


EXIGÊNCIAS DE ENERGIA DIGESTÍVEL E PROTEÍNA POR UNIDADE DE GANHO DE PESO DIÁRIO EM TILÁPIAS-DO-NILO EM CRESCIMENTO–TERMINAÇÃO CRIADAS EM TANQUES-REDE

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.043-009>

Thais Pereira da Cruz

Doutora

Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Departamento de Zootecnia, Palotina, Brazil

E-mail: mmp_cruz@hotmail.com

ORCID: 0000-0002-2029-7011

Vitor André Frana

Mestre

Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná/IAPAR/Emater/IDR, Curitiba, Brazil

E-mail: vfrana@idr.pr.gov.br

ORCID: 0009-0009-7006-6092

Wilson Massamitu Furuya

Doutor

Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Departamento de Zootecnia, Palotina, Brazil

E-mail: wmfuruya@uepg.br

ORCID: 0000-0002-4848-8645

RESUMO

Este estudo determinou as exigências de energia digestível (DE) e proteína digestível (DP) por unidade de ganho de peso diário (DWG) em tilápias-do-Nilo em crescimento–terminação, *Oreochromis niloticus*, criadas em tanques-rede durante 210 dias. Os peixes ($n = 630$; $45,9 \pm 1,7$ g, como média \pm desvio padrão) foram distribuídos em cinco tanques-rede flutuantes (1 m^3 cada) e alimentados com dieta extrusada contendo 3.041 kcal/kg de DE e 302,1 g/kg de proteína digestível (DP), três vezes ao dia, com base na biomassa. Todos os peixes foram pesados em grupo no início e ao final, e os dados de consumo de ração e peso corporal (15 peixes por tanque-rede) foram registrados a cada ensaio alimentar de 36 dias. A relação entre as exigências de DE e DP por unidade de ganho de peso diário (DWG) apresentou melhor ajuste por regressão linear: $DE = 2.3185 + 0.4323 \text{ DWG}$ e $DP = 0.2303 + 0.0429 \text{ DWG}$. Tanto a DE (3,4 a 5,7 kcal/g de DWG) quanto a DP (0,34 a 0,57 g/g de DWG) aumentaram 1,7 vez por unidade de DWG em peixes de 45,9 a 1.013 g de peso corporal (BW), revelando diminuição na utilização da DE e da DP dietéticas ao longo do incremento de BW dos peixes. Esses achados fornecem novas perspectivas sobre a relação entre as exigências dietéticas de DE e DP por unidade de DWG na produção de tilápias-do-Nilo em crescimento–terminação.

Palavras-chave: Energia; Modelo matemático; Proteína; Exigência; *Oreochromis niloticus*.

1 INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO AO TEMA

A energia digestível (DE) e a proteína digestível (DP) dietéticas são dois constituintes principais da dieta que desempenham papel crucial no desempenho de crescimento e na saúde da tilápia-do-Nilo, *Oreochromis niloticus* (El-Sayed, 2019; El-Sayed; Teshima, 1992; Fernandes et al., 2016; Koch et al., 2017; Peres et al., 2022). O conhecimento da relação entre DE e DP e o ganho de peso diário (DWG) pode subsidiar o desenvolvimento de estratégias nutricionais para melhorar o desempenho econômico em tilápias-do-Nilo em crescimento–terminação criadas em escala industrial. Entretanto, poucos estudos foram conduzidos em condições de campo para sustentar esses achados.

A criação de tilápia-do-Nilo expandiu-se para sistemas de cultivo mais intensivos em muitos países (FAO, 2024). Contudo, as práticas nutricionais modernas demandam práticas de nutrição de precisão para ampliar as dimensões econômicas e melhorar a sustentabilidade ambiental (Fialho et al., 2021; Valenti et al., 2018). Estudos recentes identificaram o uso de inteligência artificial (IA) em sistemas de campo na aquicultura moderna (Huang; Khabusi, 2025; Sen et al., 2026). Assim, predizer o DWG de tilápias-do-Nilo em crescimento–terminação, vinculando o consumo e as exigências de DE e DP por meio de regressão linear, pode favorecer o uso de IA em programas precisos de nutrição e alimentação de tilápias-do-Nilo.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA E LIMITAÇÃO

