

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**PROTEÍNAS ALTERNATIVAS NA DIETA HUMANA:  
ANÁLISES META-ANALÍTICAS NO PERÍODO DE 2014 A 2024**

**PALOMA DANIELLE BRITO SIQUEIRA**

Paloma Danielle Brito Siqueira

**PROTEÍNAS ALTERNATIVAS NA DIETA HUMANA:  
ANÁLISES META-ANALÍTICAS NO PERÍODO DE 2014 A 2024**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Alimentos.

Orientador: Prof. D.S. Demerson Arruda Sanglard

Paloma Danielle Brito Siqueira. **PROTEÍNAS ALTERNATIVAS NA DIETA HUMANA:  
ANÁLISES META-ANALÍTICAS NO PERÍODO DE 2014 A 2024**

Aprovado pela banca examinadora constituída por:

Prof. D.S. Sidney Pereira – ICA/UFMG

Prof<sup>ª</sup>. D.S. Maria Fernanda Lousada Antunes – ICA/UFMG

Prof. D.S. Demerson Arruda Sanglard – Orientador ICA/UFMG

Montes Claros, 06 de Janeiro 2025.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida, amparo em momentos difíceis, vitórias e oportunidades de compartilhamentos com o próximo.

À minha família por todo amor incondicional e apoio logístico durante esta trajetória.

Ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG).

Aos Docentes e Técnicos do Curso de Engenharia de Alimentos, dentre outros profissionais, pelos ensinamentos teóricos, práticas e demais modalidades de formações.

Aos membros da banca por aceitarem o convite e dedicarem seu tempo a esta avaliação.

Ao Prof. Sidney Pereira, em especial, por repassar experiências diversas que muito contribuirão em meu futuro exercício profissional.

À equipe do Laboratório de Biotecnologia - CPCA I (*Campus Montes Claros da UFMG*) pelos aspectos que subsidiaram as inspirações acerca da temática tratada neste trabalho. Neste sentido, meu agradecimento ao Prof. Demerson Arruda Sanglard pela orientação.

À todos os colegas do Curso de Engenharia de Alimentos, em especial àqueles mais próximos quanto aos convívios e apoio nas atividades acadêmicas.

## RESUMO

Este trabalho detalha a evolução do uso de proteínas alternativas em dietas humanas, com base meta-analítica do período de 2014 a 2024, destacando avanços tecnológicos, desafios culturais e impactos ambientais. Os vegetais lideram em acessibilidade, refletindo familiaridade cultural, acessibilidade e sustentabilidade. Microalgas e fungos também avançaram, com benefícios nutricionais saudáveis, apesar dos custos mais elevados. Insetos vêm ganhando espaço, especialmente na Ásia e África, mas enfrentam resistência no Ocidente. Os resíduos agroindustriais emergem como opção sustentável, destacando-se pela economia circular. Globalmente, as microalgas lideram em benefícios nutricionais, enquanto vegetais e produtos do mar se destacam em saúde e acessibilidade. Os impactos ambientais variam: vegetais e insetos têm níveis baixos de emissões, enquanto microalgas e produtos do mar enfrentam desafios devido aos elevados custos. A eficiência nutricional é maior em vegetais e microalgas, enquanto insetos e resíduos agroindustriais mostram potencial em nichos específicos. O mercado de proteínas alternativas cresce, impulsionado pelo aumento de empresas e patentes, especialmente na Ásia e na Europa. Apesar das disparidades regionais, as tendências refletem uma transição para dietas mais sustentáveis e alternativas. Para consolidar essas fontes, são essenciais políticas públicas, inovações tecnológicas e estratégias de educação alimentar. Assim, as proteínas alternativas podem tornar-se cada vez mais viáveis quanto à superação dos desafios de segurança alimentar e sustentabilidade global.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade alimentar, Eficiência nutricional, Economia circular, Inovações agroindustriais, Barreiras culturais.

## ABSTRACT

This paper details the evolution of the use of alternative proteins in human diets, based on a meta-analytic analysis from 2014 to 2024, highlighting technological advances, cultural challenges and environmental impacts. Vegetables lead in accessibility, reflecting cultural familiarity, affordability and sustainability. Microalgae and fungi have also advanced, with healthy nutritional benefits, despite higher costs. Insects have been gaining ground, especially in Asia and Africa, but face resistance in the West. Agro-industrial waste emerges as a sustainable option, standing out in the circular economy. Globally, microalgae lead in nutritional benefits, while vegetables and seafood stand out in health and accessibility. Environmental impacts vary: vegetables and insects have low levels of emissions, while microalgae and seafood face challenges due to high costs. Nutritional efficiency is higher in vegetables and microalgae, while insects and agro-industrial waste show potential in specific niches. The market for alternative proteins is growing, driven by the increase in companies and patents, especially in Asia and Europe. Despite regional disparities, trends reflect a shift towards more sustainable and alternative diets. Public policies, technological innovations and nutritional education strategies are essential to consolidate these sources. In this way, alternative proteins can become increasingly viable in overcoming food security and global sustainability challenges.

**Keywords:** Food sustainability, Nutritional efficiency, Circular economy, Agro-industrial innovations, Cultural barriers.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da aceitação percentual de alimentos à base de proteínas de fontes alternativas no período de 2014 a 2024 .....	6
Figura 2 - Proporções percentuais dos tipos de proteínas alternativas consumidas em cada região global (dados quantitativos de 2024).....	8
Figura 3 - Evolução da análise sensorial (notas de 1 a 10) de alimentos à base de proteínas de fontes alternativas no período de 2014 a 2024 (dados qualitativos).....	9
Figura 4 - Comparações dos consumos atuais e potenciais (percepção cultural) de alimentos à base de diferentes fontes de proteínas alternativas (dados quantitativos de 2024).....	11
Figura 5 - Evolução do consumo de aminoácidos essenciais oriundos de alimentos à base de proteínas alternativas (médias globais em mg/kg/dia obtidas de diferentes perfis comportamentais em populações que participaram de pesquisas no período de 2014 a 2024) (dados quantitativos).....	12
Figura 6 - Estimativas de reduções de doenças em populações utilizadas em pesquisas médicas globais, em virtude da saúde alimentar à base de proteínas alternativas de diferentes fontes (dados quantitativos de 2024).....	13
Figura 7 - Contribuições proporcionais de diferentes fontes de proteínas alternativas em termos de nutrição (médias globais) (dados quantitativos de 2024).....	14
Figura 8 - Benefícios relativos à saúde humana atribuídos a diferentes fontes de proteínas alternativas, considerando dados médios de cada região global (dados quantitativos de 2024).....	15
Figura 9 - Evolução dos custos de produção globais médios para alimentos à base diferentes tipos de proteínas alternativas, no período de 2014 a 2024 (dados quantitativos).....	16
Figura 10 - Utilização em médias globais em recursos para obtenção de diferentes tipos de proteínas alternativas (dados quantitativos de 2024).....	18
Figura 11 - Evolução do número de empresas criadas, oriundas de diferentes regiões globais, que atuam com alimentos à base de diferentes fontes de proteínas alternativas (dados quantitativos no período de 2014 a 2024).....	20
Figura 12 - Evolução do número de patentes em nível global relacionadas a diferentes fontes de proteínas alternativas no período de 2014 a 2024 (dados quantitativos).....	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais fatores que influenciam a aceitação de produtos à base de proteínas alternativas (dados qualitativos de 2024).....	9
Tabela 2 - Eficiências nutricionais em taxas de conversões energéticas por fonte de proteína alternativa e região global (dados quantitativos de 2024).....	13
Tabela 3 - Indicadores de viabilidade econômica na produção de proteínas alternativas por fonte (dados qualitativos de 2024).....	17
Tabela 4 - Impactos ambientais em emissões de gases de efeito estufa por fonte de proteína alternativa e região global (dados quantitativos de 2024).....	19
Tabela 5 - Comparação de benefícios nutricionais e ambientais por fonte de proteína alternativa (dados qualitativos de 2024).....	21

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

DPM - Diferenças Padronizadas de Média.

GENES - Software para Análise de Dados em Estatística Experimental e Genética Quantitativa.

Prod Mar - Produtos do Mar.

Res Agro - Resíduos Agroindustriais.

TCE - Taxa de Conversão Energética.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO .....	3
2.1. Sustentabilidade Ambiental e Eficiência de Recursos .....	3
2.2. Aspectos Nutricionais e Saúde Humana.....	3
2.3. Aceitação Sociocultural e Viabilidade Econômica .....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	5
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	6
5. CONCLUSÕES.....	22
6. REFERÊNCIAS .....	23

# 1. INTRODUÇÃO

A crescente pressão sobre os sistemas alimentares globais reflete uma convergência de desafios ambientais, demográficos e econômicos. Com a população mundial projetada para atingir 10 bilhões em 2050, há uma necessidade urgente de diversificar as fontes proteicas na dieta humana para garantir segurança alimentar e reduzir os impactos ambientais da produção de alimentos (Berners-Lee *et al.*, 2018; Van Dijk *et al.*, 2021). Nesse contexto, as proteínas alternativas, derivadas de fontes como plantas, insetos, microalgas, fungos e carnes cultivadas, emergem como soluções promissoras para atender à demanda crescente por alimentos sustentáveis e nutritivos (Kurek *et al.*, 2022; Malila *et al.*, 2024).

A produção de proteínas de origem animal tradicional é responsável por até 14,5% das emissões globais de gases de efeito estufa e pelo consumo de grandes volumes de água e terras agrícolas (Gil *et al.*, 2024). Alternativamente, fontes como insetos e microalgas apresentam alta eficiência na conversão de recursos naturais em biomassa proteica, além de possuírem perfis nutricionais ricos em aminoácidos essenciais, óleos saudáveis e micronutrientes (Moura *et al.*, 2023). Estudos recentes sugerem que essas fontes também possuem potencial para mitigar deficiências nutricionais em regiões de insegurança alimentar, ampliando seu apelo global (van Meijl *et al.*, 2020; Bedsaul-Fryer *et al.*, 2023; Nirmal *et al.*, 2024).

Paralelamente, o período de 2014 a 2024 testemunhou um aumento exponencial na aceitação e desenvolvimento tecnológico de proteínas alternativas. Iniciativas de pesquisa em carne cultivada, por exemplo, avançaram significativamente em termos de custo e escalabilidade, reduzindo o custo de produção de US\$ 330 por hambúrguer em 2013 para valores economicamente mais viáveis (Abergel, 2024; Helliwell *et al.*, 2024). Simultaneamente, movimentos como "plant-based" catalisaram mudanças nos hábitos alimentares em mercados globais, com as vendas de produtos à base de plantas ultrapassando US\$ 5 bilhões em 2021 (Feld, 2023; Kennedy, 2024).

No entanto, apesar dos avanços significativos, as proteínas alternativas enfrentam desafios substanciais relacionados à sua aceitação cultural, acessibilidade econômica e regulações governamentais (Akinmeye *et al.*, 2024). Essa complexidade exige uma abordagem analítica que considere as interconexões entre fatores ambientais, sociais e econômicos, além de proporcionar uma síntese de evidências robusta para informar decisões políticas e industriais. Nesse sentido, as meta-análises oferecem uma ferramenta indispensável para integrar descobertas, identificar padrões e explorar lacunas na literatura (Zahari *et al.*, 2022).

Assim, este estudo se justifica pela necessidade de consolidar o conhecimento acumulado sobre proteínas alternativas, fornecendo uma base robusta para decisões informadas no campo das políticas públicas, estratégias empresariais e iniciativas educacionais. No contexto de Ulhas *et al.* (2023), ao abordar-se questões de aceitação, sustentabilidade e viabilidade econômica, a meta-análise oferece contribuições relevantes para avançar o debate sobre a transição para sistemas alimentares mais sustentáveis.

Este estudo visa preencher essa lacuna por meio de uma meta-análise abrangente que avalia estudos publicados entre 2014 e 2024, explorando os impactos das proteínas alternativas na dieta humana sob diferentes perspectivas: ambiental, nutricional, econômica e sociocultural. A integração de métodos quantitativos e qualitativos é essencial para fornecer uma visão holística das implicações das proteínas alternativas em um mundo cada vez mais interconectado.

## **2. REFERÊNCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Sustentabilidade Ambiental e Eficiência de Recursos**

As fontes alternativas de proteína têm sido amplamente reconhecidas por seu potencial de reduzir problemas ambientais dos sistemas alimentares. Estudos mostram que insetos e microalgas apresentam eficiência excepcional na conversão de recursos em biomassa proteica, além de demandarem menos água, terra e energia em comparação à pecuária convencional (Cappelozza *et al.*, 2019; Siegrist *et al.*, 2023).

No entanto, a produção de carne cultivada ainda enfrenta desafios relacionados ao alto consumo energético em seus processos de fabricação, o que exige maior desenvolvimento tecnológico para garantir sua viabilidade ambiental (Zhang *et al.*, 2022). Por outro lado, as proteínas vegetais continuam a demonstrar um forte desempenho ambiental, especialmente em regiões com alta disponibilidade de recursos agrícolas (Chakraborty *et al.*, 2019).

