

Dieta prática com substituição total da farinha de peixe por farelo de soja para tilápia-do-nilo: desempenho de crescimento e efeitos na saúde

Practical diet with total replacement of fishmeal by soybean meal for Nile tilapia: growth performance and health effects

Larissa Stockhausen¹ , Maiara Petri Vilvert^{1,2} , Morgana da Silva¹ , Amanda Dartora¹ , Renata Krainz¹ ,
Giulia Beatrice Ferreira¹ , Laura Rafaela da Silva¹ , Adolfo Jatobá^{1*} 

¹Instituto Federal Catarinense (IFC), Laboratório de Aquicultura, Araquari, Santa Catarina, Brasil.

²Nutricionista LTDA, Araquari, Santa Catarina, Brasil.

*Correspondente: jatobaadolfo@gmail.com

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de crescimento e saúde em juvenis de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentados com dieta prática com substituição total da farinha de peixe (FP) por farelo de soja (FS), bem como o efeito na sobrevivência, após desafio patogênico com *Aeromonas hydrophila*. Duzentos juvenis de tilápia-do-nilo foram alojados em 8 tanques (800 L). O experimento consistiu de dois tratamentos: dieta comercial formulada com FP (controle) e dieta prática com substituição total do FP pelo FS. Foram mensuradas as variáveis de qualidade da água, parâmetros zootécnicos e hematológicos. Além disso, ao final do experimento, os peixes foram submetidos a um desafio com *A. hydrophila*. Maior custo por kg de peixe foi obtido no tratamento controle (com FP). A retenção de N foi maior nos peixes alimentados com dieta sem FP, enquanto os parâmetros hematológicos, imunológicos e a sobrevivência após o desafio experimental não diferiram entre os tratamentos. É possível reduzir os custos dietéticos substituindo a FP pelo FS sem afetar o desempenho do crescimento e a saúde do animal, além de beneficiar o meio ambiente ao reduzir a excreção de N na água.

Palavras-chave: proteína vegetal; *Aeromonas hydrophila*; retenção de nitrogênio; imunologia.

Abstract

This study aimed to evaluate the growth performance and animal health in juveniles of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed a practical diet with total replacement of fishmeal (FM) by soybean meal, as well the effect on survival, following pathogenic challenge with *Aeromonas hydrophila*. Two hundred juveniles of Nile tilapia were stored in 8 tanks (800 L). The experiment consisted of two treatments: a commercial diet formulated with FM (control) and a practical diet with total replacement of FM by soybean meal (SM). The variables of water quality, zootechnical and hematological parameters were measured. In addition, at the end of the experiment, the fish were submitted to a challenge with *A. hydrophila*. Higher cost per kg of fish was obtained in the control treatment (with FM). N retention was higher in fish fed a diet without FM, while hematological, immunological parameters and survival after the experimental challenge did not differ between treatments. It is possible to reduce dietary costs by replacing FM with SM without affecting growth performance or animal health, in addition to benefiting the environment by reducing the excretion of N in water.

Keywords: plant protein; *Aeromonas hydrophila*; nitrogen retention; immunology.

Recebido: 17 de Janeiro de 2022. Aceito: 9 de março de 2022. Publicado: 23 de março de 2022.

www.revistas.ufg.br/vet como citar - disponível no site, na página do artigo.

Introdução

A tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), como uma das espécies cultivadas mais importantes do mundo, representa mais de 8% da produção aquícola. A produção brasileira de pescados aumentou 5,9%, totalizando 802.930 toneladas, sendo a tilápia a principal espécie, representando 63,5% da produção nacional de pescado de água doce em 2021, posicionando o Brasil como o quarto maior produtor do mundo ^(1,2).

A alimentação corresponde a cerca de 50% dos

custos totais de produção e dietas inadequadas comprometem a absorção de nutrientes. Dentre eles, o fósforo é considerado um nutriente essencial para a formação da estrutura óssea, mineralização e metabolismo lipídico. Enquanto o nitrogênio é um elemento necessário relacionado ao uso de proteína dietética e rendimento de carcaça. No entanto, concentrações excessivas de fósforo e nitrogênio no ambiente aquático podem levar à eutrofização do ambiente e comprometimento da qualidade da água ^(3,4). Assim, se houver um desequilíbrio da dieta, compromete

o meio ambiente, aumentando o risco de surtos de doenças, além de afetar os lucros do cultivo^(5,6,7).

Portanto, a nutrição adequada desempenha um papel fundamental na promoção da manutenção da saúde dos peixes e na melhora da resposta imune. Conclui-se que a avaliação de novos ingredientes, dietas e formulações requer uma compreensão de seus efeitos na saúde e no metabolismo animal. Dietas deficientes, por exemplo, podem afetar o sistema imunológico dos animais, favorecendo a infecção por bactérias oportunistas, como *Aeromonas hydrophila*, causando, por sua vez, perdas econômicas^(6,7).

