

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE MEDICINA
CURSO DE NUTRIÇÃO

TARCILA MARTINS BARCELOS OLIVEIRA FREITAS

**POTENCIAL NUTRICIONAL DE *TENEbrio MOLITOR*: EFEITO DO MÉTODO
DE SECAGEM NA COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA E NA RECUPERAÇÃO DE
PROTEÍNAS.**

UBERLÂNDIA

2026

TARCILA MARTINS BARCELOS OLIVEIRA FREITAS

**POTENCIAL NUTRICIONAL DE *TENEBRIO MOLITOR*: EFEITO DO MÉTODO
DE SECAGEM NA COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA E NA RECUPERAÇÃO DE
PROTEÍNAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Medicina da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para obtenção
do título de bacharel em Nutrição

Área de concentração: Nutrição

Orientadora: Vivian Consuelo Reolon Schmidt

Co-orientadora: Danielle Oliveira Borges

UBERLÂNDIA

2026

Dedico este trabalho a minha família, que nunca mediu esforços para que eu pudesse ter acesso ao conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me ter sustentado durante todo o caminho, à minha família pelo apoio incondicional e aos amigos pelo companheirismo.

Agradeço à orientadora Vivian Consuelo Reolon Schmidt e à coorientadora Danielle Oliveira Borges pelo incentivo e pela orientação técnica ao longo de minha jornada acadêmica. Ao professor Onacir Jorge Costa pela orientação técnica. Ao Laboratório de Bromatologia, ao Laboratório de Bromatologia e Nutrição Animal e à Rede de Laboratórios Multiusuários.

Agradeço à empresa BeFert - Nutrição Orgânica pelo incentivo e pelo fornecimento da matéria-prima para o desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

Os insetos vêm sendo estudados como uma alternativa inovadora para a alimentação humana, em razão de seu perfil nutricional, de sua distribuição global e da necessidade de implantação de sistemas de produção de alimentos mais sustentáveis. O objetivo deste estudo foi avaliar a composição centesimal, o impacto do método de secagem na recuperação de proteínas a partir de farinhas de *Tenebrio molitor* e o potencial de uso dessas proteínas na alimentação humana. Foram obtidas farinhas experimentais submetidas à liofilização e à liofilização seguida de secagem em estufa, sendo utilizada uma farinha comercial como controle. Todas as amostras foram submetidas à caracterização bromatológica e à extração alcalina assistida por ultrassom. Os resultados demonstraram que os métodos de secagem não influenciaram significativamente os teores de proteína das farinhas, que variaram de 47,2% a 50,5%. Entretanto, na fração proteica obtida após a extração alcalina, a farinha submetida exclusivamente à liofilização apresentou maior teor de proteína (66,04%) em comparação à farinha submetida à secagem mista (65,63%), enquanto a farinha comercial apresentou 69,76%. Para os demais parâmetros bromatológicos avaliados, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Conclui-se que as farinhas de *T. molitor* apresentaram elevado teor proteico, compatível com valores reportados na literatura, e que a liofilização favoreceu a recuperação de proteínas após a extração alcalina, evidenciando o potencial da farinha de *T. molitor* como ingrediente proteico para aplicação na alimentação humana.

Palavras-chave: Insetos comestíveis; Proteína alternativa; Farinha; Inseto; extração alcalina.

ABSTRACT

Edible insects have been studied as an innovative alternative for human food due to their nutritional profile, global distribution, and the need to implement more sustainable food production systems. The aim of this study was to evaluate the proximate composition, the impact of drying methods on protein recovery from *Tenebrio molitor* flours, and the potential use of these proteins in human food. Experimental flours were obtained by freeze-drying and freeze-drying followed by oven drying, with commercial insect flour used as a control. All samples underwent proximate composition analysis and ultrasound-assisted alkaline extraction. The results showed that the drying methods did not significantly affect the protein content of the flours, which ranged from 47.2% to 50.5%. However, in the protein fraction obtained after alkaline extraction, the flour subjected exclusively to freeze-drying showed a higher protein content (66.04%) compared with the flour subjected to combined drying (65.63%), while the commercial flour presented 69.76%. No significant differences were observed among treatments for the other proximate composition parameters evaluated. It was concluded that *T. molitor* flours presented a high protein content, consistent with values reported in the literature, and that freeze-drying favored protein recovery after alkaline extraction, highlighting the potential of *T. molitor* flour as a protein ingredient for use in human food.

Keywords: Edible insects; Alternative protein; Flour; Insect; Alkaline extraction

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BE	Farinha experimental submetida à secagem mista liofilização seguida de secagem em estufa
BL	Farinha experimental submetida apenas à liofilização
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
IE	Farinha comercial de <i>Tenebrio molitor</i>
Lip	Teor de lipídeos
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
Protprec	Teor de proteínas da fração precipitada após extração alcalina assistida por ultrassom
Protsob	Teor de proteínas da fração sobrenadante após extração alcalina assistida por ultrassom

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. MÉTODOS.....	8
2.1 Materiais	8
2.2 Proteína	9
2.3 Lipídeos.....	10
2.4 Cinzas.....	11
2.5 Extração Alcalina com tratamento de ultrassonografia	12
2.6 Análise estatística.....	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	13
4. CONCLUSÃO.....	18
REFERÊNCIAS	19

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas, em 2024, cerca de 2,3 bilhões de pessoas viviam em condição de insegurança alimentar moderada a grave, enquanto 2 bilhões não tinham acesso regular a alimentos nutritivos e seguros. Situação que inclui cerca de 45 milhões de crianças menores de cinco anos afetadas pela desnutrição e 148 milhões com crescimento atrofiado devido à oferta insuficiente de energia e nutrientes (UNITED NATIONS, 2025). Segundo a FAO (2013), dietas sustentáveis são aquelas com baixo impacto ambiental, que contribuem para a segurança alimentar e nutricional e para uma vida sustentável para as gerações presentes e futuras. Entre as estratégias para atender a essa demanda destaca-se a busca por fontes alternativas de proteínas, incluindo os insetos comestíveis.

