



Proteínas alternativas na dieta humana: análises Meta-Analíticas no período de 2014 a 2024

Alternative proteins in the human diet: Meta-Analytical analyses from 2014 to 2024

Proteínas alternativas en la dieta humana: análisis Meta-Analíticos en el período de 2014 a 2024

Paloma Danielle Brito Siqueira¹, Demerson Arruda Sanglard^{2*}, Sidney Pereira³, Maria Fernanda Lousada Antunes⁴, Leonardo Máximo Silva⁵, Ariane da Silva Nogueira⁶, Ana Carolina Ataíde Silveira⁷, Brenda Franciny Torres⁸, & Flávia Echila Ribeiro Batista⁹

^{1 2 3 4 5 6 7 8 9} Universidade Federal de Minas Gerais

¹palomadaniellebsiqueira@gmail.com ^{2*}demerson.ufmg@gmail.com ³profsidneypereira@gmail.com ⁴mflousada@gmail.com

⁵leomaxsly4@hotmail.com ⁶ariane.silva.nogueira@outlook.com ⁷anacarolsilveira222@gmail.com

⁸brendafrancinytorres@gmail.com ⁹flaviaechila@yahoo.com.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 13.05.2025

Aprovado: 07.11.2025

Disponibilizado: 25.11.2025

PALAVRAS-CHAVE: sustentabilidade alimentar, eficiência nutricional, economia circular, inovações agroindustriais, barreiras culturais.

KEYWORDS: food sustainability, nutritional efficiency, circular economy, agro-industrial innovations, cultural barriers

PALABRAS CLAVE: sostenibilidad alimentaria, eficiencia nutricional, economía circular, innovaciones agroindustriales, barreras culturales.

*Autor Correspondente: Sanglard, D. A.

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.

ABSTRACT

This work details the evolution of the use of alternative proteins in human diets, based on a meta-analytical review from 2014 to 2024, highlighting technological advances, cultural challenges, and environmental impacts. Plant-based proteins lead in accessibility, reflecting cultural familiarity, affordability, and sustainability. Microalgae and fungi have also

progressed, offering healthy nutritional benefits despite higher costs. Insects have been gaining ground, especially in Asia and Africa, but face resistance in the West. Agro-industrial residues are emerging as a sustainable option, standing out in the context of the circular economy. Globally, microalgae lead in nutritional benefits, while plants and seafood stand out for health and accessibility. Environmental impacts vary plants and insects have low emission levels, while microalgae and seafood face challenges due to high production costs. Nutritional efficiency is highest in plants and microalgae, while insects and agro-industrial residues show potential in specific niches. The alternative protein market is growing, driven by an increase in companies and patents, particularly in Asia and Europe. Despite regional disparities, the trends reflect a shift toward more sustainable and alternative diets. To consolidate these sources, public policies, technological innovations, and food education strategies are essential. Thus, alternative proteins can increasingly become viable in addressing global food security and sustainability challenges.

RESUMEN

Este trabajo detalla la evolución del uso de proteínas alternativas en las dietas humanas, con base en un análisis meta-analítico del período de 2014 a 2024, destacando los avances tecnológicos, los desafíos culturales y los impactos ambientales. Las proteínas vegetales lideran en accesibilidad, reflejando familiaridad cultural, asequibilidad y sostenibilidad. Las microalgas y los hongos también han avanzado, ofreciendo beneficios nutricionales saludables, a pesar de los costos más altos. Los insectos han ido ganando espacio, especialmente en Asia y África, pero enfrentan resistencia en Occidente. Los residuos agroindustriales emergen como una opción sostenible, destacándose dentro de la economía circular. A nivel global, las microalgas lideran en beneficios nutricionales, mientras que los vegetales y los productos del mar se destacan en salud y accesibilidad. Los impactos ambientales varían: los vegetales y los insectos tienen bajos niveles de emisiones, mientras que las microalgas y los productos del mar enfrentan desafíos debido a sus altos costos. La eficiencia nutricional es mayor en los vegetales y las microalgas, mientras que los insectos y los residuos agroindustriales muestran potencial en nichos específicos. El mercado de proteínas alternativas está creciendo, impulsado por el aumento de empresas y patentes, especialmente en Asia y Europa. A pesar de las disparidades regionales, las tendencias reflejan una transición hacia dietas más sostenibles y alternativas. Para consolidar estas fuentes, son esenciales las políticas públicas, las innovaciones tecnológicas y las estrategias de educación alimentaria. Así, las proteínas alternativas pueden volverse cada vez más viables para superar los desafíos de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad global.