As fontes de proteína são o ingrediente mais caro da dieta, principalmente em sistemas de aquicultura intensiva. Além disso, o constante crescimento da piscicultura, resultou em maior demanda por FP dietético, embora a oferta não atendesse a necessidade, gerando flutuações na oferta e no preço^(1,8). Assim, para reduzir custos, vem sendo estudado o uso de ingredientes alternativos à farinha de peixe (FP), como a utilização da soja e seus derivados. Apesar da soja apresentar fatores antinutricionais, envolvendo inibidores de protease, fitohemaglutinina e antivitaminas, tanto a soja quanto seus derivados parecem ser alternativas viáveis como substitutos da farinha de peixe na cadeia produtiva da aquicultura, devido à sua qualidade nutricional, disponibilidade no mercado, e relação custo-benefício^(8,9).

É importante ressaltar que a disponibilidade de estudos relatando a soja como fonte de proteína e sua influência na resposta imune da tilápia é limitada. Quando o FP foi substituído por concentrado protéico de soja para o camarão branco *Litopenaeus vannamei*, não foram observadas alterações na suscetibilidade ou imunocompetência animal, antes ou após a infecção bacteriana (*Vibrio* sp.)⁽¹⁰⁾, demonstrando que dietas bem balanceadas com derivados de soja podem ser utilizados sem comprometer a saúde animal, além de proporcionar um bom desempenho de crescimento⁽¹¹⁾.

Apesar da importância da tilápia na aquicultura mundial e do uso da soja e seus derivados em formulações de rações, é necessário que mais estudos descrevam a relação entre o uso da soja em dietas e a saúde dos animais. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de crescimento, custo (valor por kg de peixe) e saúde animal em juvenis de tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) alimentados com dieta prática com substituição total de FP por farelo de soja, bem como o efeito na sobrevivência, após desafio patogênico contra *Aeromonas hydrophila*.

Material e métodos

O estudo foi realizado de acordo com a aprovação do Comitê de Ética no Uso de Animais sob o protocolo número "263/2018".

Dietas experimentais

As dietas foram produzidas pela NUTRICOL®, localizada em São Ludgero, Santa Catarina, Brasil. Para o preparo das dietas, alguns dos ingredientes secos (milho, soja e farelo de trigo) foram previamente moídos (2000 µm) para obtenção de partículas com diâmetro inferior a 0,42 mm. Posteriormente, foram misturados com os demais macro e micro ingredientes e homogeneizados em bateadeira horizontal por 4 minutos. A mistura resultante passou por uma segunda etapa de moagem (800 µm), seguida de extrusão a 105°C em extrusora (FERRAZ®, Ribeirão Preto, SP, Brasil) com capacidade de 3.000 kg.l⁻¹ para obtenção de extrusados de 3 mm em diâmetro.

O experimento constou de dois tratamentos, conforme apresentado na Tabela 1: controle, constituído de ração comercial formulada com FP e ingredientes práticos, e dieta prática composta de substituição total de FP por farelo de soja. Ambos foram isoprotéicos e isoenergéticos e calculados para atender as exigências nutricionais da tilápia⁽⁷⁾. Amostras das dietas foram enviadas ao CBO ANÁLISES LABORATORIAIS para realização do aminograma por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e avaliação da composição proximal de acordo com a metodologia AOAC⁽¹²⁾.

Tabela 1. Composição das dietas controle e experimental sem farinha de peixe (FP)

| Ingredientes (g.kg ⁻¹) | Controle | Sem FP |
|---|----------|--------|
| Farelo de soja | 350 | 466 |
| Farinha de peixe (FP) | 150 | 0 |
| Farelo de milho | 120 | 120 |
| Farelo de feijão | 103,8 | 120 |
| Farelo de trigo | 70 | 42,2 |
| Farinha de carne e osso | 135 | 135 |
| Farinha de sangue | 50 | 64,6 |
| Óleo de peixe | 0 | 8,6 |
| Óleo de soja | 10 | 10,3 |
| NaCl | 3 | 3 |
| Calcário calcítico | 0 | 22,1 |
| Premix ¹ | 4 | 4 |
| DL-Metionina | 0,9 | 0,9 |
| Essencial (óleo funcional) ² | 1 | 1 |
| Antifúngico ³ | 1 | 1 |
| Adsorvente ⁴ | 1 | 1 |
| Antioxidante ⁵ | 0,3 | 0,3 |

