

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ENGENHARIA DE ALIMENTOS

PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE PROTEÍNAS DE INSETOS COMESTÍVEIS

Isabela Cristine Braga de Oliveira

Montes Claros

2023

Isabela Cristine Braga de Oliveira

PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE PROTEÍNAS DE INSETOS COMESTÍVEIS

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Alimentos do Instituto de Ciências Agrárias
da Universidade Federal de Minas Gerais,
como requisito parcial para o grau de
bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Bruna Mara
Aparecida de Carvalho Mesquita

Montes Claros
Instituto de Ciências Agrárias - UFMG
2023

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Agrárias
Campus regional de Montes Claros
Curso Engenharia de Alimentos

FOLHA DE APROVAÇÃO

Isabela Cristine Braga de Oliveira.

Processos de extração de proteínas de insetos comestíveis.

Trabalho de conclusão de curso submetido a banca examinadora como requisito para obtenção de grau de bacharel em ENGENHARIA DE ALIMENTOS pelo Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, área de concentração ENGENHARIA DE ALIMENTOS.

Aprovado em 30 de novembro de 2023, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a) Bruna Mara Aparecida de Carvalho Mesquita – Orientadora
ICA/UFMG

Prof(a) Caroline Liboreiro Paiva
ICA/UFMG

Carolina Magalhães Caires Carvalho – Técnica-Administrativa
ICA/UFMG

Montes Claros, 08 de dezembro de 2023.

“A minha família, pelo apoio”.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por se fazer presente em cada detalhe da minha vida e por ter me dado forças e ter me sustentado diante dos obstáculos e dificuldades encontradas durante essa caminhada. A Nossa Senhora por me abençoar e interceder por mim.

A minha família, pelas orações, pelo cuidado, preocupação e apoio. Em especial aos meus pais Isabel e Humberto e a minha irmã Yasmin, minha melhor amiga, pelo incentivo e por acreditar na minha capacidade.

A minha madrinha Regina, pelas orações, pelo apoio e por sempre torcer por mim.

A minha orientadora prof.^a Bruna, pela orientação, por tantos ensinamentos e pela paciência. Ser humano e profissional excepcional. Sempre aprendi muito com a sua simplicidade. Uma inspiração para mim.

A técnica Carol, por não medir esforços para me ajudar sempre que precisei, especialmente enquanto estive realizando experimentos em laboratório. Pessoa pela qual tenho grande carinho e admiração.

Aos técnicos Flávia e Sandro, pelos ensinamentos e pela ajuda enquanto estive realizando experimentos em laboratório.

A prof.^a Carol, por aceitar o convite para participar da banca e por todos os ensinamentos transmitidos a mim durante a graduação. Excelente profissional e uma pessoa que admiro muito.

A Bruna Larissa, Cristielle, Maria Eduarda e Tawana, amigas que conquistei na UFMG, pelo companheirismo e por me ajudarem tanto durante essa caminhada, contribuindo para que eu conseguisse chegar até aqui.

A todos os professores do curso de engenharia de alimentos, pelos conhecimentos transmitidos a mim durante essa jornada.

Ao Instituto de Ciências Agrárias da UFMG e a todos os servidores que de alguma forma contribuíram para a realização desse sonho. Minha eterna gratidão a todos vocês.

RESUMO

As proteínas são componentes nutricionais importantes na dieta humana pois trazem inúmeros benefícios a saúde dos indivíduos, como melhorias na redução de peso, saciedade, fatores de risco cardiometabólicos, entre outros. Devido à projeção de aumento da população e escassez de recursos agrícolas, os insetos comestíveis têm se tornado uma alternativa viável para atender à demanda humana por proteína, pois dispõe de aproximadamente 60% de proteínas, podendo variar entre 7% e 91% em peso. Os insetos comestíveis apresentam alta eficiência de conversão alimentar, demandam menor quantidade de água, são responsáveis por emissão relativamente baixa de efeito estufa e amônia e etc, sendo sustentáveis e causando menos impactos ao meio ambiente em comparação a outras fontes de proteína. As proteínas de insetos podem enriquecer os alimentos e trazer benefícios tecnológicos a produtos cárneos e de panificação por exemplo. Nessa revisão foram abordados sobre os principais processos de extração de proteínas de insetos encontrados na literatura, entre eles a extração alcalina, ácida, por sal, assistida por enzima e por campos elétricos pulsados.

Palavras-chave: Alimentos alternativos. Mecanismos de obtenção de proteínas.
Proteínas de insetos.

ABSTRACT

Proteins are important nutritional components in the human diet as they bring numerous health benefits to individuals, such as improvements in weight reduction, satiety, cardiometabolic risk factors, among others. Due to the projected increase in population and scarcity of agricultural resources, edible insects have become a viable alternative to meet human demand for protein, as they contain approximately 60% protein, which can vary between 7% and 91% by weight. Edible insects have high food conversion efficiency, require less water, are responsible for relatively low emissions of greenhouse gases and ammonia, etc., being sustainable and causing less impact on the environment compared to other sources of protein. Insect proteins can enrich foods and bring technological benefits to meat and bakery products, for example. This review covered the main processes for extracting proteins from insects found in the literature, including alkaline, acid, salt, enzyme-assisted and pulsed electric field extraction.

Keywords: Alternative foods. Mechanisms for obtaining proteins. Insect proteins.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. INSETOS COMESTÍVEIS NA ALIMENTAÇÃO HUMANA.....	9
3. PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE PROTEÍNAS DE INSETOS	15
4. CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1. INTRODUÇÃO

A proteína é um macronutriente fundamental na dieta humana, uma vez que é uma fonte imprescindível de aminoácidos que trazem benefícios a saúde e ao bem-estar dos indivíduos (JIMÉNEZ-MUNOZ; TAVARES; CORREDIG, 2021). Dietas ricas em proteínas fornecem melhorias na redução de peso, saciedade, fatores de risco cardiometabólicos, concentrações do colesterol HDL, triglicerídeos e insulina e diminuição de massa livre de gordura (SANTESSO *et al.*, 2012; WYCHERLEY *et al.*, 2012). Além disso, vale ressaltar que a baixa ingestão de proteínas aumenta o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares, diabetes e obesidade (BAUM; KIM; WOLFE, 2016).

A qualidade da proteína normalmente é referente a composição de aminoácidos essenciais e a digestibilidade da mesma no corpo humano depois do consumo. As proteínas animais como a carne, os ovos e o leite possuem aminoácidos completos (SHAMS-WHITE *et al.*, 2018), ou seja, apresentam todos os nove aminoácidos indispensáveis, que são a histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina (NOSENKO, 2017). Geralmente, as proteínas de origem animal exibem alta digestibilidade, isto é, a maior parte pode ser usada pelo corpo após a digestão (PAIVARINTA *et al.*, 2020; HARWATT, 2019).

Devido ao aumento constante da população mundial, atrelada ao aumento da necessidade de proteína animal, a sustentabilidade de sistemas agrícolas e alimentares é, atualmente, um dos principais gargalos das agroindústrias. Garantir fontes proteicas, com menor impacto ambiental tem se tornado cada vez mais desafiador. Assim sendo, insetos comestíveis tornam-se uma alternativa viável para abastecer a população global, uma vez que são responsáveis por uma emissão relativamente baixa de gases de efeito estufa e amônia em comparação as atividades agrícolas, agropecuárias e pesqueiras (POMA *et al.*, 2017).

De forma geral, insetos comestíveis possuem altos níveis de proteínas de alta qualidade em termos de valor nutricional e tipos de aminoácidos essenciais quando comparados as proteínas de origem vegetal e animal (BUKKENS, 2005 *apud* CASTRO *et al.*, 2018; RUMPOLD; SCHLUTER, 2013). O teor de proteínas da maior parte dos insetos é de aproximadamente 60 %, sendo que esse valor pode variar entre 7% e 91% em peso seco (VAN HUIS, 2016). Além das diferenças existentes entre eles, outros aspectos como estágio de desenvolvimento (MISHYNA *et al.*, 2019;

ROOS, 2018) e sexo (KULMA *et al.*, 2019) podem influenciar sobre o conteúdo de proteína presente nos mesmos. O teor de gordura é de 10-50% (MLCEK *et al.*, 2014), sendo a segunda maior fração da composição nutricional dos insetos. Esses também fornecem minerais como cálcio, ferro, magnésio, manganês, fósforo, selênio e zinco e podem ser uma fonte de vitaminas como a riboflavina, ácido pantotênico, biotina e, em alguns casos, o ácido fólico (NOWAK *et al.*, 2016; RUMPOLD; SCHLUTER, 2013).

