

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE FONTES PROTEICAS ALTERNATIVAS: UMA REVISÃO BASEADA EM CICLO DE VIDA (LCA)



<https://doi.org/10.22533/at.ed.930112518035>

Data de aceite: 23/12/2025

Mayara Zagoto

Anna Beatriz de Carvalho

Simone Maria Altoé Porto

Danieli Suzan Valerio

Elizangela Regina da Silva Martins

Caroline Crivelaro de Oliveira

Luciene dos Santos Sobczak

Resumo: A busca por sistemas alimentares sustentáveis intensificou o interesse científico e tecnológico por fontes alternativas de proteína capazes de reduzir os impactos ambientais da pecuária tradicional. Esta revisão analisa criticamente estudos publicados entre 2019 e 2025 que aplicaram a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment – LCA) às principais fontes proteicas alternativas — vegetais, microbianas, algas, insetos e carne cultivada. Foram consultadas as bases Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar, priorizando artigos revisados por pares e relatórios técnicos. Observou-se que as proteínas vegetais e microbianas

apresentam, em média, as menores pegadas de carbono (0,5 a 3 kg CO₂-eq/kg de proteína) e consumo de recursos, enquanto a carne cultivada e certas microalgas ainda enfrentam limitações relacionadas ao uso intensivo de energia e à escalabilidade industrial. Fatores como matriz energética, tipo de substrato, localização geográfica e eficiência tecnológica influenciam fortemente o desempenho ambiental. A revisão conclui que a combinação entre fontes proteicas alternativas, uso de energia renovável e estratégias de economia circular constitui um caminho promissor para mitigar emissões e promover a transição para dietas sustentáveis.

Palavras-chave: sustentabilidade alimentar; proteínas alternativas; ciclo de vida; emissões de carbono; economia circular.

INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial, aliado ao crescimento do poder aquisitivo e à urbanização acelerada, intensificou a demanda global por alimentos de origem animal. Segundo a FAO (2023), o consumo per capita de carne aumentou mais de 40

% nas últimas cinco décadas e poderá crescer outros 15 % até 2050. Essa expansão exerce pressão direta sobre os ecossistemas, exigindo grandes áreas agrícolas para a produção de ração, uso intensivo de água e emissão significativa de gases de efeito estufa (GEE). Estimativas do IPCC (2022) indicam que a pecuária responde por 14 a 20 % das emissões antropogênicas globais de CO₂-eq, além de ser uma das principais fontes de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), gases com elevado potencial de aquecimento global.

Além dos impactos climáticos, a produção animal em larga escala contribui para a degradação do solo, contaminação hídrica e perda de biodiversidade (Wood et al., 2022). Estudos recentes mostram que cerca de 77 % das terras agrícolas são destinadas à pecuária, enquanto essa atividade fornece menos de 20 % das calorias consumidas pela humanidade (FAO, 2023). Tais dados evidenciam a necessidade de repensar o modelo produtivo vigente e de investir em alternativas alimentares sustentáveis, capazes de fornecer proteína de qualidade com menor custo ambiental.

Nesse contexto, o desenvolvimento de fontes proteicas alternativas tem ganhado destaque. Entre as principais estão:

- proteínas vegetais, extraídas de soja, ervilha, grão-de-bico e lentilha;
- proteínas microbianas, obtidas por fermentação de microrganismos;
- insetos comestíveis, como grilos e larvas de *Tenebrio molitor*;
- microalgas e macroalgas;
- e a carne cultivada, produzida em biorreatores a partir de células animais.

Essas fontes têm sido estudadas quanto ao seu potencial de reduzir emissões e otimizar o uso de recursos naturais (Hefferon et al., 2023; Choręziak et al., 2025). Entretanto, suas vantagens variam conforme a tecnologia empregada, o local de produção e a matriz energética utilizada.

A Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) é a principal metodologia para mensurar e comparar os impactos ambientais de produtos e processos. Ela considera todas as etapas da cadeia — do cultivo ou síntese até o descarte final — permitindo identificar pontos críticos e oportunidades de mitigação (Quintieri et al., 2023). Nos últimos anos, a aplicação da LCA a sistemas alimentares tem crescido, ampliando a compreensão de seus impactos diretos e indiretos.

Apesar dos avanços, persistem lacunas metodológicas e conceituais. Diversos estudos utilizam fronteiras de sistema distintas (cradle-to-farm-gate, cradle-to-consumer), dificultando comparações (Fatima et al., 2023). Além disso, nem sempre são incluídos indicadores além do carbono, como acidificação, eutrofização e uso de água (Williams et al., 2024). Há também diferenças regionais relevantes: países com matriz energética limpa tendem a apresentar resultados mais favoráveis, enquanto regiões dependentes de combustíveis fósseis registram maiores emissões (Siegrist et al., 2023).