Os insetos apresentam elevado potencial nutricional e baixo impacto ambiental, sendo consumidos por aproximadamente dois bilhões de pessoas em diferentes regiões do mundo (FAO, 2013). Além do elevado teor de proteínas, lipídios e micronutrientes, sua produção demanda menor uso de recursos naturais e está associada a menores emissões de gases de efeito estufa quando comparada à pecuária convencional (Oonincx; de Boer, 2012; Dreyer et al., 2021). Entre as espécies de maior interesse destaca-se a larva de *Tenebrio molitor*, que apresenta cerca de 50 g de proteína e 30 g de lipídios por 100 g de matéria seca, além de fácil manejo e ciclo de vida curto (Adámková et al., 2017; Muñoz-Seijas et al., 2024).

O uso de insetos como farinha se apresenta como uma estratégia promissora para a introdução desta matéria prima à alimentação humana, isso porque o processamento e incorporação em alimentos comumente consumidos como pães e barras energéticas, pode reduzir a exposição visual do inseto e algumas barreiras que constituem a rejeição destes. Essa abordagem pode contribuir para minimizar a neofobia alimentar e favorecer a aceitação dos consumidores, especialmente em contextos nos quais o consumo de insetos não é tradicional. Além disso, a incorporação de pós de insetos em produtos alimentícios pode contribuir para o enriquecimento nutricional das preparações (Amoah et al., 2023).

Estudos anteriores caracterizaram a composição química da farinha de *T. molitor* (Adámková et al., 2017; Muñoz-Seijas et al., 2024), avaliaram a digestibilidade e o isolamento de proteínas por extração alcalina assistida por ultrassom (Zhang et al., 2023) e demonstraram seu potencial como ingrediente para enriquecimento nutricional de alimentos, como pães, salsichas e brownies (Gantner et al., 2022; Zielińska; Pankiewicz; Sujka, 2021;

Ho et al., 2022). Entretanto, ainda são limitados os estudos que comparam diferentes métodos de secagem e sua influência sobre a composição bromatológica e a recuperação proteica das farinhas.

No âmbito regulatório, a União Europeia autorizou o uso da farinha de *T. molitor* na indústria de alimentação humana, permitindo a comercialização de alimentos enriquecidos com a farinha por marcas como *The Insect Cafe* e *Portugal Bugs* (*Portugal Bugs* traz insetos para a alimentação dos portugueses, 2023; *The Insect Cafe*, [S.d.]). Na América Latina, empresas como *Criks Superfoods*, *Insect Food*, *GriYUM* e *INPROTIN* já comercializam alimentos produzidos a partir de insetos (*Insectos Comestibles de América Latina*, [s.d.]). No Brasil, alimentos para consumo humano ainda não podem ser comercializados, mas empresas como Biofábrica São Luís, Fazenda Tenebrioso e *Insect Frass* comercializam as larvas de *T. molitor* para criação e alimentação animal (Biofábrica São Luís – Venda De *Tenebrio Molitor* e Gigante, [S.d.]; O que eles pensam, [S.d.]; Tenebrioso Insetos, [S.d.]).

O presente estudo teve como objetivo avaliar e comparar a composição bromatológica de duas farinhas de inseto produzidas experimentalmente com a farinha comercial, por meio da determinação dos teores de proteínas, com e sem extração alcalina seguida de tratamento por ultrassom, de lipídeos e de cinzas. Além disso, buscou-se analisar a influência de diferentes métodos de secagem nas características nutricionais das farinhas, a fim de investigar seu potencial como alternativa alimentar para consumo humano.

2. MÉTODOS

2.1 Materiais

A matéria-prima foi produzida experimentalmente para este estudo com duas intervenções. As farinhas foram obtidas a partir das larvas de *T. molitor in natura*, gentilmente cedidas pela empresa BeFert - Nutrição Orgânica, situada em Uberlândia, Minas Gerais. Para a obtenção das amostras, as larvas de *T. molitor* foram congeladas em freezer vertical a -18 °C, por 24 horas, pesadas e divididas em dois grupos. O primeiro grupo foi de secagem mista submetido à liofilização, seguido de secagem em estufa, e o segundo, apenas à liofilização, para avaliar se o tratamento térmico poderia influenciar a composição centesimal da farinha.

As amostras do grupo submetido à liofilização seguida de secagem em estufa foram distribuídas em 10 frascos coletor universal e acondicionadas no liofilizador LIOTOP-L101 a -50 °C por 25 horas. Posteriormente, cerca de 150 g de amostra liofilizada foram distribuídas em 10 placas de Petri e submetidas à secagem em estufa a 105 °C por 16 horas e 30 minutos. Posteriormente, as amostras secas foram trituradas com o auxílio de um triturador de café manual de inox, com lâmina de cerâmica, para a obtenção da farinha de estudo, aqui denominada por farinha sigla BE.

Cerca de 280 g de amostra foram distribuídas em 10 frascos coletor universal e submetidos exclusivamente à liofilização. Foram acondicionadas no liofilizador LIOTOP-L101 a -50 °C por 62 horas. Ao fim do processo, as amostras foram trituradas com o auxílio de um triturador de café manual de inox, com lâmina de cerâmica, para obtenção da farinha, identificada por BL.