Os mecanismos de extração de proteínas são importantes para garantir a qualidade e alto rendimento das mesmas na indústria de alimentos. É importante estudar esses mecanismos para se otimizar e modelar os processos, verificando dessa forma se os investimentos para execução desses métodos são vantajosos. Essa revisão teve como objetivo discutir sobre os processos de extração de proteínas de insetos. Além disso objetivou-se indicar quais são as proteínas normalmente encontradas nos insetos comestíveis e a importância destas para o ser humano.

2. INSETOS COMESTÍVEIS NA ALIMENTAÇÃO HUMANA

Os indícios indicam que os insetos faziam parte da dieta humana desde os tempos pré-históricos, sendo um alimento essencial para as primeiras populações (RAUBENHEIMER; ROTHMAN, 2013; SUTTON, 1995). Alguns insetos como besouros, vespas, abelhas e outros eram constantemente representados em cenas de caça e as expressões que representavam os mesmos nem sempre eram compreensíveis, porém para os artistas e suas comunidades certamente tinham explicação (FROST, 1937). Segundo Baiano (2020) em razão da abundância e do valor nutritivo dos insetos certamente o consumo desses foi fundamental na dieta dos primeiros humanos.

Atualmente os insetos são consumidos em 11 países da Europa, 14 países da Oceania, 23 países americanos, 29 países da Ásia e 35 países africanos, sendo que os principais países consumidores e aqueles que apresentam maior número de espécies de insetos são México, China, Tailândia e Índia (Jongema, 2017 *apud* BAIANO, 2020).

Em torno de 70 anos atrás o planeta Terra abrigava aproximadamente 2,6 bilhões de pessoas. A partir da década de 1950, o crescimento da população acelerou e em 1987 por volta de 5 bilhões de indivíduos viviam no mundo, sendo que em 1999 apontou-se mais 1 bilhão. Doze anos depois, estimou-se que a população global foi

de 7 bilhões. É esperado que a população aumente para 9,7 bilhões em 2050 e até 11 bilhões no ano de 2100 (CADINU *et al.*, 2020).

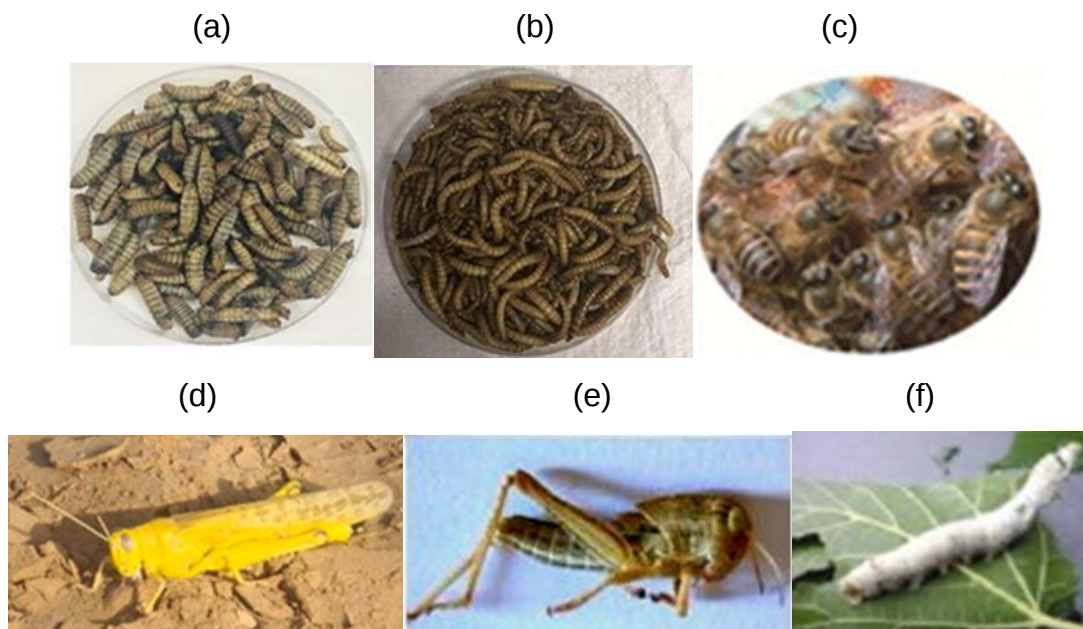
A vista disso, é incontestável o desequilíbrio entre a disponibilidade de pastagens e a demanda por alimentos (GOLDFRAY *et al.*, 2010). A agricultura já faz uso de cerca de 30% da terra disponível no planeta (United Nations, 2017; Food and Agriculture Organization, 2019), entretanto até 70% é utilizado para produção industrial de gado, que é uma das atividades que mais atinge desfavoravelmente os recursos da Terra (RITCHIE; ROSADO; ROSER, 2019).

O sistema de produção de carne em 2050, que terá uma população de aproximadamente 9,7 bilhões de pessoas não será capaz de suportar adequadamente o aumento da demanda por essa fonte proteica e prevê-se um crescimento no consumo per capita de cerca de 9% nos países mais ricos até 2030 (RITCHIE; ROSADO; ROSER, 2019). Nessa mesma época, o preço da safra irá experimentar um aumento mundial, elevando o preço da carne em torno de 20% (MSANGI; ROSEGRANT, 2020 *apud* CADINU *et al.*, 2020).

Os insetos comestíveis exibem quantidades interessantes de proteínas de alta qualidade, em razão de apresentarem todos os aminoácidos essenciais nas proporções adequadas (BELLUCO *et al.*, 2013; COLLAVO *et al.*, 2005 *apud* BAIANO, 2020) e podem suprir o aumento da demanda por proteína animal e impedir o desmatamento para uso em pastagens (POMA *et al.*, 2017). Estes dispõem de uma ótima composição nutricional, não só por ter uma alta concentração de aminoácidos em comparação a outras fontes, mas também pela potencialidade de cumprir com princípios sustentáveis, saudáveis, acessíveis e possível de serem apreciados sensorialmente (RUTTEN *et al.*, 2016; YNSECT, 2018).

Os insetos podem ser criados para a alimentação humana e animal e têm potencial para serem completamente domesticados e criados em cativeiro ou parcialmente criados em cativeiro, mudando o *habitat* do inseto para ampliar a produção, porém, sem separá-los de suas populações (FENG *et al.*, 2018). Entre os insetos completamente domesticados estão as larvas, alguns besouros e baratas e entre os parcialmente domesticados estão as vespas, gafanhotos, lagartas de bambu, larvas do gorgulho das palmeiras e libélulas (VAN HUIS *et al.*, 2013). Outros como a mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), a mosca doméstica comum (*Musca domestica*) e a larva da farinha amarela (*Tenebrio molitor*) convertem de forma eficiente os resíduos orgânicos (BAIANO, 2020) (Figura 1).

Figura 1 – Imagens de alguns insetos comestíveis. (a) Larvas da *Hermetia illucens*; (b) Larvas do *Tenebrio molitor*; (c) *Apis mellifera*; (d) *Schistocerca gregaria*; (e) *Locusta migratoria*; (f) Larva de *Bombyx mori* L



Fonte: (a) e (b) Lawal *et al.*, 2022.; (c) Feng *et al.*, 2015.; (d) Maeno *et al.*, 2023.; (e) Hamouda *et al.*, 2009.; (f) Surendra *et al.*, 2023.