Apesar dessas vantagens, lacunas tecnológicas ainda limitam a expansão de algumas fontes. Por exemplo, o desenvolvimento de bioprocessos para a produção de proteínas a partir de microalgas requer melhorias em escala industrial e redução de custos (Harun *et al.*, 2010). Além disso, o uso de insetos como fonte alimentar suscita questões relacionadas à segurança alimentar, incluindo o controle de contaminantes e alérgenos (Van Huis, 2013; Lange & Nakamura, 2021).

Estudos de impacto ambiental também avaliam a relação entre o custo energético e a eficiência produtiva dessas alternativas em diferentes regiões do mundo (Hadi & Brightwell, 2021; Onwezen *et al.* 2021; Francis *et al.*, 2024). Por fim, integrações entre setores industriais e agrícolas podem fomentar a sinergia entre sustentabilidade e alta produtividade, promovendo sistemas alimentares resilientes (Kumar *et al.*, 2023).

### **2.2. Aspectos Nutricionais e Saúde Humana**

O perfil nutricional das proteínas alternativas tem sido amplamente discutido na literatura. Enquanto as microalgas e insetos oferecem altos níveis de aminoácidos essenciais, ácidos graxos poli-insaturados e micronutrientes, a carne cultivada busca replicar a composição nutricional da carne tradicional (Herreman *et al.*, 2020; Sá *et al.*, 2020).

Adicionalmente, as dietas à base de plantas são associadas à redução do risco de doenças crônicas não transmissíveis, como diabetes tipo 2 e doenças cardiovasculares, embora o equilíbrio de aminoácidos ainda seja uma questão crítica para populações com altos requerimentos proteicos (Hemler & Hu, 2019; Hariharan *et al.*, 2022).

Avanços na biotecnologia têm possibilitado a fortificação nutricional de proteínas alternativas, como a adição de vitaminas e minerais em microalgas e o ajuste de perfis lipídicos em proteínas alternativas na dieta humana (Rischer *et al.*, 2020; Koukoumaki *et al.*, 2024). Por outro lado, De Koning *et al.* (2020) discutem acerca das dificuldades de aceitação de produtos à base de insetos como fonte de proteína por questões relacionadas a aspectos culturais, os quais impactam diretamente seu consumo em larga escala.

Pesquisas emergentes também exploram os impactos de longo prazo no microbioma humano e suas implicações para saúde metabólica, apontando para novas fronteiras de investigação científica (Garofalo *et al.*, 2019; Young *et al.*, 2020; Kipkoech *et al.*, 2023).

### **2.3. Aceitação Sociocultural e Viabilidade Econômica**

A adoção de proteínas alternativas depende de fatores culturais, socioeconômicos e de percepções individuais. Estudos indicam que barreiras culturais são especialmente prevalentes no caso de insetos e microalgas, enquanto as alternativas vegetais e carnes cultivadas apresentam maior aceitação em mercados ocidentais (Tso *et al.*, 2020; Green *et al.*, 2022).

Além disso, a viabilidade econômica dessas proteínas depende de escalas de produção e da implementação de políticas públicas favoráveis, como subsídios e incentivos fiscais (Cruce & Quinn, 2019; Souza Celente *et al.*, 2023). Iniciativas educacionais também desempenham um papel essencial na promoção da aceitação social dessas inovações alimentares (Maya *et al.*, 2023; Douglas *et al.*, 2024).

Pesquisas recentes também sugerem que a percepção de sustentabilidade e os benefícios à saúde são fatores decisivos para influenciar a aceitação de proteínas alternativas (Banach *et al.*, 2023; Quintieri *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2024).

A criação de parcerias entre governos, indústria e instituições acadêmicas pode catalisar o desenvolvimento de tecnologias acessíveis e eficazes, contribuindo para a inclusão socioeconômica de comunidades vulneráveis.

Análises econômicas mostram que, apesar do alto custo inicial de algumas tecnologias, a escalabilidade e os avanços industriais prometem reduzir custos significativamente nos próximos anos (von Kaufmann & Skafida, 2023).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A revisão sistemática foi realizada consultando bases de dados como Scopus, Web of Science, PubMed, Google Scholar, Repositórios Universitários e Comunicados Técnicos de Órgãos de Pesquisas. Foram incluídos materiais publicados preferencialmente em inglês, entre 2014 e 2024, apresentando dados quantitativos ou qualitativos passíveis de análise. Estudos de caso e publicações sem acesso completo foram excluídas, conforme práticas recomendadas por Walter *et al.* (2020).

A pesquisa utilizou uma combinação de palavras-chave estruturadas segundo os princípios booleanos segundo Atif (2023), incluindo termos como "proteínas alternativas", "dieta humana", "meta-análise" e "sustentabilidade alimentar", etc. (termos pesquisados em inglês). A busca foi complementada por revisão manual de listas de referências de estudos relevantes. Uma abordagem iterativa foi usada para garantir a inclusão de estudos recentes e evitar duplicatas. Os termos de busca foram refinados ao longo do processo para incluir sinônimos e variações de palavras-chave. Um total de 234 estudos foi inicialmente identificado, dos quais 121 atenderam aos critérios após triagem;

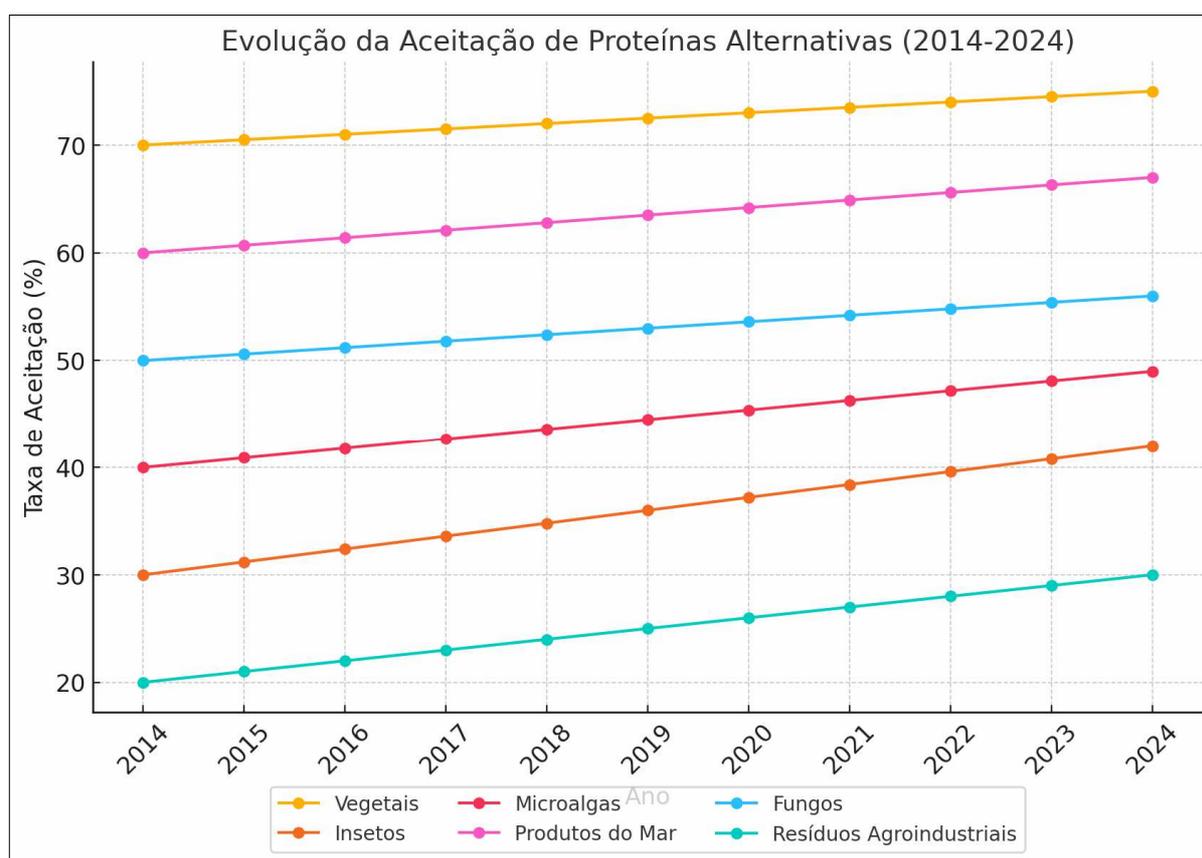
Os dados extraídos incluíram informações sobre o tipo de proteína alternativa, metodologia empregada, resultados nutricionais (perfil de aminoácidos), impactos ambientais (emissões de CO<sub>2</sub>) e indicadores sociais (aceitação cultural). A análise estatística foi conduzida usando modelos de efeitos aleatórios, considerando a heterogeneidade entre estudos. O escore I<sup>2</sup> foi usado para avaliar a inconsistência dos dados, acerca da heterogeneidade (Koukoulithras *et al.*, 2021). A medida de efeito primária incluiu Diferenças Padronizadas de Média (DPM) para variáveis nutricionais e impactos ambientais. Análises de subgrupo foram realizadas para explorar variações entre tipos de proteínas e regiões geográficas. As análises foram realizadas no software R, o qual é acoplado ao programa computacional GENES (Cruz, 2016),

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da Figura 1 apresenta a evolução da aceitação de diferentes proteínas alternativas na dieta humana entre 2014 e 2024, medida em termos de taxa de aceitação (%). As categorias analisadas incluem vegetais, insetos, microalgas, produtos do mar, fungos e resíduos agroindustriais (ênfase em produtos à base de carne ou seus co-produtos).

Os vegetais lideram com a maior taxa de aceitação, ultrapassando 70% em 2024, devido à familiaridade cultural e à crescente adoção de dietas baseadas em plantas (Malila *et al.*, 2024; Rolands *et al.*, 2024). Os fungos aparecem em seguida, com aceitação superior a 60%, impulsionados por produtos como micoproteínas e sua sustentabilidade (Amara & El-Baky, 2023).

Figura 1 - Evolução da aceitação percentual de alimentos à base de proteínas de fontes alternativas no período de 2014 a 2024.



Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,36$ .

Os produtos do mar alcançam cerca de 55% em 2024, devido ao apelo sensorial e aos benefícios à saúde (Kim *et al.*, 2023). As microalgas, com aproximadamente 45%, refletem avanços no desenvolvimento de produtos e percepções positivas sobre sustentabilidade

(Villaró *et al.*, 2021). Os insetos mostram crescimento constante, atingindo 35%, mas enfrentam barreiras culturais (Siddiqui *et al.*, 2022).

Por fim, os resíduos agroindustriais demonstraram aumento significativo, chegando a 30% em 2024, destacando-se pela sustentabilidade e contribuição à economia circular (Hadidi *et al.*, 2024). Apesar disso, preocupações com segurança alimentar persistem.

A distribuição percentual regional das fontes de proteínas alternativas em 2024 está apresentada na Figura 2, destacando as diferenças nas preferências alimentares e práticas de produção entre regiões globais.

Os vegetais são consistentemente a fonte predominante em todas as regiões, correspondendo a mais de 40% do total em cada uma. Essa dominância reflete a familiaridade cultural, a acessibilidade econômica e o reconhecimento de sua sustentabilidade (Onwezen *et al.*, 2021; Akinmeye *et al.*, 2024). Regiões como Ásia e África apresentam uma maior proporção de vegetais, destacando sua dependência dessa fonte para atender às demandas populacionais crescentes (Dossa *et al.*, 2024; Ogutu *et al.*, 2024).

Os produtos do mar têm maior destaque em regiões costeiras, como Ásia e Oceania, onde representam cerca de 20% do total. Essa tendência é atribuída ao acesso facilitado e às preferências culturais por frutos do mar (Issifu *et al.*, 2022). Contudo, preocupações com a sustentabilidade da pesca e os impactos ambientais da aquicultura são desafios importantes para o crescimento dessa categoria (Bohnes & Laurent, 2021).

Os fungos, com representação em torno de 10% nas regiões desenvolvidas como América do Norte e Europa, refletem o aumento do consumo de micoproteínas como alternativas viáveis e ambientalmente amigáveis (Derbyshire & Delange, 2021). A produção controlada e o baixo impacto ambiental tornam essa categoria promissora (Finnigan *et al.*, 2024).