Estudos anteriores aplicaram uma abordagem fatorial complexa e avançaram na estimativa das exigências de DE e DP para manutenção e produção ao longo do ciclo de vida da tilápia-do-Nilo. Além disso, experimentos prévios de dose-resposta foram empregados para determinar o consumo e as exigências de DP em tilápia-do-Nilo (Castillo et al., 2017; Fernandes et al., 2016; Koch et al., 2017). Portanto, um modelo matemático mais simples pode fornecer uma estrutura mais prática para estimar a DE e a DP exigidas por unidade de DWG, apoiando, assim, uma aplicação mais ampla e práticas de nutrição de precisão.

O conhecimento atual sobre DE e DP baseia-se em pesquisas laboratoriais controladas, as quais podem não refletir os resultados obtidos em condições de campo ou em peixes, e podem não refletir peixes que apresentam maior DWG ao longo das fases de crescimento–terminação. Portanto, não há informações de modelo linear baseado em campo sobre as exigências de DE e DP em função do DWG, o que limita o padrão nas diretrizes para tilápia-do-Nilo.

A análise de regressão linear é uma forma simples e robusta de estimar as exigências de DE e DP em peixes, relacionando diretamente o consumo de nutrientes a variáveis de desempenho de crescimento,

como o DWG, sendo amplamente utilizada para prever os teores de DP e nutrientes disponíveis de ingredientes de rações (Sales, 2008), incluindo a tilápia-do-Nilo (Vitor et al., 2012). Diferentemente dos modelos fatoriais, que exigem múltiplas premissas para distinguir entre exigências de DE e DP para manutenção e crescimento (Chowdhury et al., 2013; Van Trung et al., 2011), os modelos lineares podem integrar respostas biológicas em condições comerciais de produção. Essa abordagem pode apoiar o desenvolvimento de estratégias alimentares mais precisas e economicamente eficientes e permitir a estimativa das exigências de DE e DP por unidade de crescimento. Apesar dessas vantagens, nenhum modelo linear baseado em campo descreve as exigências de DE e DP em função do DWG em tilápias-do-Nilo em crescimento–terminação, especialmente em sistemas de produção de longo prazo, em alta densidade, em tanques-rede. Essa lacuna limita a aplicação da nutrição de precisão e o desenvolvimento de diretrizes práticas para alimentação em escala industrial.

1.3 OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo estabelecer a relação entre as exigências de DE e DP por unidade de DWG em tilápias-do-Nilo em crescimento–terminação criadas em tanques-rede flutuantes em condições de campo, utilizando análise de regressão linear. Hipotetizou-se que as exigências de DE e DP aumentam com o DWG em resposta à redução da eficiência de utilização de energia e proteína à medida que o BW dos peixes e, conseqüentemente, o DWG aumentam.

2 METODOLOGIA

2.1 DECLARAÇÕES ÉTICAS

O Comitê de Cuidados com Animais da Universidade Estadual de Ponta Grossa aprovou este protocolo experimental (nº 25.000078777-8). Os peixes foram anestesiados e eutanasiados utilizando metanossulfonato de triclaína (MS-222) a 100 e 400 mg/L de água, respectivamente. O procedimento de eutanásia foi complementado com método físico penetrativo de contenção, aplicado por operadores especializados e treinados.

2.2 DIETAS

Foi formulada uma dieta prática à base de proteína de farelo de soja para atender às exigências dietéticas de DE e DP e aminoácidos (Rodrigues et al., 2020) de tilápias-do-Nilo em crescimento–terminação (**Tabela 1**). Os ingredientes da ração foram moídos em moinho de martelos (peneira com furos de 8 mm de diâmetro), misturados, extrusados em extrusora de rosca simples e secos em secador de tambor rotativo ajustado para atingir temperatura interna dos pellets de 85 °C. As dietas foram extrusadas em pellets flutuantes de 3,5–3,8 mm de diâmetro, com taxa aceitável de flutuabilidade de pelo menos 99,9%.

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA DIGESTÍVEL E PROTEÍNA POR UNIDADE DE GANHO DE PESO DIÁRIO EM TILÁPIAS-DO-NILO EM CRESCIMENTO–TERMINAÇÃO CRIADAS EM TANQUES-REDE

Tabela 1 – Composição de ingredientes e composição analisada das dietas experimentais.