Os principais motivos para que os insetos sejam considerados como fontes de proteína alternativa com potencial sustentável são a alta eficiência de conversão alimentar (VAN HUIS, 2013), os ciclos de vida curtos e as altas taxas de reprodução (SUN-WATERHOUSE *et al.*, 2016). Apesar da variabilidade específica que se referem a estudos de casos particulares, informações quantitativas mostram que em média o gado necessita consumir 6 kg de proteínas vegetais para produzir 1 kg de proteína animal de alta qualidade (VAN HUIS, 2013). A quantidade de ração para obter 1 kg de carne que equivale a um aumento de peso de 1 kg, depende da classe de animais e do sistema de criação. Por exemplo, contabiliza-se que são indispensáveis 2,5 kg de ração para galinhas, 5 kg para suínos e até 10 kg para bovinos (SMIL, 2002). Para os grilos a diferença é surpreendente, são necessários 1,7 kg de ração para aumentarem 1 kg de peso (COLLAVO *et al.*, 2005 *apud* CADINU *et al.*, 2020).

De acordo com Oonincx *et al.* (2010) o ciclo de vida dos insetos tem um impacto ambiental bastante reduzido quando comparado a pecuária, sendo que 18% do total de gases do efeito estufa pode ser ligados a pecuária, enquanto que, com relação aos insetos, as emissões por ano são mais de 100 vezes menores. O gado de corte produz

em média 2850 kg de CO₂ por quilograma de ganho de massa e os suínos até 1130 kg de CO₂ por quilograma de ganho de massa, já o *Pachnoda marginata*, *Blaptica dubia*, *Locusta migratoria*, *Tenebrio molitor* e *Acheta domesticus* geram respectivamente 122, 38, 18, 6 e 2 kg de CO₂ por quilograma de ganho de massa, mostrando como a criação de insetos pode ser mais vantajosa.

A criação de gado demanda grande quantidade de água e é um problema grave, pois conforme a FAO Water (2013), em 2025, dois terços do planeta terão que enfrentar a escassez desse recurso. A água utilizada para produzir uma mercadoria de produtos pecuários é elevado. No caso da carne bovina são 22,000–43,000 L kg⁻¹ produzido (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2003), visto que é imprescindível para produção de ração e forragem. No que refere aos insetos, espera-se que o conteúdo de água seja bem menor, visto que foi constatado que alguns insetos, como a larva da farinha amarela e larvas menores, são resistentes à seca (RAMOS-ELORDUY *et al.*, 2002).

Os insetos dispõem de níveis altos de proteína que representam o principal componente de sua composição nutricional (BUKKENS, 2005 *apud* CASTRO *et al.*, 2018; NOWAK *et al.*, 2016; RUMPOLD; SCHLUTER, 2013; SUN-WATERHOUSE *et al.*, 2016) e como já citado no início dessa revisão, geralmente apresentam um teor de proteínas de aproximadamente 60 %, sendo que esse valor pode variar entre 7% e 91% em peso seco (VAN HUIS, 2016). Quanto a composição dos aminoácidos, os insetos comestíveis contêm diversos aminoácidos nutricionalmente importantes, compreendendo níveis altos de fenilalanina e tirosina. Alguns apresentam elevadas quantidades de lisina, triptofano e treonina (KOURIMSKÁ; ADÁMKOVÁ, 2016).

Determinados fatores podem favorecer a variação no teor de proteínas de insetos comestíveis da mesma espécie, como diferenças na dieta ou ração, estágio de desenvolvimento do inseto (ou seja, ovos, larvas, pupas ou adultos), localização e estação da coleta do inseto e processamento do mesmo antes da análise, em outras palavras, a avaliação do inseto inteiro versus as partes não comestíveis do inseto retirada (NOWAK *et al.*, 2016). Por exemplo, relatou-se que insetos alimentados com farelo tem quase o dobro de proteína que os mesmos insetos alimentados com milho. Geralmente insetos adultos e aqueles processados na qual removeu-se partes não comestíveis, como asas e pernas, normalmente têm maior teor de proteínas (VAN HUIS *et al.*, 2013).

Os produtos alimentícios podem ser enriquecidos com as proteínas de insetos comestíveis, que também têm potencial em proporcionar benefícios tecnológicos a estes alimentos. De acordo com Borges *et al.* (2022) a incorporação de proteínas de insetos em produtos cárneos demonstrou uma maior estabilidade das emulsões cárneas e redução das perdas pelo cozimento. Contudo, permanecem desafios tecnológicos referentes a textura desses produtos, com pesquisas mostrando diferenças consideráveis e conflitantes nos parâmetros de textura em comparação com os tratamentos controle.

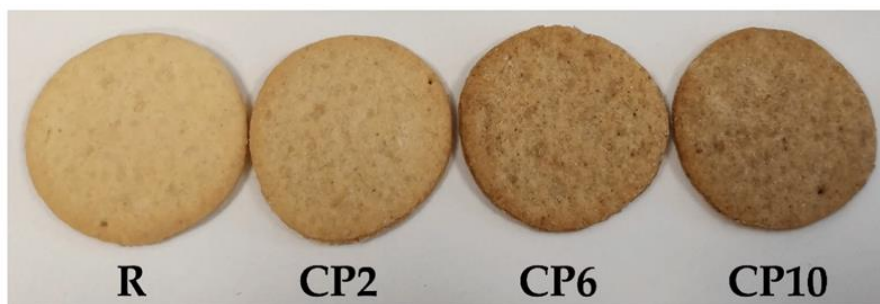
Os estudos relacionados a textura de produtos cárneos que incluem proteínas de insetos apontam diferenças relevantes e incompatíveis com os tratamentos controles. Scholliers, Steen e Fraeye (2020) verificaram que a substituição de quantidades crescentes de carne por insetos diminui a textura de linguças cozidas. Choi *et al.* (2017) indicaram o perfil de textura e retrataram valores menores de firmeza e mastigabilidade para os embutidos elaborados com a larva da farinha amarela comparando com o controle. Entretanto, Kim *et al.* (2016) e Kim *et al.* (2017) mostraram resultados diferentes. Scholliers, Steen e Fraeye (2020) notaram que a forma de enriquecimento usado nas pesquisas, sejam as larvas frescas, secas ou a farinha desengordurada e hidrolisada, poderiam explicar esses resultados, influenciando na composição do produto cárneo e na funcionalidade da proteína do inseto, que também pode ter acometido a textura do produto. Park *et al.* (2017) demonstraram valores muito maiores de textura e quantidade de nutrientes ao enriquecer massa de carne com até 15% de farinha de bicho-da-seda.

Kim *et al.* (2022) mostraram que a amostra composta por 100% de proteína comestível de inseto foi mais estável ao calor e com maior temperatura de pico de desnaturação que os outros análogos de carne preparados com diferentes proporções de proteína vegetal texturizada e proteína comestível de inseto. Além disso, quando a proporção de inseto comestível foi maior que 40 % a temperatura máxima foi de aproximadamente 80°C e a temperatura de pico aumentou ligeiramente com o aumento da proporção de inseto comestível. No trabalho realizado por Smetana *et al.* (2018) foi possível manter a textura cárnea adicionando até 40% de concentrado proteico de *Alphitobius diaperinus* em misturas com 5 e 10 % de fibra de soja (matéria seca), resultando em análogos de carne com 25 e 30,8 % de proteínas.

Acerca de produtos de panificação, Smarzyński *et al.* (2021) produziram biscoitos amanteigados substituindo parcialmente a farinha de trigo pelo pó de grilo e

verificaram que quando essa substituição foi de 2%, houve aumento no teor de proteínas, aminoácidos essenciais, minerais e gordura. Além disso, ocorreu melhora nas classificações de sabor, textura, aparência e conveniência geral dos biscoitos (Figura 2).

Figura 2 - Biscoitos com CP (farinha de grilo): R – biscoitos de referência; CP2, CP6 e CP10 – biscoitos com 2%, 6% e 10% de substituição da farinha de trigo por pó de grilo, respectivamente



Fonte: Smarzynski *et al.*, 2021.

Outra alternativa interessante para a indústria de panificação são as proteínas isoladas de farinhas de insetos. Luna *et al.* (2021) formularam hidrolisados de proteína de grilo da espécie *Acheta domesticus* com cerca de 70% de proteína bruta, aplicaram em tortilhas e chips de tortilhas e obtiveram produtos que continham todos os aminoácidos essenciais, contendo 40% da necessidade diária de lisina e somente 2,7 % de gordura.