¹Premix = Vitamina A (min.) 800.000 IU; Vitamina D3 (min.) 410.000 IU; Vitamina E (min.) 15.000 IU; Vitamina K3 (min.) 505 mg; Vitamina B1 (min.) 1.395,9 mg; Vitamina B2 (min.) 2.000 mg; Vitamina B6 (min.) 1.862 mg; Vitamina B12 (min.) 2.500 mg; Vitamina C (min.) 125 g; Niacina (min.) 3.781 mg; Acido pantotênico (min.) 4.018 mg; Acido fólico (min.) 198 mg; Biotina (min.) 100 mg; Colina (min.) 86,68 g; Cobre (min.) 750 mg; Iron (min.) 8.310 mg; Manganês (min.) 1.320 mg; Cobalto (min.) 24 mg; Iodo (min.) 264,8 mg; Zinco (min.) 15,05 g; Selênio (min.) 47,55 mg; Inositol (min.) 25 g. ²Óleo de ricino e óleo de Canola. ³Acido propiônico. ⁴Bentonite, Sepiolita, Cálcio Propionato, Sódio Cloro e outros ingredientes. ⁵B.H.T. (Butilhidrotolueno), Galato de propil. Todos os outros ingredientes foram fornecidos pela Nutricol (São Ludgero, SC, Brasil).

Design experimental

Duzentos juvenis de tilápia-do-nylo (*O. niloticus*) com peso médio de 13,3 g, foram distribuídos em oito tanques de polietileno (800 L úteis), 25 peixes por unidade experimental, equipados com sistema de recirculação de água (renovação de água de 150% ao dia) e filtro biológico. As unidades experimentais foram divididas em dois grupos, totalmente ao acaso em quadruplicata: 1º) controle, constituído por uma dieta comercial formulada com FP e ingredientes práticos; e 2ª) dieta prática que consiste na substituição total do FP por farelo de soja. O tempo de criação durou oito semanas.

Parâmetros físico-químicos da qualidade da água e controle da alimentação.

Os animais foram alimentados 3 vezes ao dia (09:00; 11:00 e 15:30 h) com oferta de 3 a 6% da biomassa total. Quando necessário, as unidades experimentais foram limpas para remover o excesso de matéria orgânica. Durante o experimento, oxigênio dissolvido e temperatura foram monitorados duas vezes ao dia, enquanto amônia tóxica, pH, nitrito, nitrato e alcalinidade (fotocolorímetro Alfakit) foram medidos semanalmente.

Os parâmetros de qualidade da água foram medidos durante todo o período experimental, a saber: OD acima de $3,95 \pm 0,83 \text{ mg L}^{-1}$ e temperatura $26,59 \pm 1,59^\circ\text{C}$ (Oxímetro YSI PRO20); amônia de $0,08 \pm 0,08 \text{ NH}_3 \text{ mg L}^{-1}$, nitrito abaixo de $1,76 \pm 1,15 \text{ mg L}^{-1}$, nitrato abaixo de $0,62 \pm 0,95 \text{ mg L}^{-1}$, alcalinidade acima de $97,84 \pm 15,07 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ e pH de $6,97 \pm 0,09$.

Desempenho de crescimento e retenção de N e P

Sobrevivência, peso final, ganho de peso semanal, taxa de crescimento específico, conversão alimentar, rendimento, índice de eficiência proteica (IEP) e custo por quilograma de peixe (considerando apenas o custo da dieta, representado pela soma de todos os ingredientes, de acordo com a equação abaixo) foram todos determinados no final dos experimentos.

$$\text{Custo por quilograma de peixe (R\$/kg)} = \frac{(\text{Dieta ofertada} \times \text{preço do kg})}{\text{Biomassa produzida}}$$

Doze amostras de peixes (quatro antes do início do experimento e quatro de cada tratamento) foram eutanasiadas, congeladas e liofilizadas em preparação para análise da concentração de N e P, de acordo com a metodologia AOAC ⁽¹²⁾, pelo Laboratório CBO. A retenção de N e P foi calculada de acordo com DA SILVA et al. ⁽¹³⁾.

Saúde animal, incluindo hematologia, imunologia e desafio patogênico por *Aeromonas hydrophila*

Para análise hematológica, cinco peixes por

unidade experimental (20 por tratamento) foram anestesiados com Eugenol (50 mg.L^{-1}), e alíquotas de sangue foram retiradas do vaso caudal com anticoagulante EDTA. Após a confecção dos esfregaços sanguíneos, em duplicata, foram realizadas as seguintes análises hematológicas: hematócrito pelo método padrão do microhematócrito, contagem de hemócitos totais pelo hemocítometro de Neubauer e concentração de hemoglobina. Taxas absolutas hematimétricas de volume corpuscular médio (VCM), hemoglobina corpuscular média (HCM) e concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM) também foram obtidas. As lâminas de esfregaço de sangue foram coradas com Giemsa e coloração de May Grünwald ⁽¹⁴⁾ para contagem total e diferencial de leucócitos.