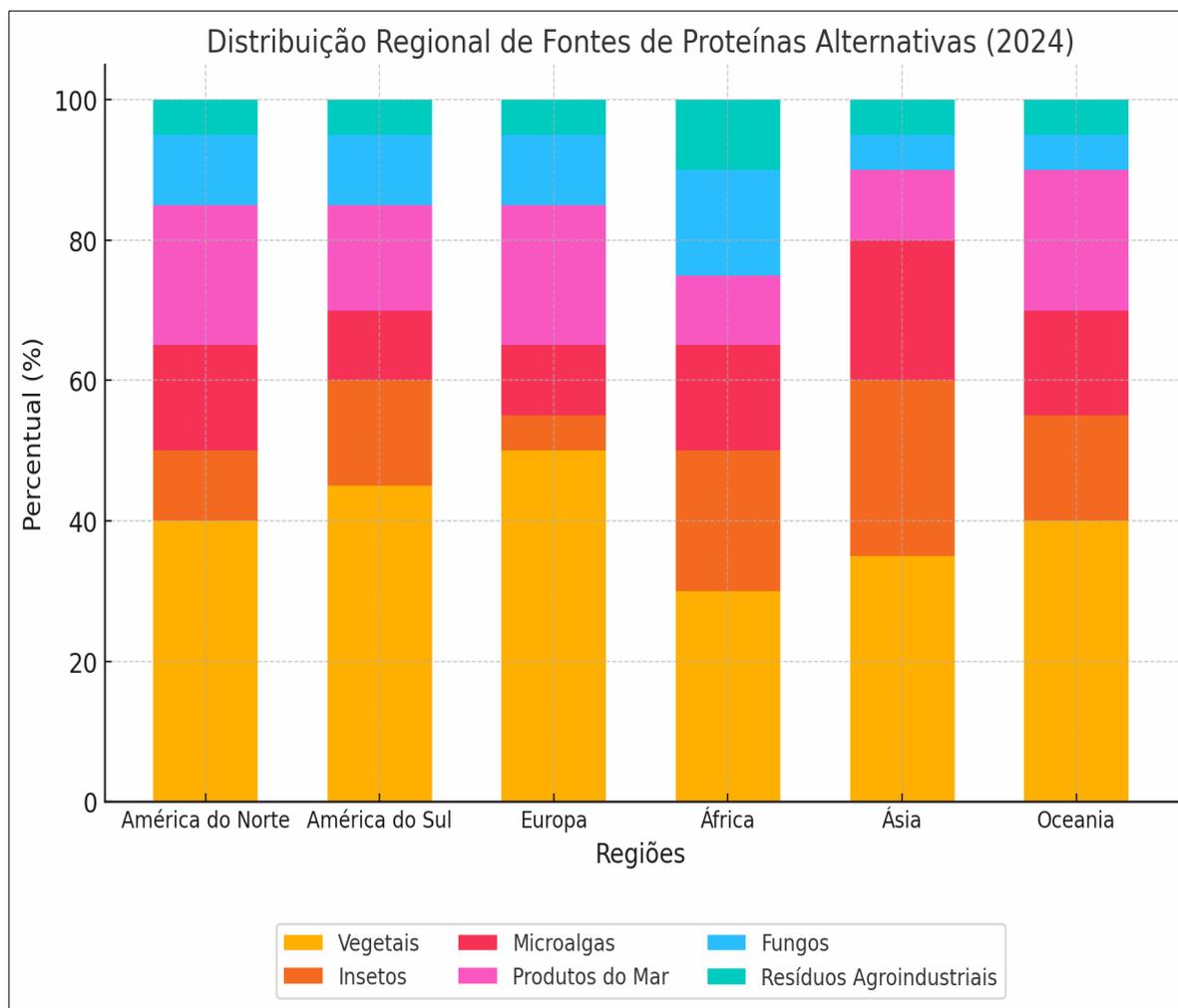
As microalgas, embora menos representativas em todas as regiões (<10%), estão ganhando espaço, especialmente na Ásia, devido às percepções sobre sustentabilidade e alto valor nutricional (Williamson *et al.*, 2024). No entanto, o custo elevado de produção ainda limita sua adoção global (Amorim *et al.*, 2021).

Os insetos têm maior penetração em regiões da Ásia e África, onde representam cerca de 15% do total, refletindo práticas culturais consolidadas e avanços na produção industrial (Belhadj Slimen *et al.*, 2023). No entanto, sua aceitação nos mercados ocidentais permanece limitada por barreiras psicológicas (Kröger *et al.*, 2022).

Por fim, os resíduos agroindustriais, com representação entre 5% e 10%, destacam-se como uma alternativa emergente em regiões industrializadas, como Europa e América do

Norte. Essa categoria reflete os esforços para promover uma economia circular e reduzir o desperdício (Bajić *et al.*, 2022).

Figura 2 - Proporções percentuais dos tipos de proteínas alternativas consumidas em cada região global (dados quantitativos de 2024).



Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,44$ .

Os fatores que influenciam a aceitação de produtos à base de proteínas alternativas em 2024 estão discriminados na Tabela 1; incluindo preço, acesso, sabor, aspectos culturais e sustentabilidade. As categorias analisadas revelam diferenças importantes em sua aceitação.

Os vegetais destacam-se pela alta aceitação, com preço aceitável, alto acesso e sabor positivo, sendo amplamente favorecidos culturalmente (Onwezen *et al.*, 2021; Kurek *et al.*, 2022). Os demais produtos seguem ranqueamentos com padrões similares aos analisados nas Figuras 1 e 2.

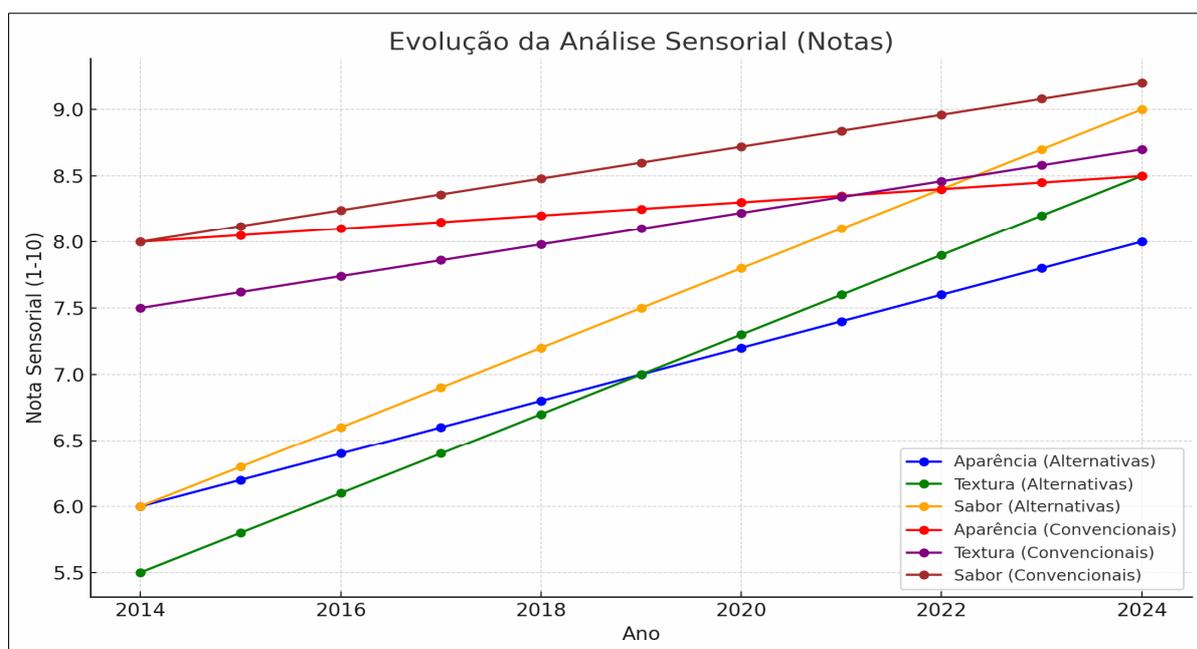
Tabela 1 - Principais fatores que influenciam a aceitação de produtos à base de proteínas alternativas (dados qualitativos de 2024).

Fonte Alternativa	Preço	Acesso	Percepção de Sabor	Aspectos Culturais	Interesse em Sustentabilidade
Vegetais	Aceitável	Alta	Positiva	Favoráveis	Alto
Insetos	Variável	Moderada	Neutra	Resistência	Alto
Microalgas	Moderado	Moderada	Moderada	Resistência	Muito Alto
Prod. Mar	Aceitável	Alta	Positiva	Favoráveis	Moderado
Fungos	Aceitável	Alta	Moderada	Favoráveis	Alto
Res. Agro.	Baixo	Baixa	Neutra	Desfavoráveis	Muito Alto

Res. Agro.: Resíduos Agroindustriais. Prod. Mar: Produtos do Mar. Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,47$ .

A Figura 3 apresenta a evolução da análise sensorial (aparência, textura e sabor) de proteínas alternativas e convencionais entre 2014 e 2024, demonstrando melhorias significativas nas notas atribuídas às alternativas. De acordo com Grossmann & Weiss (2021), os resultados destacam a influência das inovações tecnológicas e das mudanças nas preferências dos consumidores sobre a percepção sensorial desses produtos.

Figura 3 - Evolução da análise sensorial (notas de 1 a 10) de alimentos à base de proteínas de fontes alternativas no período de 2014 a 2024 (dados qualitativos).



Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,28$ .

Em 2014, as proteínas alternativas apresentavam notas inferiores às das convencionais em todos os atributos sensoriais. A aparência, com uma nota inicial em torno de 6,0, evoluiu para 8,0 em 2024, aproximando-se das notas atribuídas às proteínas convencionais. Essa melhora pode ser atribuída ao avanço em técnicas de processamento, como coloração natural e modelagem de produtos (Sobczak *et al.*, 2023). Produtos com aparência semelhante às fontes protéicas tradicionais tendem a ser mais aceitos pelo consumidor (Antoniak *et al.*, 2022).

As texturas também apresentaram avanços substanciais, partindo de 5,5 em 2014 para 7,5 em 2024. Isso reflete os avanços no uso de tecnologias como extrusão de alta umidade e combinação de ingredientes para simular a mastigação das proteínas animais (Guyony *et al.*, 2023). Apesar disso, as proteínas convencionais ainda mantêm uma vantagem sensorial devido à textura mais consistente, com notas próximas de 8,5.

O sabor, considerado um dos atributos mais desafiadores para as proteínas alternativas, evoluiu de uma nota inicial de 5,8 para 7,8. Esse progresso pode ser associado ao uso de aromatizantes naturais e ao mascaramento de sabores residuais das fontes proteicas, como insetos ou microalgas (Wang *et al.*, 2024). No entanto, os produtos convencionais ainda lideram nesse quesito, com notas superiores a 8,5 ao longo do período analisado.

Para as proteínas convencionais, as notas sensoriais mantiveram-se elevadas e relativamente constantes ao longo do período. A estabilidade nas notas de aparência, textura e sabor reflete a consolidação desses produtos no mercado, bem como o alinhamento com as expectativas do consumidor (Małecki *et al.*, 2021).

O consumo de fontes de proteínas alternativas com a percepção cultural associada a essas fontes em 2024 está descrito na Figura 4. Essa análise destaca disparidades significativas entre consumo real e aceitação potencial baseada em aspectos culturais, refletindo tanto barreiras quanto oportunidades para a expansão dessas alternativas.

Os vegetais são a categoria com maior alinhamento entre consumo atual (cerca de 40%) e percepção cultural favorável (cerca de 70%). Esse fato reforça sua posição consolidada como uma escolha alimentícia amplamente aceita, especialmente em regiões onde as dietas baseadas em plantas são promovidas por questões de saúde e sustentabilidade. A expansão de opções plant-based no mercado global também tem contribuído para esse equilíbrio (Aschemann-Witzel *et al.*, 2021).