Além das farinhas produzidas experimentalmente, foi adquirida uma farinha comercial, aqui referida como IE, no e-commerce da empresa de alimentação animal Insect Frass, situada em Campo Bom, Rio Grande do Sul. Essa farinha foi utilizada como material controle para comparação dos parâmetros bromatológicos avaliados e apresentava teor de umidade padronizado pelo fabricante.

2.2 Proteína

O teor de proteínas foi determinado pelo método de Kjeldahl, com base na determinação de nitrogênio total da amostra. Aproximadamente 0,15 g de cada amostra (BE, BL e IE) foi pesada em triplicata em papel filtro e quantitativamente transferida para os tubos de digestão micro Kjeldahl, totalizando em nove determinações experimentais. Adicionaram-se 0,5 g de mistura catalítica e 4 mL de ácido sulfúrico concentrado a cada tubo, que foram então alocados no bloco digestor, onde a temperatura foi elevada gradualmente até 390 °C.

A digestão prosseguiu por 3 horas, apresentando coloração homogênea azul-translúcida, indicando a completa digestão da matéria orgânica e a conversão do nitrogênio em sulfato de amônio. Após a digestão, os tubos foram retirados do bloco e mantidos na capela até o desprendimento completo dos gases.

Após o resfriamento, adicionaram-se 5 mL de água destilada a cada tubo e os tubos foram agitados até a completa homogeneização. A cada amostra, foram adicionados 20 mL de hidróxido de sódio a 50%, de coloração vermelha, para alcalinizar o meio e liberar amônia

(NH₃). A mudança de cor do vermelho para o azul foi utilizada como indicador de alcalinização adequada.

Os tubos foram acoplados ao sistema de destilação com condensador, no qual a amônia foi destilada e sofreu arraste a vapor, sendo condensada e recolhida em um erlenmeyer de 250 mL contendo 20 mL de solução de ácido bórico a 4%. A destilação foi interrompida após a coleta de 125 mL de destilado.

O destilado contendo borato de amônio foi titulado com solução de HCl 0,06 N. O ponto final da titulação foi identificado pela mudança de cor do indicador presente no ácido bórico de azul para vermelho. O volume de HCl consumido foi registrado para fins de cálculo. O teor de nitrogênio (%N) e de proteína bruta (%PB) foram calculados conforme a equação 1 e o fator de conversão de 6,25 foi utilizado para converter nitrogênio em proteína bruta.

$$\% \text{ de proteína bruta (PB)} = [(V - B) \times N \times 0,014 \times 6,25 / m] \times 100 \quad (1)$$

onde:

V = volume de HCl gasto na titulação

B = volume de HCl gasto no branco.

N = normalidade da solução de HCl (0,06 N).

0,014 = massa equivalente do nitrogênio (1 meq de N = 0,014 g).

6,25 = fator de conversão.

m = massa da amostra.

2.3 Lipídeos

A determinação de lipídeos foi realizada pelo método de Soxhlet, conforme o Instituto Adolfo Lutz (2008), e a análise das amostras foi realizada em triplicata. A farinha de inseto foi pesada (aproximadamente 1,5 g) em um cartucho de papel-filtro e submetida à estufa a 105 °C por 24 horas, para eliminar a interferência da umidade na extração lipídica. Após a secagem, a amostra foi resfriada em um dessecador.

O cartucho foi então posicionado no interior do corpo do extrator de Soxhlet. Um balão de fundo chato, previamente seco em estufa a 105 °C, resfriado em dessecador e tarado na balança analítica, foi preenchido com 150 ml de éter de petróleo. O sistema foi montado

acoplado-se o balão, o extrator e o condensador; o processo de extração foi mantido por 3 horas.

O balão contendo o extrato lipídico foi levado à estufa a 55 °C por 24 horas e a 105 °C por 4 horas para eliminar quaisquer traços de solvente remanescente. Em seguida, o balão foi resfriado em dessecador e pesado novamente na balança analítica.

O teor de extrato etéreo foi calculado com base na diferença entre as massas inicial e final do balão, utilizando a fórmula (2).

$$\% \text{ de Extrato Etéreo (Lipídios)} = [(M_f - M_i) / m] \times 100 \quad (2)$$

Onde:

M_f = massa final do balão com o extrato lipídico (g)

M_i = massa inicial do balão vazio e seco (g)

m = massa da amostra seca utilizada na extração (g)

2.4 Cinzas

A determinação de cinzas totais foi realizada conforme a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), que consiste na mensuração do resíduo mineral inorgânico remanescente após a queima completa da matéria orgânica.

Aproximadamente 2,5 g de cada amostra de farinha de inseto foram pesados diretamente no interior de cada cadinho tarado, transferidos para o forno mufla e submetidos a 550 °C por 4 horas, até a obtenção de um resíduo de coloração acinzentada clara.

Após o período de incineração, os cadinhos foram retirados da mufla e imediatamente colocados no dessecador para resfriamento até atingirem a temperatura ambiente (25 °C). Após o resfriamento, os cadinhos foram pesados novamente.

O teor de cinzas totais foi calculado com base na massa do resíduo mineral remanescente, utilizando a fórmula (3).

$$\% \text{ de Cinzas Totais} = [(M_{CF} - M_C) / m] \times 100 \quad (3)$$

onde:

M_{CF} = massa final do cadinho com as cinzas (g)

M_C = massa inicial do cadinho vazio e limpo (g)

m = massa da amostra utilizada (g)

2.5 Extração Alcalina com tratamento de ultrassonografia

A extração alcalina com tratamento por ultrassonografia foi realizada com os dois grupos de farinha experimental e o grupo de farinha comercial controle, de acordo com o proposto por Zhang et al. (2023), que também analisaram as amostras de farinha de *T. molitor*. O tratamento por ultrassonografia foi realizado com ajustes, uma vez que o equipamento disponível não dispunha de controle térmico. As amostras foram maceradas em almofariz de porcelana e peneiradas para uniformizar a granulometria. Posteriormente, as amostras passaram pelo processo de desengorduramento pelo método de Soxhlet, para reduzir a interferência lipídica na extração proteica.