Para análise imunológica, 0,5 mL de sangue de cinco animais por unidade experimental foi coletado por punção do vaso caudal sem anticoagulante para obtenção do soro sanguíneo. Posteriormente, o sangue foi centrifugado a $1400 \times g$ por 10 min para separação do soro, que foi coletado e armazenado a -20°C para posterior análise imunológica. A concentração de proteína plasmática total foi medida com o Total Protein Kit (Biochemical Reagent, Total Proteins, LabTest, Brasil), utilizando albumina bovina para fazer a curva padrão. A concentração total de imunoglobulina foi medida de acordo com o método descrito por AMAR et al. ⁽¹⁵⁾. Resumidamente, 100 μL de soro sanguíneo foram misturados com 100 μL de solução de polietilenoglicol (PEG) a 12% (Sigma-Aldrich) para posterior incubação em temperatura ambiente por duas horas para precipitar moléculas de imunoglobulina. O precipitado foi removido por centrifugação a $5000 \times g$ a 6°C por 10 min. Após a retirada do sobrenadante, a quantidade de proteína total foi medida com o auxílio do kit Total Protein (Lab Test®). A concentração total de imunoglobulina é expressa em mg mL^{-1} e é calculada como Imunoglobulina total = (proteína plasmática total - proteína total tratada com PEG)/Volume (mL).

Para o experimento de desafio patogênico realizado ao final do período experimental, a bactéria *Aeromonas hydrophila* (ATCC 7966) foi cultivada em meio de infusão cérebro-coração (ICC) a 30°C por 24 horas, seguido de centrifugação a $1000 \times g$ por 15 min. O sobrenadante foi descartado e o pellet bacteriano foi ressuspenso em solução salina estéril de NaCl 0,65% para ajustar a concentração da bactéria, conforme definido por DL 50 (dados não publicados). Nesta etapa, cinco peixes de cada unidade foram transferidos para aquários (45 L), todos equipados com filtros biológicos e temperatura constante ($24 - 25^\circ\text{C}$). Todos os peixes foram inoculados intraperitonealmente com 100 μL de *A. hydrophila* (ATCC 7966) na concentração de $2,5 \times 10^6 \text{ CFU mL}^{-1}$; A sobrevivência dos peixes foi avaliada após 96 horas.

Análise estatística

Todos os dados foram primeiramente submetidos à análise de Bartlett para verificar a homogeneidade da variância. Subsequente, foram submetidos ao teste t (Stata® Statistical Software). Todas as análises foram realizadas com nível de significância de 5%.

Resultados

Dietas experimentais

O perfil de aminoácidos e a composição centesimal foram semelhantes em ambas as dietas experimentais (Tabela 2).

Tabela 2. Aminograma e composição centesimal da dieta controle e experimental sem farinha de peixe (FP)

| Nutrientes (%) | Tratamentos | |
|------------------|-------------|--------|
| | Controle | Sem FP |
| Umidade | 8,99 | 9,32 |
| Proteína Bruta | 36,42 | 36,36 |
| Lipídio Bruto | 5,8 | 5,66 |
| Fibra Bruta | 3,63 | 3,35 |
| Material Mineral | 10,88 | 11,28 |
| Cálcio | 2,49 | 2,69 |
| Fósforo | 1,45 | 1,27 |
| Arginina | 2,37 | 2,36 |
| Lisina | 1,96 | 2,24 |
| Metionina | 0,54 | 0,5 |
| Cisteína | 0,64 | 0,71 |
| Treonina | 1,44 | 1,41 |
| Triptofano | 0,37 | 0,35 |
| Leucina | 2,81 | 2,93 |
| Isoleucina | 1,33 | 1,32 |
| Valina | 1,84 | 1,89 |
| Histidina | 0,95 | 1,04 |
| Fenilalanina | 1,66 | 1,79 |
| Serina | 1,82 | 1,76 |
| Glicina | 2,63 | 2,47 |
| Taurina | 0,04 | 0,04 |
| Alanina | 2,21 | 2,21 |
| Prolina | 2,17 | 2,05 |
| Tirosina | 1,14 | 1,14 |
| Ácido aspártico | 3,25 | 3,11 |
| Ácido glutâmico | 5,4 | 5,47 |

