

AVALIAÇÃO INTEGRATIVA DO IMPACTO DA INCLUSÃO DE BLACK SOLDIER FLY LARVAE NA DIGESTIBILIDADE, EXCREÇÃO DE NUTRIENTES E PEGADA AMBIENTAL DE DIETAS PARA CÃES

CAROLINA D. MICHELETTI¹, LEONARDO A. PRÍNCIPE¹; EDUARDA L. FERNANDES¹; LUANA D. DOS SANTOS¹; GABRIELA L. F. FINARDI¹; MATHEUS H. DOS SANTOS¹; NICHOLAS S. SANTIAGO¹; JENNIFER MACHADO¹; BIANCA M. P. NOGUEIRA¹; PEDRO H. MARCHI¹; JÚLIO C. C. BALIEIRO¹; THIAGO H. A. VENDRAMINI^{1,2}

¹Centro de Pesquisa em Nutrologia de Cães e Gatos - CEPEN PET (FMVZ/USP) ²Serviço de Nutrologia de Cães e Gatos, FMVZ/USP

Contato: carolinadantas.vet@gmail.com / Apresentador: CAROLINA D. MICHELETTI

Resumo: A demanda por sustentabilidade na nutrição de pets exige estratégias que reduzam o impacto ambiental sem perdas nutricionais. Este estudo avaliou a inclusão de farinha de larvas de mosca soldado negra (BSFL) na dieta de seis cães adultos saudáveis em delineamento de quadrados latinos 3×3. Foram testadas três dietas: 0% BSFL [36,4% farinha de vísceras de frango (FVF); 0,0% BSFL], 50% BSFL (18,2% FVF; 21,0% BSFL) e 100% BSFL (0,0% FVF; 42,0% BSFL). A inclusão de BSFL reduziu a digestibilidade da matéria orgânica (87,3% para 84,2%) e da proteína bruta (84,8% para 80,7%), mantendo valores acima de 80%. A substituição total elevou o consumo anual de massa (86,7 para 92,4 kg), a produção fecal (39,7 para 53,5 kg) e o potencial de emissão de gases (39,7 para 46,9 kg CO₂eq), mas reduziu o uso de terra (-92,5%) e o consumo hídrico (-64,6%). A excreção fecal de N aumentou 39,1%, enquanto a de P caiu 33,3% na dieta 50% BSFL. A substituição total reduziu a ingestão de mercúrio (-33,3%) e chumbo (-18,2%). Conclui-se que a BSFL é uma alternativa viável, reduzindo recursos naturais e exposição a metais tóxicos, mantendo digestibilidade e metabolismo proteico adequados.

Palavras-Chaves: digestibilidade; fluxo de nutrientes; proteína de inseto; sustentabilidade

INTEGRATIVE EVALUATION OF THE IMPACT OF BLACK SOLDIER FLY LARVAE INCLUSION ON DIGESTIBILITY, NUTRIENT EXCRETION, AND ENVIRONMENTAL FOOTPRINT OF DOG DIETS

Abstract: The demand for sustainability in pet nutrition requires strategies that reduce environmental impact without compromising nutritional quality. This study evaluated the inclusion of black soldier fly larvae meal (BSFL) in the diet of six healthy adult dogs using a 3×3 Latin square design. Three diets were tested: 0% BSFL [36.4% poultry by-product meal (PBM); 0.0% BSFL], 50% BSFL (18.2% PBM; 21.0% BSFL), and 100% BSFL (0.0% PBM; 42.0% BSFL). BSFL inclusion reduced the apparent digestibility of organic matter (87.3% to 84.2%) and crude protein (84.8% to 80.7%), while remaining above 80%. Total replacement increased annual intake (86.7 to 92.4 kg), fecal output (39.7 to 53.5 kg), and greenhouse gas emissions potential (39.7 to 46.9 kg CO₂eq), but reduced land use (-92.5%) and water consumption (-64.6%). Fecal nitrogen excretion increased by 39.1%, while phosphorus excretion decreased by 33.3% in the 50% BSFL diet. Total replacement reduced mercury (-33.3%) and lead (-18.2%) intake. In conclusion, BSFL is a viable nutritional alternative, reducing natural resource use and exposure to toxic metals while maintaining adequate digestibility and protein metabolism.

Keywords: digestibility; insect protein; nutrient flux; sustainability

Introdução: A demanda por sustentabilidade na nutrição de pets tem impulsionado estratégias que reduzam o impacto ambiental sem comprometer a adequação nutricional (Ye et al., 2022). Proteínas animais convencionais estão associadas a alto uso de recursos e emissões (Su & Martens, 2018), e, em países com grande população de cães, como o Brasil, a alimentação contribui significativamente para o uso de terra e água (Okin, 2017). Nesse contexto, a farinha de black soldier fly larvae (BSFL) surge como alternativa promissora por converter resíduos orgânicos em proteína de alto valor com menor demanda de recursos (Smetana et al., 2019). No entanto, estimativas de sustentabilidade ainda se baseiam majoritariamente em modelos teóricos, com pouca validação in vivo (Boakye-Yiadom et al., 2022). Assim, este estudo avaliou os efeitos da inclusão de BSFL na digestibilidade e na pegada ambiental de dietas para cães.

