
	0	5	10	15	20
Peso corporal i. (g)	5,07 ± 0,97	5,07 ± 0,97	5,07 ± 0,97	5,07 ± 0,97	5,07 ± 0,97
Peso corporal f. (g)	48,44 ± 3,13	46,60 ± 5,28	49,24 ± 2,71	53,75 ± 7,61	50,81 ± 5,15
Ganho peso i. (g)	41,9 ± 3,25	40,88 ± 5,05	43,36 ± 2,75	47,70 ± 7,57	44,72 ± 5,12
TCE (%/dia)	2,02 ± 0,15	2,09 ± 0,09	2,14 ± 0,13	2,19 ± 0,14	2,13 ± 0,16
IHS	2,73 ± 0,21	2,64 ± 0,22	2,91 ± 0,42	3,10 ± 0,35	3,15 ± 0,32
TCA	1,65 ± 0,01 <sup>c</sup>	1,49 ± 0,01 <sup>b</sup>	1,41 ± 0,00 <sup>a</sup>	1,38 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,52 ± 0,02 <sup>b</sup>
TEP	1,73 ± 0,01 <sup>c</sup>	1,92 ± 0,01 <sup>b</sup>	2,03 ± 0,01 <sup>a</sup>	2,08 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,88 ± 0,03 <sup>b</sup>
Fator de condição	1,99 ± 0,02	1,95 ± 0,07	1,95 ± 0,07	2,01 ± 0,05	1,91 ± 0,09
Sobrevivência (%)	78,33 ± 11,39	86,67 ± 5,44	86,67 ± 10,89	83,33 ± 3,85	83,33 ± 11,55

Dados expressos como Média ± desvio padrão. Na mesma linha, médias com letras diferentes sobrescritas, diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Peso corporal i. = Peso corporal inicial; Peso corporal f. = Peso corporal final; Ganho de peso i. = Ganho de peso individual; TCE = Taxa de crescimento específico; IHS = Índice hepatossomático; TCA = Taxa de conversão alimentar; TEP = Taxa de eficiência proteica.

A melhoria na TCA e TEP da tilápia com a inclusão do BSG pode ser explicada a partir de sua composição, considerada satisfatória para a espécie em estudo, com quantidades de proteína bruta acima de 22%, caracterizando-o como um ingrediente proteico e com bom perfil de aminoácidos, além de sua digestibilidade ser satisfatória, conforme resultados apresentados por Glowka et al. (2025).

No presente estudo, a inclusão de 20% de BSG não trouxe prejuízos ao desempenho zootécnico dos juvenis de tilápia. Já Tidwell et al. (2023) observaram impacto negativo no crescimento e fator de condição tanto da tilápia quanto do bagre-do-canal (*Ictalurus punctatus*) utilizando 27% de BSG, com ou sem adição de enzimas exógenas, evidenciando que o melhor

percentual de inclusão do ingrediente nas dietas para cada espécie deve ser respeitado, aprimorando a sua eficiência.



**Figura 1.** Efeitos de níveis de inclusão de BSG na dieta sobre o ganho de peso corporal (g) de juvenis de tilápia do Nilo (*O. niloticus*).

Jayant et al. (2018) encontraram resultados de ganho de peso significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) em *Pangasianodon hypophthalmus* alimentados com dietas contendo níveis de inclusão 25% e 50% BSG (em comparação a peixes que receberam dietas com níveis mais altos (75% e 100% de BSG) ou isentas de BSG (referência). Zerai et al. (2008) avaliaram a substituição da fração da proteína da farinha de peixes por BSG em tilápia e observaram ser viável a substituição de até 50%, sem alterar significativamente o desempenho. Chattaraj et al. (2024) avaliaram a utilização do BSG como substituto do farelo de soja em juvenis de carpa *Cirrhinus reba* obtendo maiores índices de desempenho (ganho em peso, crescimento médio diário, TCA, TCE e TEP), em comparação à dieta referência.

Quando fornecidos diferentes ingredientes com concentrações variadas, órgãos de animais aquáticos podem ter seu funcionamento alterado, o que pode levar a reações redox

gerando radicais livres e, portanto, pode causar alterações bioquímicas e morfológicas (Varanka et al., 2001; Monteiro et al., 2005). O sucesso no uso de fontes alternativas de proteína como BSG, em formulações de ração para peixes, depende da sua capacidade de sustentar o crescimento e melhorar a saúde geral dos peixes, mas há uma notável ausência de literatura sobre a biossegurança do BSG em peixes (Chattaraj et al., 2024). Além disso, o conhecimento dos níveis ideais de inclusão de um determinado ingrediente nas dietas é fundamental entre ser benéfico ou acarretar malefícios em termos fisiológicos e, por consequência, de desempenho (Estévez et al., 2021; Estévez et al., 2022; Tidwell et al., 2023).