As farinhas moídas e desengorduradas foram dispersas em água destilada na proporção massa-para-volume de 1:3 (p/v), e as misturas foram agitadas a 2.900 rpm no agitador magnético SL-90 SOLAB até a completa homogeneização. Foi realizado o ajuste do pH da suspensão para 10,0 com NaOH 1 M, e a suspensão foi homogeneizada em agitador por 1 hora.

Então, no tratamento com ultrassom a 42 kHz em cuba ultrassônica Cristófoli, que foi realizado a fim de potencializar a extração proteica, a suspensão com pH 10,0 foi submetida ao tratamento ultrassônico realizado em cuba ultrassônica sem controle automático de temperatura por 30 minutos. As análises foram conduzidas em ambiente climatizado, e as amostras foram mantidas na faixa de temperatura de 25 °C a 30 °C, monitoradas por meio de termômetro de mercúrio. Após o tratamento com ultrassom, as soluções foram acondicionadas em tubos Falcon e resfriadas a 4 °C.

A suspensão foi centrifugada a 3.610 g por 20 minutos para obter o sobrenadante e o precipitado, que foram separados. O precipitado foi novamente ressuspensão e centrifugado duas vezes. Os sobrenadantes combinados tiveram seu pH ajustado ao ponto isoelétrico da farinha de inseto (pI = 4,30-4,50) com HCl 1,0 M.

A mistura foi incubada por 1 hora a 25 °C, acondicionada em tubos Falcon e mantida no refrigerador até atingir 4 °C, e, em seguida, centrifugada por 20 minutos.

O precipitado obtido foi coletado, redissolvido em água destilada e o pH ajustado para 7,0 com NaOH 1 mol/L. As soluções proteicas obtidas foram submetidas a congelamento em freezer vertical a -18 °C e liofilizadas em LIOTOP-L101 por 64 horas, e posteriormente

pesadas. Por fim, as amostras foram submetidas à análise do teor de proteínas pelo método de Kjeldahl já descrito anteriormente.

2.6 Análise estatística

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 3 repetições. Houve parcela perdida para uma das variáveis nesses casos; foi realizada a ANOVA com dados desbalanceados. A ANOVA depende das pressuposições de normalidade e independência dos resíduos e homogeneidade das variâncias, observar esses detalhes garantem a robustez no teste F e no teste de comparação múltipla, e consequentemente, a confiabilidade nos resultados. Foram realizados os testes de Shapiro-Wilk para normalidade, de Durbin-Watson para independência e de Bartlett para homogeneidade. (MORAIS (2001); PIMENTEL-GOMES (2000); BANZATTO e KRONKA (1995)). Para variáveis nas quais algum pressuposto não seja satisfeito, mesmo após transformações, utilizou-se a inferência não paramétrica, na qual, nos casos de DIC, a alternativa é o teste de Kruskal-Wallis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados referentes à análise bromatológica das farinhas experimentais e da farinha comercial controle estão apresentados nas tabelas 1 e 2, incluindo os teores de proteína, cinzas e extrato etéreo, bem como o teor de proteínas associadas à extração alcalina com tratamento por ultrassom, tanto para a fração do precipitado quanto para a do sobrenadante desengordurado. Os resultados obtidos para a farinha comercial se assemelham aos dados especificados pelo fornecedor. Estes dados são próximos aos achados para a farinha experimental e o proposto pela literatura

Tabela 1. Teores médios de proteína das farinhas e da fração proteica precipitada após extração alcalina.

Tratamento	Proteína ¹	Protprec ¹
BL	47,2 a	77,95 a
BE	49,8 a	72,83 b
IE	50,5 a	70,74 b
CV%	4,83	1,18

Pressupostos	<i>W</i>=0,93	<i>W</i> = 0,85;
	<i>B</i>=4,82	<i>B</i>= 1,44;
	<i>DW</i>=1,76	<i>DW</i> = 2,63

¹Médias seguidas por letras distintas na coluna se diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância; *CV*: coeficiente de variação da variável sem transformação; *W*, *B* e *DW*: estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos, Bartlett para homogeneidade de variâncias e Durbin-Watson para independência dos resíduos, respectivamente; Valores em negrito indicam resíduos normalmente distribuídos e independentes e variâncias homogêneas ao nível de 0,05 de significância.³Transformação raiz quadrada; BL: Farinha experimental submetida apenas à liofilização; BE: Farinha experimental submetida à secagem; IE: Farinha comercial de *Tenebrio molitor*; Protprec: Teor de proteínas da fração precipitada após extração alcalina assistida por ultrassom.

Fonte: Próprio Autor

Quanto ao teor de proteína, as farinhas experimentais independentes do método de secagem não diferem da farinha comercial controle, sendo as amostras BL, BE e IE iguais estatisticamente a nível de 5%. A proximidade nos valores de proteína das farinhas experimentais e da farinha comercial controle indica que os métodos de secagem não alteraram significativamente a quantidade total de proteína presente nas amostras. Os achados (variação entre 47,2% e 50,5%) se assemelham ao proposto pelo fornecedor da farinha comercial e à literatura, que varia entre 48% e 53% (Muñoz-Seijas *et al.*, 2024).