Material e Métodos: Seis cães adultos (23,0 ± 2,7 kg; 5,3 ± 1,03 anos; ECC 5/9), hígidos, foram distribuídos em dois quadrados latinos 3×3 (três períodos de 22 dias). Avaliaram-se três dietas extrusadas com substituição de farinha de vísceras por BSFL: 0% BSFL [36,4% farinha de vísceras de frango (FVF); 0,0% BSFL], 50% BSFL (18,2% FVF; 21,0% BSFL) e 100% BSFL (0,0% FVF; 42,0% BSFL). A necessidade energética de manutenção (NEM) baseou-se em 95 kcal × PC_{0,75}. Entre o 16º e 21º dia, realizou-se a coleta total de fezes para determinação do coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) via análise bromatológica. O impacto ambiental anual foi projetado adaptando-se Okin (2017) e Su & Martens (2018). Estimou-se o consumo energético das fontes animal e inseto para isolar o impacto causado pela proteína. A produção fecal úmida e o volume urinário (débito 1,5 mL/h/kg) foram projetados anualmente. O potencial de emissão de gases (kgCO₂eq), uso de terra (ha) e consumo hídrico (L) integraram fatores de impacto de cada ingrediente (milho, arroz, aves e BSFL). O fluxo de materiais (N e P) baseou-se no balanço de massa (Gameiro et al., 2018), sendo entradas via consumo e saídas via CDA in vivo (N) e coeficientes de referência (P). A segurança mineral foi testada por espectrometria (ICP-OES) para metais pesados (Al, Cr, Cd, Ni, Pb, Hg, As), com limpeza rigorosa do sistema (água Milli-Q e HNO₃ 1%) para evitar contaminação cruzada.

Resultado e Discussão: A inclusão de BSFL reduziu o coeficiente de digestibilidade aparente da matéria orgânica e da proteína bruta em comparação à dieta controle (P < 0,05), embora os valores tenham permanecido acima de 80%, caracterizando dietas de alta digestibilidade (Tabela 1). Esse resultado indica que a redução no aproveitamento dos nutrientes

não compromete a adequação nutricional, sustentando a viabilidade da substituição. A substituição progressiva da farinha de vísceras por BSFL promoveu mudanças relevantes nos indicadores ambientais (Tabela 2; Figura 1), com redução de 92,5% no uso de terra e 64,6% no consumo hídrico na dieta 100% BSFL, evidenciando maior eficiência no uso de recursos naturais e reforçando seu potencial como alternativa sustentável (Smetana et al., 2019). Em contrapartida, houve aumento na produção fecal e na excreção de nitrogênio, refletindo menor digestibilidade e retenção proteica (Boakye-Yiadom et al., 2022), o que evidencia um trade-off entre eficiência metabólica e ganhos ambientais. Nesse contexto, a redução da ingestão anual estimada de mercúrio e chumbo com a substituição total por BSFL (Tabela 3) destaca-se como um avanço em segurança alimentar, considerando o caráter cumulativo desses contaminantes em alimentos comerciais (Zafalon et al., 2021).

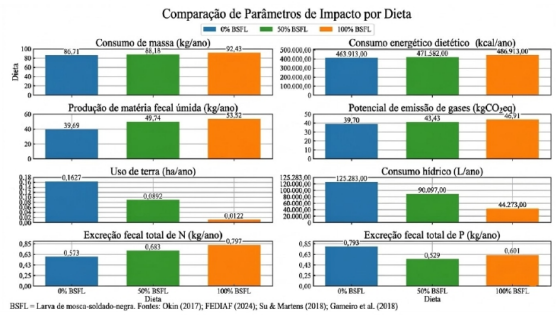


Figura 1. Comparação de parâmetros de impacto ambiental e nutricional entre três dietas com diferentes níveis de inclusão de farinha de larva de mosca soldado negra (BSFL: 0%, 50% e 100%). Os gráficos de barras mostram as médias anuais para (A) Massa consumida (kg), (B) Ingestão energética dietética (kcal), (C) Produção de matéria fecal úmida (kg), (D) Emissões potenciais de gases de efeito estufa (kgCO₂eq), (E) Uso de terra (ha), (F) Consumo de água (L), (G) Excreção total de nitrogênio fecal (kg) e (H) Excreção total de fósforo fecal (kg).

Tabela 1. Coeficientes de digestibilidade aparente dos nutrientes (%) das dietas experimentais.