O fígado desempenha papel primário no metabolismo e excreção de compostos, com alterações morfológicas ocorrendo em algumas condições (Rocha & Monteiro, 1999) podendo aumentar ou diminuir as atividades das enzimas hepáticas e podem levar a alterações histopatológicas do fígado, dependendo da espécie, duração da exposição e outros fatores (Paris-Palacios et al., 2000). O monitoramento de alterações histológicas no fígado de peixes é uma maneira altamente sensível e precisa para avaliar os efeitos de nutrientes ou compostos presentes em diferentes ingredientes da dieta, pois o fígado é um órgão que responde a esses efeitos rapidamente. Essas alterações podem ser detectadas precocemente e indicam os efeitos deletérios sobre a saúde e o desenvolvimento dos peixes (Figueiredo-Fernandes et al., 2007).

Recentemente, a comunidade científica intensificou seu foco nas comunidades microbianas intestinais devido aos seus papéis essenciais na imunidade, digestão, regulação enzimática e respostas ao estresse (Ganguly et al., 2024; Chattaraj et al., 2023). Fatores como nutrição, suplementos alimentares, condições ambientais e níveis tróficos podem levar a variações nas populações microbianas intestinais (Foysal et al., 2020).

O estudo de Chattaraj et al. (2024) explorou a capacidade do BSG, de influenciar a microbiota intestinal de *C. reba*. Foi verificado maior abundância de bactérias probióticas benéficas no trato gastrointestinal de peixes alimentados com dietas contendo BSG e menor

presença de bactérias patogênicas prejudiciais em comparação com aqueles alimentados com a dieta referência, isenta deste ingrediente.

A ocorrência de biomassa lignocelulósica em BSG provavelmente modifica a fisiologia intestinal, potencialmente promovendo o aumento do crescimento de bactérias benéficas. Além disso, o BSG contém quantidades significativas de  $\beta$ -glucanos, que podem estimular a microbiota intestinal do hospedeiro (Chattaraj et al., 2024). As alterações na diversidade microbiana e na composição taxonômica, caracterizadas por aumento nos táxons probióticos e diminuição nos táxons patogênicos, sugerem um ambiente intestinal mais favorável, que é conhecido por conferir efeitos benéficos à saúde do hospedeiro. Essas mudanças benéficas na microbiota dos peixes estão correlacionadas às melhoras de saúde e desempenho (Chattaraj et al., 2024).

### **3.3.2 Histologia**

A microscopia de luz foi usada para examinar as alterações histológicas nos intestinos dos peixes, que revelaram não haver degenerações ou necroses do tecido intestinal, exibindo vilosidades íntegras (Fig. 2). Não foram observadas alterações patológicas do tecido intestinal, principalmente da lâmina própria (tecido conjuntivo abaixo da mucosa epitelial) ou descolamento de vilosidades. Além disso, o fígado não apresentou degenerações das células hepáticas e da estrutura pancreática (tecido pancreático) ao redor dos vasos sanguíneos, hemorragias ou destruição e desarranjo severos de hepatócitos (Fig. 3).