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; Silva 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 (Akinmeyer 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 robustas 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.

METODOLOGIA

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. Estudos de caso e publicações sem acesso completo foram excluídas, conforme práticas recomendadas por Walter et al. (2020).

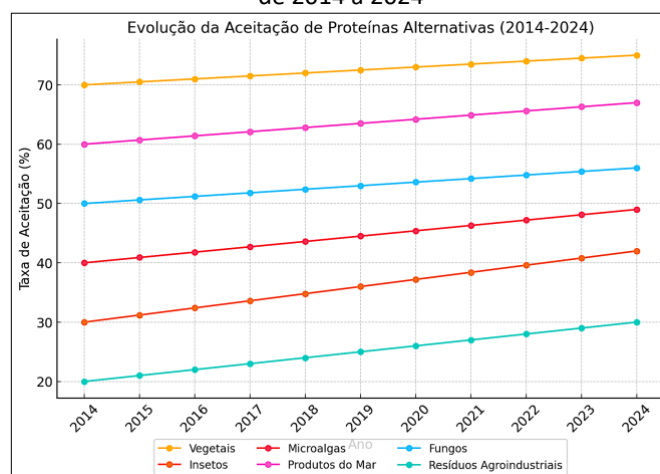
A pesquisa utilizou uma combinação de palavras-chave estruturadas segundo os princípios booleanos segundo Atif (2023), incluindo termos como "proteínas alternativas", "dieta humana", "meta-análise" e "sustentabilidade alimentar". A busca foi complementada por revisão manual de listas de referências de 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 CO₂) e indicadores sociais (aceitação cultural). A análise estatística foi conduzida usando modelos de efeitos aleatórios, considerando a heterogeneidade entre estudos. O escore I² foi usado para avaliar a inconsistência dos dados, acerca da heterogeneidade (Koukoulithras et al., 2021). A medida de efeito primário 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).

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 coprodutos).

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



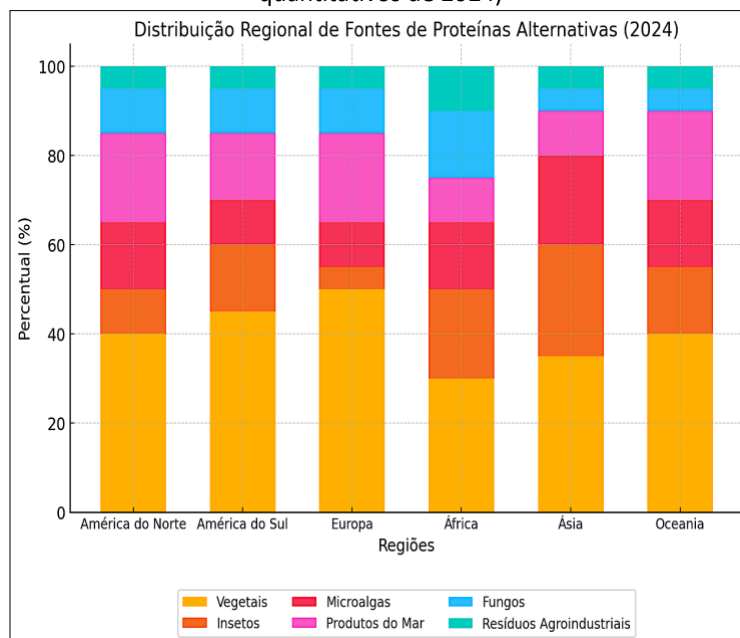
Fonte: Adaptado pelos autores (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016). I² = 0,36.

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 micro proteínas e sua sustentabilidade (Amara & El-Baky, 2023).

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).

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; Akinmeyer 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 & Miassi, 2024; Ogutu et al., 2024).

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



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

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).