Pasini *et al.* (2022) substituíram a sêmola de trigo por 14% de proteína em pó de insetos (*Acheta domesticus* e *Tenebrio molitor*) em macarrão e verificaram que a fração proteica de insetos, devido a sua composição de aminoácidos, podem ser ingredientes propícios para melhorar o valor biológico da proteína da massa, que em geral é pobre em lisina. Além disso a textura da massa feita com as proteínas de insetos ficou adequada quanto a firmeza e a adesividade, embora a perda de cozimento tenha sido maior do que a da massa controle (Figura 3).

Figura 3 - Da esquerda para a direita: aspecto visual da massa controle, massa com extrato proteico de *Acheta domesticus* e massa com extrato proteico de *Tenebrio molitor*



Fonte: Pasini *et al.*, 2022.

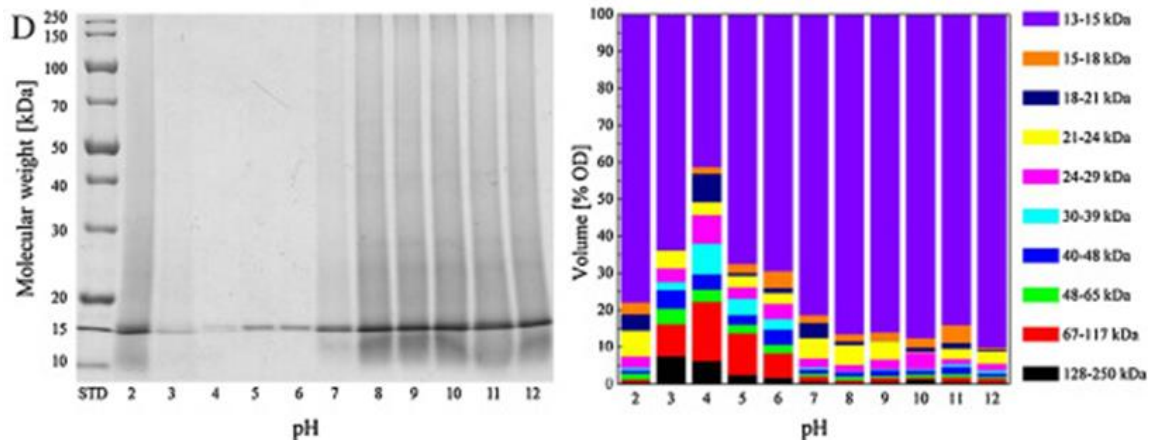
3. PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE PROTEÍNAS DE INSETOS

De forma geral os métodos de extração de proteínas se classificam em convencionais (à base de água, sal, solvente, detergente, álcali) e não convencionais, ou avançados, métodos de extração verde (extração assistida por enzima, ultrassom, micro-ondas e campo elétrico pulsado) (KUMAR *et al.*, 2021). Os principais mecanismos de extração de proteínas de insetos comestíveis encontrados na literatura são: a extração alcalina, ácida, por sal, assistida por enzimas e por campos elétricos pulsados.

As proteínas de insetos podem solubilizar de forma seletiva em pH alcalino, seguida pela precipitação em pH 4-5. Esse processo tem como consequência uma proteína de inseto purificada e concentrada (BROGAN *et al.*, 2021). A solubilidade das proteínas é aumentada por ação do aumento do pH do solvente em razão da ionização de aminoácidos ácidos e neutros em pH alto, resultando em rendimento de proteínas maiores (DELEU *et al.*, 2019). Ademais, há diversas informações mostrando que o rendimento da extração de proteínas de insetos se eleva com o aumento do pH (AZAGOH *et al.*, 2016; BROGAN *et al.*, 2021; BUBLER *et al.*, 2016).

Na pesquisa realizada por Bubler *et al.* (2016) foi obtida uma fração altamente proteica, por extração aquosa em pH ajustado para 10 da farinha desengordurada de *Tenebrio molitor*, seguida da precipitação ajustando-se o pH para 4. Obteve-se um teor de 68,2 % de proteína na fração extraída e verificou-se que a maior parte das proteínas foram de baixo peso molecular (Figura 4). As bandas vistas entre 14 e 32 kDa provavelmente poderiam se originar de proteínas da cutícula (com pesos moleculares principalmente entre 14 e 30 kDa) ou da proteinase semelhante a quimotripsina (24 kDa).

Figura 4 – Separação eletroforética (esquerda) e composição relativa (direita) da fração rica em proteínas do *Tenebrio molitor* de acordo com o valor do pH da solução de extração



Fonte: Bubler *et al.*, 2016

Purschke *et al.* (2018) procederam à extração alcalina incluindo desengorduramento para obtenção de um concentrado proteico de *Locusta migratoria*. O procedimento aplicado extraiu maior quantidade de proteína bruta, que inicialmente era de 65,87 % para a *Locusta migratoria* inteira liofilizada e foi para 82,26% para o concentrado proteico do mesmo inseto (Tabela 1). Encontraram-se bandas de proteínas na faixa de 6-100 kDa, com bandas características em torno de 40,50 e 100 kDa. Contendo proteína muscular tropomiosina e altas quantidades de α , β de tubulinas não revisadas.

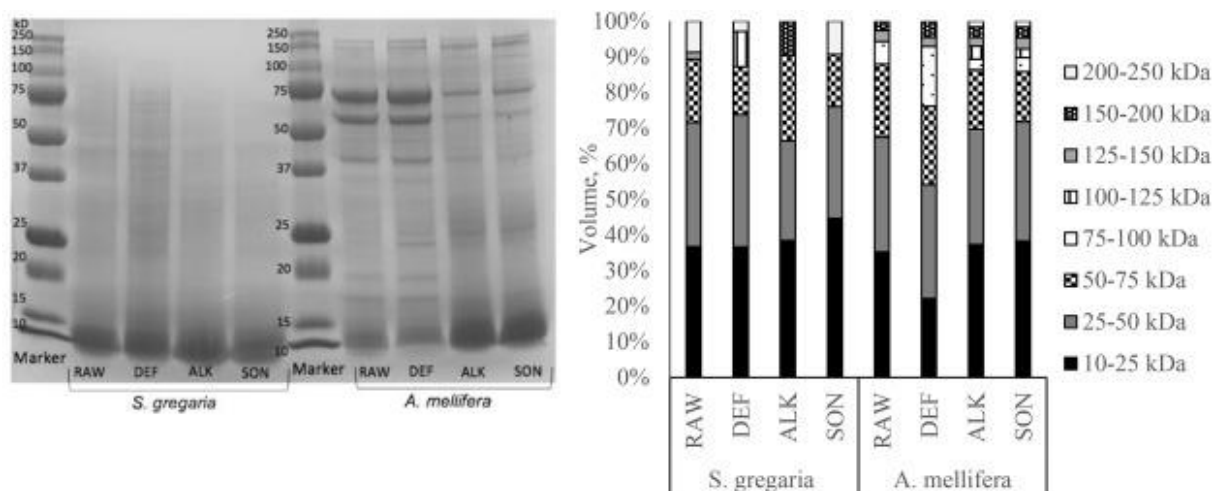
Tabela 1 - Composição nutricional [%] de gafanhotos migratórios inteiros liofilizados (GM) e seu concentrado proteico (CPGM)

	GM	CPGM
Matéria seca [%]	96.35 ± 0.01 ^a	94.90 ± 0.13 ^b
Proteína [%]	65.87 ± 0.42 ^a	82.26 ± 0.62 ^b
Gordura [%]	23.81 ± 0.19 ^a	3.27 ± 0.42 ^b
Cinza [%]	3.09 ± 0.23 ^a	8.72 ± 0.06 ^b
Fibra total [%]	12.78 ± 0.87 ^a	4.93 ± 0.30 ^b
Fibra insolúvel [%]	11.30 ± 0.85 ^a	4.34 ± 0.25 ^b
Fibra solúvel [%]	1.48 ± 0.02 ^a	0.59 ± 0.05 ^b

Fonte: Purschke *et al.*, 2018.