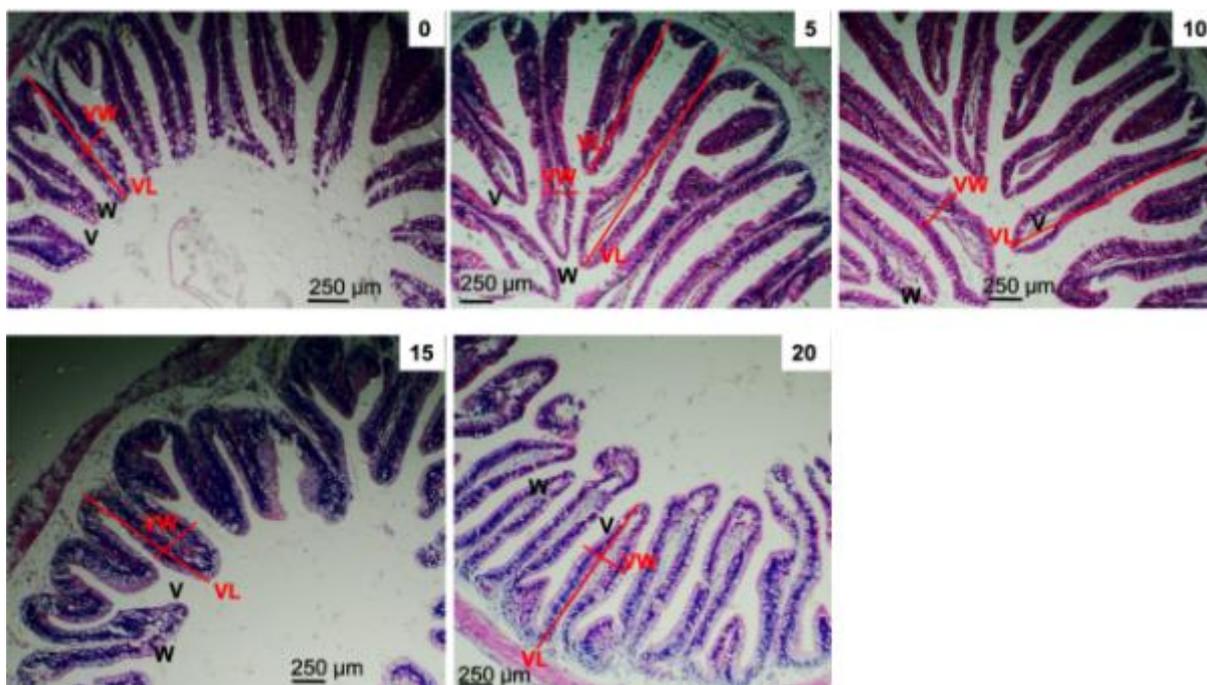


Figura 2. Fotomicrografia para observação histológica do intestino médio de tilápia do Nilo submetida a diferentes níveis dietéticos de BSG (0, 5, 10, 15 e 20%). Vilosidades intestinais (V); parede intestinal (W); VL – comprimento das vilosidades, VW - largura das vilosidades. Aumento de 40x. Coloração utilizada HE.

Medidas histológicas, como comprimento e largura das vilosidades são apresentados na Tabela 3. O comprimento e largura das vilosidades variaram de 791 a 1.278  $\mu\text{m}$  e de 166 a 203  $\mu\text{m}$ , respectivamente. As vilosidades foram analisadas quanto a possíveis degenerações, não sendo observadas alterações. A administração dietética de BSG influenciou o comprimento das vilosidades ( $p < 0,05$ ) sem afetar, entretanto, a largura destas ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 3.** Morfologia intestinal de juvenis de tilápia do Nilo alimentados com dietas suplementadas com BSG.

Parâmetros	Inclusão de resíduo de cervejaria (BSG) na dieta (%) <sup>1</sup>				
	0	5	10	15	20
Comprimento das vilosidades ( $\mu\text{m}$ )	791,44 $\pm$ 20 <sup>b</sup>	1057,48 $\pm$ 35 <sup>a</sup>	938,66 $\pm$ 30 <sup>ab</sup>	1241,33 $\pm$ 30 <sup>a</sup>	1278,28 $\pm$ 20 <sup>a</sup>
Largura das vilosidades ( $\mu\text{m}$ )	174,50 $\pm$ 38	189,27 $\pm$ 60	166,79 $\pm$ 54	203,32 $\pm$ 42	178,99 $\pm$ 23
Degeneração <sup>2</sup>	N	N	N	N	N

<sup>1</sup>Dados expressos como Média  $\pm$  desvio padrão. Na mesma linha, médias com letras diferentes sobrescritas, diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>N = não observado.

Peixes onívoros, como a tilápia do Nilo, apresentam capacidade de alterar a estrutura e propriedades absorptivas do seu sistema digestório em resposta a mudanças na dieta (Baldisserotto, 2013). O intestino é um órgão de extrema importância na avaliação do estado nutricional dos peixes, uma vez que atua na absorção e digestão dos alimentos (Caballero et al., 2004). A mucosa intestinal é fundamental nos processos digestivo, absorptivo e metabólico em peixes teleósteos e o aumento do comprimento das vilosidades implica em aumento da área de superfície para maior absorção dos nutrientes disponíveis (Casparly, 1992; Ostaszewska et al., 2005). O trato digestório dos animais tende a se modificar conforme a alimentação ofertada, portanto, o estudo da morfologia intestinal pode indicar a adaptação dos peixes à alimentação (Honorato et al., 2013).