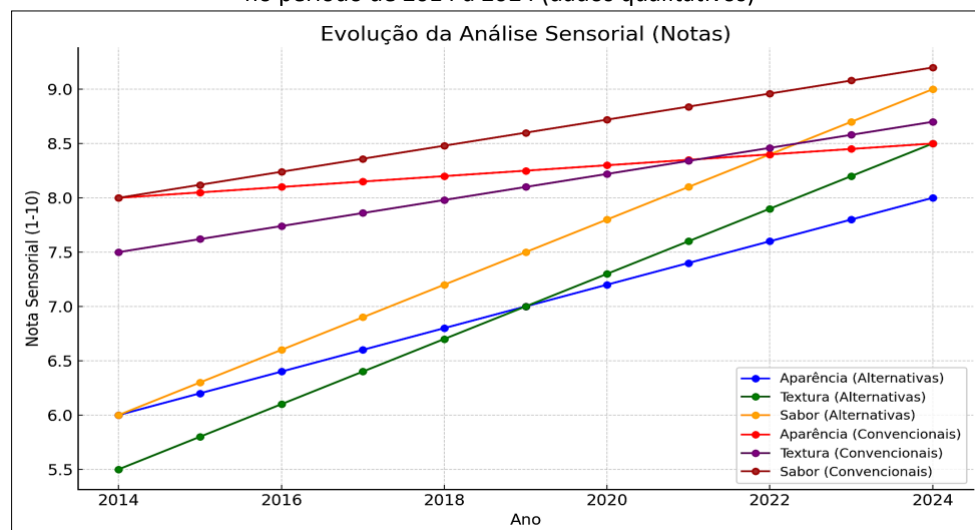
Os fatores que influenciam a aceitação de produtos à base de proteínas alternativas em 2024 estão discriminados no Quadro 1; incluindo preço, acesso, sabor, aspectos culturais e sustentabilidade. As categorias analisadas revelam diferenças importantes em sua aceitação. Sendo que os vegetais se destacam 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.

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

Fonte Alternativa	Preço	Acesso	Percepção de Sabor	Aspectos Culturais	Interesse em Sustentabilidade
Vegetais	Aceitável	Alto	Positiva	Favoráveis	Alto
Insetos	Variável	Moderado	Neutra	Resistência	Alto
Microalgas	Moderado	Moderado	Moderada	Resistência	Muito Alto
Prod. Mar	Aceitável	Alto	Positiva	Favoráveis	Moderado
Fungos	Aceitável	Alto	Moderada	Favoráveis	Alto
Res. Agro.	Baixo	Baixo	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 proteicas tradicionais tendem a ser mais aceitos pelo consumidor (Antoniak et al., 2022).

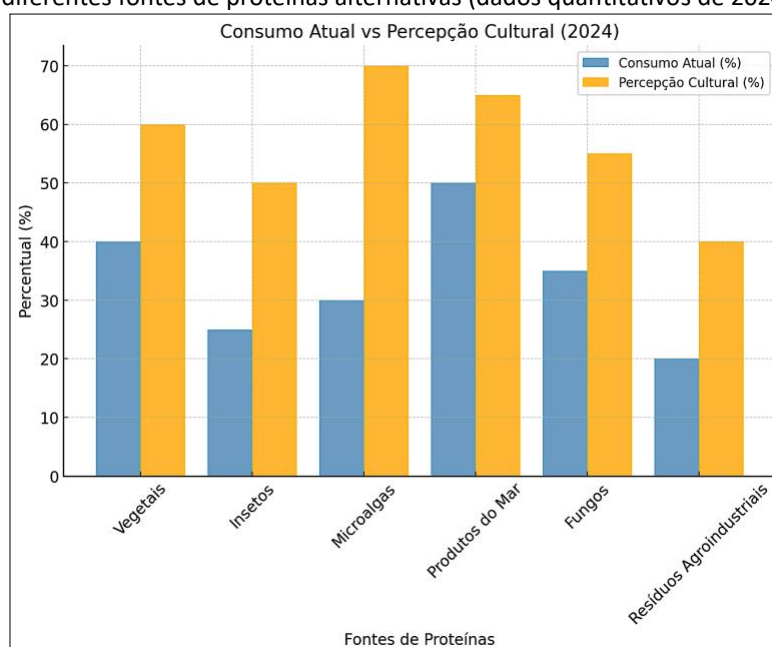
As texturas também apresentaram avanços substanciais, partindo de 5,5 em 2014 para 7,5 em 2024. Isso reflete os avanços no uso de tecnologias como extrusão de alta umidade e combinação de ingredientes para simular a mastigação das proteínas animais (Guyony et al., 2023). Apesar disso, as proteínas convencionais 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 (Matecki 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%).