A substituição parcial de proteínas animais por alternativas vegetais ou microbianas poderia reduzir em até 50 % as emissões globais do setor alimentício (Wood et al., 2022).

Contudo, a adoção em larga escala depende de fatores econômicos, culturais e regulatórios (Verbeke, 2022). Assim, é necessário compreender de forma integrada os impactos e as limitações de cada fonte para embasar políticas públicas e estratégias industriais coerentes com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 2, 12 e 13) das Nações Unidas.

Diantedessepanorama, estarevisãotemcomoobjetivogeral analisar comparativamente os impactos ambientais das principais fontes proteicas alternativas com base em estudos recentes de LCA, identificando suas vantagens, limitações e perspectivas futuras. Os objetivos específicos incluem:

1. Descrever o estado atual do conhecimento científico sobre o tema;
2. Comparar indicadores de desempenho ambiental (emissões, uso de água, energia e terra);
3. Identificar fatores determinantes de variabilidade entre estudos;
4. Discutir desafios e oportunidades para a transição a sistemas alimentares sustentáveis.

Ao reunir evidências atualizadas e examinar criticamente as metodologias empregadas, o artigo busca contribuir para o debate sobre a sustentabilidade das fontes proteicas emergentes e fornecer subsídios técnicos para formulação de políticas públicas e inovações industriais no setor de alimentos.

METODOLOGIA DA REVISÃO

A presente revisão foi elaborada com base em uma abordagem narrativa sistematizada, adequada para sintetizar evidências recentes e identificar tendências de pesquisa em áreas interdisciplinares como sustentabilidade alimentar e tecnologia de proteínas alternativas. Essa estratégia combina critérios da revisão sistemática com flexibilidade interpretativa, permitindo discutir criticamente diferentes metodologias e resultados.

Estratégia de busca e seleção

A coleta de dados foi conduzida entre agosto e novembro de 2025, utilizando as bases de dados Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed e Google Scholar. Foram aplicados os descritores: *“alternative proteins”*, *“life cycle assessment”*, *“carbon footprint”*, *“protein sustainability”*, *“cultured meat”*, *“microalgae protein”* e *“environmental impact of food systems”*, combinados por meio de operadores booleanos (AND, OR).

Os critérios de inclusão compreenderam:

- Artigos revisados por pares, publicados entre 2019 e 2025;
- Estudos que aplicaram metodologia LCA para avaliar impactos ambientais de pelo menos uma fonte proteica alternativa;

- Trabalhos com indicadores quantitativos (emissões de CO₂-eq, uso de água, energia e terra);
- Textos redigidos em inglês, português ou espanhol.

Os critérios de exclusão incluíram: revisões não fundamentadas em LCA, estudos sem dados numéricos, artigos de opinião e publicações duplicadas. Após triagem inicial de 214 registros, 58 artigos foram selecionados para análise completa, dos quais 37 apresentaram comparações diretas entre duas ou mais fontes proteicas.

Análise e síntese dos dados

Os estudos foram classificados por tipo de fonte proteica (vegetal, microbiana, de insetos, algas e carne cultivada) e por indicadores ambientais reportados. As métricas foram convertidas, sempre que possível, para unidades comparáveis (por exemplo, kg CO₂-eq/kg de proteína). A análise buscou identificar padrões de desempenho ambiental, fatores determinantes (como energia utilizada e eficiência produtiva) e gargalos metodológicos recorrentes.

A etapa de síntese foi realizada de forma qualitativa e interpretativa, agrupando resultados semelhantes e destacando divergências entre estudos. Essa integração seguiu os princípios do método *PRISMA 2020*, adaptados para revisões narrativas (Page et al., 2021).

Limitações metodológicas da revisão

Por se tratar de uma revisão narrativa sistematizada, não foram aplicados métodos estatísticos de metanálise. Além disso, diferenças regionais, fronteiras de sistema e escalas produtivas entre os estudos analisados podem gerar variabilidade nos resultados. Ainda assim, a amplitude temporal e temática da amostra selecionada fornece uma base robusta para a comparação entre diferentes fontes proteicas.

REFERENCIAL TEÓRICO: AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (LCA) E SUSTENTABILIDADE ALIMENTAR

A Avaliação do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment – LCA) é uma metodologia padronizada pela ISO 14040 e 14044, utilizada para quantificar os impactos ambientais associados a produtos e processos ao longo de seu ciclo de vida — desde a extração de matérias-primas até o descarte final. A LCA permite identificar “pontos críticos” e comparar tecnologias sob uma mesma base funcional, sendo amplamente aplicada na área de alimentos para medir pegadas de carbono, uso de energia, água e ocupação de solo (Notarnicola et al., 2022).