Variável (%)	Alimento experimental			EPM	P-value
	0% BSFL	50% BSFL	100% BSFL		
Materia seca	84,55	81,44	81,60	1,05	0,0717
Materia organica	87,35 ^A	84,2 ^B	84,21 ^B	0,88	0,0280
Proteina bruta	84,88 ^A	80,93 ^B	80,78 ^B	1,21	0,0227
Extrato etéreo	96,19	96,77	97,20	0,65	0,5677
Materia mineral	45,27	40,70	47,72	3,48	0,3039
Extrativos não nitrogenados	90,17 ^{AB}	89,8 ^B	92,38 ^A	0,64	0,0381

BSFL = black soldier fly larvae; EPM = erro padrão da média. ^{AB} As médias seguidas por letras diferentes nas linhas diferenciam de 5% no teste de Tukey-Kramer ajustado pelo PROC MIXED.

Tabela 2. Indicadores de sustentabilidade e pegada ambiental anual de dietas experimentais.

Parâmetro de impacto	Alimento experimental		
	0% BSFL	50% BSFL	100% BSFL
Consumo de massa (kg/ano)	86,71	88,18	92,43
Consumo energético dietético (kcal/ano)	465.913,00	471.582,00	486.913,00
Produção de matéria fecal úmida (kg/ano)	39,69	49,74	53,52
Potencial de emissão de gases (kgCO ₂ eq)	39,70	43,43	46,91
Uso de terra (ha/ano)	0,1627	0,0892	0,0122
Consumo hídrico (L/ano)	123.283,00	90.097,00	44.273,00
Excreção fecal total de N (kg/ano)	0,573	0,683	0,797
Excreção fecal total de P (kg/ano)	0,793	0,529	0,601

BSFL = black soldier fly larvae

Tabela 3. Concentração de metais tóxicos (ppm MS) e estimativa do consumo anual (mg/ano) por cães adultos alimentados com as dietas experimentais.

Elemento	Nível máximo tolerável ¹ (ppm)	Alimento experimental		Ingestão ²	
		0% BSFL (ppm MS)	100% BSFL (ppm MS)	0% BSFL (mg/ano)	100% BSFL (mg/ano)
Alumínio (Al)	200	125,84	150,32	13303,00	15806,00
Arsenio (As)	12,5	0,76	2,74	81,00	288,00
Cádmio (Cd)	10	7,34	7,79	776,00	819,00
Cromo (Cr)	10	4,46	3,55	472,00	373,00
Níquel (Ni)	50	5,14	3,91	543,00	411,00
Chumbo (Pb)	10	27,82	22,89	2941,00	2407,00
Mercúrio (Hg)	0,27	13,44	9,02	1421,00	948,00

BSFL = black soldier fly larvae; MS = matéria seca; ppm = partes por milhão ¹FDA = Food & Drug Administration (2011) ²Os valores de ingestão foram calculados com base no consumo médio diário de 310,22 g/animal do experimento *in vivo*.

Conclusão: Conclui-se que a inclusão de BSFL em dietas para cães reduz substancialmente o uso de terra, o consumo hídrico e a exposição a metais potencialmente tóxicos, mantendo adequada digestibilidade dos nutrientes. Assim, a BSFL apresenta potencial como ingrediente estratégico para formulação de dietas mais sustentáveis na indústria de pet food.

Agradecimentos: Ao CEPEN Pet e a Universidade de São Paulo, nosso sincero agradecimento pelo apoio e incentivo à pesquisa, fundamentais para a realização deste e de diversos outros trabalhos.

Referências Bibliográficas: BOAKYE-YIADOM, K. A.; ILARI, A.; & DUCA, D. Greenhouse gas emissions and life cycle assessment on the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.). Sustainability, v. 14, n. 16, p. 10456, 2022. GAMEIRO, A. H.; BONAUDO, T.; & TICHIT, M. Nitrogen, phosphorus and potassium accounts in the Brazilian livestock agro-industrial system. Regional Environmental Change, v. 19, 2018. OKIN, G. S. Environmental impacts of food consumption by dogs and cats. PLOS ONE, v. 12, n. 8, e0181301, 2017. SMETANA, S.; SCHMITT, E.; & MATHYS, A. Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. Resources, Conservation and Recycling, v. 144, p. 285-296, 2019. SU, B.; MARTENS, P. Public health implications of pet food consumption: environmental sustainability perspective. Sustainability, Basel, v. 10, n. 7, p. 1-12, 2018. YE, H.; BHATT, S.; DEUTSCH, J.; & SURI, R. Is there a market for upcycled pet food?. Journal of Cleaner Production, v. 343, p. 130960, 2022. ZAFALON, R.

V. A.; PEDREIRA, R. S.; VENDRAMINI, T. H. A.; RENTAS, M. F.; PEDRINELLI, V.; RODRIGUES, R. B. A.; RISOLIA, L. W.; PERINI, M. P.; AMARAL, A. R.; BALIEIRO, J. C. C.; PONTIERI, C. F. F.; & BRUNETTO, M. A. Toxic element levels in ingredients and commercial pet foods. *Scientific Reports*, v. 11, p. 21007, 2021.