Desempenho de crescimento

Os peixes alimentados com dieta sem farinha de peixe apresentaram maior peso final médio, ganho médio diário, taxa de crescimento específico, bem como rendimento e taxa de eficiência proteica, do que o grupo controle (FP). O custo da dieta por kg de peixe foi maior no controle. A retenção de N foi maior nos peixes alimentados com dieta substitutiva de soja, enquanto a retenção de P não diferiu entre os tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3. Desempenho de crescimento, retenção de nitrogênio (N) e fósforo (P) de tilápias-do-nylo (200 peixes) criadas em RAS, alimentadas com dieta prática com substituição total de farinha de peixe (FP) por farelo de soja (FS)

| Variáveis zootécnicas | Tratamento | |
|--|---------------|---------------|
| | Controle | Sem FP |
| Peso final médio (g) | 72,67 ± 2,66 | 77,75 ± 3,95* |
| Ganho médio diário (g.day ⁻¹) | 1,06 ± 0,05 | 1,16 ± 0,06* |
| Taxa de crescimento específico (%.day ⁻¹) | 1,30 ± 0,03 | 1,37 ± 0,04* |
| Conversão alimentar | 1,13 ± 0,03 | 1,13 ± 0,05 |
| Taxa de eficiência proteica | 0,38 ± 0,01 | 0,41 ± 0,02* |
| Sobrevivência (%) | 100,00 ± 0,00 | 100,00 ± 0,00 |
| Rendimento (Kg.m ⁻³) | 1,86 ± 0,08 | 2,01 ± 0,12* |
| Custo da dieta por kg de peixe (R\$.kg ⁻¹) | 1,20 ± 0,03* | 1,05 ± 0,04 |
| Retenção de N (%) | 28,42 ± 1,50 | 31,19 ± 2,18* |
| Retenção de P (%) | 27,05 ± 5,14 | 26,69 ± 2,04 |

* Diferença estatística por t-test (P<0.05).

Saúde animal (hematologia, imunologia e desafio patogênico por *Aeromonas hydrophila*)

Nem as variáveis hematológicas nem os parâmetros imunológicos (Tabela 4) apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Após 96 horas, a sobrevivência dos peixes após desafio experimental contra *A. hydrophila* foi de 62,5 ± 7,5 % e 65,7 ± 10,7 % para controle (FP) e substituição de soja, respectivamente.

Table 4. Parâmetros sanguíneos (média ± desvio padrão) de tilápias-do-nylo (40 peixes) criadas em RAS, alimentadas com dieta prática com substituição total da farinha de peixe (FP) por farelo de soja (FS)

| Contagem total e diferencial dos leucócitos | Controle | Sem FP |
|---|---------------|---------------|
| Trombócitos (x 10 ⁴ µL ⁻¹) | 6,67 ± 1,14 | 5,74 ± 1,19 |
| Leucócitos totais (x 10 ³ µL ⁻¹) | 88,06 ± 20,92 | 75,69 ± 10,40 |
| Linfócitos (x 10 ³ µL ⁻¹) | 83,21 ± 19,94 | 71,15 ± 9,90 |
| Eosinófilos (x 10 ³ µL ⁻¹) | 0,21 ± 0,17 | 0,16 ± 0,08 |
| Monócitos (x 10 ³ µL ⁻¹) | 2,73 ± 0,82 | 2,74 ± 0,42 |
| Neutrófilos (x 10 ³ µL ⁻¹) | 1,90 ± 0,17 | 1,64 ± 0,57 |
| Índices hematimétricos | | |
| Eritrócitos (x 10 ⁶ µL ⁻¹) | 2,67 ± 0,38 | 2,67 ± 0,38 |
| Hematócrito (%) | 27,80 ± 0,85 | 27,73 ± 1,16 |
| Concentração de hemoglobina (g.dL ⁻¹) | 8,24 ± 0,30 | 7,67 ± 0,37 |
| Volume corpuscular médio (10 ⁻⁵ .pg) | 10,11 ± 1,97 | 10,75 ± 1,41 |
| Hemoglobina corpuscular média (10 ⁻⁵ .pg) | 3,12 ± 0,64 | 2,98 ± 0,46 |
| Concentração média de hemoglobina corpuscular (g.dL ⁻¹) | 3,01 ± 0,22 | 2,78 ± 0,07 |
| Parâmetros imunológicos | | |
| Imunoglobulina Plasmática Total (mg.L ⁻¹) | 28,51 ± 2,76 | 27,94 ± 3,05 |
| Proteína total do plasma (cg.L ⁻¹) | 104,95 ± 0,27 | 104,78 ± 0,36 |

* Diferença estatística por t-test (P<0.05)

Discussão

Neste estudo, as dietas utilizadas apresentaram composição centesimal e perfil de aminoácidos semelhantes, com pequenas diferenças entre os tratamentos (Tabela 2). Dentre os aminoácidos avaliados, a metionina foi o único abaixo do recomendado de 7,0 g.kg⁻¹ (7). A redução desse aminoácido é um fator limitante em dietas formuladas à base de soja ou derivados de soja (7). Outros estudos com metionina abaixo do recomendado, mostraram menor taxa de crescimento e eficiência alimentar em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (16) e cauda amarela (*Seriola dorsalis*) (17). No entanto, a quantidade de metionina + cistina pode ter compensado esses níveis, pois 50% da necessidade de metionina pode ser suprida por esta combinação (18) justificando de que forma os níveis de metionina não comprometem o desempenho de crescimento da tilápia neste trabalho.