O intestino possui uma série de dobras ou pregas, as vilosidades intestinais. Essas vilosidades apresentam, capilares arteriais que levam o sangue para o seu interior e capilares venosos que retiram o sangue e os nutrientes absorvidos. As vilosidades são revestidas por células epiteliais, os enterócitos. Estes, por sua vez, possuem pregas menores, as microvilosidades, na membrana apical. Estas pregas têm a finalidade de aumentar a área de absorção intestinal, inclusive, o comprimento das vilosidades pode ser alterado de acordo com o estado nutricional do peixe, reduzindo em casos de jejum ou na redução da disponibilidade de nutrientes (Baldisserotto, 2013).

A estrutura das vilosidades fornece a arquitetura necessária para a proliferação e substituição contínua de células maduras danificadas e mortas do epitélio. Essa estrutura desempenha importante papel como elemento funcional do epitélio intestinal: absorção, proteção e secreção. As vilosidades criam uma configuração de grande área de superfície, que maximiza a capacidade de absorção (Baldisserotto, 2013; Chattaraj et al., 2024).

Chattaraj et al. (2024) avaliaram a utilização do BSG como substituto do farelo de soja em juvenis de carpa *Cirrhinus reba* sendo que a análise histopatológica do intestino do grupo

alimentado com o ingrediente teste não mostrou nenhuma alteração significativa na arquitetura da túnica muscular, vilosidades, microvilosidades, células caliciformes e lâmina própria em comparação à dieta referência. Como pode ser visualizado na Fig. 2, no presente estudo os peixes submetidos aos diferentes tratamentos dietéticos apresentaram estruturas histológicas normais do intestino, incluindo as vilosidades intestinais (V) revestidas por enterócitos projetando-se da parede intestinal (W), observando-se estrutura de vilosidades intactas normais nos cinco tratamentos.

No presente estudo, a avaliação histopatológica não evidenciou nenhum sinal de necrose nos tecidos do fígado e intestino dos peixes alimentados com BSG. Portanto, tais análises apontaram que as dietas testadas não distorceram o formato do intestino e fígado da tilápia, assim como observado por Chattaraj et al. (2024). Estevão-Rodrigues et al. (2024), por sua vez, verificaram melhora na histomorfologia intestinal de juvenis de robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*) alimentados com BSG bioprocessado.

As vilosidades são fundamentais para o processo de absorção intestinal e o aumento de densidade das vilosidades é considerado como fator positivo (Junqueira & Carneiro, 2005). As médias verificadas do comprimento das vilosidades dos peixes alimentados com as dietas contendo 15 e 20% de BSG foram as maiores e estatisticamente diferentes daquelas observadas nos peixes alimentados com a dieta referência (0% de BSG). Essa diferença (maior comprimento) para as vilosidades, pode ter contribuído no desempenho zootécnico (TCA, TEP), no tratamento contendo 15% de BSG (Tabela 2).