Ingredientes (base natural)	g/kg
Farelo de soja	476
Fubá de milho	185
Farelo de trigo	120
Farinha de carne	54
Farinha de sangue (seca por pulverização)	40
Óleo de soja	30
Amido de milho	60
Arroz quebrado	20
Mistura mineral e vitamínica ^a	5
Sal	5
DL-metionina	2.5
L-lisina	2.5
<hr/>	
Composição analisada (matéria seca, g/kg)	
Matéria seca	934.2
Energia bruta (kcal/kg)	3,0410
Energia digestível (kcal/kg) ^b	320.1
Proteína digestível ^b	302.1
Lipídios brutos	81.7
Fibra bruta	32.5
Cinzas	32.4

^a Mistura personalizada de minerais e vitaminas por quilograma de dieta: Vitamina: A, 8.000 UI; D₃, 1.500 UI; E, 120 mg; K₃, 12 mg; B₁, 25 mg; B₂, 25 mg; B₆, 25 mg; B₁₂, 0,10 mg; ácido fólico, 10 mg; ácido pantotênico, 100 mg; ácido ascórbico, 450 mg; biotina, 0,25 mg; colina, 1.200 mg; niacina, 150 mg; Minerais: ferro, 60 mg; cobre, 5 mg; manganês, 25 mg; zinco, 30 mg; iodo, 0,4 mg; cobalto, 0,25 mg; selênio, 0,2 mg.

^b Energia digestível e proteína digestível calculadas com base nos coeficientes de digestibilidade aparente dos ingredientes da ração (Boscolo; Hayashi; Meurer, 2002; Furuya et al., 2001; Gonçalves et al., 2009b, 2004; Guimarães et al., 2008; Guimarães; Pezzato; Barros, 2008; Pezzato et al., 2002; Vidal et al., 2017a, 2017b, 2015; Xavier et al., 2014). A energia bruta ou proteína bruta dos aminoácidos cristalinos (Rostagno; Albino, 2024) foi integralmente transformada em seus respectivos valores digestíveis.

2.3 CONFIGURAÇÃO EXPERIMENTAL

Os peixes (n = 630; 45,9 ± 1,7 g; média ± desvio padrão), provenientes de uma empresa local (GenoMar do Brasil Ltda, Londrina, PR, Brasil), foram distribuídos em cinco tanques-rede flutuantes de 1 m³ (1 m × 1 m × 1 m) e alimentados com dieta extrusada contendo 3.041 kcal/kg de DE e 302,1 g/kg de DP, fornecida manualmente três vezes ao dia, com base na biomassa (Lim, 1989), ao longo de experimento alimentar de 210 dias. A alimentação era interrompida quando se observava redução visível na atividade alimentar dos peixes. Os tanques-rede foram alocados longitudinalmente no reservatório de Chavantes (Carlópolis, PR), e o consumo de ração foi registrado diariamente. Todos os peixes foram pesados em grupo no início e no final do ensaio experimental, e 15 peixes de cada tanque-rede foram pesados em grupo a cada 12 dias para ajuste da oferta de ração. As classes de peixes foram estabelecidas para cada ensaio alimentar de 36 dias.

A qualidade da água foi monitorada semanalmente com oxímetro digital, e o oxigênio e a temperatura apresentaram médias de 7,2 ± 0,9 e 28,3 ± 2,2 °C, respectivamente. Os dados de alcalinidade da água (40 ± 10 mg/L) e pH (7,3 ± 0,4; medidor digital de pH), bem como amônia total e nitrito, foram

monitorados mensalmente com kits comerciais. Amônia e nitrito não foram detectados durante a análise de qualidade da água.