O uso da soja não comprometeu o desempenho de crescimento. De fato, este substituto melhorou o desempenho de crescimento dos peixes. Esses resultados corroboram os achados de outros estudos realizados com a mesma espécie e fonte proteica com suplementação de aminoácidos sintéticos, em que o ganho de peso diário foi maior nos peixes que não receberam FP na dieta (19). No entanto, quando Silva Neto et al. (20) utilizaram uma dieta de 30,86% de proteína digestível, juntamente com concentrado proteico de soja em substituição a FP, para juvenis de 5,1 g por 61 dias, observaram diminuição no peso final, taxa de crescimento específico e taxa de eficiência proteica; no entanto, a conversão alimentar foi menor neste trabalho. Além disso, este estudo reduziu o custo da ração por kg de peixe ao substituir FP por concentrado proteico de soja em dietas para alevinos de tilápia-do-nilo, corroborando com os dados desta pesquisa. É possível que o melhor desempenho do Do Espírito Santo et al. (19) resultou do adequado balanço de aminoácidos, permitindo uma correspondente adequação no desenvolvimento da espécie.

A menor taxa de crescimento dos peixes no grupo controle (FP) pode ser atribuída à menor retenção de N, consequentemente menor retenção de aminoácidos. Essa tendência leva a uma menor deposição de proteína, bem como a um aumento dos custos de produção e excreção de nitrogênio. É provável que a dieta contendo farelo de soja proporcione um melhor aporte (equilíbrio e/ou digestibilidade) de nutrientes, consequentemente permitindo maior aproveitamento e retenção de N, o que reduz a excreção excessiva de N no ambiente (5,21).

Neste estudo, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos nas variáveis sanguíneas e nos parâmetros imunológicos. Essas análises também podem ser usadas para avaliar os efeitos das dietas nos animais, nutrientes e aditivos alimentares. A maior parte do trabalho de substituição de FP é

geralmente limitada a avaliações de desempenho de crescimento, eficiência alimentar e custos de produção (22,23), ignorando seu efeito na saúde de um organismo, como resposta imune e resistência ao desafio patogênico. Hoje, é um conceito bem aceito na piscicultura que o fornecimento de ração contendo ingredientes adequados pode afetar positivamente a manutenção da saúde de um animal (24).

A tilápia-do-nilo alimentada com dietas à base de soja orgânica não apresentou variações hematológicas (25). Em contraste, Dallagnol et al. (26) observaram que o fornecimento de dietas à base de farelo de soja branco para tilápia-do-nilo apresentou valores mais elevados de hemoglobina do que os peixes alimentados com dieta com FP. Em nosso trabalho, os valores dos parâmetros hematológicos não diferiram entre os tratamentos e foram semelhantes aos encontrados por Martins et al. (27) que relataram sobre tilápia criada em sistema de recirculação de aquicultura com dietas contendo farelo de soja e derivados.

A sobrevivência dos peixes durante a experimentação e após a infecção não foi afetada pela oferta da dieta em substituição à farinha de peixe por farelo de soja; pois mesmo com a reposição foi possível oferecer os nutrientes na quantidade adequada e necessária para o bom desenvolvimento da imunidade dos peixes. Ao fornecer uma dieta com 32,9% de proteína por kg de ração, utilizando FP ou concentrado proteico de soja como principal fonte proteica na dieta de *L. vannamei*, Jatobá et al. (28) obtiveram bom desempenho de crescimento dos animais. As mesmas dietas foram utilizadas por Schleder et al. (10), que não observaram alterações nas variáveis hematológicas e imunológicas, bem como a substituição da principal fonte proteica não interferiu na suscetibilidade de *L. vannamei* ao desafio contra *Vibrio* sp.

O uso do peptídeo de soja, em substituição a 50% de FP, influenciou positivamente as respostas imunes do bagre amarelo (*Pelteobagrus fulvidraco*) (29). Além disso, para alevinos de tilápia-do-nilo alimentados com dieta contendo 66% de substituição de FP por isolado proteico de soja metilado por 10 semanas, observou-se melhora na resistência dos peixes contra *A. hydrophila* (30). Esses estudos relataram os benefícios da substituição da farinha de peixe pela soja; embora esses estudos tenham utilizado apenas a substituição parcial, diferentemente do presente estudo que avaliou o efeito da substituição total da FP pela soja. Finalmente, a ausência de alterações hematológicas entre os tratamentos, somada à ausência de mortalidade durante o experimento e após a infecção experimental, sugere que a substituição da farinha de peixe por farelo de soja não prejudica a saúde dos peixes nem altera a homeostase. Assim, este fato sugere que as mudanças na retenção de N e custo estão relacionadas exclusivamente às fontes proteicas utilizadas.