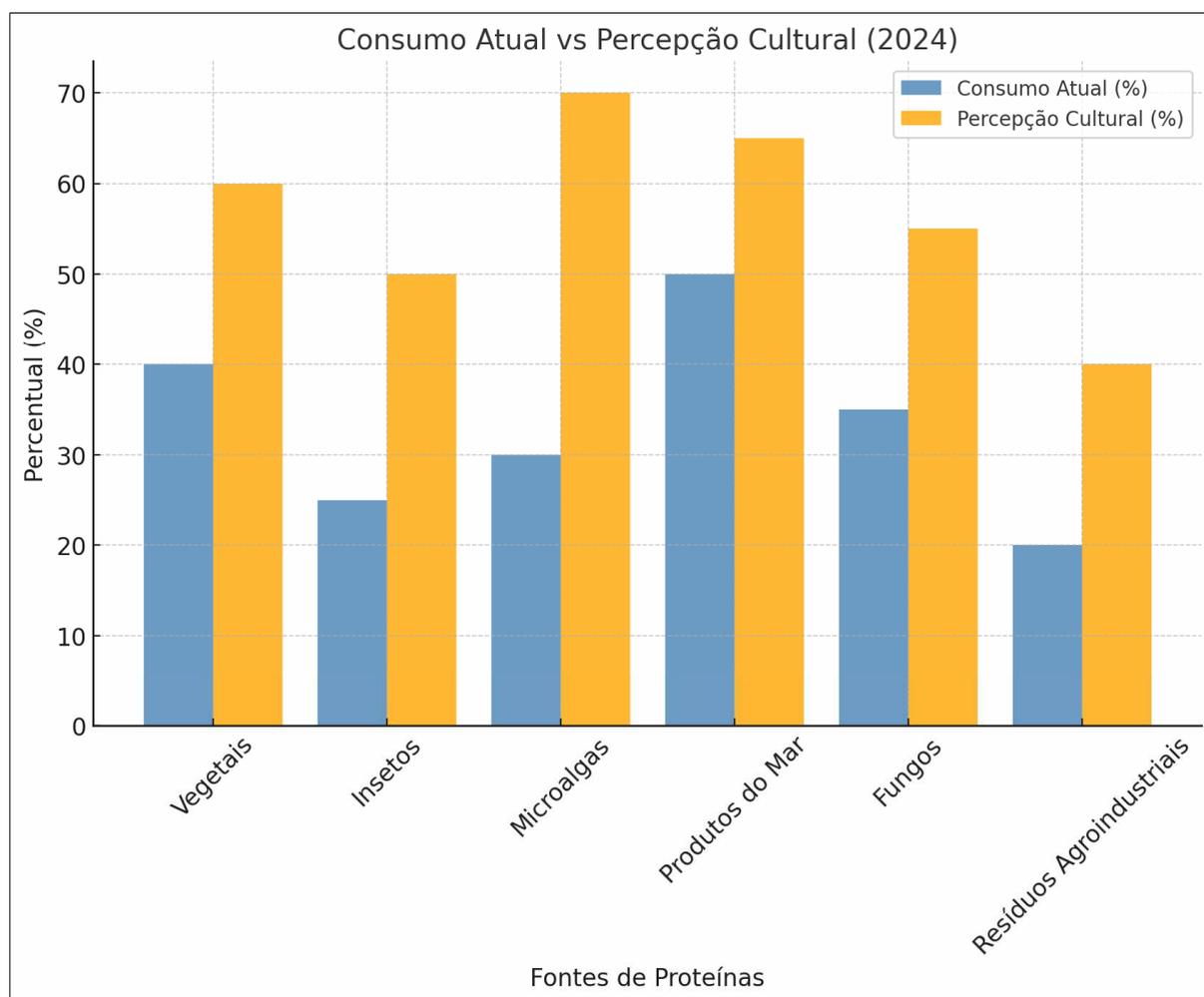
Para os insetos, a percepção cultural (cerca de 50%) supera significativamente o consumo atual (20%), sugerindo que barreiras psicológicas e de acesso ainda restringem sua adoção. Estudos mostram que o desenvolvimento de produtos processados que integram insetos de forma menos evidente pode mitigar esses desafios (Veldkamp *et al.*, 2022). As

microalgas apresentam um comportamento similar, com percepção cultural em torno de 55% e consumo atual inferior a 30%.

Os produtos do mar destacam-se como a categoria com o maior alinhamento (consumo e percepção cultural próximos de 60%), refletindo o papel histórico desses produtos em dietas tradicionais e sua associação a benefícios à saúde, como a presença de ômega-3 (Otero *et al.*, 2021). Os fungos mostram uma relação positiva entre percepção cultural (cerca de 65%) também de forma similar aos produtos do mar (margens semelhantes).

Os resíduos agroindustriais apresentam o maior descompasso, com percepção cultural positiva (45%) superando amplamente o consumo atual (<20%). Isso reflete preocupações relacionadas à segurança alimentar e regulações, apesar do alto interesse em sua aplicação como solução sustentável (Wali, 2021).

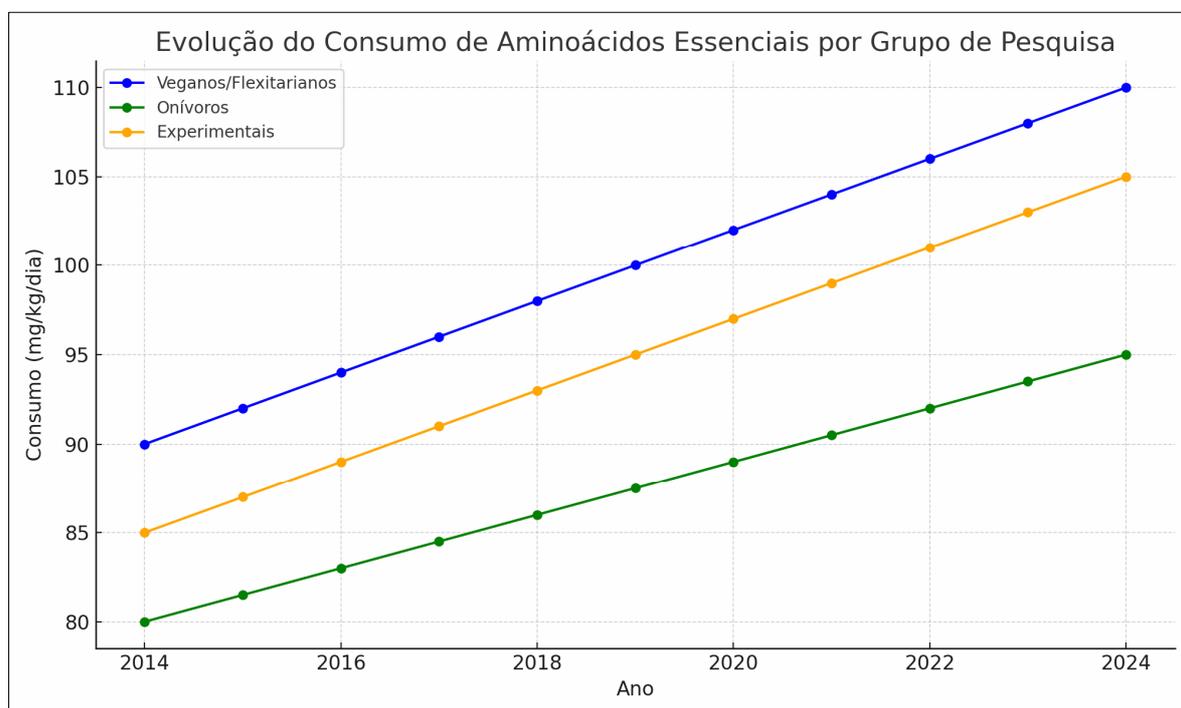
Figura 4 - Comparações dos consumos atuais e potenciais (percepção cultural) de alimentos à base de diferentes fontes de proteínas alternativas (dados quantitativos de 2024).



Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,54$ .

A Figura 5 apresenta a evolução do consumo de aminoácidos essenciais (mg/kg/dia) em três grupos de pesquisa distintos: veganos/flexitarianos, onívoros e experimentais, no período de 2014 a 2024. Os dados evidenciam tendências de crescimento para todos os grupos, refletindo tanto melhorias na qualidade das fontes proteicas quanto mudanças nos padrões dietéticos (Henchion *et al.*, 2021).

Figura 5 - Evolução do consumo de aminoácidos essenciais oriundos de alimentos à base de proteínas alternativas (médias globais em mg/kg/dia obtidas de diferentes perfis comportamentais em populações que participaram de pesquisas no período de 2014 a 2024) (dados quantitativos).



Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,12$ .

As eficiências nutricionais em termos de taxas de conversão energética (%) estão apresentadas na Tabela 2, considerando diferentes fontes de proteínas alternativas em seis regiões globais. Esses dados destacam a variação na eficiência de diferentes fontes protéicas, refletindo fatores como tecnologias de produção, condições climáticas e acesso a recursos.

Os vegetais mostraram as maiores taxas de conversão em todas as regiões, variando entre 75% (na África) e 90% (na Europa). Essa consistência reflete a alta biodisponibilidade e a eficiência do cultivo de plantas para a produção de proteínas (Shaghaghian *et al.*, 2022). Regiões como a Europa e Oceania apresentaram as maiores taxas, possivelmente devido às práticas agrícolas otimizadas e ao acesso a tecnologias modernas (Dhaliwal *et al.*, 2022).

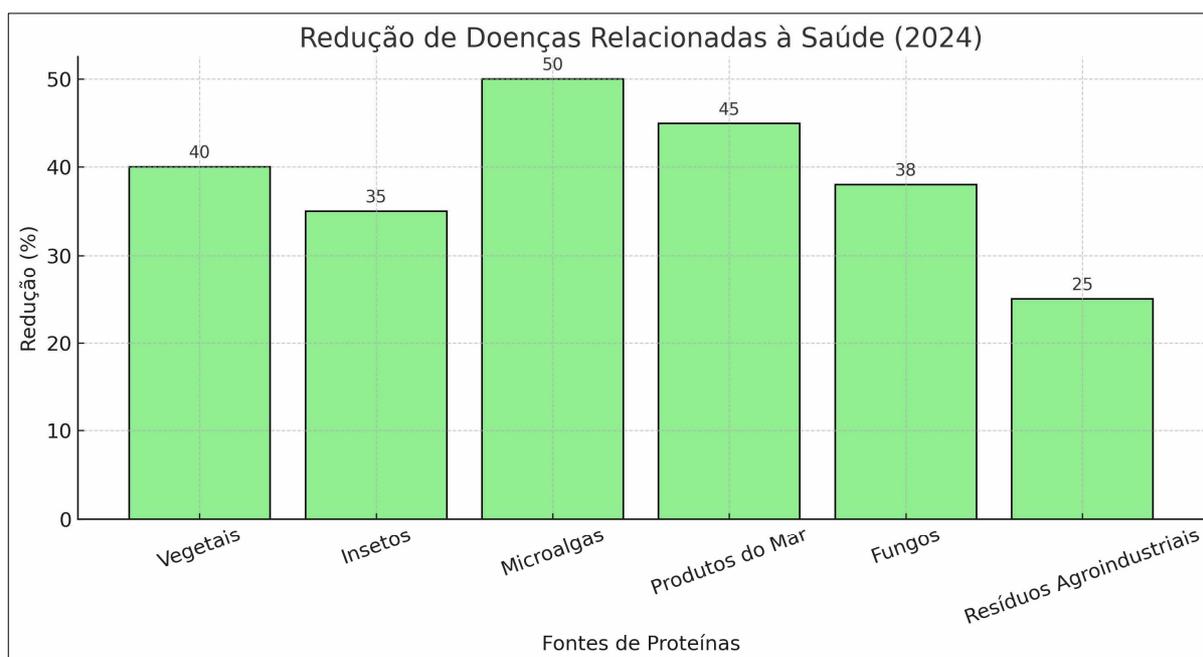
Tabela 2 - Eficiências nutricionais em taxas de conversões energéticas por fonte de proteína alternativa e região global (dados quantitativos de 2024).

Região Global	Taxas de Conversão Energética (%)					
	Vegetais	Insetos	Microalgas	Prod. Mar	Fungos	Res. Agro.
América do Norte	85	70	90	78	75	65
América do Sul	80	65	85	85	80	72
Europa	90	60	88	80	82	70
África	75	80	82	70	68	60
Ásia	85	90	92	88	85	78
Oceania	88	75	89	87	83	74

Res. Agro.: Resíduos Agroindustriais. Prod. Mar: Produtos do Mar. Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,42$ .

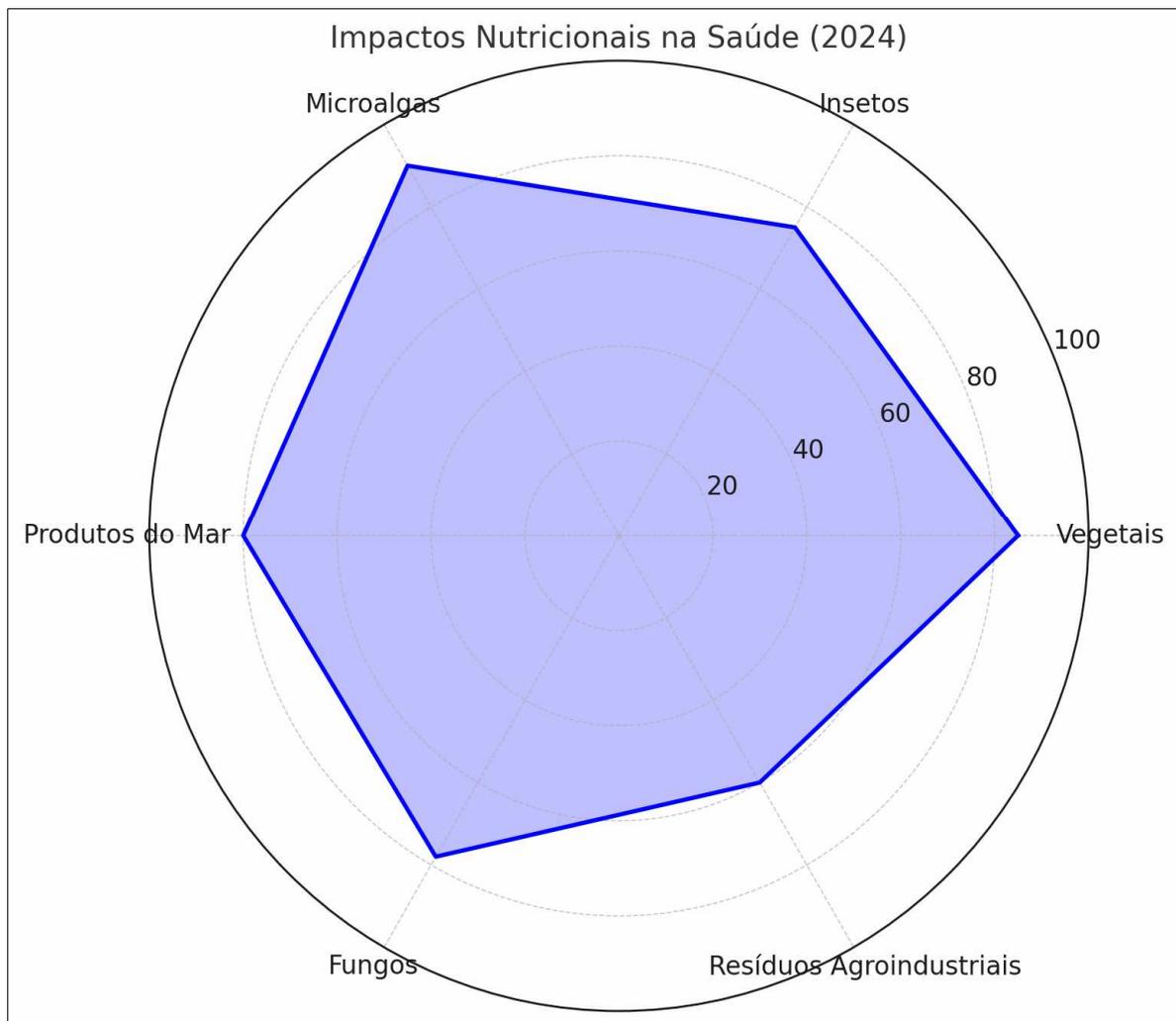
As Figuras 6 e 7 apresentam questões sobre taxas de redução de doenças relacionadas à saúde associadas ao consumo de diferentes fontes de proteínas alternativas. Os dados destacam o impacto positivo dessas fontes na promoção da saúde pública, com variações significativas entre as categorias analisadas.