A fração sobrenadante submetida ao tratamento de extração alcalina com ultrassom e secagem mista apresentou menor teor de proteína entre as amostras experimentais. Assim o valor proteico da amostra BL foi maior que para a BE e, estas não se diferiram estatisticamente à nível de 5% da amostra IE. Assim, estes resultados sugerem que os tratamentos influenciaram as propriedades estruturais e funcionais das proteínas.

Tabela 2. Teores médios de proteína da fração proteica sobrenadante após extração alcalina, cinzas e lipídeos.

Tratamento	Protsob ¹	Cinzas ²	Lip ¹
BL	66,04 ab	5,61 a	28,21 b
BE	65,63 b	5,31 a	28,37 b
IE	69,76 a	5,68 a	32,06 a
CV%	2,32	4,05	1,95
Pressupostos	<i>W</i> = 0,95; <i>B</i> = 1,02; <i>DW</i> = 2,13	<i>W</i> = 0,92; <i>B</i> = 7,66; <i>DW</i> = 2,34	<i>W</i> = 0,92; <i>B</i> = 5,46; <i>DW</i> = 3,24

¹Médias seguidas por letras distintas na coluna se diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância;² Medianas seguidas por letras distintas na coluna se diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis ao nível de 0,05 de significância *CV*: coeficiente de variação da variável sem transformação; *W*, *B* e *DW*: estatísticas dos testes de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos, Bartlett para homogeneidade de variâncias e Durbin-Watson para independência dos resíduos,

respectivamente; Valores em negrito indicam resíduos normalmente distribuídos e independentes e variâncias homogêneas ao nível de 0,05 de significância; BL: Farinha experimental submetida apenas à liofilização; BE: Farinha experimental submetida à secagem; IE: Farinha comercial de *Tenebrio molitor*; Protsob: Teor de proteínas da fração sobrenadante após extração alcalina assistida por ultrassom.

Fonte: Próprio Autor

A semelhança nos teores proteicos das farinhas indica que os métodos de secagem não alteraram significativamente a quantidade total de proteína nas amostras. Entretanto, as diferenças observadas nos teores proteicos obtidos após a extração alcalina assistida por ultrassom na fração precipitada sugerem que os tratamentos influenciaram as propriedades estruturais e funcionais das proteínas.

A exposição prolongada ao calor na estufa, durante a circulação de ar forçado, pode promover desnaturação proteica, agregação intermolecular e interações proteína-proteína e proteína-lípido. Essas alterações podem reduzir a solubilidade proteica em meio alcalino e, conseqüentemente, a eficiência de sua extração (Azagoh *et al.*, 2016; Zhang, *et al.*, 2022).

A secagem por liofilização, por sua vez, ocorre por meio da sublimação sob condições de temperatura e pressão controladas, nas quais a água congelada é removida diretamente do estado sólido para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido. Esse processo permite a desidratação do material a baixas temperaturas e tende a preservar as estruturas sensíveis ao calor, como as proteínas (Pardeshi *et al.*, 2023).

Considerando que os métodos de secagem podem influenciar as propriedades das proteínas de *T. molitor*, a combinação das técnicas de liofilização seguida de secagem em estufa pode apresentar potencial tecnológico para conciliar a preservação da qualidade do ingrediente com a viabilidade do processamento, embora sua aplicação em escala industrial e sua vantagem econômica ainda necessitem ser investigadas (Kröncke *et al.*, 2018).

Kröncke *et al.* (2018) observaram que a solubilidade das proteínas de *T. molitor* foi maior nas amostras liofilizadas e secas a vácuo, quando comparadas às submetidas a outros métodos de secagem, como leito fluidizado, micro-ondas e estufa. Os autores associaram esses resultados ao processo de oxidação lipídica, à reação de Maillard e à desnaturação das proteínas induzidas pelo tratamento térmico.

Em conjunto, os dados demonstram que os métodos de secagem influenciam a disponibilidade e a solubilidade das proteínas, afetando sua recuperação durante o processo de extração. Dessa forma, a liofilização mostrou-se mais eficiente na recuperação proteica do que a secagem mista.

As proteínas desempenham um papel nutricional importante, sendo responsáveis pelo

fornecimento de aminoácidos essenciais à síntese proteica, à manutenção dos tecidos corporais e à regulação de diversas funções fisiológicas. Adicionalmente, apresentam propriedades funcionais que influenciam diretamente a qualidade dos alimentos, incluindo capacidade de retenção de água, emulsificação, gelificação, formação de espumas e textura (Boland; Kaur; Acevedo-Fani, 2025; Małecki; Muszyński; Sołowiej, 2021).

Nesse contexto, o elevado teor proteico observado no produto é uma característica desejável, pois agrega valor nutricional e pode contribuir para melhorias nas propriedades tecnológicas e físico-químicas do alimento, ampliando seu potencial de aplicação na formulação de produtos para a alimentação humana (Boland; Kaur; Acevedo-Fani, 2025; Małecki; Muszyński; Sołowiej, 2021).

A farinha de inseto aqui estudada apresentou variação de 47 a 50% no teor de proteína e pode ser comparado a outros alimentos, como a soja possui cerca de 35 a 40%, leite de vaca cerca de 3,4%, ovo 12,6%, alga marinha com variação de 20% a 60% a depender do tipo, carne bovina 27%, suína 25%, cordeiro 25% e aves com 23%. Proteínas que já são comercializadas *in natura* e também utilizadas na tecnologia de alimentos, e que em função e teor proteico se equiparam, sendo assim, a proteína proveniente da farinha de *Tenebrio molitor* é uma opção competitiva entre fontes proteicas convencionais e não convencionais, e se destaca por seu baixo impacto ambiental (Drewnowski, 2024; Dreyer *et al.*, 2021; Małecki; Muszyński; Sołowiej, 2021).