Conclusões

Com base em nossos resultados, a substituição total das dietas com 15% de farinha de peixe não compromete o desempenho de crescimento, possibilitando reduzir os custos da dieta utilizando o farelo de soja como substituto. Além de ter melhorado o aproveitamento da dieta com maior retenção de nitrogênio por juvenis de tilápia-do-nylo, apesar da substituição de ingredientes, o balanço de nutrientes foi mantido proporcionalmente entre as dietas. Após a infecção experimental por *Aeromonas hydrophila*, o estado de saúde dos peixes não foi comprometido pela substituição.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Contribuições dos autores

Conceituação: M. P. Vilvert, A. Jatobá; *Curadoria dos dados:* L. Stockhausen, M. P. Vilvert, M. da Silva, A. Dartora, R. Krainz, G. B. Ferreira, L. R. da Silva; *Análise Formal:* L. Stockhausen, M.P. Vilvert, A. Jatobá; *Aquisição de financiamento:* M. P. Vilvert; *Investigação:* L. Stockhausen, M. da Silva, A. Dartora, R. Krainz, G. B. Ferreira, L. R. da Silva; *Metodologia:* L. Stockhausen, M. P. Vilvert, A. Jatobá; *Administração do projeto:* L. Stockhausen, M. P. Vilvert; *Recursos:* M. P. Vilvert; *Supervisão:* A. Jatobá; *Validação e Visualização:* L. Stockhausen, M. P. Vilvert; *Redação (rascunho original, revisão e edição):* L. Stockhausen, A. Jatobá.

Agradecimentos

Agradecemos as bolsas concedidas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e NUTRICOL® pelo fornecimento das dietas formuladas.

Referências

1. FAO - Food Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome: 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.4060/ca9229en>>. Acesso em: 08 agosto 2020.
2. Peixe-BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura Peixes BR 2022. Associação Brasileira da Piscicultura, 79p. 2022. Disponível em <<https://www.peixebr.com.br/anuario-2021/>>
3. English, W.R, Schwedler TE, Dyck LA. Aphanizomenon flos-queae, a toxic blue green alga in commercial channel catfish, *Ictalurus punctatus*, ponds: a case history. Journal of Applied Aquaculture. 1994;3(1-2):195-209. Disponível em: https://doi.org/10.1300/J028v03n01_14.
4. Pinto LGQ. Exigências dietárias e disponibilidade de fontes de fósforo para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Universidade Estadual Paulista. 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/104062>
5. Furuya WM, Pezzato LE, Pezzato AC, Barros MM, Miranda ECD. Coeficientes de digestibilidade e valores de aminoácidos digestíveis de alguns ingredientes para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Revista Brasileira de Zootecnia. 2001 July;30(4):1143-1149. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000500002>.
6. Janda JM, Abbott SL. The genus *Aeromonas*: taxonomy, pathogenicity, and infection. Clinical microbiology reviews. 2010 Jan;23(1):35-73. Disponível em: <https://cmr.asm.org/content/23/1/35.short>.
7. NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of fish and shrimp. Washington, DC: National academies press, 2011. 392p.
8. de Novaes AF, Pereira GT, Martins MIEG. Indicadores zootécnicos e econômicos da tilapicultura em tanques-rede de diferentes dimensões. Boletim do Instituto de Pesca. 2018 Nov;38(4):379-387. Disponível em: <https://www.pesca.sp.gov.br/boletim/index.php/bip/article/view/972>.
9. Olsen RL, Hasan MR. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. Trends in Food Science & Technology. 2012;27(2):120-128. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.003>.
10. Schleder DD, Jatobá A, Silva BCD, Ferro DPD, Seiffert WQ, Vieira FDN. Soybean protein concentrate in Pacific white shrimp reared in bioflocs: effect on health and vibrio challenge. Acta Scientiarum. Animal Sciences. 2018;40, e42570. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.42570>.
11. Jatobá A, Vieira FDN, Silva BCD, Soares M, Mourinho JLP, Seiffert, WQ. Replacement of fishmeal for soy protein concentrate in diets for juvenile *Litopenaeus vannamei* in biofloc-based rearing system. Revista Brasileira de Zootecnia. 2017 July;46(9):705-713. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1806-92902017000900001>.
12. AOAC - Association Official Analytical Chemist. *Official Methods of Analysis*. 18th ed. Gaithersburg: MD AOAC International; 2005.
13. da Silva BC, Jatobá A, Schleder DD, Vieira FDN, Mourinho JLP, Seiffert WQ. Dietary supplementation with butyrate and polyhydroxybutyrate on the performance of pacific white shrimp in biofloc systems. Journal of the World Aquaculture Society. 2016 May;47(4):508-518. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jwas.12284>.
14. Rosenfeld G. Corante pancrômico para hematologia e citologia clínica. Nova combinação dos componentes do May-Grünwald e do Giemsa num só corante de emprego rápido. Memórias do Instituto Butantan: v. 20; 1947. p. 329-334.
15. Amar, Edgar C. et al. Effects of dietary β carotene on the immune response of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Fisheries Science: v. 66 (6); 2000. p 1068-1075.
16. Belghit I, Skiba-Cassy S, Geurden I, Dias K, Surget A, Kaushik S, Panserat S, Seiliez I. Dietary methionine availability affects the main factors involved in muscle protein turnover in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). British Journal of Nutrition. 2014 May;112(4):493-503. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0007114514001226>.
17. Garcia-Organista AA, Mata-Sotres, JA, Viana MT, Rombenso AN. The effects of high dietary methionine and taurine are not equal in terms of growth and lipid metabolism of juvenile California Yellowtail (*Seriola dorsalis*). Aquaculture. 2019 Oct;512: 1-10. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734304>.
18. Lall SP, Dumas A. Nutritional requirements of cultured fish: Formulating nutritionally adequate feeds. In: Feed and feeding practices in aquaculture. Woodhead publishing: 2015. p. 53-109.
19. do Espírito Santo NG, Fernandes VAG, da Silva B.