Figura 6 - Estimativas de reduções de doenças em populações utilizadas em pesquisas médicas globais, em virtude da saúde alimentar à base de proteínas alternativas de diferentes fontes (dados quantitativos de 2024).



Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,28$ .

Figura 7 - Contribuições proporcionais de diferentes fontes de proteínas alternativas em termos de nutrição (médias globais) (dados quantitativos de 2024).



Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,34$ .

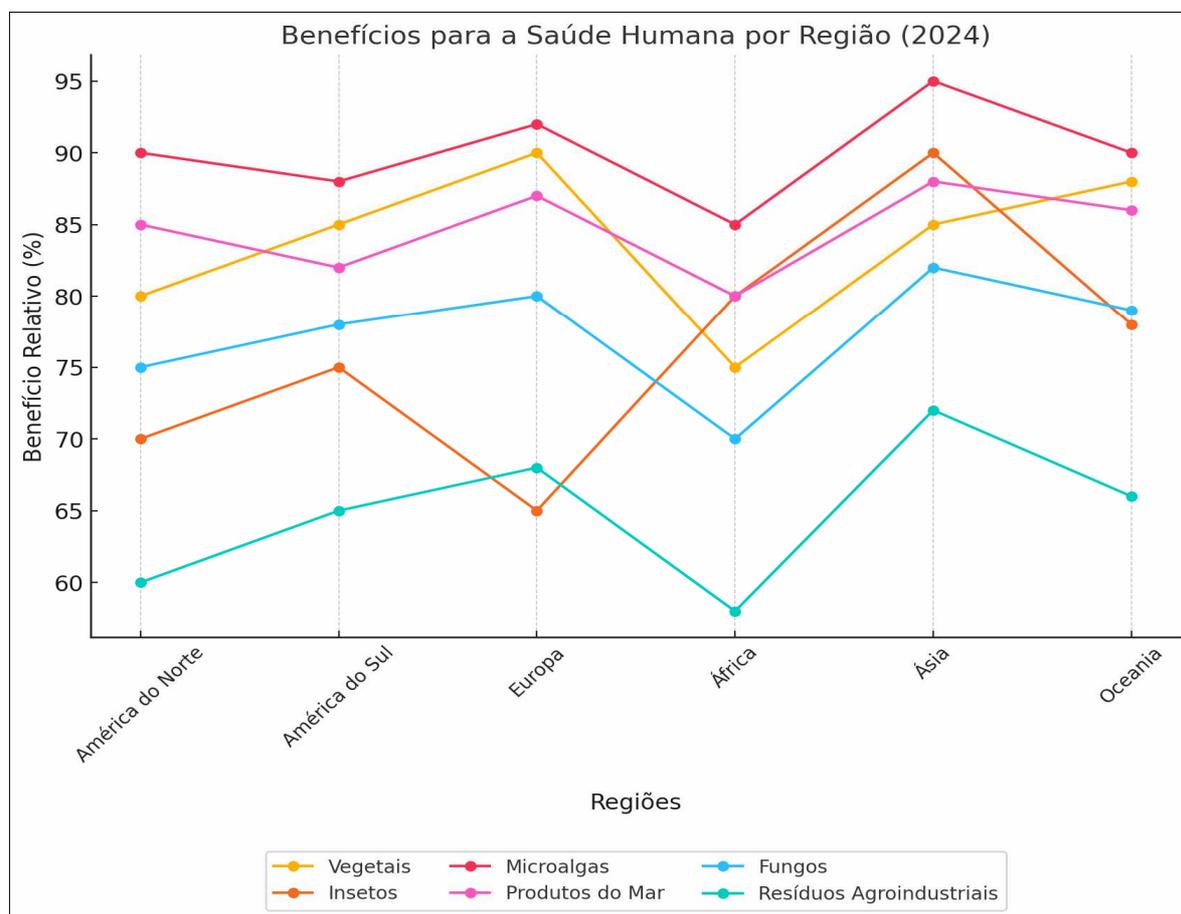
Microalgas e vegetais se destacam como as fontes mais eficazes (Wu *et al.*, 2023), enquanto os resíduos agroindustriais apontam para um campo emergente de pesquisa (Freitas *et al.*, 2021). Nas discussões de Lähteenmäki-Uutela *et al.* (2021), esses resultados são reforçados quanto à necessidade de contundentes políticas públicas que incentivem o consumo de fontes sustentáveis e ampliem o acesso a essas alternativas proteicas.

A Figura 8 apresenta os benefícios relativos das proteínas alternativas para a saúde humana para diferentes regiões globais em 2024. Nguyen *et al.* (2022) lançam reflexões que estão de acordo com estes dados, demonstrando como a distribuição geográfica e as condições culturais, ambientais e econômicas influenciam o impacto dessas fontes proteicas na saúde.

As microalgas lideram em benefícios relativos em todas as regiões, com destaque para a Ásia, onde alcançam mais de 95%. Essa posição é atribuída à alta densidade nutricional e

aos compostos bioativos presentes nas microalgas, como ácidos graxos ômega-3 e antioxidantes (Kumar *et al.*, 2022; Lucakova *et al.*, 2022). Na Ásia, a aceitação cultural e o uso tradicional em dietas favorecem ainda mais seu impacto positivo.

Figura 8 - Benefícios relativos à saúde humana atribuídos a diferentes fontes de proteínas alternativas, considerando dados médios de cada região global (dados quantitativos de 2024).



Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,40$ .

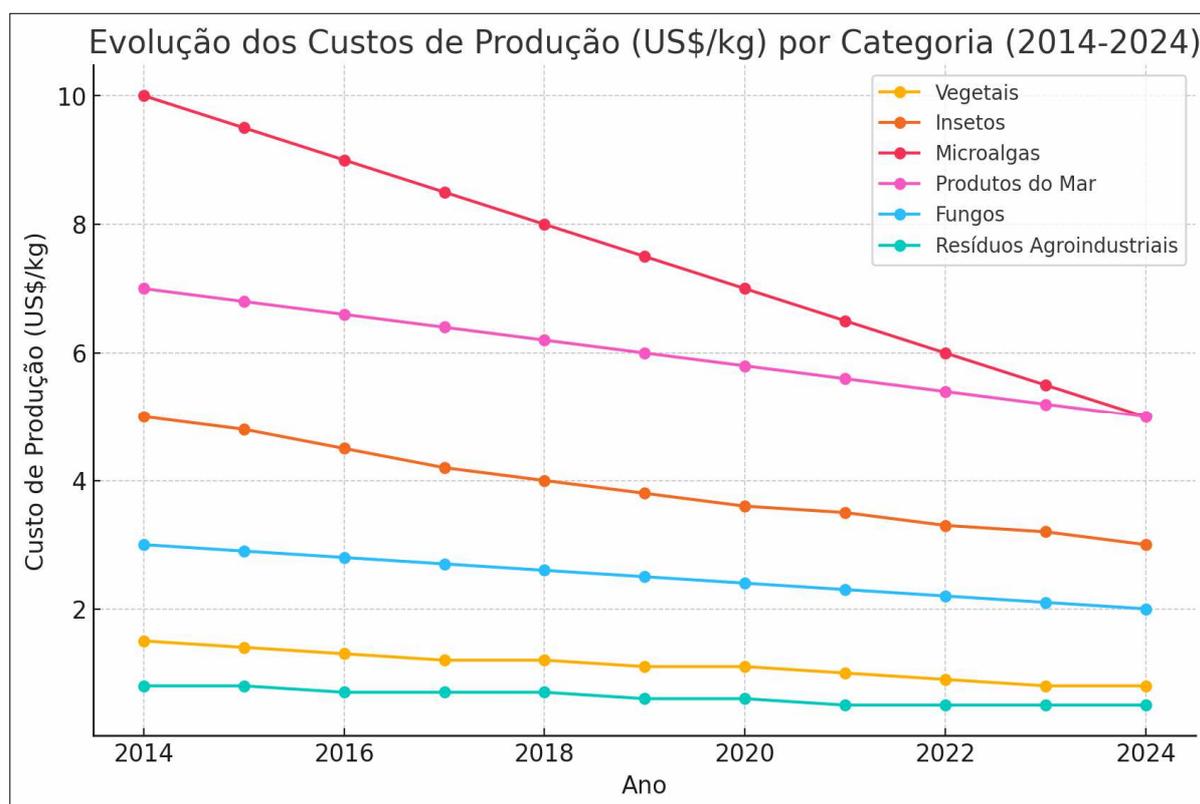
A evolução dos custos de produção (US\$/kg) das proteínas alternativas entre 2014 e 2024, revelando uma tendência geral de redução para todas as categorias analisadas está apresentada na Figura 9. Esses dados refletem o impacto de avanços tecnológicos, otimizações nos processos produtivos e maior escala de produção (Detzel *et al.*, 2022).

As microalgas apresentam os custos mais elevados em 2014 (US\$10/kg), mas demonstram uma queda acentuada, alcançando cerca de US\$6/kg em 2024. Essa redução reflete avanços em tecnologias de cultivo e extração, como fotobiorreatores mais eficientes e o uso de subprodutos como fontes de nutrientes (Chong *et al.*, 2022). No entanto, o custo

ainda é relativamente alto em comparação a outras fontes, limitando sua competitividade (Xu *et al.*, 2024).

Os produtos do mar, com custos iniciais de US\$8/kg, também apresentam uma redução consistente, atingindo cerca de US\$5/kg em 2024. A adoção de práticas mais sustentáveis na aquicultura e a otimização de sistemas de alimentação contribuíram para esse declínio (Lima *et al.*, 2022).

Figura 9 - Evolução dos custos de produção globais médios para alimentos à base diferentes tipos de proteínas alternativas, no período de 2014 a 2024 (dados quantitativos).



US\$/kg: Dólares americanos por quilograma de proteína alternativa. Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, o qual está acoplado ao programa computacional Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,13$ .

Os fungos mostram um custo moderado e relativamente estável ao longo do período, caindo de US\$3/kg para cerca de US\$2/kg. Isso reflete a eficiência dos processos fermentativos e a escalabilidade das micoproteínas. Sua viabilidade econômica é reforçada por seu baixo impacto ambiental e alta aceitação sensorial (Barzee *et al.*, 2021).

Os insetos, que começaram com custos de US\$4/kg, também experimentaram uma redução gradual, atingindo cerca de US\$2,5/kg em 2024. O aumento da eficiência na produção em larga escala e o aproveitamento de resíduos orgânicos como alimento são fatores que impulsionaram essa tendência (Malita *et al.*, 2024).

Os vegetais apresentam os custos mais baixos e consistentes, variando de US\$2/kg em 2014 para US\$1,5/kg em 2024. A ampla disponibilidade de matérias-primas e a alta eficiência agrícola contribuem para essa estabilidade. Essa categoria permanece como a mais competitiva economicamente, sendo amplamente utilizada em dietas baseadas em plantas (Schulp *et al.*, 2024).

Os resíduos agroindustriais, com custos iniciais de US\$3/kg, também apresentam redução significativa, chegando a menos de US\$2/kg em 2024. O reaproveitamento de subprodutos da indústria agroalimentar não apenas reduz custos, mas também promove a sustentabilidade e a economia circular (Segatto *et al.*, 2022).