No estudo feito por Michyna *et al.* (2019) obteve-se aumento no rendimento de proteínas de até 57,5 % e 55,2 % de gafanhotos comestíveis (*Schistocerca gregaria*) e abelha melífera (*Apis mellifera*), respectivamente, também através da extração alcalina seguida por precipitação ácida, porém, assistida por sonicação. A *Apis mellifera* apresentou bandas com peso molecular de 75 a 200 kDa, em sua maior parte ausentes para os gafanhotos comestíveis. O *Schistocerca gregaria* exibiu bandas com peso molecular < 20 kDa, que é equivalente à α -lactoalbumina (14,2 kDa) e β -lactoglobulina (18,4 kDa), que são as principais proteínas do soro usadas como referência (Figura 5).

Figura 5 - Perfil SDS-PAGE (eletroforese em gel de poliacrilamida com dodecilsulfato de sódio) e distribuição molecular de proteínas solúveis de *Schistocerca gregaria* e *Apis mellifera* (RAW - pó cru, DEF - pó cru desengordurado, ALK - pó obtido por extração alcalina e SON - pó obtido por extrações alcalinas e sonicação).



Fonte: Mishyna *et al.*, 2019

A extração de proteínas por via ácida, em geral, compreende a dispersão do farelo em uma certa proporção de água, seguida da mudança de pH para a faixa ácida, agitação e a separação do sobrenadante por centrifugação (HRYNETS *et al.*, 2010). No trabalho de Amarender *et al.* (2020) foi comparado o rendimento de extração de proteínas de pó de grilo (*Gryllidae*) usando hidróxido de sódio (base) e ácido ascórbico (ácido) e notou-se que a extração por ácido ascórbico aumentou o rendimento de proteína, que foi de 69,69%, enquanto que a extração com NaOH o teor foi de 61,75% (Tabela 2). Além disso, o pó desengordurado com etanol seguido pela extração com ácido ascórbico proporcionou aumento no rendimento de proteínas em comparação ao pó de grilo moído não desengordurado (pó moído na hora) (Tabela 3).

Tabela 2 - Rendimento de extração, conteúdo de proteína verdadeira e taxa de extração de proteína de pó de grilo desengordurado com etanol

Amostra	Porcentagem de rendimento de extração de pó de grilo desengordurado	Proteína verdadeira %	Taxa de extração de proteína %
Extrato proteico desengordurado (ácido ascórbico)	87.75 ± 1.53 ^a	69.69%	82.95%
Extrato proteico desengordurado (NaOH)	80.78 ± 0.17 ^b	61.75%	67.66%

Fonte: Amarender *et al.*, 2020.

Tabela 3 - Análise aproximada de extrato de proteína de grilo moído na hora usando NaOH e ácido ascórbico

Amostra	Proteína (%)
Extrato de proteína de grilo moído na hora (NaOH)	58.19%
Extrato de proteína de grilo moído na hora (ácido ascórbico)	62.44%

Fonte: Amarender *et al.*, 2020.

O emprego da extração salina é um procedimento que pode aumentar a eficiência da extração alcalina seguida pela precipitação ácida e faz com que a funcionalidade da proteína seja mantida (PAN *et al.*, 2022). Jiang *et al.* (2021) realizaram a extração de proteínas de larvas de *Tenebrio molitor* utilizando a extração alcalina seguida por precipitação ácida assistida por NaCl (salting-in) e (NH₄)₂SO₄ (salting-out). A extração alcalina seguida por precipitação ácida (EAPA) foi executada dispersando o pó de larvas em solução NaOH 1,5% e posteriormente a precipitação do sobrenadante em pH ajustado para 4,5. A extração usando NaCl em EAPA (salting-in) foi similar ao processo de EAPA, à exceção da adição de 1% de NaCl à solução de NaOH. A EAPA - salting-out foi semelhante à EAPA, exceto pela inclusão ao sobrenadante de 20% de (NH₄)₂SO₄. A extração salting-in - EAPA - salting-out foi realizada adicionando-se 1% de NaCl à solução de NaOH (referente a salting-in –

EAPA) e 20% de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ao sobrenadante (referente a EAPA - salting-out). Descobriu-se que a EAPA pode ter rendimento de 22,26% de proteína e já a extração assistida por salting-in, a EAPA - salting-out e a salting-in- EAPA - salting-out, tiveram rendimento de 28,38; 37,27 e 39,54% de proteína, respectivamente.

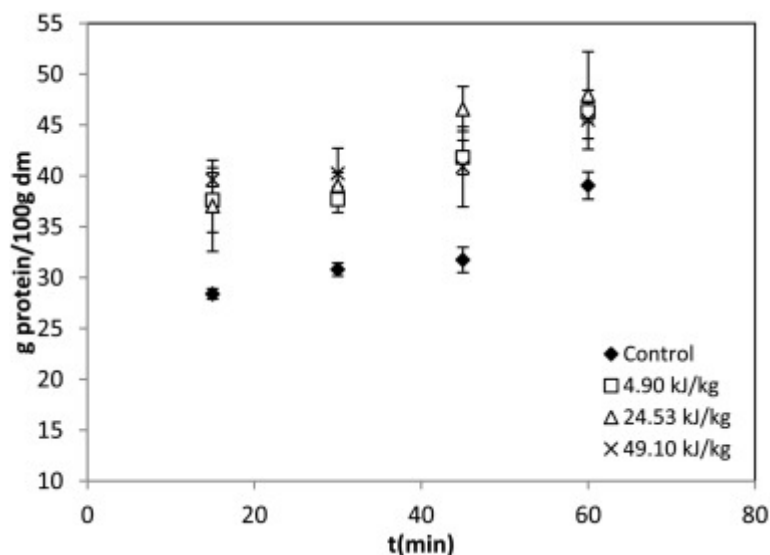
No estudo realizado por Caligiani *et al.* (2018) foram empregadas separadamente quatro enzimas proteolíticas diferentes, entre elas a protease de *Bacillus licheniformis*, a pepsina de mucosa gástrica suína, a papaína de látex de mamão e a pancreatina de pâncreas suíno nas pré-pupas da mosca soldado negra (*Hermetia illucens*). A hidrólise foi realizada por 16 horas com as enzimas em diferentes condições de pH e temperatura. Posteriormente três frações foram coletadas depois da centrifugação: a fração lipídica superior, a fração intermediária contendo proteínas solúveis e o sedimento contendo proteínas insolúveis e quitina. Obteve-se 67% de rendimento de proteína para a protease de *Bacillus licheniformis*, sendo a enzima com maior atividade hidrolítica, 54% de rendimento de proteína para a pancreatina, 51% para a papaína e 47% para a pepsina (menos eficiente) do nitrogênio total da proteína solubilizada.

Leni *et al.* (2020) também extraíram proteínas de *Alphitobius diaperinus* e *Hermetia illucens* utilizando sete diferentes enzimas proteolíticas: protease de *Bacillus licheniformis*, dispase I, pepsina de mucosa gástrica suína, pancreatina de pâncreas suíno, tripsina de pâncreas suíno, bromelina de abacaxi e papaína de látex de mamão e todas essas enzimas mostraram que tem potencial para aumentar o rendimento de proteína em comparação com os tratamentos sem uso de enzimas.

O campo elétrico pulsado inclui a utilização de campo elétrico em alta intensidade na forma de pulsos dentro de um curto espaço de tempo em uma amostra que é posicionada entre dois eletrodos (RASO *et al.*, 2010 *apud* PSARIANOS *et al.*, 2022). Psarianos *et al.* (2022) realizaram a extração de proteínas na farinha de grilo doméstico (*Acheta domesticus*) sob o efeito de campos elétricos pulsados em várias condições (4,9 - 24,53 - 49,1 kJ/kg). Observou-se que após 15 minutos de extração o rendimento da amostra tratada a 4,90 kJ/kg aumentou 32,47%, já após 60 minutos de extração o rendimento aumentou mais 18,62%. Além disso, depois de 15 minutos de extração, o rendimento dos tratamentos de 24,53 kJ/kg e 49,10 kJ/kg foram de 30,47 e 39,55%, maior que o controle, respectivamente. Dessa forma, os pesquisadores concluíram que, entre os tratamentos testados, o tratamento de campos elétricos

pulsados a 4,9 kJ/kg foi considerado o mais adequado, conforme observado na Figura 6.