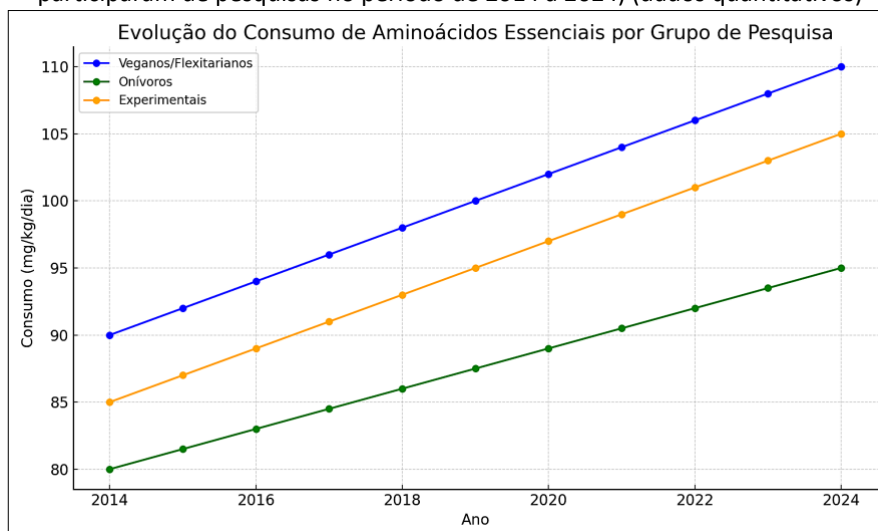
Figura 4. Comparações dos consumos atuais e potenciais (percepção cultural) de alimentos à base de diferentes fontes de proteínas alternativas (dados quantitativos de 2024)



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

Já 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, assim com descritos por 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 pelos autores (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 no Quadro 2, considerando diferentes fontes de proteínas alternativas em seis regiões globais. Esses dados destacam a variação na eficiência de diferentes fontes proteicas, 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).

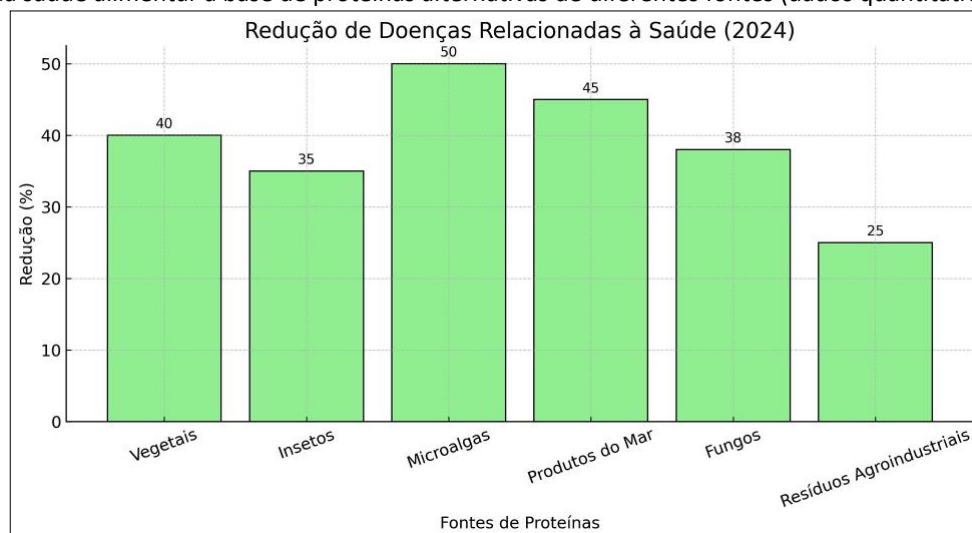
Quadro 2. Eficiências nutricionais em taxas de conversões energéticas por fonte de proteína alternativa e região global (dados quantitativos - 2024)

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). $I^2 = 0,42$.

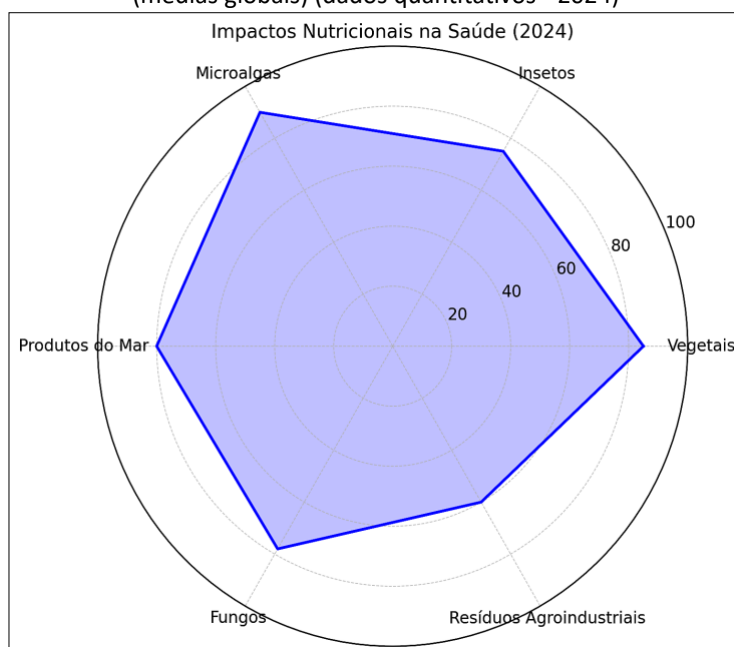
As Figuras 6 e 7 apresentam questões sobre taxas de redução de doenças relacionadas à saúde associadas ao consumo de diferentes fontes de proteínas alternativas. Os dados destacam o impacto positivo dessas fontes na promoção da saúde pública, com variações significativas entre as categorias analisadas.