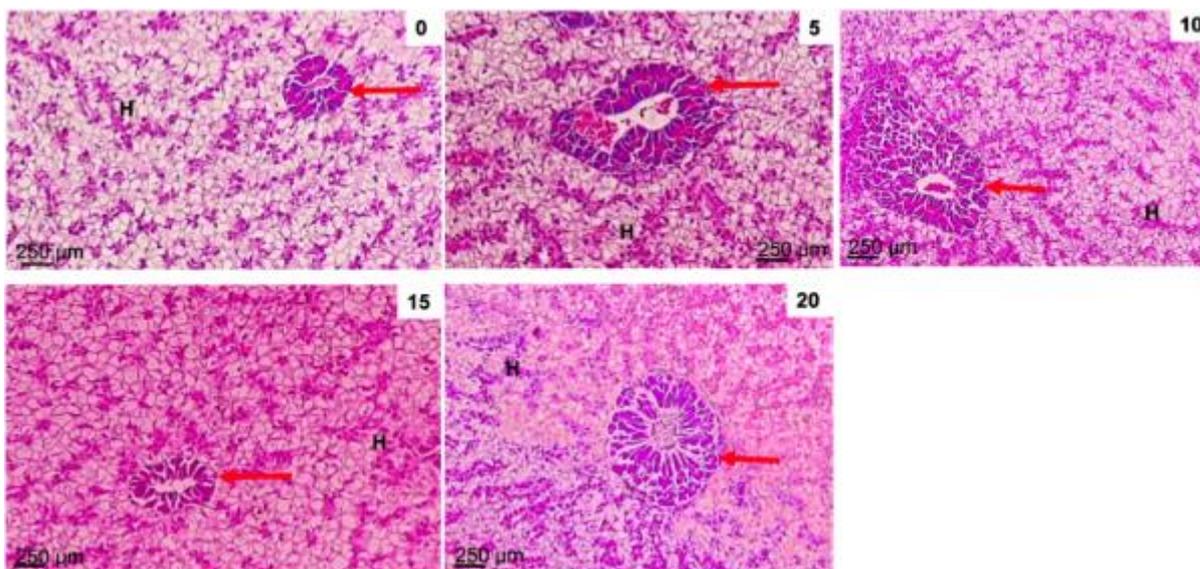


Figura 3. Fotomicrografia de corte transversal de fígado de juvenis de tilápia do Nilo submetida a diferentes níveis dietéticos de BSG (0, 5, 10, 15 e 20%). Sinusoides sanguíneos (H); vasos sanguíneos hepáticos (seta vermelha). Aumento 100x. Coloração utilizada HE.

Ostaszewska et al. (2005) relatam que o pacu (*Piaractus mesopotamicus*), espécie onívora como a tilápia, desenvolveu mecanismos que permitiram digerir, absorver e metabolizar alimentos vegetais e animais. Isso explica a digestão eficiente, absorção e alta atividade pancreática, bem como alta atividade metabólica do fígado e boa taxa de crescimento em pacu alimentado com diferentes vegetais fontes de proteína. Estas espécies mostram mecanismos de adaptação enzimática que respondem às mudanças na qualidade da ração com alteração da quantidade e composição de enzimas proteolíticas.

No presente estudo, os peixes alimentados com as diferentes concentrações de BSG na dieta, apresentaram hepatócitos normais, separados por sinusoides sanguíneos (H) e uma estrutura normal nos vasos sanguíneos hepáticos (seta vermelha) (Fig. 3).

Testes de alimentação têm demonstrado que o BSG é um ingrediente alternativo viável e seguro para ração de peixes, levando a melhorias significativas no desempenho do crescimento em *Cirrhinus reba* em comparação com rações convencionais. As avaliações de biossegurança não revelaram sinais clínicos patológicos ou anormalidades histopatológicas em peixes da referida espécie alimentados com BSG (Chattaraj et al., 2024).

Mesmo não havendo diferença significativa em termos de desempenho de crescimento, o nível de inclusão 15% de BSG demonstrou ser viável em dietas para tilápia do Nilo, com melhora da TCA e TEP, além de que, uma vez inserido na dieta, reduzirá a utilização de outras fontes proteicas e, conseqüentemente, o custo de produção da ração.

A ampla disponibilidade de resíduos de cervejaria o torna uma boa fonte alternativa de proteína em comparação com outras fontes de proteína vegetal, como farelo de soja, em dietas para organismos aquáticos, objetivando reduzir custos de produção sem afetar o desempenho produtivo dos peixes.

### 3.4 CONCLUSÕES

1. A inclusão dietética de até 20% do BSG não afetou o ganho de peso dos juvenis de tilápia do Nilo;
2. Os melhores resultados de TCA e TEP foram verificados com inclusão de 15% de BSG em dietas para juvenis de tilápia do Nilo;
3. Os peixes alimentados com dietas contendo BSG não apresentaram alterações histológicas no intestino e no fígado;
4. Recomenda-se a inclusão de 15% de BSG em dietas para juvenis de tilápia do Nilo.

Recomenda-se a inclusão de 15% de BSG em dietas para juvenis de tilápia do Nilo, em função dos resultados de TCA e TEP, embora níveis superiores não tenham influenciado no ganho de peso e nos parâmetros histológicos de intestino e fígado.

### 3.5 REFERÊNCIAS

BALDISSEROTTO, Bernardo. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. 3ª edição revisada e ampliada, Santa Maria, RS: Ed. UFSM, 2013. 352 p.

CABALLERO, M.J.; IZQUIERDO, M.S.; KJORSVIK, E.; FERNÁNDEZ, A.J.; ROSENLUD, G. Histological alterations in the liver of sea bream, *Sparus aurata* L., caused by short-or long-term feeding with vegetable oils. Recovery of normal morphology after feeding fish oil as the sole lipid source. **Journal of Fish Diseases**, v. 27, p. 531-541, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2004.00572.x>.

CASPARY, W.F. Physiology and Pathophysiology of Intestinal Absorption. **The American Journal of Clinical Nutrition**, 55, 299S-308S, 1992.