Figura 6 – Efeito de pré-tratamento com campos elétricos pulsados na extração de proteínas (duração de 15, 30, 45 e 60 minutos). As barras de erros indicam os erros padrões das medições



Fonte: Psarianos *et al.*, 2022.

Os insetos apresentam uma diversidade enorme de proteínas. Os mesmos são constituídos de sistema muscular, digestivo, circulatório, respiratório, nervoso, glandular, reprodutivo e corpo gorduroso, dispondo de inúmeras variações na expressão da estrutura interna entre as espécies que se associam com seu comportamento e ecologia (CAPINERA *et al.*, 2008 *apud* MISHYNA; KEPPLER; CHEN, 2021). Dessa forma, há uma enorme variedade na origem, na estrutura das proteínas dos insetos e na distribuição do peso molecular entre as espécies (YOON *et al.*, 2019).

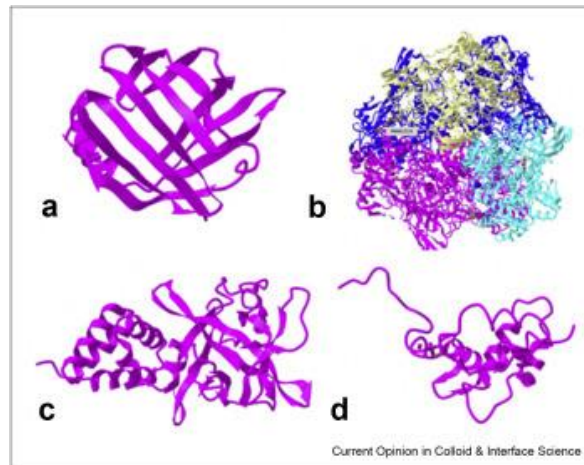
Diversas proteínas como a semelhante a actina, α -actinina-4, cadeia pesada de miosina, cadeia leve essencial de miosina-2, tropomiosina 1 e 2, troponina I, troponina T e troponina C putativa foram identidades em frações de *Tenebrio molitor* com diferentes solubilidades (YI *et al.*, 2016). Obteve-se na fração solúvel em uréia do extrato de proteína de *Tenebrio molitor*, cadeias pesadas de miosina (225,4 kDa) junto com a tropomiosina-1 e a tropomiosina-2. Além disso, a tropomiosina e a arginina quinase foram referidas como principais alérgenos (VERHOECKX *et al.*, 2014). As proteínas musculares de *T. molitor*, *Allomyrina dichotoma* e *Protaetia brevitarsis seulensis*, sendo também solúveis em solução salina, foram extraídas em grande

quantidade e mostraram diferenças na distribuição de peso molecular entre as espécies (KIM *et al.*, 2019). Ademais, foi verificado que o conteúdo de proteínas referentes ao aparelho contrátil, metabolismo, regulação e transdução de sinal se altera no decorrer da metamorfose de larva a pupa do bicho-da-seda (ZHANG *et al.*, 2007). Os músculos dos insetos também podem apresentar outras proteínas, como proteínas de ligação a ácidos graxos, encontradas em músculos de voo de *Locusta migratoria* (LUCKE *et al.*, 2006) (Figura 7).

A cutícula dos artrópodes é formada de proteínas cuticulares que equivalem a mais de 1% da proteína total dos insetos e de quitina (PAN *et al.*, 2018). Identificou-se proteínas cuticulares na fração solúvel em ureia do extrato proteico de *Tenebrio molitor*, entre elas a proteína de cutícula larval F1 (14,9 kDa), a proteína de cutícula larval A1A (17,7 kDa) e a proteína de cutícula pupal G1A (20,8 kDa) (VERHOECKX *et al.*, 2014).

A hemolinfa de insetos é um fluido que circula desempenhando várias funções metabólicas (NATION, 2015 *apud* MISHYNA; KEPPLER; CHEN, 2021). As proteínas da hemolinfa de *Tenebrio molitor* juntamente com a alfa-amilase, duas proteinases putativas (27,6 e 28,2 kDa) e proteínas relacionadas ao estresse foram as mais abundantes na fração de proteína solúvel (YI *et al.*, 2016). Também se relatou a natureza hidrofílica das proteínas THP12 da hemolinfa de *Tenebrio molitor* (Figura 7) (ROTHERMUNDO *et al.*, 1999) e descreveu-se que essas proteínas tem quatro resíduos de cisteína grandemente conservado. Todavia, Yi *et al.* (2016) também identificaram em frações insolúveis, a proteína b da hemolinfa de 12 kDa e a proteína a da hemolinfa de 13 kDa. Complexos de duas proteínas de armazenamento também foram verificadas na hemolinfa, como o complexo sp2-sp3 que foi isolado de *Bombyx mori* (Figura 7), com exceção de proteínas individuais (PIETRZYK *et al.*, 2013).

Figura 7 - Estrutura das proteínas: (a) Proteína de ligação aos ácidos graxos de *Locusta migratoria*; (b) Sp2 – sp3 – um complexo de duas proteínas de armazenamento da hemolinfa *Bombyx mori*; (c) Lipoproteína de *Bombyx mori*; (d) Proteína hemolinfa de *Tenebrio molitor*



Fonte: Mishyna; Keppler; Chen, 2021.

Tem sido discutido em vários estudos a importância das proteínas de insetos para o ser humano. Nongonierma e Fitzgerald (2017) relataram os efeitos biológicos de proteínas de insetos comestíveis após hidrólise enzimática. As propriedades antioxidantes de hidrolisados de insetos e frações peptídicas podem ajudar a diminuir a inflamação e o estresse oxidativo, reduzindo assim a quantidade de radicais livres no corpo (ZIELINSKA; BARANIAK; KARAS, 2017; MESSINA *et al.*, 2019). Constatou-se, possivelmente em razão dos seus maiores teores de proteínas, que extratos de gafanhotos solúveis em água, bicho-da-seda e grilos tem um poder antioxidante 5 vezes maior que o poder antioxidante do suco de laranja *in vitro* (DI MATIA *et al.*, 2019). Os pós de insetos e seus hidrolisados de peptídeos tem possibilidade de prevenir o câncer, doenças cardiovasculares e diabetes, que tem sido relacionado a inflamação crônica e ao estresse oxidativo (NOWAKOWSKI *et al.*, 2022).

De acordo com Evans (2004) adultos mais velhos apresentam maior risco de desenvolverem sarcopenia, uma vez que tendem a ingerir menos que a recomendação de 0,8g/kg/dia de proteína. Assim sendo, exercícios de resistência podem ser receitados a essas pessoas com o intuito de ajudar os mesmos a aumentarem a massa muscular para prevenir essa doença, que combinando com os suplementos dietéticos de proteínas tem capacidade para aumentar a massa

muscular ainda mais. Porém, é imprescindível mais pesquisas nessa área a fim de verificar outros efeitos das proteínas de insetos na saúde do ser humano.

4. CONCLUSÃO

Conclui-se com essa revisão que os insetos comestíveis apresentam níveis elevados de proteínas de alta qualidade acerca de valor nutricional e tipos de aminoácidos essenciais. Essas proteínas têm potencial para enriquecer os produtos alimentícios propiciando benefícios tecnológicos aos mesmos, sendo muito vantajoso para a indústria de alimentos. Os processos de extração descritos, que são a extração alcalina, ácida, por sal, assistida por enzimas e por campos elétricos pulsados são mecanismos eficazes para se extrair e aumentar o rendimento de proteínas de várias espécies de insetos. Todavia, a partir do levantamento bibliográfico verifica-se que a extração por campos elétricos pulsados é a mais eficiente, que reduz o tempo de extração e diminui alterações que possam ocorrer ao material extraído. Além disso pode-se observar a variedade de proteínas existentes identificadas nos insetos e a importância desses macronutrientes para o ser humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARENDER, R.V. *et al.* Lipid and protein extraction from edible insects-Crickets (Gryllidae). **LWT - Food Science and Technology** 2020, v. 125, p. 1-4, 2020.