Em relação ao teor de cinzas, nenhuma das amostras difere entre si, sendo BL, BE e IE estatisticamente iguais. Os valores encontrados (5,31% a 5,68%) são ligeiramente maiores do que os propostos pela literatura, que variam entre 2,86% e 4,84%, diferença que pode estar associada ao substrato de criação, já que a utilização de diferentes fontes alimentares pode resultar em variações nos teores de proteínas, lipídios e minerais presentes na biomassa (Hanif; Apriantini; Endrawati, 2023).

Além disso, os teores de cinzas estão relacionados ao conteúdo mineral da amostra, estes últimos participam de importantes funções fisiológicas no metabolismo humano. Nesse contexto, estudos demonstram que o *Tenebrio molitor* é rico em potássio, ferro, magnésio, cálcio e zinco, além de biotina (B7), riboflavina (B2), ácido pantotênico (B5), vitamina B12, vitamina C, podendo ser um alimento benéfico para a alimentação humana (Gkinali *et al.*, 2022; Muñoz-Seijas *et al.*, 2024).

Os resultados encontrados para o extrato etéreo mostraram-se estatisticamente iguais para BL e BE, que diferem dos encontrados para IE, que apresentou o maior teor de lipídios. Os teores lipídicos encontrados (28,01% a 32,06%) estão de acordo com os propostos pela literatura, que variam entre 24% e 37% (Hanif; Apriantini; Endrawati, 2023; Muñoz-Seijas *et al.*, 2024). A diferença no teor de lipídeos entre as farinhas experimentais e a comercial pode estar associada a fatores ambientais e ao substrato de criação que podem diferir de acordo com o produtor, neste estudo não especificado, mas impactam diretamente no valor nutricional do *T. molitor* (Syahrulawal *et al.*, 2023).

Ademais, o perfil lipídico apresentado é composto por ácidos graxos monoinsaturados (37 a 55%), sendo representados pelos ácidos palmitoleico e oleico, ácidos graxos saturados (23 a 34%), como os ácidos palmítico e esteárico, e poli-insaturados (11,28 a 39,85%), protagonizados pelo ácido linoleico (Gkinali *et al.*, 2022; Muñoz-Seijas *et al.*, 2024).

Existe também um desequilíbrio na proporção de ácidos graxos ômega-6 para ômega-3 (2,5 a 50), que está associada a obesidade e outras doenças, entretanto a readaptação da dieta dos insetos com uma ração composta por substratos ricos em ácidos graxos ômega-3, poderia otimizar esse parâmetro e atingir níveis ótimos de proporção (entre 2,5:1 a 5:1)(Gkinali *et al.*, 2022; Muñoz-Seijas *et al.*, 2024).

A farinha de insetos é composta majoritariamente por ácidos graxos mono e poli-insaturados, que estão associados a efeitos positivos em saúde, quando comparados aos ácidos graxos saturados. Do ponto de vista tecnológico, os lipídios contribuem para o teor calórico, textura, aparência e palatabilidade, mas a presença de AGPI reduz a estabilidade e a vida útil do produto, o que pode aumentar os gastos com a produção e o armazenamento (Gkinali *et al.*, 2022). Sendo assim, a farinha de insetos apresenta aspectos positivos e negativos do ponto de vista nutricional e tecnológico para sua aplicação na nutrição humana.

Os insetos representam uma fonte inovadora e sustentável de energia e nutrientes para a alimentação humana, com potencial de aplicação no desenvolvimento de produtos alimentícios. Neste estudo, a análise bromatológica permitiu caracterizar a farinha comercial de *T. molitor* e as farinhas experimentais obtidas por diferentes métodos de secagem, bem como comparar os resultados com dados reportados na literatura.

A farinha comercial apresentou composição compatível com as informações fornecidas pelo fornecedor, enquanto as farinhas experimentais apresentaram diferenças no

teor de proteínas recuperadas na fração precipitada após a extração alcalina assistida por ultrassom. Os resultados indicaram que o método de secagem influenciou a recuperação proteica, sendo a liofilização mais eficiente do que a secagem em estufa. Por outro lado, para os demais parâmetros bromatológicos avaliados, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos.

4. CONCLUSÃO

O *Tenebrio molitor* apresenta composição nutricional relevante e potencial de utilização como ingrediente alimentar. Além disso, os resultados obtidos demonstram que a escolha do método de secagem pode impactar a obtenção de frações proteicas, constituindo um fator importante para o aproveitamento tecnológico desse inseto. Entretanto, para viabilizar sua ampla inserção na alimentação humana, são necessários estudos adicionais que avaliem aspectos relacionados à segurança microbiológica, ao potencial alergênico, ao desenvolvimento de produtos, ao armazenamento e à aceitabilidade pelos consumidores. Também se destaca a importância do avanço da regulamentação nacional para a produção e comercialização de produtos à base de insetos destinados ao consumo humano.

REFERÊNCIAS

ADÁMKOVÁ, Anna; MLČEK, Jiří; KOUŘIMSKÁ, Lenka; BORKOVCOVÁ, Marie; BUŠINA, Tomáš; ADÁMEK, Martin; BEDNÁŘOVÁ, Martina; KRAJSA, Jan. Nutritional Potential of Selected Insect Species Reared on the Island of Sumatra. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S.l.], v. 14, n. 5, 11de mai deo 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph14050521>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/14/5/521>. Acesso em: 9 jun. 2026.