A Tabela 3 sintetiza indicadores de viabilidade econômica para a produção de diferentes fontes de proteínas alternativas em 2024. Os dados destacam as complexidades e oportunidades relacionadas à implementação em larga escala dessas fontes (Khoshnevisan *et al.*, 2022), considerando aspectos como custo-benefício, escala potencial, demanda crescente, dependência tecnológica e suporte governamental.

Tabela 3 - Indicadores de viabilidade econômica na produção de proteínas alternativas por fonte (dados qualitativos de 2024).

Fonte Alternativa	Custo / Benefício	Escala potencial	Demanda Crescente	Dependência Tecnológica	Suporte Governamental
Vegetais	Alto	Alta	Sim	Baixa	Alto
Insetos	Moderado	Moderada	Sim	Moderada	Moderado
Microalgas	Moderado	Moderada	Sim	Alta	Moderado
Prod. Mar	Baixo	Baixa	Moderada	Moderada	Baixo
Fungos	Moderado	Alta	Sim	Moderada	Moderado
Res. Agro.	Muito Alto	Muito Alta	Sim	Baixa	Alto

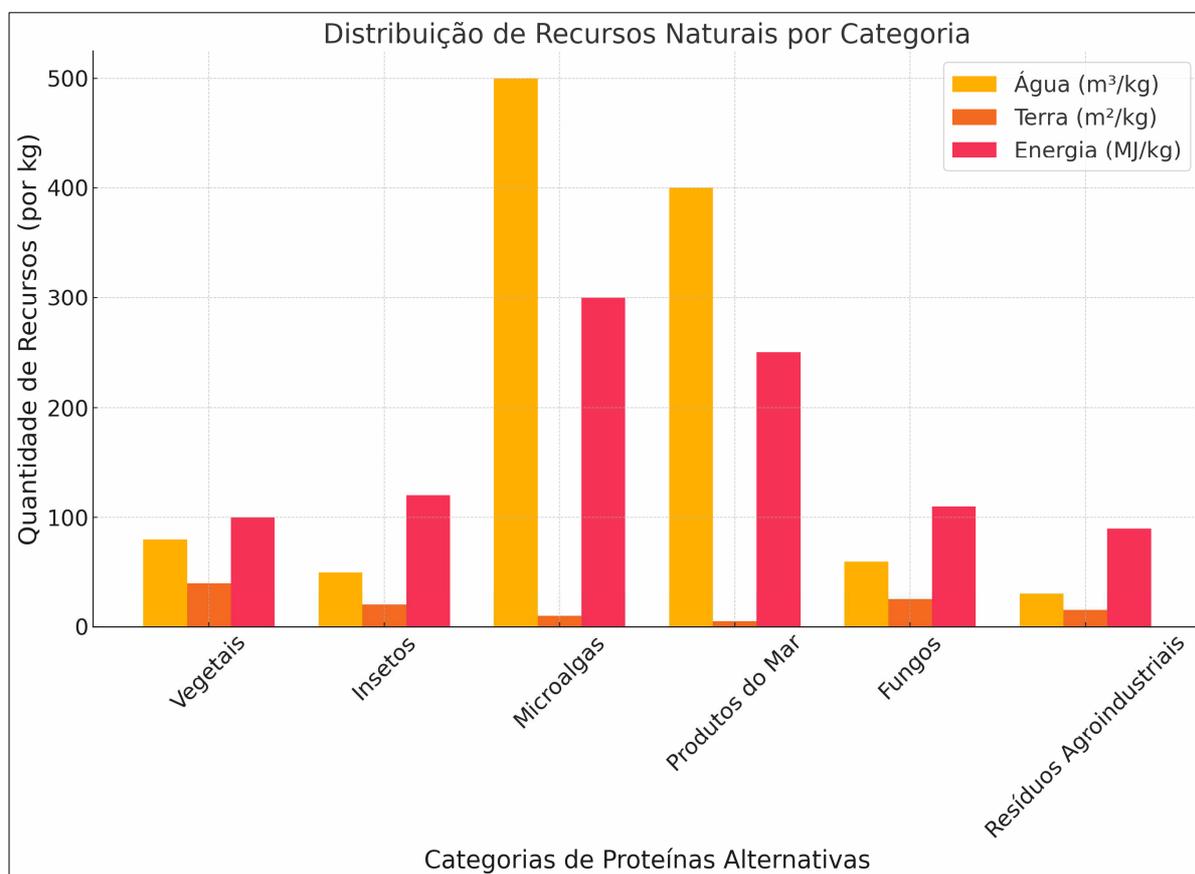
Res. Agro.: Resíduos Agroindustriais. Prod. Mar: Prudutos do Mar. Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,73$ .

Outro aspecto de custos para produção de proteínas alternativas na dieta humana tem relação direta com a distribuição de recursos naturais (água, terra e energia) (Figura 10). Os dados destacam as variações significativas nos insumos requeridos por cada categoria, refletindo diferenças em eficiência produtiva e impacto ambiental (Salter *et al.*, 2021).

Como exemplo comenta-se o caso das microalgas, às quais demonstram os maiores requerimentos de recursos, com altos valores para o consumo de terra (500 m<sup>2</sup>/kg) e energia (400 MJ/kg). Essa elevada demanda reflete a complexidade do cultivo em sistemas fechados e a necessidade de condições controladas para garantir a produtividade. Apesar disso, a alta

densidade nutricional e os benefícios à saúde justificam seu crescente interesse como fonte proteica sustentável (Diaz *et al.*, 2023).

Figura 10 - Utilização em médias globais em recursos para obtenção de diferentes tipos de proteínas alternativas (dados quantitativos de 2024).



MJ/Kg: Megajoule por quilograma. Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,59$ .

Na mesma linha sobre impactos ambientais, tem-se dados importantes neste contexto apresentados por meio da Tabela 4. Esta discrimina a produção de quilogramas de CO<sub>2</sub>, em equivalência por quilograma de proteína produzida (kg CO<sub>2</sub> eq/kg), considerando as diferentes fontes de proteínas alternativas das regiões globais padronizadas neste trabalho.

Observa-se que as emissões variam significativamente entre as regiões e fontes, com destaque para os resíduos agroindustriais, que apresentam os menores valores em todas as regiões, sendo mais eficientes na África (0,2 kg CO<sub>2</sub> eq/kg). Em contraste, os produtos do mar registram as maiores emissões, variando de 1,9 a 2,5 kg CO<sub>2</sub> eq/kg. Entre os insetos e as microalgas, ambas fontes de proteína emergentes, os insetos demonstram consistentemente menor impacto ambiental, com emissões particularmente reduzidas na Ásia (0,3 kg CO<sub>2</sub> eq/kg). Esses resultados destacam o que Shama *et al.* (2022) também argumenta, ou seja, de

que o potencial de fontes alternativas de proteína, como insetos e resíduos agroindustriais, são promissores do ponto de vista de sistemas alimentares mais sustentáveis globalmente.

Tabela 4 - Impactos ambientais em emissões de gases de efeito estufa por fonte de proteína alternativa e região global (dados quantitativos de 2024).

Região Global	(kg CO <sub>2</sub> eq/kg)					
	Vegetais	Insetos	Microalgas	Prod. Mar	Fungos	Res. Agro.
América do Norte	2,1	0,5	1,0	2,5	1,8	0,3
América do Sul	1,8	0,6	0,9	2,0	1,6	0,4
Europa	1,9	0,7	1,2	2,2	1,7	0,5
África	1,5	0,4	0,8	1,9	1,4	0,2
Ásia	1,6	0,3	0,7	2,1	1,5	0,3
Oceania	1,7	0,6	0,9	2,3	1,7	0,4

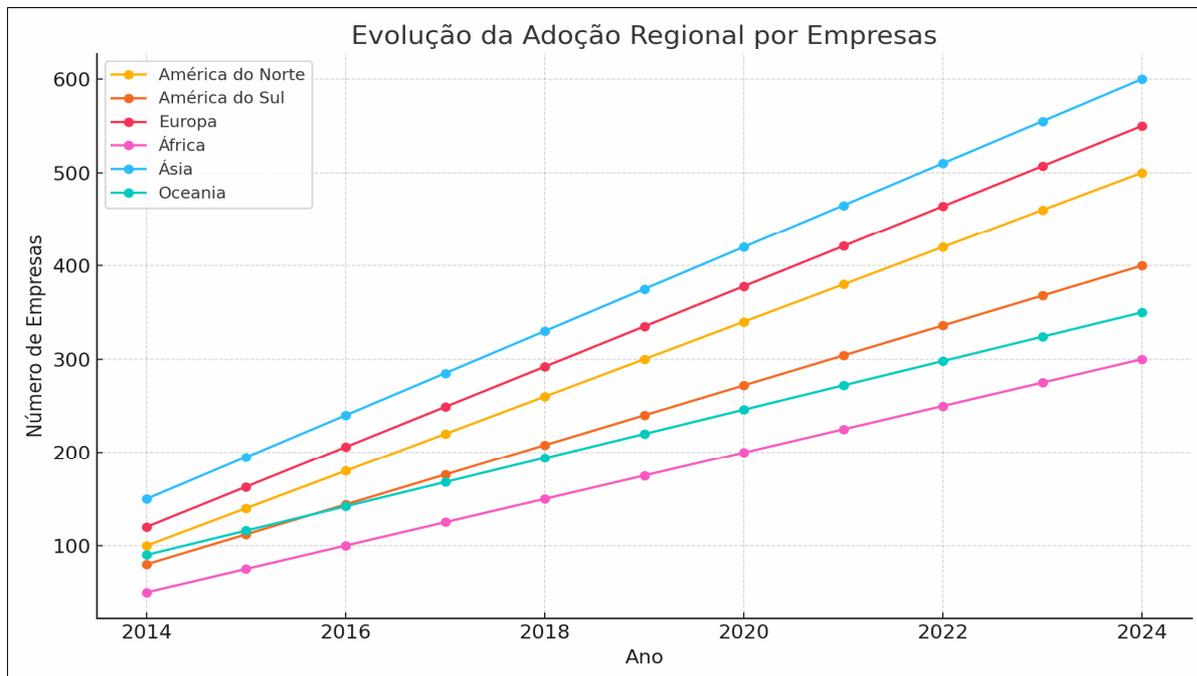
(kg CO<sub>2</sub> eq/kg): Quilogramas de dióxido de carbono equivalente por quilograma de proteína de fontes alternativas produzidas. Res. Agro.: Resíduos Agroindustriais. Prod. Mar: Prudutos do Mar. Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,38$ .

As Figuras 11 e 12 destacam, respectivamente, a evolução da adoção regional de proteínas alternativas por empresas e o crescimento das patentes relacionadas a essas fontes no período de 2014 a 2024. Esses dados evidenciam uma transformação significativa na inovação e adesão empresarial, impulsionadas por demandas de sustentabilidade e avanços tecnológicos (Mylan *et al.*, 2023).

A Figura 11 demonstra um crescimento consistente no número de empresas que adotam proteínas alternativas em todas as regiões analisadas. A Ásia lidera, atingindo mais de 600 empresas em 2024, o que reflete o dinamismo econômico da região e o amplo suporte governamental a inovações alimentares (Liang, Y & Lee, 2022). A Europa e a América do Norte, com cerca de 500 empresas cada, também se destacam, impulsionadas por iniciativas regulatórias e maior conscientização dos consumidores (Mylan *et al.*, 2023).

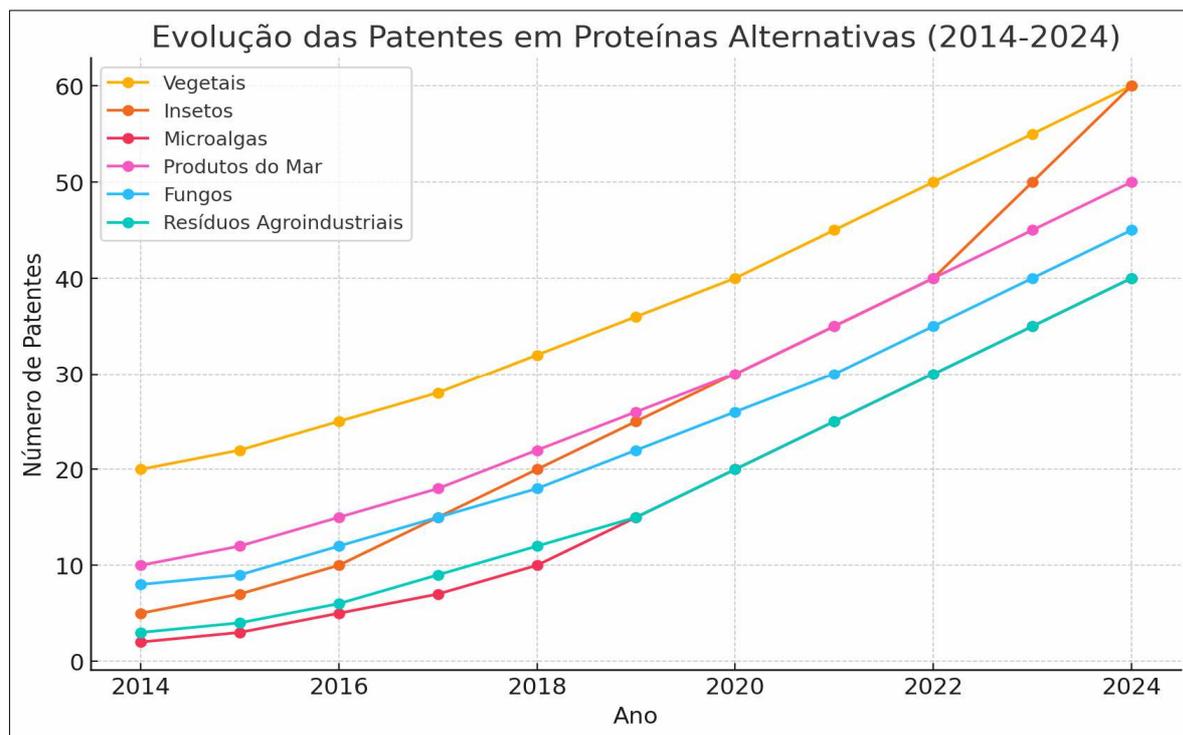
A Figura 12 evidencia um crescimento substancial no registro de patentes para todas as categorias de proteínas alternativas. Vegetais e insetos lideram o número de patentes, ultrapassando 60 e 50 patentes, respectivamente, em 2024. Esse avanço é atribuído à popularização de produtos baseados em plantas e ao crescente interesse em insetos como uma solução sustentável (Tavares *et al.*, 2022).