AZAGOH, C. *et al.* Extraction and physicochemical characterization of *Tenebrio molitor* proteins. **Food Research International**, v.88, p.24–31, 2016.

BAIANO, A. Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. **Trends in Food Science & Technology**, v.100, p.35-50, 2020.

BAUM, J.I.; KIM, II-Y.; WOLFE, R.R. Protein Consumption and the Elderly: What Is the Optimal Level of Intake?. **Nutrients**, v.8, n. 6, p.1-9, 2016.

BELLUCO, S. *et al.* Edible Insects in a Food Safety and Nutritional Perspective: A Critical Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 12, n.3, p.296–313, 2013.

BORGES, M.M. *et al.* Edible insects as a sustainable alternative to food products: an insight into quality aspects of reformulated bakery and meat products. **Current Opinion in Food Science**, v. 49, p.1-11, 2022.

BROGAN, E.N. *et al.* Characterization of protein in cricket (*Acheta domesticus*), locust (*Locusta migratoria*), and silk worm pupae (*Bombyx mori*) insect powders. **LWT**, v. 152, p.1-7, 2021.

BUBLER, S. *et al.* Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. **Heliyon**, v. 2, n.12, p. 1-24, 2016.

CADINU, L.A. *et al.* Insect Rearing: Potential, Challenges, and Circularity. **Sustainability**, v.12, n.4567, p.1-23, 2020.

CALIGIANI, A. *et al.* Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. **Food Research International**, v.105, p.812–820, 2018.

CASTRO, R.J.S. *et al.* Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. **Trends in Food Science & Technology**, v.79, p.82-89, 2018.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. **Value of Water Research Report Series**, v. 13, p. 1-60, 2003.

CHOI, Y-S. *et al.* Optimization of replacing pork meat with yellow worm (*Tenebrio molitor* L.) for frankfurters. **Korean Journal Food Science Animal Resources**, v. 37, n.5, p. 617-625, 2017.

DELEU, L.J. *et al.* The impact of alkaline conditions on storage proteins of cereals and pseudo-cereals. **Current Opinion in Food Science**, v. 25, p.98–103, 2019.

DI MATTIA, C. *et al.* Antioxidant activities in vitro of water and liposoluble extracts obtained by different species of edible Insects and Invertebrates. **Frontiers in Nutrition**, v. 6, p.1-7,2019.

EVANS, W. J. Protein nutrition, exercise and aging. **Journal of the American College of Nutrition**, v.23, n.6, p.601S–9S, 2004.

FENG, M. *et al.* In-Depth N-Glycosylation Reveals Species-Specific Modifications and Functions of the Royal Jelly Protein from Western (*Apis mellifera*) and Eastern Honeybees (*Apis cerana*). **Journal of Proteome Research**, v.14, n.12, p. 5327-5340, 2015.

FENG, Y. *et al.* Edible insects in China: Utilization and prospects. **Insect Science**, v. 25, p. 184–198, 2018.

FROST, S.W. The Insect Motif in Art. **The Scientific Monthly**, v.44, n.1, p. 77-83, 1937.

GLOBAL ISSUES FOOD. **United Nations**, 2017. Disponível em: <https://www.un.org/en/global-issues/food#:~:text=The%20Sustainable%20Development%20Goals%20and%20food&text=The%20second%20of%20the%20UN's%2017%20SDGs%20is%20to%20%22End,global%20food%20and%20agriculture%20system>. Acesso em: 14 de janeiro de 2023.

GODFRAY, H.C.J. *et al.* Food security: The challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v.327, n.5967, p. 812–818, 2010.

HAMOUDA, A.B. *et al.* The role of egg pod foam and rearing conditions of the phase state of the Asian migratory locust *Locusta migratoria migratoria* (Orthoptera, Acrididae). **Journal of Insect Physiology**, v.55, n.7, p. 617-623, 2009.

HARWATT, T. Including animal to plant protein shifts in climate change mitigation policy: a proposed three-step strategy. **Climate Policy**, v. 19, n. 5, p.533-541, 2019.

HRYNETS, Y. *et al.* Effect of acid-and alkaline-aided extractions on functional and rheological properties of proteins recovered from mechanically separated turkey meat (MSTM). **Journal of Food Science**, v. 75, n. 7, p. E477–E486, 2010.

JIANG, Y. *et al.* Effects of salting-in/out-assisted extractions on structural, physicochemical and functional properties of *Tenebrio molitor* larvae protein isolates. **Food Chemistry**, v. 338, p. 1-9, 2021.

JIMÉNEZ-MUNOZ, L. M.; TAVARES, G.M.; CORREDIG, M. Design future foods using plant protein blends for best nutritional and technological functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v.113, p.139-150, 2021.

KIM, H-W. *et al.* Effect of house cricket (*Acheta domesticus*) flour addition on physicochemical and textural properties of meat emulsion under various formulations. **Journal of Food Science**, v.82, n.12, p-2787-2793, 2017.

KIM, H-W. *et al.* Pre-treated mealworm larvae and silkworm pupae as a novel protein ingredient in emulsion sausages. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.38, p.116-123, 2016.

KIM, T-K. *et al.* Drying-induced restructured jerky analog developed using a combination of edible insect protein and textured vegetable protein. **Food Chemistry**, v.373, p.1-6, 2022.

KIM, T-K. *et al.* Technical functional properties of water- and salt-soluble proteins extracted from edible insects. **Food Science of Animal Resources**, v. 39, n.4, p. 643–654, 2019.

KOURIMSKÁ, L.; ADÁMKOVÁ, A. Nutritional and sensory quality of edible insects. **NFS Journal**, v.4, p.22-26, 2016.

KULMA, M. *et al.* Effect of sex on the nutritional value of house cricket, *Acheta domestica* L. **Food Chemistry**, v.272, p. 267-272, 2019.

KUMAR, M. *et al.* Advances in the plant protein extraction: Mechanism and recommendations. **Food Hydrocolloids**, v.115, p. 1-17, 2021.

LAWAL, K.G. *et al.* Lipid nutritional indices, regioisomeric distribution, and thermal properties of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* larvae fat. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 25, n.3, p. 1-9, 2022.

LENI, G. *et al.* Protein hydrolysates from *Alphitobius diaperinus* and *Hermetia illucens* larvae treated with commercial proteases. **Journal of Insects as Food and Feed**, v. 6, n. 4, p. 393–404, 2020.

LUCKE, C. *et al.* Fatty-acid-binding protein from the flight muscle of *Locusta migratoria*: evolutionary variations in fatty acid binding. **Biochemistry**, v.45, n.20, p. 6296–6305, 2006.

LUNA, G.C. *et al.* Cricket (*Acheta domesticus*) protein hydrolysates' impact on the physicochemical, structural and sensory properties of tortillas and tortilla chips. **Journal of Insects as Food and Feed**, v.7, n.1, p.109-120, 2021.

MAENO, K.O. *et al.* Thermoregulatory behavior of lekking male desert locusts, *Schistocerca gregaria*, in the Sahara Desert. **Journal of Thermal Biology**, v.112, p. 1-7, 2023.

MESSINA, C. M. *et al.* 2019. Microbiological profile and bioactive properties of insect powders used in food and feed formulations. **Foods**, v. 8, n. 9, p.1-16, 2019.

MIGLIETTA, P. *et al.* Mealworms for food: A water footprint perspective. **Water**, v.7, n.11, p. 6190–6203, 2015.

MISHYNA, M. *et al.* Extraction, characterization and functional properties of soluble proteins from edible grasshopper (*Schistocerca gregaria*) and honey bee (*Apis mellifera*). **Food Research International**, v.116, p.697–706, 2019.

MISHYNA, M.; KEPLER, J.K.; CHEM, J. Techno-functional properties of edible insect proteins and effects of processing. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v. 56, p. 1-10, 2021.