AMOAHA, Isaac et al. Edible insect powder for enrichment of bakery products: a review of nutritional, physical characteristics and acceptability of bakery products to consumers. **Future Foods**, [S. l.], v. 8, p. 100251, 2023. DOI: 10.1016/j.fufo.2023.100251. Disponível em: ScienceDirect. Acesso em: 13 ago. 2026.

AZAGOH, C.; DUCEPT, F.; GARCIA, R.; RAKOTOZAFY, L.; CUVELIER, M.-E.; KELLER, S.; LEWANDOWSKI, R.; MEZDOUR, S. Extraction and physicochemical characterization of *Tenebrio molitor* proteins. **Food Research International**, Ottawa, Ont., v. 88, n. Pt A, p. 24–31, out. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.06.010>.

BARRE, Annick; PICHEREAUX, Carole; VELAZQUEZ, Esmeralda; MAUDOUIT, Agathe; SIMPLICIEN, Mathias; GARNIER, Lorna; BIENVENU, Françoise; BIENVENU, Jacques; BURLET-SCHILTZ, Odile; AURIOL, Cédric; BENOIST, Hervé; ROUGÉ, Pierre. Insights into the Allergenic Potential of the Edible Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*). **Foods**, [S.l.], v. 8, n. 10, p. 515, 18 out. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods8100515>.

BIOFÁBRICA SÃO LUÍS – VENDA DE *TENÉBRIO MOLITOR* E DE GIGANTE. [S.d.]. Disponível em: <https://biofabricasaoluis.com.br/>. Acesso em: 9 jun. 2026.

BOLAND, Mike; KAUR, Lovedeep; ACEVEDO-FANI, Alejandra. Food Proteins: Processing, Interactions, Functionality and Bioavailability. **Foods**, [S.l.], v. 14, n. 5, 2 mar. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods14050857>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/5/857>. Acesso em: 19 jun. 2026.

COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2022/169 OF 8 FEBRUARY 2022 AUTHORISING THE PLACING ON THE MARKET OF FROZEN, DRIED AND POWDER FORMS OF YELLOW MEALWORM (*TENEBRIO MOLITOR* LARVA) AS A NOVEL FOOD UNDER REGULATION (EU) 2015/2283 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, AND AMENDING COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2017/2470 (TEXT WITH EEA RELEVANCE). OJ L. v. 028. [S.l.]: [S.n.], 8 fev. 2022. Disponível em: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2022/169/oj. Acesso em: 9 jun. 2026.

DREWNOWSKI, Adam. Perspective: The Place of Pork Meat in Sustainable Healthy Diets. **Advances in Nutrition**, [S.l.], v. 15, n. 5, p. 100213, 18 mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100213>.

DREYER, Moritz; HÖRTENHUBER, Stefan; ZOLLITSCH, Werner; JÄGER, Henry; SCHADEN, Lisa-Marie; GRONAUER, Andreas; KRAL, Iris. Environmental life cycle assessment of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) production for human consumption in Austria – a comparison of mealworm and broiler as protein source. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S.l.], v. 26, 1 nov. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01980-4>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Edible insects: prospects for food and feed security. **Rome: FAO, 2013.** (FAO Forestry Paper, 171). Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/c7851ad8-1b4b-4917-b1a1-104f07ab830d/content>. Acesso em: 1 jul. 2026.

GANTNER, Magdalena; KRÓL, Katarzyna; PIOTROWSKA, Anna; SIONEK, Barbara; SADOWSKA, Anna; KULIK, Klaudia; WIĄCEK, Mateusz. Adding Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) Powder to Wheat Bread: Effects on Physicochemical, Sensory and Microbiological Qualities of the End-Product. **Molecules**, [S.l.], v. 27, n. 19, 19 set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27196155>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/19/6155>. Acesso em: 9 jun. 2026.

GKINALI, Alkmini-Anna; MATSAKIDOU, Anthia; VASILEIOU, Evangelos; PARASKEVOPOULOU, Adamantini. Potencial dos ingredientes à base de larvas de *Tenebrio molitor* para a indústria alimentícia: uma revisão. **Trends in Food Science & Technology**, [S.l.], v. 119, p. 495–507, 1 jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.024>.

HANIF, I.; APRIANTINI, A.; ENDRAWATI, Y. C. Review: Nutritional Contents and Bioactive Compounds of Mealworm (*Tenebrio molitor*) as Edible Insect. **Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan**, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 153–162, 29 out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.29244/jipthp.11.3.153-162>.

HO, Isaac; PETERSON, Adelynn; MADDEN, Jack; HUANG, Evan; AMIN, Samir; LAMMERT, Amy. Will It Cricket? Product Development and Evaluation of Cricket (*Acheta domesticus*) Powder Replacement in Sausage, Pasta, and Brownies. **Foods**, [S.l.], v. 11, n. 19, 7 out. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11193128>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/19/3128>. Acesso em: 9 jun. 2026.

INSECTOS COMESTIBLES DE AMÉRICA LATINA. **Apical**. [S.d.]. Disponível em: <https://apical.la/>. Acesso em: 9 jun. 2026.

KRÖNCKE, Nina; BÖSCHEN, Verena; WOYZICHOVSKI, Jan; DEMTRÖDER, Sebastian; BENNING, Rainer. Comparação de processos de secagem adequados para larvas de tenébrio (*Tenebrio molitor*). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [S.l.], v. 50, p. 20–25, 1 dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.009>.