Figura 11 - Evolução do número de empresas criadas, oriundas de diferentes regiões globais, que atuam com alimentos à base de diferentes fontes de proteínas alternativas (dados quantitativos no período de 2014 a 2024).



Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 8$ .

Figura 12 - Evolução do número de patentes em nível global relacionadas a diferentes fontes de proteínas alternativas no período de 2014 a 2024 (dados quantitativos).



Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 13$ .

Esses resultados destacam a relevância das proteínas alternativas como solução para desafios globais de segurança alimentar e sustentabilidade. Apesar de controvérsias, os avanços refletem um mercado em expansão, de modo geral; impulsionado por inovações tecnológicas, suporte governamental e cada vez maior conscientização dos consumidores. A Tabela 5 apresenta uma síntese generalista, porém também de caráter conclusivo no contexto deste estudo meta-analítico sobre a atual utilização de proteínas alternativas em dietas humanas.

Tabela 5 - Comparação de benefícios nutricionais e ambientais por fonte de proteína alternativa (dados qualitativos de 2024).

Fonte Alternativa	Densidade Nutricional	Impacto Ambiental	Viabilidade Econômica	Aceitação Cultural
Vegetais	Alta	Baixo	Alta	Alta
Insetos	Alta	Muito Baixo	Alta	Moderada
Microalgas	Muito Alta	Muito Baixo	Moderada	Moderada
Prod. Mar	Alta	Moderado	Moderada	Alta
Fungos	Média	Baixo	Alta	Moderada
Res. Agro.	Média	Baixíssimo	Alta	Baixa

Res. Agro.: Resíduos Agroindustriais. Prod. Mar: Produtos do Mar. Fonte: Adaptado pelo autor (2024), referente às saídas geradas pelo software R acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016).  $I^2 = 0,33$ .

## 5. CONCLUSÕES

(i) Eficiência Nutricional: As microalgas apresentam maior densidade nutricional, seguidas por insetos e produtos do mar, enquanto fungos e resíduos agroindustriais apresentam níveis médios.

(ii) Sustentabilidade Ambiental: Resíduos agroindustriais e insetos têm o menor impacto ambiental, seguidos pelas microalgas. Já os produtos do mar apresentam impacto moderado.

(iii) Viabilidade Econômica: A probabilidade econômica é alta para vegetais, insetos, fungos e resíduos agroindustriais, mas moderada para microalgas e produtos do mar.

(iv) Aceitação Cultural: Vegetais e produtos do mar são as fontes mais aceitas, enquanto insetos, microalgas e fungos possuem acesso moderado. Os resíduos agroindustriais enfrentam maior resistência cultural.

(v) Redução de Doenças: O consumo de proteínas alternativas pode reduzir em doenças até 50%, com destaque para as microalgas. Os resíduos agroindustriais apresentam menor impacto na saúde.

(vi) Potencial de Expansão: Apesar do alcance cultural moderado, microalgas e insetos possuem alto potencial de expansão devido à sua densidade nutricional e impacto ambiental reduzido.

## REFERÊNCIAS

- Abergel, E. (2024). Making and Eating Meat in/for/Against the Anthropocene. In *Dead Meat* (pp. 125-164). Palgrave Macmillan, Singapore.
- Akinmeye, F., Chriki, S., Liu, C., Zhao, J., & Ghnimi, S. (2024). What factors influence consumer attitudes towards alternative proteins?. *Food and Humanity*, 3, 100349.
- Amara, A. A., & El-Baky, N. A. (2023). Fungi as a source of edible proteins and animal feed. *Journal of Fungi*, 9(1), 73.
- Amorim, M. L., Soares, J., Coimbra, J. S. D. R., Leite, M. D. O., Albino, L. F. T., & Martins, M. A. (2021). Microalgae proteins: Production, separation, isolation, quantification, and application in food and feed. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(12), 1976-2002.
- Antoniak, M. A., Szymkowiak, A., & Pepliński, B. (2022). The source of protein or its value? Consumer perception regarding the importance of meat (-like) product attributes. *Applied Sciences*, 12(9), 4128.
- Aschemann-Witzel, J., Gantriis, R. F., Fraga, P., & Perez-Cueto, F. J. (2021). Plant-based food and protein trend from a business perspective: Markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future. *Critical reviews in food science and nutrition*, 61(18), 3119-3128.
- Atif, S. (2023). Mapping circular economy principles and servitisation approach in business model canvas: an integrated literature review. *Future Business Journal*, 9(1), 33.
- Bajić, B., Vučurović, D., Vasić, Đ., Jevtić-Mučibabić, R., & Dodić, S. (2022). Biotechnological production of sustainable microbial proteins from agro-industrial residues and by-products. *Foods*, 12(1), 107.
- Banach, J. L., Van Der Berg, J. P., Kleter, G., Van Bokhorst-van De Veen, H., Bastiaan-Net, S., Pouvreau, L., & Van Asselt, E. D. (2023). Alternative proteins for meat and dairy replacers: Food safety and future trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(32), 11063-11080.
- Barzee, T. J., Cao, L., Pan, Z., & Zhang, R. (2021). Fungi for future foods. *Journal of Future Foods*, 1(1), 25-37.
- Bedsaul-Fryer, J. R., Monroy-Gomez, J., van Zutphen-Küffer, K. G., & Kraemer, K. (2023). An introduction to traditional and novel alternative proteins for low-and middle-income countries. *Current Developments in Nutrition*, 8(Suppl 1), 102014.
- Belhadj Slimen, I., Yerou, H., Ben Larbi, M., M'Hamdi, N., & Najar, T. (2023). Insects as an alternative protein source for poultry nutrition: a review. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1200031.
- Berners-Lee, M., Kennelly, C., Watson, R., & Hewitt, C. N. (2018). Current global food production is sufficient to meet human nutritional needs in 2050 provided there is radical societal adaptation. *Elem Sci Anth*, 6, 52.

- Bohnes, F. A., & Laurent, A. (2021). Environmental impacts of existing and future aquaculture production: comparison of technologies and feed options in Singapore. *Aquaculture*, 532, 736001.
- Cappellozza, S., Leonardi, M. G., Savoldelli, S., Carminati, D., Rizzolo, A., Cortellino, G., ... & Tettamanti, G. (2019). A first attempt to produce proteins from insects by means of a circular economy. *Animals*, 9(5), 278.
- Chakraborty, P., Mallik, A., Sarang, N., & Lingam, S. S. (2019). A review on alternative plant protein sources available for future sustainable aqua feed production. *Int. J. Chem. Stud*, 7(3), 1399-1404.
- Chong, P. H., Tan, J. H., & Troop, J. (2022). *Microalgae as a Source of Sustainability*. In *Microalgae for Environmental Biotechnology* (pp. 1-66). CRC Press.
- Cruce, J. R., & Quinn, J. C. (2019). Economic viability of multiple algal biorefining pathways and the impact of public policies. *Applied Energy*, 233, 735-746.
- Cruz, C. D. (2016). Programa Genes-Ampliado e integrado aos aplicativos R, Matlab e Selegen. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 38, 547-552.
- Dhaliwal, S. S., Sharma, V., Shukla, A. K., Verma, V., Kaur, M., Shivay, Y. S., ... & Hossain, A. (2022). Biofortification—A frontier novel approach to enrich micronutrients in field crops to encounter the nutritional security. *Molecules*, 27(4), 1340.
- De Koning, W., Dean, D., Vriesekoop, F., Aguiar, L. K., Anderson, M., Mongondry, P., ... & Boereboom, A. (2020). Drivers and inhibitors in the acceptance of meat alternatives: The case of plant and insect-based proteins. *Foods*, 9(9), 1292.
- Derbyshire, E. J., & Delange, J. (2021). Fungal protein—what is it and what is the health evidence? A systematic review focusing on mycoprotein. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 581682.
- Detzel, A., Krüger, M., Busch, M., Blanco - Gutiérrez, I., Varela, C., Manners, R., ... & Zannini, E. (2022). Life cycle assessment of animal - based foods and plant - based protein - rich alternatives: an environmental perspective. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(12), 5098-5110.
- Diaz, C. J., Douglas, K. J., Kang, K., Kolarik, A. L., Malinowski, R., Torres-Tiji, Y., ... & Mayfield, S. P. (2023). Developing algae as a sustainable food source. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1029841.
- Dossa, K. F., & Miassi, Y. E. (2024). Plant Proteins Availability in Europe and Asia: A Causality Analysis of Climate, Demographics, and Economic Factors. *Rural and Regional Development*, 2(1), 10002.
- Douglas, N., Gor, C., & Rebecca, K. (2024). Evaluating Farmers' Awareness and Adoption of Housefly Maggots as Alternative Protein for Broiler Chicken Production in Mbarara District, Western Uganda. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. A, Entomology*, 17(3), 101-115.

- Feld, K. (2023). *The Role of Climate Movement Organizations and Consciousness Raising in a Plant-Based Food System Transition* (Master's thesis, Northern Arizona University).
- Finnigan, T., Mach, K., & Edlin, A. (2024). Mycoprotein: a healthy new protein with a low environmental impact. In *Sustainable protein sources* (pp. 539-566). Academic Press.
- Francis, A., Ghnimi, S., & Smetana, S. (2024). Development of a regionalized dynamic weighting method for the environmental impact of alternative protein sources. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1294390.
- Freitas, L. C., Barbosa, J. R., da Costa, A. L. C., Bezerra, F. W. F., Pinto, R. H. H., & de Carvalho Junior, R. N. (2021). From waste to sustainable industry: How can agro-industrial wastes help in the development of new products?. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105466.
- Garofalo, C., Milanović, V., Cardinali, F., Aquilanti, L., Clementi, F., & Osimani, A. (2019). Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. *Food Research International*, 125, 108527.
- Gil, M., Rudy, M., Duma-Kocan, P., Stanisławczyk, R., Krajewska, A., Dziki, D., & Hassoon, W. H. (2024). Sustainability of Alternatives to Animal Protein Sources, a Comprehensive Review. *Sustainability*, 16(17), 7701.
- Green, A., Blattmann, C., Chen, C., & Mathys, A. (2022). The role of alternative proteins and future foods in sustainable and contextually-adapted flexitarian diets. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 250-258.
- Grossmann, L., & Weiss, J. (2021). Alternative protein sources as technofunctional food ingredients. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12(1), 93-117.
- Guyony, V., Fayolle, F., & Jury, V. (2023). High moisture extrusion of vegetable proteins for making fibrous meat analogs: A review. *Food Reviews International*, 39(7), 4262-4287.
- Harun, R., Singh, M., Forde, G. M., & Danquah, M. K. (2010). Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(3), 1037-1047.
- Hadi, J., & Brightwell, G. (2021). Safety of alternative proteins: Technological, environmental and regulatory aspects of cultured meat, plant-based meat, insect protein and single-cell protein. *Foods*, 10(6), 1226.
- Hadidi, M., Aghababaei, F., Gonzalez-Serrano, D. J., Goksen, G., Trif, M., McClements, D. J., & Moreno, A. (2024). Plant-based proteins from agro-industrial waste and by-products: Towards a more circular economy. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129576.
- Hariharan, R., Odjidja, E. N., Scott, D., Shivappa, N., Hébert, J. R., Hodge, A., & de Courten, B. (2022). The dietary inflammatory index, obesity, type 2 diabetes, and cardiovascular risk factors and diseases. *Obesity Reviews*, 23(1), e13349.