CHATTARAJ, S.; GANGULY, A., MITRA, D. Study of Intestinal Bacteria of *Cirrhinus reba* and Characterization of a New Probiotic Bacteria: an Initiative to Save the Threatened Species Of *Cirrhinus*. **Applied Biochemistry Microbiology** 59, 833–849, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0003683823060248>.

CHATTARAJ, S.; MITRA, D.; CHATTARAJ, M.; GANGULY, A.; THATOI, H.; MOHAPATRA, P.K.D. Brewers' spent grain as fish feed ingredient: Evaluation of bio-safety and analysis of its impact on gut bacteria of *Cirrhinus reba* by 16S Metagenomic sequencing. **Current Research in Microbial Sciences**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100286>.

CHEN, H.; WANG, B.; ZHOU, B.; QI, J.; TANG, N.; WANG, S.; TIAN, Z.; WANG, M.; XU, S.; YU, N.; CHEN, D.; DAWOOD, M.A.O.; LI, Z. Characterization, phylogeny, and responses of leptin to different nutritional states in critically endangered Yangtze sturgeon (*Acipenser dabryanus*). **Aquaculture**, v. 525, p. 735296, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735296>.

CONWAY, J. **Statista**. Produção de cerveja no mundo de 1998 a 2022. 2024. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/270275/worldwide-beer-production/>.

DANIEL, N. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies**, v. 6, n. 2, p. 164-179, 2018.

ESTEVAO-RODRIGUES, T.; FERNANDES, H.; MOUTINHO, S.; FILIPE, D.; FONTINHA, F.; MAGALHÃES, R.; COUTO, A.; FERREIRA, M.; GAMBOA, M.; CASTRO, C.; BELO, I.; SALGADO, J.; OLIVA-TELES, A.; PERES, H. Effect of solid-state fermentation of brewer's spent grain on digestibility and digestive function of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. **Animal Feed Science and Technology**, v. 315, 116018, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.116018>.

ESTÉVEZ, A.; PADRELL, L.; IÑARRA, B.; ORIVE, M.; SAN MARTIN, D. Brewery by-products (yeast and spent grain) as protein sources in gilthead seabream (*Sparus aurata*) feeds. **Aquaculture**, 543, 736921, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736921>.

ESTÉVEZ, A., PADRELL, L., IÑARRA, B., ORIVE, M., SAN MARTIN, D. Brewery by-products (yeast and spent grain) as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feeds. **Frontiers Marine Science**, v. 9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.862020>.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024**: Blue Transformation in action. Rome, FAO, 2024. DOI: <https://doi.org/10.4060/cd0683en>.

FIGUEIREDO-FERNANDES, A.; FERREIRA-CARDOSO, J.; GARCIA-SANTOS, S.; MONTEIRO, S.M.; CARROLA, J.; MATOS, P.; FONTAÍNHAS-FERNANDES, A. Histopathological changes in liver and gill epithelium of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, exposed to waterborne copper. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, 27 (3), 103–109, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2007000300004>.

FOYSAL, M.J.; MOMTAZ, F.; KAWSAR, A.Q.M.R.; RAHMAN, M.M.; GUPTA, S.K.; TAY, A.C.Y. Next generation sequencing reveals significant variations in bacterial compositions across the gastrointestinal tracts of the Indian major carps, rohu (*Labeo rohita*), catla (*Catla catla*) and mrigal (*Cirrhinus cirrhosis*). **Letters in Applied Microbiology**, v. 70, 173–180, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/lam.13256>.

FURUYA, W.M. et al. **Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias**. Toledo: GFM, 100p. 2010.

GANGULY, A.; CHATTARAJ, S.; GANGULY, M.; CHATTARAJ, M.; BANERJEE, A.; MANDAL, A.; ALI KHAN, M.; SEN, S.K.; DAS MOHAPATRA, P.K. Effect of three probiotic *Bacillus* strains supplemented feeds on growth, carcass composition and blood parameters of *Clarias magur* (Hamilton). **Journal of Applied Aquaculture**. 1–26, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/10454438.2024.2330499>.

GLOWKA, R.P.; WEINGARTNER, M.; BOSCOLO, W.R. Determination of apparent digestibility coefficients of brewery waste for Nile tilapia. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, 23(2), e8951. 2025. DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv23n2-046>.

HONORATO, C.A.; ASSANO, M.; CRUZ, C. da; CARNEIRO, D.J.; MACHADO, M.R.F. Histologia do intestino de tilápias do nilo alimentados com dietas contendo diferentes fontes de proteína. **Nucleus Animalium**. v. 5 n. 1, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3738//1982.2278.771>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Pecuária Municipal**. 2024. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm\\_2023\\_v51\\_br\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2023_v51_br_informativo.pdf).