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 - 2024)



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

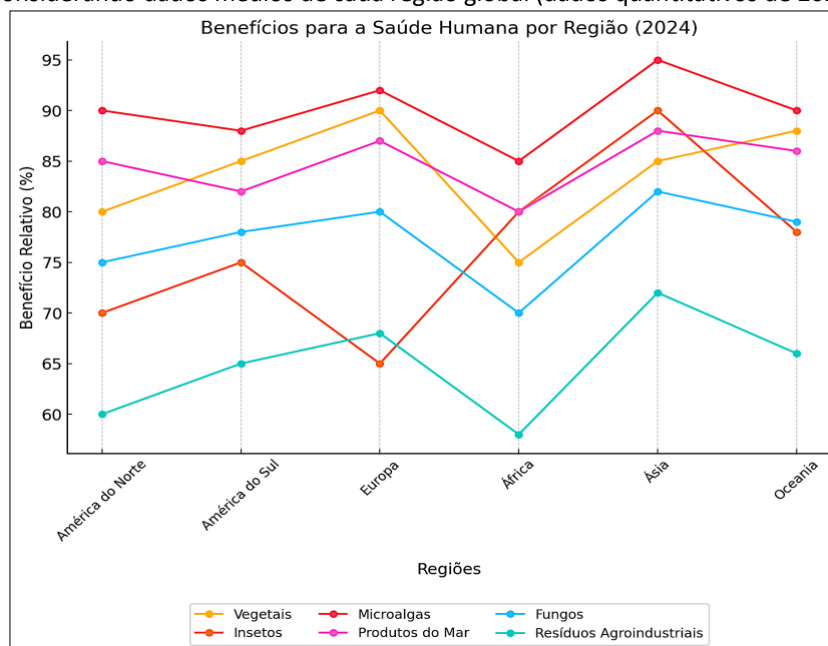
Figura 7. Contribuições proporcionais de diferentes fontes de proteínas alternativas em termos de nutrição (médias globais) (dados quantitativos - 2024)



Fonte: Adaptado pelos autores (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 observações realizadas por 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.

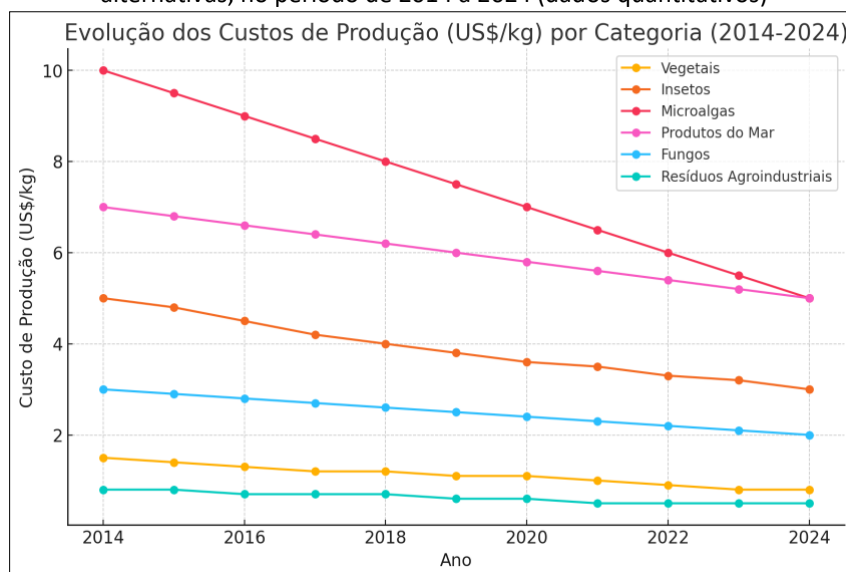
A Figura 8 apresenta os benefícios relativos das proteínas alternativas para a saúde humana para diferentes regiões globais em 2024. Nguyen et al. (2022) lançam reflexões que estão de acordo com estes dados, demonstrando como a distribuição geográfica e as condições culturais, ambientais e econômicas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

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

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.