- Helliwell, R., Bjørnerud, E., & Nerby, T. (2024). Cultured meat and responsible research when the future is an illusion for financial speculation. In *EurSafe2024 Proceedings* (pp. 93-98). Wageningen Academic.
- Hemler, E. C., & Hu, F. B. (2019). Plant-based diets for cardiovascular disease prevention: all plant foods are not created equal. *Current atherosclerosis reports*, *21*, 1-8.
- Henchion, M., Moloney, A. P., Hyland, J., Zimmermann, J., & McCarthy, S. (2021). Trends for meat, milk and egg consumption for the next decades and the role played by livestock systems in the global production of proteins. *Animal*, *15*, 100287.
- Herreman, L., Nommensen, P., Pennings, B., & Laus, M. C. (2020). Comprehensive overview of the quality of plant - And animal - sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score. *Food science & nutrition*, *8*(10), 5379-5391.
- Issifu, I., Deffor, E. W., Deyshappriya, N. P. R., Dahmouni, I., & Sumaila, U. R. (2022). Drivers of seafood consumption at different geographical scales. *Journal of Sustainability Research*, *4*(3).
- Kennedy, E. J. (2024). Sustainable Labor Rights. *Berkeley J. Emp. & Lab. L.*, *45*, 55.
- Khoshnevisan, B., He, L., Xu, M., Valverde-Pérez, B., Sillman, J., Mitiraka, G. C., ... & Angelidaki, I. (2022). From renewable energy to sustainable protein sources: Advancement, challenges, and future roadmaps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *157*, 112041.
- Kim, D., Caputo, V., & Kilders, V. (2023). Consumer preferences and demand for conventional seafood and seafood alternatives: Do ingredient information and processing stage matter?. *Food Quality and Preference*, *108*, 104872.
- Kipkoech, C. (2023). Beyond proteins—Edible insects as a source of dietary fiber. *Polysaccharides*, *4*(2), 116-128.
- Koukoumaki, D. I., Tsouko, E., Papanikolaou, S., Ioannou, Z., Diamantopoulou, P., & Sarris, D. (2024). Recent advances in the production of single cell protein from renewable resources and applications. *Carbon Resources Conversion*, *7*(2), 100195.
- Koukoulithras Sr, I., Stamouli, A., Kolokotsios, S., Plexousakis Sr, M., & Mavrogiannopoulou, C. (2021). The effectiveness of non-pharmaceutical interventions upon pregnancy-related low back pain: a systematic review and meta-analysis. *Cureus*, *13*(1).
- Kröger, T., Dupont, J., Büsing, L., & Fiebelkorn, F. (2022). Acceptance of insect-based food products in western societies: a systematic review. *Frontiers in nutrition*, *8*, 759885.
- Kurek, M. A., Onopiuk, A., Pogorzelska-Nowicka, E., Szpicer, A., Zalewska, M., & Półtorak, A. (2022). Novel protein sources for applications in meat-alternative products—Insight and challenges. *Foods*, *11*(7), 957.
- Kumar, P., Mehta, N., Abubakar, A. A., Verma, A. K., Kaka, U., Sharma, N., ... & Lorenzo, J. M. (2023). Potential alternatives of animal proteins for sustainability in the food sector. *Food Reviews International*, *39*(8), 5703-5728.

- Lähteenmäki-Uutela, A., Rahikainen, M., Lonkila, A., & Yang, B. (2021). Alternative proteins and EU food law. *Food Control*, *130*, 108336.
- Lange, K. W., & Nakamura, Y. (2021). Edible insects as future food: chances and challenges. *Journal of future foods*, *1*(1), 38-46.
- Lima, M., Costa, R., Rodrigues, I., Lameiras, J., & Botelho, G. (2022). A narrative review of alternative protein sources: highlights on meat, fish, egg and dairy analogues. *Foods*, *11*(14), 2053.
- Liang, Y., & Lee, D. (2022). Recent progress of cultivated meat in Asia. *Food Materials Research*, *2*(1), 1-8.
- Lucakova, S., Branyikova, I., & Hayes, M. (2022). Microalgal proteins and bioactives for food, feed, and other applications. *Applied Sciences*, *12*(9), 4402.
- Małecki, J., Muszyński, S., & Sołowiej, B. G. (2021). Proteins in food systems—bionanomaterials, conventional and unconventional sources, functional properties, and development opportunities. *Polymers*, *13*(15), 2506.
- Malila, Y., Owolabi, I. O., Chotanaphuti, T., Sakdibhornssup, N., Elliott, C. T., Visessanguan, W., ... & Petchkongkaew, A. (2024). Current challenges of alternative proteins as future foods. *npj Science of Food*, *8*(1), 53.
- Maya, C., Sterling, K., Rukov, J. L., & Roos, N. (2023). Perception of edible insects and insect-based foods among children in Denmark: educational and tasting interventions in online and in-person classrooms. *Journal of Insects as Food and Feed*, *9*(8), 989-1001.
- Moura, M. A. F. E., Martins, B. D. A., Oliveira, G. P. D., & Takahashi, J. A. (2023). Alternative protein sources of plant, algal, fungal and insect origins for dietary diversification in search of nutrition and health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(31), 10691-10708.
- Mylan, J., Andrews, J., & Maye, D. (2023). The big business of sustainable food production and consumption: Exploring the transition to alternative proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *120*(47), e2207782120.
- Nguyen, J., Ferraro, C., Sands, S., & Luxton, S. (2022). Alternative protein consumption: A systematic review and future research directions. *International Journal of Consumer Studies*, *46*(5), 1691-1717.
- Nirmal, N., Anyimadu, C. F., Khanashyam, A. C., Bekhit, A. E. D. A., & Dhar, B. K. (2024). Alternative Protein Sources: Addressing Global Food Security and Environmental Sustainability. *Sustainable Development*.
- Ogutu, F. O., Okiko, G., Wanjala, G., Luvitaa, S., Obong'o, B. O., Vriesekoop, F., & Munialo, C. D. (2024). Unlocking the potential of plant - based foods in sub - Saharan Africa: a review of the opportunities and challenges. *International Journal of Food Science & Technology*, *59*(8), 5326-5342.
- Onwezen, M. C., Bouwman, E. P., Reinders, M. J., & Dagevos, H. (2021). A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat. *Appetite*, *159*, 105058.

Otero, P., Carpena, M., Fraga - Corral, M., Garcia - Oliveira, P., Soria - Lopez, A., Barba, F. J., ... & Prieto, M. A. (2021). Aquaculture and agriculture - by products as sustainable sources of omega - 3 fatty acids in the food industry. *EFood*, 2(5), 209-233.

Quintieri, L., Nitride, C., De Angelis, E., Lamonaca, A., Pilolli, R., Russo, F., & Monaci, L. (2023). Alternative protein sources and novel foods: benefits, food applications and safety issues. *Nutrients*, 15(6), 1509.

Rischer, H., Szilvay, G. R., & Oksman-Caldentey, K. M. (2020). Cellular agriculture— industrial biotechnology for food and materials. *Current opinion in biotechnology*, 61, 128-134.

Rolands, M. R., Hackl, L. S., Bochud, M., & Lê, K. A. (2024). Protein adequacy, plant protein proportion and main plant protein sources consumed across vegan, vegetarian, pescovegetarian and semi-vegetarian diets: A systematic review. *The Journal of Nutrition*.

Sá, A. G. A., Moreno, Y. M. F., & Carciofi, B. A. M. (2020). Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 170-184.

Salter, A. M., & Lopez-Viso, C. (2021). Role of novel protein sources in sustainably meeting future global requirements. *Proceedings of the Nutrition Society*, 80(2), 186-194.

Schulp, C. J., Ulug, C., Stratton, A. E., Williams, T. G., & Verburg, P. H. (2024). Linking production, processing, and consumption of plant-based protein alternatives in Europe. *Global Environmental Change*, 89, 102940.

Segatto, M. L., Stahl, A. M., Zanotti, K., & Zuin, V. G. (2022). Green and sustainable extraction of proteins from agro-industrial waste: An overview and a closer look to Latin America. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 37, 100661.

Shaghaghian, S., McClements, D. J., Khalesi, M., Garcia-Vaquero, M., & Mirzapour-Kouhdasht, A. (2022). Digestibility and bioavailability of plant-based proteins intended for use in meat analogues: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 646-656.

Siddiqui, S. A., Alvi, T., Sameen, A., Khan, S., Blinov, A. V., Nagdalian, A. A., ... & Onwezen, M. (2022). Consumer acceptance of alternative proteins: A systematic review of current alternative protein sources and interventions adapted to increase their acceptability. *Sustainability*, 14(22), 15370.

Siegrist, A., Green, A., Gold, M., & Mathys, A. (2023). Recent findings on environmental sustainability and conversion efficiency of waste-to-protein pathways. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 41, 100833.

Sobczak, P., Grochowicz, J., Łusiak, P., & Żukiewicz-Sobczak, W. (2023). Development of alternative protein sources in terms of a sustainable system. *Sustainability*, 15(16), 12111.

Souza Celente, G., Sui, Y., & Acharya, P. (2023). Seaweed as an alternative protein source: Prospective protein extraction technologies. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 86, 103374.

- Tavares, P. P. L. G., dos Santos Lima, M., Pessôa, L. C., de Andrade Bulos, R. B., de Oliveira, T. T. B., da Silva Cruz, L. F., ... & de Souza, C. O. (2022). Innovation in alternative food sources: A review of a technological state-of-the-art of insects in food products. *Foods*, *11*(23), 3792.
- Tso, R., Lim, A. J., & Forde, C. G. (2020). A critical appraisal of the evidence supporting consumer motivations for alternative proteins. *Foods*, *10*(1), 24.
- Ulhas, R. S., Ravindran, R., Malaviya, A., Priyadarshini, A., Tiwari, B. K., & Rajauria, G. (2023). A review of alternative proteins for vegan diets: sources, physico-chemical properties, nutritional equivalency, and consumer acceptance. *Food Research International*, 113479.
- Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, *2*(7), 494-501.
- Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual review of entomology*, *58*(1), 563-583.
- van Meijl, H., Shutes, L., Valin, H., Stehfest, E., van Dijk, M., Kuiper, M., ... & Havlik, P. (2020). Modelling alternative futures of global food security: Insights from FOODSECURE. *Global Food Security*, *25*, 100358.
- Veldkamp, T., Meijer, N., Alleweldt, F., Deruytter, D., Van Campenhout, L., Gasco, L., ... & Van der Fels-Klerx, H. J. (2022). Overcoming technical and market barriers to enable sustainable large-scale production and consumption of insect proteins in Europe: A SUSINCHAIN perspective. *Insects*, *13*(3), 281.
- Villaró, S., Viñas, I., & Lafarga, T. (2021). Consumer acceptance and attitudes toward microalgae and microalgal-derived products as food. In *Cultured microalgae for the food industry* (pp. 367-385). Academic Press.
- von Kaufmann, F., & Skafida, V. (2023). Captive school markets, industry self-regulation, and public-private partnerships: Narratives shaping the development of alternative proteins in the United States, 1965–1982. *Food Policy*, *116*, 102437.
- Xu, Y., Tong, X., Lu, Y., Lu, Y., Wang, X., Han, J., ... & Sun, Q. (2024). Microalgal proteins: Unveiling sustainable alternatives to address the protein challenge. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133747.
- Yang, S., Wang, Y., Wang, J., Cheng, K., Liu, J., He, Y., ... & Sun, H. (2024). Microalgal protein for sustainable and nutritious foods: A joint analysis of environmental impacts, health benefits and consumer's acceptance. *Trends in Food Science & Technology*, *143*, 104278.
- Young, W., Arojju, S. K., McNeill, M. R., Rettedal, E., Gathercole, J., Bell, N., & Payne, P. (2020). Feeding bugs to bugs: edible insects modify the human gut microbiome in an in vitro fermentation model. *Frontiers in Microbiology*, *11*, 1763.
- Wali, A. (2021). Microbial fermentation and quality preservation of agro-industrial wet by-products.

- Walter, N., Cohen, J., Holbert, R. L., & Morag, Y. (2020). Fact-checking: A meta-analysis of what works and for whom. *Political communication*, 37(3), 350-375.
- Wang, Y., Tuccillo, F., Niklander, K., Livi, G., Siitonen, A., Pöri, P., ... & Katina, K. (2024). Masking off-flavors of faba bean protein concentrate and extrudate: The role of in situ and in vitro produced dextran. *Food Hydrocolloids*, 150, 109692.
- Williamson, E., Ross, I. L., Wall, B. T., & Hankamer, B. (2024). Microalgae: Potential novel protein for sustainable human nutrition. *Trends in Plant Science*, 29(3), 370-382.
- Wu, J. Y., Tso, R., Teo, H. S., & Haldar, S. (2023). The utility of algae as sources of high value nutritional ingredients, particularly for alternative/complementary proteins to improve human health. *Frontiers in nutrition*, 10, 1277343.
- Zahari, I., Östbring, K., Purhagen, J. K., & Rayner, M. (2022). Plant-based meat analogues from alternative protein: a systematic literature review. *Foods*, 11(18), 2870.
- Zhang, C., Guan, X., Yu, S., Zhou, J., & Chen, J. (2022). Production of meat alternatives using live cells, cultures and plant proteins. *Current Opinion in Food Science*, 43, 43-52.