JAYANT, M.; HASSAN, M.A.; SRIVASTAVA, P.P.; MEENA, D.K.; KUMAR, P.; KUMAR, A.; WAGDE, M.S. Brewer's spent grains (BSGs) as feedstuff for striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus* fingerlings: An approach to transform waste into wealth. **Journal of Cleaner Production**. n. 199, p. 716-722, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.213>.

JUNQUEIRA, L.C.; CARNEIRO, J. **Histologia básica**. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 2013.

MONTEIRO, S.M.; MANCERA J.M.; FONTAÍNHAS-FERNANDES A.; SOUSA M. Copper induced alterations of biochemical parameters in the gill and plasma of *Oreochromis niloticus*. **Comparative Biochemistry & Physiology (CBP) Part C: Toxicology and Pharmacology (CBPC)**. 141:375-383, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2005.08.002>.

MUSSATTO, S.I. Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 94 (7), p.1264-75, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6486>.

NAYLOR R.L.; HARDY R.W.; BUSCHMANN A.H.; BUSH S.R.; CAO L.; KLINGER D.; LITTLE D.C.; LUBCHENCO J.; SHUMWAY S.E.; TROELL M. A 20-year retrospective review of global aquaculture. **Nature**, 591 (7851):551–563, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL-. **Nutrient requirements of fish and shrimp**. Animal Nutrition Series, National Research Council of the National Academies, Washington, D.C. 2011. 376 p. DOI: <https://doi.org/10.17226/13039>.

OSTASZEWSKA, T.; DABROWSKI, K.; PALACIOS, M. E.; OLEJNICZAK, M.; WIECZOREK, M. Growth and morphological changes in the digestive tract of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and pacu (*Piaractus mesopotamicus*) due to casein replacement with soybean proteins. **Aquaculture**, 245(1), 273-286, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.12.005>.

PARIS-PALACIOS S.; BIAGIANTI-RISBOURG S.; VERNET G. Biochemical and (ultra) structural hepatic perturbation of *Brachydanio rerio* (Teleostei, Cyprinidae) exposed to two sublethal concentrations of copper sulphate. **Aquatic Toxicology**, 50:109-124, 2000, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0166-445X\(99\)00090-9](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(99)00090-9).

RACHWAŁ K.; WAŚKO, A.; GUSTAW, K.; POLAK-BERECKA, M. Utilization of brewery wastes in food industry. **PeerJ**. 8:e9427. 2020. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.9427>.

RAPOSO, A.I.G.; SOARES, F.; NOBRE, A.; CONCEIÇÃO, L.E.C.; VALENTE, L.M.P.; SILVA, T.S. Development of dynamic growth and body composition models for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*): An exploratory approach to protein and energy metabolism, **Aquaculture**, v. 78, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740032>.

RAŠKOVIĆ, B.S.; STANKOVIĆ, M.B.; MARKOVIĆ, Z.Z.; POLEKSIĆ, V.D. Histological methods in the assessment of different feed effects on liver and intestine of fish. **Journal of Agricultural Sciences**, V. 56:87–100, 2011. DOI: <https://doi.org/10.2298/JAS1101087R>.

ROCHA E.; MONTEIRO R.A.F. Histology and cytology of fish liver: A review, p.321-344. In: SAKSENA D.N. (ed.) Ichthyology: Recent research advances. **Science Publishers**, Enfield, New Hampshire, 1999.

SOUSA, D.; VENÂNCIO, A.; BELO I.; SALGADO, J.M. Mediterranean agro-industrial wastes as valuable substrates for lignocellulolytic enzymes and protein production by solid-state fermentation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v.98, p.5248-5256, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9063>.

TIDWELL, J. H.; COYLE, S. D.; ROSSI, W.; RUCKER, K. Evaluation of brewers spent grains

with different levels of exogenous enzymes on the production performance and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*). **Journal of Applied Aquaculture**, 35(2), 257–272, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1956669>.

TRICHET, V.V. Nutrition and immunity: an update. **Aquaculture research**, v. 41, n. 3, p. 356-372, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02374.x>.

VARANKA, Z.; ROJIK I.; VARANKA, I.; NEMCSÓK, J.; ÁBRAHÁM, M. Biochemical and morphological changes in carp (*Cyprinus carpio* L.) liver following exposure to copper sulfate and tannic acid. **Comparative Biochemistry Physiology, Part C: Toxicology and Pharmacology (CBPC)**. v. 128: 467-478, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1532-0456\(01\)00166-1](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(01)00166-1).