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, como descrito por Detzel 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 pelos autores (2024), referente às saídas geradas pelo software R, o qual está acoplado ao programa computacional Genes desenvolvido por Cruz (2016). $I^2 = 0,13$.

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 foto biorreatores 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).

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 micro proteínas. 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 (Malila 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).

Assim, 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 (Quadro 3).

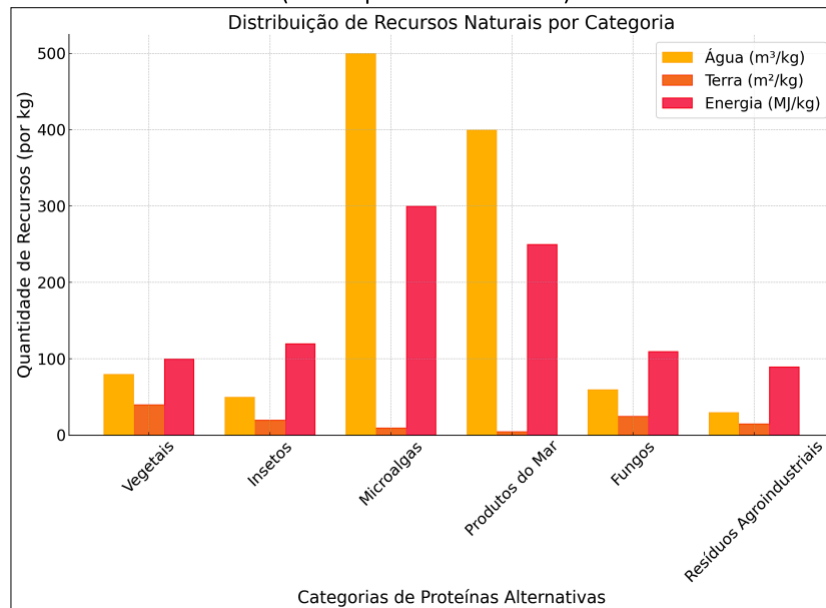
Quadro 3. Indicadores de viabilidade econômica na produção de proteínas alternativas por fonte (dados qualitativos - 2024)

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: Produtos do Mar. Fonte: Adaptado pelos autores (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).

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



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

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 m²/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).

Na mesma linha sobre impactos ambientais, tem-se dados importantes neste contexto apresentados por meio do Quadro 4. Esta discrimina a produção de quilogramas de CO₂, em equivalência por quilograma de proteína produzida (kg CO₂ eq/kg), considerando as diferentes fontes de proteínas alternativas das regiões globais padronizadas neste trabalho.

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

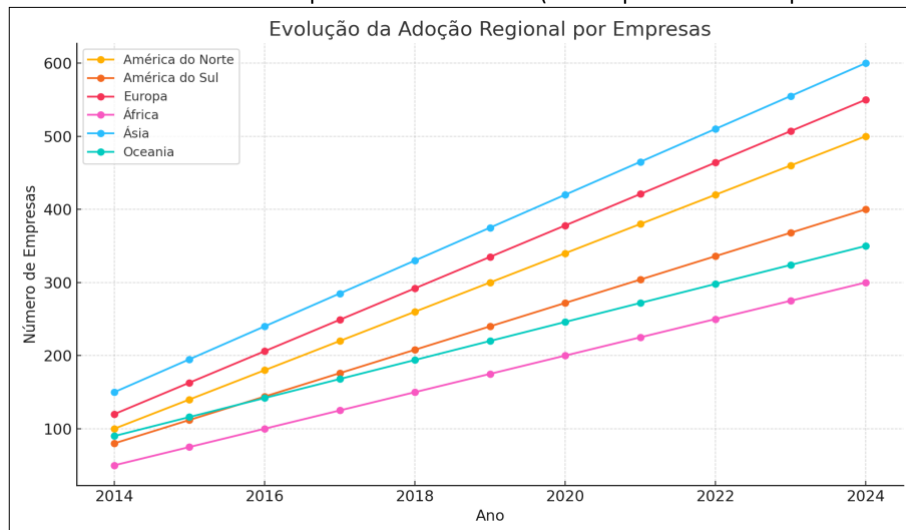
Região Global	(kg CO ₂ eq/kg)					
	Vegetais	Insetos	Microalgas	Prod. Mar	Fungos	Res. Agro.
América do Norte	2,1	0,5	1,0	2,5	1,8	0,3
América do Sul	1,8	0,6	0,9	2,0	1,6	0,4
Europa	1,9	0,7	1,2	2,2	1,7	0,5
África	1,5	0,4	0,8	1,9	1,4	0,2
Ásia	1,6	0,3	0,7	2,1	1,5	0,3
Oceania	1,7	0,6	0,9	2,3	1,7	0,4

(kg CO₂ eq/kg): Quilogramas de dióxido de carbono equivalente por quilograma de proteína de fontes alternativas produzidas. Res. Agro.: Resíduos Agroindustriais. Prod. Mar: produtos do Mar. Fonte: Adaptado pelos autores (2024), referente às saídas geradas pelo software R, acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016). $I^2 = 0,38$.