2.4 ANÁLISE QUÍMICA DA RAÇÃO

As amostras de ração foram finamente moídas em moinho de martelos (0,5 mm de diâmetro) e analisadas de acordo com os métodos da Association of Official Analytical Chemists (AOAC Int., 2005), em triplicata, como segue: (1) a matéria seca foi analisada por secagem das amostras em estufa a 105 °C durante a noite; (2) a proteína bruta (nitrogênio × 6,25) foi analisada pelo método micro-Kjeldahl; (3) o lipídio bruto foi determinado pelo método clorofórmio:metanol (Folch; Lees; Stanley, 1957); (4) a análise de fibra bruta foi conduzida por meio de ácido sulfúrico sequencial, hidróxido de sódio e combustão da matéria orgânica a 600 °C por 4 h, conforme estabelecido pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1995), após combustão da matéria orgânica; (5) a análise de cinzas foi realizada em forno mufla ajustado a 550 °C por 6 h; (6) a energia bruta foi determinada em calorímetro de bomba adiabática, utilizando ácido benzoico como padrão.

2.5 CÁLCULOS

A relação entre o consumo de DE e DP por unidade de DWG foi estabelecida da seguinte forma:

$$DWG = \frac{FBW - IBW}{36}$$

Em que DWG é o ganho de peso diário (g/peixe), e FBW e IBW são o peso corporal final e inicial (g/peixe), respectivamente, determinados ao final de cada amostragem sucessiva dos peixes, e 36 representa os intervalos de tempo (dias) entre pesagens sucessivas.

$$Nt = FI \times Nc$$

Em que Nt é o consumo total de energia digestível ou proteína digestível (kcal ou g), FI é o consumo diário de ração (g/peixe), e Nc é o teor de energia digestível ou proteína digestível (kcal ou g) por grama de dieta.

$$Ndwg = \frac{Nt}{DWG}$$

EXIGÊNCIAS DE ENERGIA DIGESTÍVEL E PROTEÍNA POR UNIDADE DE GANHO DE PESO DIÁRIO EM TILÁPIAS-DO-NILO EM CRESCIMENTO–TERMINAÇÃO CRIADAS EM TANQUES-REDE

Em que N_{dwg} é o consumo de energia digestível ou proteína digestível (kcal ou g) por quilograma de ganho de peso diário, N_t é o consumo total de energia digestível ou proteína digestível (g/peixe), e DWG é o ganho de peso diário (g).

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A relação entre o consumo de DE e DP e o DWG foi estabelecida por regressão linear para efeitos lineares ou quadráticos, como segue:

$$y = a + b_1x_1 + e$$

Em que y é o critério de consumo de DE ou DP, a é o intercepto, b_1 é a inclinação do DWG, x_1 é o DWG, e e é o erro aleatório. A precisão do modelo matemático foi avaliada por meio do coeficiente de correlação (Lin, 1989). Diferenças estatísticas foram consideradas significativas quando $P < 0,05$. Os dados de cada resposta foram analisados utilizando o Minitab (versão 19, Minitab, Inc., State College, PA, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de crescimento, consumo de DE e consumo de DP são apresentados na Tabela 2. Esses achados indicam que os padrões de DWG e consumo de ração estão alinhados com resultados previamente relatados para tilápias-do-Nilo criadas em tanques-rede flutuantes (Fialho et al., 2021). Entretanto, diversas variáveis de qualidade da água, particularmente a temperatura e os teores de oxigênio dissolvido, podem afetar o consumo de ração e, conseqüentemente, o DWG em tilápia-do-Nilo (Abd El-Hack et al., 2022).

Tabela 2 - Crescimento e consumo de energia e proteína em tilápias-do-Nilo em crescimento–terminação criadas em tanques-rede flutuantes ao longo de ensaio alimentar de 216 dias*.

BWC	MBW	DWG	FIN	DE	DP
0.05 to 0.14	0.09 + 0.00	2.5 + 0.2	2.8 + 0.1	3.4 + 0.1	0.34 + 0.01
0.14 to 0.28	0.21 + 0.02	4.0 + 0.2	5.2 + 0.1	4.0 + 0.0	0.40 + 0.01
0.28 to 0.50	0.39 + 0.014	6.2 + 0.4	9.6 + 0.5	4.7 + 0.2	0.47 + 0.02
0.50 + 0.76	0.63 + 0.02	7.0 + 0.5	12.2 + 0.3	5.3 + 0.1	0.52 + 0.01
0.76 + 1.00	0.88 + 0.01	6.9 + 0.2	12.9 + 0.1	5.7 + 0.0	0.57 + 0.00