- Replacement of animal protein sources by soy protein concentrate for juvenile Nile tilapia. *Boletim do Instituto de Pesca*. 2015 Sept;41:707-717. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/vti-13655>.
20. Silva Neto MR. Substituição da farinha de peixes pelo concentrado proteico de soja para alevinos de tilápia do Nilo. Universidade Federal da Paraíba. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/15977>.
21. Encarnação P, de Lange C, Bureau DP. Diet energy source affects lysine utilization for protein deposition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 2006 Dec;261(4):1371-1381. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.08.001>.
22. Koch JF, Rawles SD, Webster CD, Cummins V, Kobayashi Y, Thompson KR, Gannam AL, Twibell RG, Hyde NM. Optimizing fish meal-free commercial diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*. 2016 Feb;452:357-366. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.017>.
23. Montanhini Neto R, Ostrensky A. Evaluation of commercial feeds intended for the Brazilian production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.): nutritional and environmental implications. *Aquaculture Nutrition*. 2015 Sept;21(3):311-320. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/anu.12154>.
24. Kiron, V. Fish immune system and its nutritional modulation for preventive health care. *Animal Feed Science and Technology*. 2012 Apr;173(1-2):111-133. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.015>.
25. Signor FRP, Signor AA, Feiden A, Neu DH, Nervis JAL, Boscolo WR. Organic Soybean Meal in Diet for Nile Tilapia. *Agrarian*. 2018;11(42):352-362. Disponível em: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i42.6983>.
26. Dallagnol, J. M. Apparent digestibility of diets the basis of derivatives of soybean (*Glycine max*), hematological and performance of juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2010. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/1970>
27. Martins GP, Pezzato LE, Guimaraes IG, Padovani CR, Mazini BSM, Barros MM. Fatores antinutricionais da soja crua no crescimento e respostas hematológicas da tilápia do nilo. *Boletim do Instituto de Pesca*. 2017 Sept;43(3):322-333. Disponível em: <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n3p322>.
28. Jatobá A, da Silva BC, da Silva JS, do Nascimento Vieira, F, Mourião, JLP, Seiffert WQ, Toledo TM. Protein levels for *Litopenaeus vannamei* in semi-intensive and biofloc systems. *Aquaculture*. 2014 Aug;432:365-371. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.005>.
29. Zhao Z, Song CY, Xie J, Ge XP, Liu B, Xia SL, Yang S, Wang Q, Zhu SH. Effects of fish meal replacement by soybean peptide on growth performance, digestive enzyme activities, and immune responses of yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. *Fisheries science*. 2016 Jun;82(4):665-673. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12562-016-0996-6>.
30. Amer SA, Ahmed SA, Ibrahim RE, Al-Gabri NA, Osman A, Sitohy M. Impact of partial substitution of fish meal by methylated soy protein isolates on the nutritional, immunological, and health aspects of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fingerlings. *Aquaculture*. 2020 Mar;518: 1-10. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734871>.