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 CO₂ eq/kg). Em contraste, os produtos do mar registram as maiores emissões, variando de 1,9 a 2,5 kg CO₂ 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 CO₂ eq/kg). Esses resultados destacam o que Jain et al. (2024) 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.

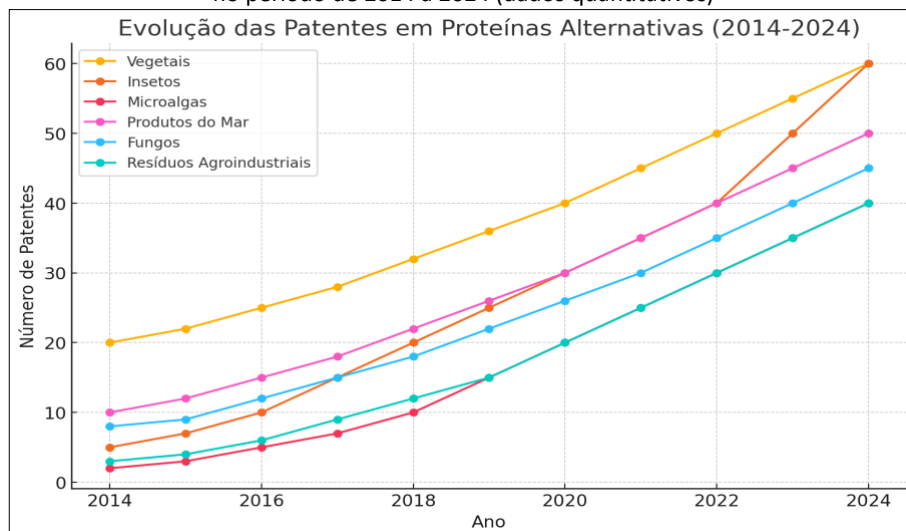
As Figuras 11 e 12 destacam, respectivamente, a evolução da adoção regional de proteínas alternativas por empresas e o crescimento das patentes relacionadas a essas fontes no período de 2014 a 2024. Esses dados evidenciam uma transformação significativa na inovação e adesão empresarial, impulsionadas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

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

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).

Esses resultados destacam a relevância das proteínas alternativas como solução para desafios globais de segurança alimentar e sustentabilidade. A despeito 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. O Quadro 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.

Quadro 5. Comparação de benefícios nutricionais e ambientais por fonte de proteína alternativa (dados qualitativos - 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 pelos autores (2024), referente às saídas geradas pelo software R acoplado ao programa Genes desenvolvido por Cruz (2016). $I^2 = 0,33$.

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 doenças em 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. https://doi.org/10.1007/978-981-97-9049-4_5

Akinmeye, F., Chriki, S., Liu, C., Zhao, J., & Ghnimi, S. (2024). What factors influence consumer attitudes towards alternative proteins? *Food and Humanity*, 3, 100349. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100349>

Amara, A. A., & El-Baky, N. A. (2023). Fungi as a source of edible proteins and animal feed. *Journal of Fungi*, 9(1), 73. <https://doi.org/10.3390/jof9010073>

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. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1768046>

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. <https://doi.org/10.3390/app12094128>

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. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1793730>