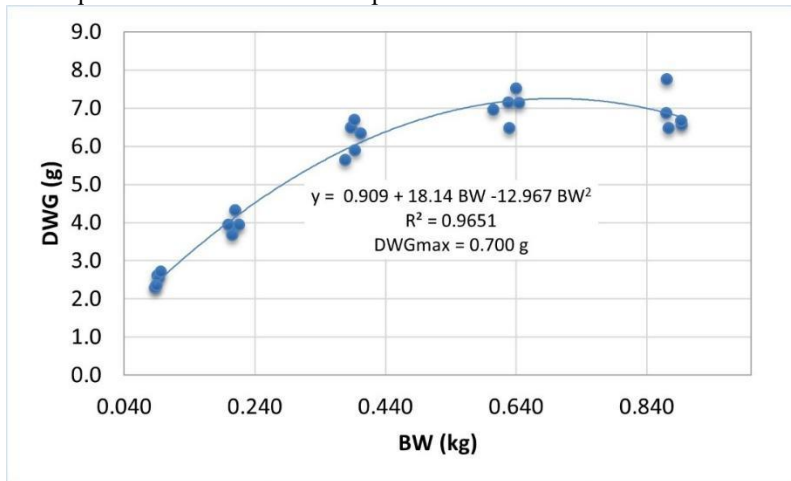
Abreviações: BWC, classe de peso corporal (kg); MBW, peso corporal médio (g); FIN, consumo de ração (g/peixe/dia); DE, consumo de energia digestível por grama de ganho de peso corporal; DP, consumo de proteína digestível por grama de ganho de peso corporal.

*Valores expressos como média ± erro padrão da média de cinco repetições.

De acordo com a Figura 1, o DWG atingiu valor máximo em peixes com 0,7 kg de BW e, em seguida, diminuiu. Uma hipótese razoável é que esse declínio possa estar associado à redução da oferta de ração em tilápias-do-Nilo maiores ($BW > 0,7$ kg), uma estratégia prática de manejo adotada para lidar com a queda na eficiência alimentar e melhorar o custo da alimentação. Esse fenômeno foi previamente relatado

em tilápias-do-Nilo criadas em condições experimentais internas (Chowdhury et al., 2013). Outra explicação plausível é que as exigências de DE para manutenção aumentam a cada incremento no BW. Essa hipótese foi descrita em tilápias-do-Nilo de 10 a 800 g, nas quais a proporção de DE alocada para manutenção aumentou de 8 para 14% da exigência total de DE, respectivamente (Van Trung et al., 2011).

Figura 1 Vista da relação quadrática entre o ganho de peso diário (DWG) em função do peso corporal (BW) em tilápias-do-Nilo em crescimento-terminação criadas em tanques-rede flutuantes ao longo de ensaio alimentar de 216 dias. Cada ponto representa a média de cada repetição de tanque-rede flutuante com 126 peixes.

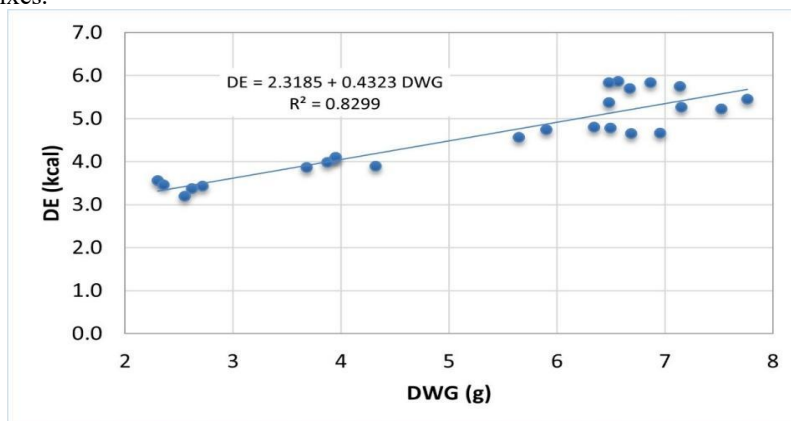


A relação linear entre o consumo de DE e o DWG em tilápias-do-Nilo em crescimento-terminação foi mais bem estabelecida de acordo com a expressão, também apresentada na Figura 2:

$$DE = 2.3185 + 0.4323 DWG$$

Em que DE é o consumo de energia digestível (kcal), e DWG é o ganho de peso diário (g/peixe).