VIDAL, L.O.V.; ALBINATI, R.C.B.; ALBINATI, A.C.L.; LIRA, A.D.; ALMEIDA, T.R.; SANTOS, G.B. Eugenol como anestésico para a tilápia-do-nilo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p.1069-1073, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000800017>.

WEBSTER, C.D.; LIM, C. **Tilapia: Biology, Culture, and Nutrition**. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2006.

ZERAI, D.B.; FITZSIMMONS, K.M.; COLLIER, R.J.; DUFF, G.C. Evaluation of brewer's waste as partial replacement of fish meal protein in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, diets. **Journal of the World Aquaculture Society**, n. 39(4), p. 556-564, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2008.00186.x>.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de BSG em dietas para tilápia do Nilo, especialmente em fases de crescimento como a juvenil, pode apresentar alguns desafios devido ao seu alto teor de fibras. A fibra em excesso pode reduzir a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, limitar o aproveitamento de energia pelos peixes, pois a fibra não é digerida eficientemente. A utilização de ingredientes alternativos, como o BSG, precisa ser cuidadosamente equilibrada com outros componentes da dieta para garantir que os peixes recebam a quantidade adequada de energia e nutrientes essenciais. Caso contrário, isso pode afetar o crescimento, a conversão alimentar e a saúde geral da espécie.

As composições centesimal e de aminoácidos do BSG demonstram potencial para uso como ingrediente proteico (22% PB) em dietas para tilápia do Nilo.

Destaca-se também, a homogeneidade do perfil de aminoácidos essenciais, demonstrando interessante balanço entre estes aminoácidos. Com exceção da metionina (11,54%), os demais aminoácidos essenciais contribuem acima de 13%, com destaque para valina (26,50%) e leucina (29,70%).

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDAs) da proteína, seu principal nutriente, (67%) e de aminoácidos foram considerados adequados, indicando que o ingrediente testado teve boa absorção. Os CDAs do BSG apresentam percentuais similares a outros ingredientes comumente utilizados na formulação de dietas para tilápia do Nilo, demonstrando seu potencial uso, principalmente por ser considerado um resíduo. Para a tilápia, diferentes ingredientes e diferentes métodos de coletas de amostras fecais podem impactar nos CDAs. Parte desta variabilidade pode ser explicada por diferenças na composição química, origem e processamento desses vários ingredientes da ração.

A inclusão de até 20% de BSG na dieta para juvenis de tilápia do Nilo não afetou o ganho de peso. Sugere-se que essa biomassa pode ser uma alternativa viável para a alimentação desses peixes, sem comprometer o desempenho de crescimento. Isso pode ter implicações importantes, especialmente no contexto de sustentabilidade na aquicultura, pois o BSG é um subproduto da indústria cervejeira e pode ser utilizado para reduzir custos com ração.

Foi estimado que a inclusão de 15,4% de BSG em dietas para juvenis de tilápia do Nilo demonstrou os melhores resultados de ganho em peso, TCA e TEP. Esse nível de inclusão pode ser o ponto ótimo para maximizar a eficiência do uso da dieta, promovendo maior crescimento e conversão alimentar mais eficiente. A relevância dos resultados demonstra que o BSG pode

ser utilizado não só como fonte de fibra e proteína, mas também como ferramenta para melhorar a eficiência na produção de tilápias, sem prejudicar o desempenho zootécnico.

Os peixes alimentados com dietas contendo BSG não apresentaram alterações histológicas no intestino e no fígado. Mesmo no nível mais alto testado (20%), não foram verificados danos visíveis a estes órgãos, demonstrando ser seguro na alimentação para os animais. A ausência de alterações intestinais e hepáticas sugere que o BSG pode ser bem tolerado pelo sistema digestivo da tilápia, o que é crucial, já que o trato gastrointestinal e o fígado são responsáveis pela digestão, absorção de nutrientes e metabolização de componentes da dieta. Isso também reforça o potencial do BSG como alternativa viável para a alimentação de peixes, sem causar comprometimento na saúde deles, e ainda podendo melhorar a eficiência produtiva.

Devido ao seu baixo custo, ampla disponibilidade, composição e digestibilidade dos nutrientes, o BSG mostrou potencial para ser utilizado na formulação de dietas para a tilápia do Nilo. Recomenda-se a inclusão de 15% de BSG em dietas para juvenis de tilápia do Nilo.