- Atif, S. (2023). Mapping circular economy principles and servitisation approach in business model canvas: an integrated literature review. *Future Business Journal*, 9(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s43093-023-00211-6>
- 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. <https://doi.org/10.3390/foods12010107>
- Barzee, T. J., Cao, L., Pan, Z., & Zhang, R. (2021). Fungi for future foods. *Journal of Future Foods*, 1(1), 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.09.002>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2023.102014>
- Belhadj Slimen, I., Yerou, H., Ben Larbi, M., M'Hamdi, N., & Najjar, T. (2023). Insects as an alternative protein source for poultry nutrition: a review. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1200031. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1200031>
- 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. <https://doi.org/10.1525/elementa.310>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736001>
- 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. <https://doi.org/10.1201/9781003202196-1>
- Cruz, C. D. (2016). Programa Genes-Ampliado e integrado aos aplicativos R, Matlab e Selegen. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 38, 547-552. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i3.32629>
- 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. <https://doi.org/10.3390/molecules27041340>
- 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. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.581682>
- 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. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11417z>
- Diaz, C. J., Douglas, K. J., Kang, K., Kolarik, A. L., Malinowski, R., Torres-Tijji, Y., ... & Mayfield, S. P. (2023). Developing algae as a sustainable food source. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1029841. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1029841>
- 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. <https://doi.org/10.54646/rdd.10002>
- 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. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91652-3.00011-3>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105466>
- 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. <https://doi.org/10.3390/su16177701>
- Grossmann, L., & Weiss, J. (2021). Alternative protein sources as technofunctional food ingredients. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12(1), 93-117. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-062520-093642>
- 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. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2023816>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129576>
- 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. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-947-3_14
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100287>

- 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). <https://doi.org/10.20900/jsr20220017>
- Jain, I., Kaur, R., Kumar, A., Paul, M., & Singh, N. (2024). Emerging protein sources and novel extraction techniques: a systematic review on sustainable approaches. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(10), 6797-6820. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17466>
- Kennedy, E. J. (2024). Sustainable Labor Rights. *Berkeley J. Emp. & Lab. L.*, 45, 55. <https://doi.org/10.15779/Z38K649R0F>
- Khoshnevisan, B., He, L., Xu, M., Valverde-Pérez, B., Sillman, J., Mitraka, G. C., ... & Angelidaki, I. (2022). From renewable energy to sustainable protein sources: Advancement, challenges, and future roadmaps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, 112041. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112041>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104872>
- 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). <https://doi.org/10.7759/cureus.13011>
- 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. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.759885>
- Kurek, M. A., Onopiuk, A., Pogorzelska-Nowicka, E., Szpicer, A., Zalewska, M., & Póttorak, A. (2022). Novel protein sources for applications in meat-alternative products—Insight and challenges. *Foods*, 11(7), 957. <https://doi.org/10.3390/foods11070957>
- 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. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2094403>
- Lähteenmäki-Uutela, A., Rahikainen, M., Lonkila, A., & Yang, B. (2021). Alternative proteins and EU food law. *Food Control*, 130, 108336. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108336>
- 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. <https://doi.org/10.3390/foods11142053>
- Liang, Y., & Lee, D. (2022). Recent progress of cultivated meat in Asia. *Food Materials Research*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.48130/FMR-2022-0012>
- Lucakova, S., Branyikova, I., & Hayes, M. (2022). Microalgal proteins and bioactives for food, feed, and other applications. *Applied Sciences*, 12(9), 4402. <https://doi.org/10.3390/app12094402>
- 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. <https://doi.org/10.3390/polym13152506>
- 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. <https://doi.org/10.1038/s41538-024-00291-w>
- 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. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0176>
- 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. <https://doi.org/10.1073/pnas.2207782120>
- 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. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12818>
- 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*. <https://doi.org/10.1002/sd.2572>
- Ogut, 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. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17327>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.105058>
- 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. <https://doi.org/10.53365/efood.k/144603>
- 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, pesco-vegetarian and semi-vegetarian diets: A systematic review. *The Journal of Nutrition*. <https://doi.org/10.1016/j.jn.2024.03.001>
- 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. <https://doi.org/10.1017/S0029665121000513di>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102940>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100661>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.016>
- 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. <https://doi.org/10.3390/su142215370>
- Silva, L. M., Sanglard, D. A., Nogueira, A. da S., Dourado, L. R., Silva, L. S. da, & Lessa, M. F. G. (2024). Agronomic and bromatological characteristics of genotypes of *Carthamus tinctorius* L. Potential for the cerrado region. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 10(2), 340-348. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v10i2.44380>
- 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. <https://doi.org/10.3390/su151612111>
- 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. <https://doi.org/10.3390/foods11233792>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113479>
- 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. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100358>
- 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. <https://doi.org/10.3390/insects13030281>
- Villarro, 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. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821080-2.00016-6>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133747>
- Wali, A. (2021). Microbial fermentation and quality preservation of agro-industrial wet by-products. Thesis Doctor of Philosophy in Agriculture. Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University. <http://doi.org/10.18926/62174>
- 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. <https://doi.org/10.1080/10584609.2020.1723752>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109692>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.10.004>
- 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. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1277343>
- 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. <https://doi.org/10.3390/foods11182870>