MAŁECKI, Jan; MUSZYŃSKI, Siemowit; SOŁOWIEJ, Bartosz G. Proteins in Food Systems—Bionanomaterials, Conventional and Unconventional Sources, Functional Properties, and Development Opportunities. **Polymers**, [S.l.], v. 13, n. 15, p. 2506, 29 jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym13152506>.

MIGLIETTA, Pier Paolo; LEO, Federica De; RUBERTI, Marcello; MASSARI, Stefania. Mealworms for Food: A Water Footprint Perspective. **Water**, [S.l.], v. 7, n. 11, p. 6190–6203, 5 nov. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w7116190>.

MUÑOZ-SEIJAS, Nuno; FERNANDES, Helena; LÓPEZ-PERIAGO, José Eugenio; OUTEIRIÑO, David; MORÁN-AGUILAR, María Guadalupe; DOMÍNGUEZ, José Manuel; SALGADO, José Manuel. Characterization of all life stages of *Tenebrio molitor*: Envisioning innovative applications for this edible insect. **Future Foods**, [S.l.], v. 10, p. 100404, 1 dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100404>.

O MACARRÃO FEITO DE INSETOS QUE DIVIDE OS ITALIANOS - BBC NEWS BRASIL. [S.d.]. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/c030pd9dz4po>. Acesso em: 9 jun. 2026.

O QUE ELES PENSAM. **Ybynsect**. [S.d.]. Disponível em: <https://ybynsect.com.br/o-que-eles-pensam/>. Acesso em: 9 jun. 2026.

OONINCX, Dennis G. A. B.; DE BOER, Imke J. M. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans - a life cycle assessment. **PloS One**, [S.l.], v. 7, n. 12, p. e51145, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>.

PARDESHI, Sagar R.; DESHMUKH, Nilesh S.; TELANGE, Darshan R.; NANGARE, Sopan N.; SONAR, Yogesh Y.; LAKADE, Sameer H.; HARDE, Minal T.; PARDESHI, Chandrakantsing V.; GHOLAP, Amol; DESHMUKH, Prashant K.; MORE, Mahesh P. Process development and quality attributes for the freeze-drying process in pharmaceuticals, biopharmaceuticals and nanomedicine delivery: a state-of-the-art review. **Future Journal of Pharmaceutical Sciences**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 99, 7 nov. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s43094-023-00551-8>.

PORTUGAL BUGS TRAZ INSETOS PARA A ALIMENTAÇÃO DOS PORTUGUESES. **U.Porto Inovação**. 15 dez. 2023. Disponível em: <https://www.upin.up.pt/pt-pt/content/portugal-bugs-traz-insetos-alimentacao>. Acesso em: 9 jun. 2026.

SYAHRULAWAL, Linggawastu; TORSKE, Magnhild Oust; SAPKOTA, Rumakanta; NÆSS, Geir; KHANAL, Prabhat. Improving the nutritional values of yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae as an animal feed ingredient: a review. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, [S.l.], v. 14, p. 146, 3 dez. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00945-x>.

TAKE ACTION FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS. **United Nations Sustainable Development**. [S.d.]. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. Acesso em: 9 jun. 2026.

TEKCAN, Demet; CELIK, İlknur; ARTAÇ, Hasibe. Yellow mealworm (*Tenebrio molitor*): A rare cause of chronic urticaria. **Revue Française d'Allergologie**, [S.l.], v. 65, p. 104255, 1 maio 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.reval.2025.104255>.

TENEBRIOSO INSETOS. **Tenebrioso Insetos**. [S.d.]. Disponível em: <https://www.tenebriosoinsetos.com.br/>. Acesso em: 9 jun. 2026.

THE INSECT CAFE. **The Insect Cafe**. [S.d.]. Disponível em: <https://theinsectcafe.com/>. Acesso em: 9 jun. 2026.

UNITED NATIONS. **The Sustainable Development Goals Report 2025**. New York: United Nations, 2025. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2025/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2025.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2026.

WEN, Siying; ZHOU, Guanghong; SONG, Shangxin; XU, Xinglian; VOGLMEIR, Josef; LIU, Li; ZHAO, Fan; LI, Mengjie; LI, Li; YU, Xiaobo; BAI, Yun; LI, Chunbao. Discrimination of in vitro and in vivo digestion products of meat proteins from pork, beef, chicken, and fish. **Proteomics**, [S.l.], v. 15, n. 21, p. 3688–3698, nov. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pmic.201500179>.

ZHANG, Fengxue; XU, Yining; KONG, Baohua; CHEN, Qian; FANGDA, Sun; ZHANG, Hongwei; LIU, Qian. Comparative study of two types of pre-extraction treatment (drying or non-drying) on

physicochemical, structural and functional properties of extracted insect proteins from *Tenebrio molitor* larvae. **Current Research in Food Science**, [S.l.], v. 5, p. 1570–1580, 1 jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.09.004>.

ZHANG, Fengxue; YUE, Qiang; LI, Xin; KONG, Baohua; SUN, Fangda; CAO, Chuanai; ZHANG, Hongwei; LIU, Qian. Mecanismos subjacentes aos efeitos da extração alcalina assistida por ultrassom nas propriedades estruturais e na digestibilidade *in vitro* da proteína da larva de *Tenebrio molitor*. **Ultrasonics Sonochemistry**, [S.l.], v. 94, p. 106335, 1 mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106335>.

ZIELIŃSKA, Ewelina; PANKIEWICZ, Urszula; SUJKA, Monika. Nutritional, Physiochemical, and Biological Value of Muffins Enriched with Edible Insects Flour. **Antioxidants**, [S.l.], v. 10, n. 7, 13 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox10071122>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3921/10/7/1122>. Acesso em: 9 jun. 2026.