Figura 2 Relação linear entre o consumo de energia digestível (DE) e o ganho de peso diário (DWG). Vista da relação quadrática entre o ganho de peso diário (DWG) em função do peso corporal (BW) em tilápias-do-Nilo em crescimento-terminação criadas em tanques-rede flutuantes ao longo de ensaio alimentar de 216 dias. Cada ponto representa a média de cada repetição de tanque-rede flutuante com 126 peixes.



EXIGÊNCIAS DE ENERGIA DIGESTÍVEL E PROTEÍNA POR UNIDADE DE GANHO DE PESO DIÁRIO EM TILÁPIAS-DO-NILO EM CRESCIMENTO–TERMINAÇÃO CRIADAS EM TANQUES-REDE

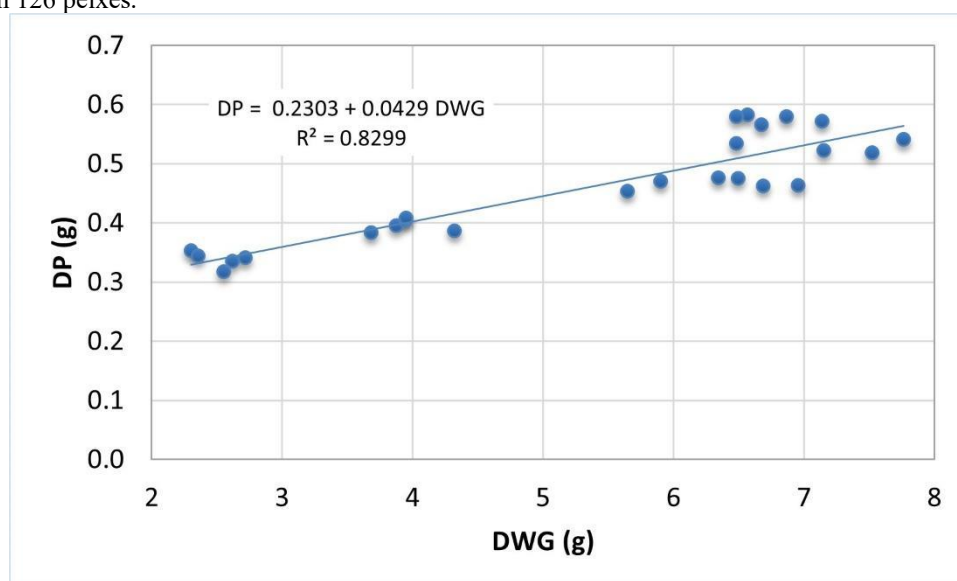
O aumento no consumo de DE em função do incremento no DWG indica redução na eficiência de utilização da DE dietética à medida que o BW aumenta. Um estudo anterior relatou aumento linear na deposição de lipídios corporais totais em tilápias-do-Nilo de 2 a 800 g (Chowdhury et al., 2013). Como os lipídios possuem mais energia por unidade do que a proteína, o aumento dos lipídios corporais totais provavelmente contribuiu para a DE exigida por unidade de DWG observada neste estudo.

A relação entre o consumo de DP e o DWG foi expressa de acordo com a seguinte equação, também demonstrada na Figura 3:

$$DP = 0.2303 + 0.0429 DWG$$

Em que *DP* é o consumo de proteína digestível (g), e *DWG* é o ganho de peso diário (g/peixe).

Figura 3 Relação linear entre o consumo de proteína digestível (DP) e o ganho de peso diário (DWG). Vista da relação quadrática entre o ganho de peso diário (DWG) em função do peso corporal (BW) em tilápias-do-Nilo em crescimento–terminação criadas em tanques-rede flutuantes ao longo de ensaio alimentar de 216 dias. Cada ponto representa a média de cada repetição de tanque-rede flutuante com 126 peixes.