MLCEK, J. *et al.* A comprehensive look at the possibilities of edible insects as food in Europe – a review. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 64, n. 3, p.147–157, 2014.

NONGONIERMA, A. B.; FITZGERALD, R.J. Unlocking the biological potential of proteins from edible insects through enzymatic hydrolysis: **A review. Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.43, p. 239–252, 2017.

NOSENKO, T. Comparison of biological value and technological properties of oil seed proteins. **Ukrainian Food Journal**, v.6, n. 2, p.226–238, 2017.

NOWAK, V. *et al.* Review of food composition data for edible insects. **Food Chemistry**, v. 193, p. 39–46, 2016.

NOWAKOWSKI, A.C. *et al.* Potential health benefits of edible insects. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.62, n.13, p. 3499-3508, 2022.

OONINCX, D.G.A.B. *et al.* An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. **Plos One**, v.5, n.12, 2010.

PAIVARINTA, E. *et al.* Replacing animal-based proteins with plant-based proteins changes the composition of a whole nordic diet-A randomised clinical trial in healthy Finnish adults. **Nutrients**, v.12, n.4, p.1-16, 2020.

PAN, J. *et al.* Recent Insight on Edible Insect Protein: Extraction, Functional Properties, Allergenicity, Bioactivity, and Applications. **Foods**, v. 11, n.19, p. 1-21, 2022.

PAN, P-L. *et al.* A comprehensive omics analysis and functional survey of cuticular proteins in the brown planthopper. **Proceedings of the National Academy of the United States of America**, v.115, n.20, p. 5175–5180, 2018.

PARK, Y-S. *et al.* Physicochemical properties of meat batter added with edible silkworm pupae (*Bombyx mori*) and transglutaminase. **Korean Journal Food Science Animal Resources.**, v.37, n.3, p.351–359, 2017.

PASINI, G. *et al.* Potentiality of protein fractions from the house cricket (*Acheta domesticus*) and yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) for pasta formulation. **LWT**, v.164, p.1-6, 2022.

PIETRZYK, A.J. *et al.* Crystallographic identification of an unexpected protein complex in silkworm haemolymph. **Acta Crystallogr Sect D Biological Crystallography**, v.69, p. 2353–2364, 2013.

POMA, G. *et al.* Evaluation of hazardous chemicals in edible insects and insect-based food intended for human consumption. **Food and Chemical Toxicology**, v.100, p. 70-79, 2017.

PSARIANOS, M. *et al.* Effect of pulsed electric fields on cricket (*Acheta domesticus*) flour: Extraction yield (protein, fat and chitin) and techno-functional properties. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 76, p.1-9, 2022.

PURSCHE, B. *et al.* Recovery of soluble proteins from migratory locust (*Locusta migratoria*) and characterisation of their compositional and techno-functional properties. **Food Research International**, v. 106, p. 271-279, 2018.

RAMOS-ELORDUY. *et al.* Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. **Journal of Economic Entomology**, v.95, n.1, p. 214–220, 2002.

RAUBENHEIMER, D.; ROTHMAN, J.M. Nutritional ecology of entomophagy in humans and other primates. **Annual Review of Entomology**, v. 58, p. 141-160, 2013.

RITCHIE, H.; ROSADO, P.; ROSER, M. Meat and Dairy Production. **Our World in Data**, 2019. Disponível em: <https://ourworldindata.org/meat-production>. Acesso em: 14 de janeiro de 2023.

ROOS, N. Insects and human nutrition. In HALLORAN, A.; FLORE, R.; VANTOMME, P.; ROOS, N (Editors). *Edible Insects in Sustainable Food Systems*. **Springer International Publishing**, p.83-91, 2018.

ROTHEMUND, S. *et al.* A new class of hexahelical insect proteins revealed as putative carriers of small hydrophobic ligands. **Structure**, v.7, n.11, p. 1325–1332, 1999.

RUMPOLD, B. A.; SCHLUTER, O. K. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. **Molecular Nutrition Food Research**, v.57, n.5, p. 802–823, 2013.

RUTTEN, M. *et al.* Metrics, models and foresight for European sustainable food and nutrition security: The vision of the SUSFANS project. **Agricultural Systems**, v.163, p. 45–57, 2016.

SANTESSO, N. *et al.* Effects of higher-versus lower-protein diets on health outcomes: a systematic review and meta-analysis. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.66, n.7, p. 780-788, 2012.

SCHOLLIERS, J.; STEEN. L; FRAEYE I. Partial replacement of meat by superworm (*Zophobas morio* larvae) in cooked sausages: effect of heating temperature and insect:Meat ratio on structure and physical stability. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 66, p.1-9, 2020.

SHAMS-WHITE, M.M. *et al.* Animal versus plant protein and adult bone health: a systematic review and meta-analysis from the National Osteoporosis Foundation. **Plos One**, v.13, n.2, p.1-24, 2018.

SMARZYNSKI, K. *et al.* Low-field NMR study of shortcake biscuits with cricket powder, and their nutritional and physical characteristics. *Molecules*, v.26, n.17, p.1-18, 2021.

SMETANA, S. *et al.* Structure design of insect-based meat analogs with high-moisture extrusion. **Journal of Food Engineering**, v. 229, p. 83-85, 2018.

SMIL, V. Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and opportunities for novel food proteins. **Enzyme Microbial Technology**, v. 30, p.305–311, 2002.

SUN-WATERHOUSE, D. *et al.* Transforming insect biomass into consumer wellness foods: A review. **Food Research International**, v.89, p.129–151, 2016.

SURENDRA, D.M. *et al.* Efficacy of phytochemical-functionalized silver nanoparticles to control Flacherie and Sappe silkworm diseases in *Bombyx mori* L. larvae. **Plant Nano Biology**, v. 5, p.1-13, 2023.

SUTTON, M.Q. Archaeological Aspects Of Insect Use. **Journal of Archaeological Method and Theory**, v. 2, n. 3, p. 253-298, 1995.

THE STATE OF FOOD SECURITY. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/en/>. Acesso em: 14 de janeiro de 2023.

VAN HUIS, A. Edible insects are the future?. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 75, n.03, p. 294–305, 2016.

VAN HUIS, A. Potential of insects as food and feed in assuring food security. **Annual Review of Entomology**, v. 58, n.1, p. 563–583, 2013.

VAN HUIS, A. *et al.* Edible insects: Future prospects for food and feed security. **FAO Forestry Paper**, v. 171, p.1–186, 2013.

VERHOECKX, K.C.M. *et al.* House dust mite (Der p 10) and crustacean allergic patients may react to food containing Yellow mealworm proteins. **Food and Chemical Toxicology**, v.65, p. 364–373, 2014.

WATER SCARCITY. **Fao Water**, 2013. Disponível em: <https://www.fao.org/land-water/water/water-scarcity/en/>. Acesso em: 16 de janeiro de 2023.

WYCHERLEY, T.P. *et al.* Effects of energy-restricted high-protein, low-fat compared with standard-protein, low-fat diets: a meta-analysis of randomized controlled trials. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.96, n.6, p.1281-1298, 2012.

YI, L. *et al.* Protein identification and in vitro digestion of fractions from *Tenebrio molitor*. **Eur Food Res Technol**, v. 242, p.1285–1297, 2016.

YNSECT. B. *et al.* Chitin, hydrolysate and method for the production of one or more desired products from insects by means of enzymatic hydrolysis. **US n. 2018/0016357 A1**, p.1-24, 2018.

YOON, S. *et al.* Comparative characterization of protein hydrolysates from three edible insects: mealworm larvae, adult crickets, and silkworm pupae. **Foods 2019**, v. 8, n.11, p. 1-16, 2019.

ZHANG, P. *et al.* Proteomic profiling of the silkworm skeletal muscle proteins during larval-pupal metamorphosis. **Journal of Proteome Research**, v.6, n.6, p.2295–2303, 2007.

ZIELINSKA, E.; B. BARANIAK; M. KARAS. Antioxidant and anti-inflammatory activities of hydrolysates and peptide fractions obtained by enzymatic hydrolysis of selected heat-treated edible insects. **Nutrients**, v.9, n. 9, p.1-14, 2017.