Semelhantemente aos padrões observados para a DE, este estudo identificou aumento no consumo de DP por unidade de incremento no DWG dos peixes. Esse resultado sugere redução na eficiência de utilização da proteína à medida que o BWG aumenta. Esse fenômeno pode ser explicado pelo aumento da demanda de proteína para manutenção em peixes maiores, conforme observado em tilápias-do-Nilo variando de 10 a 1.000 g de BW, nas quais a proporção de DP dietética alocada à manutenção aumentou de 4 para 18%, respectivamente (Van Trung et al., 2011). Ainda assim, esses autores também verificaram que a proporção de DP dietética alocada para ganho diminuiu de 50 para 42% em peixes com 10 e 1.000 g de BW, respectivamente. Esses resultados sustentam o uso de conceitos de nutrição de precisão para otimizar

o desempenho de crescimento e a saúde, ao mesmo tempo em que alinham a eficiência econômica a práticas ambientalmente sustentáveis. Essas demandas foram recentemente reconhecidas na aplicação de IA na aquicultura de tilápias baseada em condições de campo (Huang; Khabusi, 2025; Sen et al., 2026).

Este estudo identificou forte coeficiente de correlação (0,8299) entre os valores observados e estimados de DE e DP em função do DWG, indicando que o modelo linear apresentou bom ajuste e gerou estimativas confiáveis. Notavelmente, a redução da eficiência de utilização da DE e da DP com o aumento do BW evidencia a necessidade de considerar respostas econômicas e impactos ambientais ao criar peixes com peso corporal superior a 700 g. Esses achados reforçam ainda mais o uso de formulações de rações e estratégias alimentares precisas em sistemas modernos de produção de tilápias-do-Nilo em escala industrial e baseados em condições de campo.

4 CONCLUSÃO

Este estudo desenvolveu equações confiáveis e práticas que estabelecem a relação entre o consumo de energia digestível e proteína digestível em função do ganho de peso diário em tilápias-do-Nilo em crescimento–terminação. Além disso, o incremento no BW foi associado a maiores exigências de energia digestível e proteína digestível por unidade de ganho de peso diário, evidenciado pela redução da eficiência de utilização de energia e proteína à medida que o peso corporal dos peixes aumentou. Esses achados destacam a necessidade de considerar o aumento do custo de alimentação e o potencial impacto ao criar peixes acima de 700 g de peso corporal. Esses resultados fornecem novas perspectivas sobre práticas de nutrição de precisão alinhadas a estratégias ambientalmente sustentáveis em sistemas modernos de aquicultura de tilápia-do-Nilo.

REFERÊNCIAS

ABD EL-HACK, M. E. *et al.* Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **International Journal of Biometeorology**, v. 66, p. 2183–2194, 2022.

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC international**. 16. ed. Arlington, VA: AOAC International, 1995.

BOSCOLO, W. R.; HAYASHI, C.; MEURER, F. Digestibilidade aparente dos nutrientes e energia de alimentos convencionais e alternativos para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, p. 539–545, 2002.

CASTILLO, Julian David Alvarado *et al.* Determining the daily digestible protein intake for Nile tilapia at different growth stages. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 43, p. 54–63, 2017.

CHOWDHURY, M. A. Kabir *et al.* Bioenergetics-Based Factorial Model to Determine Feed Requirement and Waste Output of Tilapia Produced under Commercial Conditions. **Aquaculture**, v. 410–411, p. 138–147, 10 out. 2013.

EL-SAYED, A. F. M. **Tilapia culture**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2019.

EL-SAYED, Abdel-Fattah M.; TESHIMA, Shin-Ichi. Protein and energy of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 103, p. 55–63, 1992.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action**. Rome: FAO, 2024.

FERNANDES, Ademir Calvo *et al.* The effect of digestible protein to digestible energy ratio and choline supplementation on growth, hematological parameters, liver steatosis and size-sorting stress response in Nile tilapia under field condition. **Aquaculture**, v. 456, p. 83–93, 2016.

FIALHO, N. S. *et al.* Environmental sustainability of Nile tilapia net-cage culture in a neotropical region. **Ecological Indicators**, v. 129, p. 108008, 2021.

FOLCH, H. J.; LEES, M.; STANLEY, G. H. S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. **The Journal of biological chemistry**, v. 226, n. 1, p. 497–509, 1957.

FURUYA, Wilson Massamitu *et al.* Coeficientes de Digestibilidade e Valores de Aminoácidos Digestíveis de Alguns Ingredientes para Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 4, p. 1143–1149, 2001.

GONÇALVES, G. S. *et al.* Level of digestible protein and digestible energy in diets for Nile tilapia formulated based on the concept of ideal protein. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 12, 2009a.

GONÇALVES, G. S. *et al.* Energia e nutrientes digestíveis de alimentos para a tilápia do Nilo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 35, p. 201- 213 [In Portuguese], 2009b.

GONÇALVES, Giovani Sampaio *et al.* Digestibilidade aparente e suplementação de fitase em alimentos vegetais para tilápia do Nilo. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, n. 3, p. 313–321, 2004.

GUIMARÃES, I. G. *et al.* Nutrient Digestibility of Cereal Grain Products and By-products in Extruded Diets for Nile Tilapia. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 39, p. 781–789, 2008.

GUIMARÃES, I. G.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M. Amino acid availability and protein digestibility of several protein sources for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 14, p. 396–404, 2008.

HUANG, Yo Ping; KHABUSI, Simon Peter. Artificial Intelligence of Things (AIoT) Advances in Aquaculture: A Review. **Processes**, v. 13, n. 1, p. 73, 2025.

KOCH, J. F. A. *et al.* Protein-to-energy ratio of 21.43 g MJ⁻¹ improves growth performance of Nile tilapia at the final rearing stage under commercially intensive rearing conditions. **Aquaculture Nutrition**, v. 23, n. 3, p. 560–570, 2017.

LIM, Chhorn. **Practical Feeding-Tilapias**. 1989.

- LIN, L. I. K. A Concordance Correlation Coefficient to Evaluate Reproducibility. **Biometrics**, v. 45, p. 255–268, 1989.
- PERES, H. *et al.* Growth performance and metabolic responses of Nile tilapia fed diets with different protein to energy ratios. **Aquaculture**, v. 547, n. September 2021, p. 737493, 2022.
- PEZZATO, L. E. E. *et al.* Digestibilidade Aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, p. 1595–1604, 2002.
- RODEHUTSCORD, M. *et al.* Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 45, n. 1, p. 85–92, fev. 2004.
- RODRIGUES, Andressa T. *et al.* Ideal profile of essential amino acids for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the finishing growth phase. **Aquaculture Research**, v. 51, n. 11, p. 4724–4735, 1 nov. 2020.
- ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: Composição de alimentos e exigências nutricionais**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2024.
- SALES, James. The use of linear regression to predict digestible protein and available amino acid contents of feed ingredients and diets for fish. **Aquaculture**, v. 278, n. 1–4, p. 128–142, 10 jun. 2008.
- SEN, Kamallesh *et al.* Artificial intelligence in aquaculture: Advancing sustainable fish farming through AI-driven monitoring, optimization, and disease management. **Aquaculture**, v. 614, p. 743602, mar. 2026.
- VALENTI, W. C. *et al.* Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. **Ecological Indicators**, v. 88, p. 402–413, 2018.
- VAN TRUNG, Dinh *et al.* Development of a nutritional model to define the energy and protein requirements of tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 320, n. 1–2, p. 69–75, 19 out. 2011.
- VIDAL, L. V. O. *et al.* Apparent digestibility of soybean coproducts in extruded diets for Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture Nutrition**, v. 23, n. 2, p. 228–235, 2017a.
- VIDAL, L. V. O. *et al.* Apparent digestibility of wheat and coproducts in extruded diets for the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 18, n. 3, p. 479–491, 1 abr. 2017b.
- VIDAL, Luiz Vítor Oliveira *et al.* Apparent protein and energy digestibility and amino acid availability of corn and co-products in extruded diets for Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 46, n. 2, p. 183–190, 2015.
- VÍTOR, Luiz *et al.* Mathematical modeling for digestible protein in animal feeds for tilapia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 6, p. 1346–1352, 2012.
- XAVIER, Tadeu Orlandi. *et al.* Apparent Protein and Energy Digestibility and Amino Acid Availability of Commercial Meat and Bone Meal for Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 45, n. 4, p. 439–446, 2014.