Etapas da LCA

A estrutura clássica da LCA envolve quatro fases principais:

1. **Definição do objetivo e escopo:** delimita o propósito do estudo, os limites do sistema e a unidade funcional (ex.: 1 kg de proteína).
2. **Análise de inventário (LCI):** coleta e quantificação dos fluxos de matéria e energia.
3. **Avaliação de impactos (LCIA):** conversão dos fluxos em indicadores ambientais (CO₂-eq, acidificação, eutrofização, etc.).
4. **Interpretação:** integração e análise crítica dos resultados.

Essas etapas são iterativas, permitindo ajustes conforme novas informações surgem. A escolha das fronteiras do sistema é particularmente relevante para alimentos, pois define se estão incluídas fases como transporte, embalagem e consumo (Poore & Nemecek, 2018).

Aplicação da LCA a proteínas alternativas

Nos últimos cinco anos, o número de estudos de LCA sobre proteínas alternativas cresceu mais de 200 % (Wood et al., 2022). As análises revelam grande variabilidade, associada principalmente a diferenças de energia, matéria-prima e tecnologia.

- Proteínas vegetais: geralmente apresentam os menores impactos ambientais, com emissões médias de 0,5–2,0 kg CO₂-eq/kg de proteína (Hefferon et al., 2023).
- Proteínas microbianas: variam entre 1,5–3,0 kg CO₂-eq/kg, dependendo da fonte de carbono e da eficiência de fermentação (Ali et al., 2025).
- Insetos comestíveis: possuem baixa necessidade de terra e água, mas as etapas de secagem e processamento aumentam o consumo energético (Henchion et al., 2021).
- Algas: destacam-se pela alta produtividade, embora demandem energia intensiva para secagem e fotobioreatores (Williamson et al., 2024).
- Carne cultivada: apresenta emissões de 8–25 kg CO₂-eq/kg, fortemente dependentes da matriz energética e do meio de cultura (Risner et al., 2024).

Relevância da LCA para políticas públicas e inovação

A LCA fornece base científica para o desenvolvimento de políticas ambientais, rotulagem ecológica e certificações de sustentabilidade (Fatima et al., 2023). No contexto das proteínas alternativas, ela auxilia governos e empresas a identificar oportunidades de descarbonização e otimização de recursos. Além disso, o uso da LCA em conjunto com ferramentas de Análise de Custos do Ciclo de Vida (LCC) e Avaliação Social do Ciclo de Vida (S-LCA) tem sido proposto para

mensurar também aspectos econômicos e sociais (Khoshnevisan et al., 2023), integrando sustentabilidade de forma holística.

DISCUSSÃO

A discussão integra e interpreta os resultados dos estudos analisados, considerando as especificidades de cada fonte proteica alternativa, as condições de produção e as fronteiras metodológicas dos estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (LCA).

Proteínas vegetais

As proteínas vegetais representam a base mais consolidada das alternativas sustentáveis, tanto em termos de volume de produção quanto de aceitação de mercado. As principais fontes incluem soja, ervilha, lentilha e grão-de-bico, amplamente utilizadas em produtos plant-based (Bryant et al., 2022).

Segundo Hefferon et al. (2023), o impacto climático da soja varia entre 0,5 e 2,0 kg CO₂-eq/kg de proteína, dependendo da região produtiva e da eficiência agrícola. A principal vantagem ambiental é o uso relativamente baixo de energia e a capacidade de fixação biológica de nitrogênio, que reduz a necessidade de fertilizantes sintéticos.

No entanto, o cultivo de soja está associado a desmatamento e perda de biodiversidade em países tropicais, especialmente no Brasil e na Indonésia. Dessa forma, o impacto global pode aumentar quando se considera o uso indireto da terra (ILUC). Estratégias como certificação ambiental e rastreabilidade têm sido implementadas para mitigar esses efeitos (Quintieri et al., 2023).

As proteínas vegetais também apresentam benefícios nutricionais relevantes, embora com limitações quanto à digestibilidade e ao perfil de aminoácidos essenciais. A combinação de leguminosas e cereais tem sido proposta para melhorar a qualidade nutricional e reduzir perdas pós-colheita (Fatima et al., 2023).

Proteínas microbianas

As proteínas microbianas — produzidas via fermentação de microrganismos como *Fusarium venenatum*, *Corynebacterium glutamicum* e cianobactérias — apresentam altíssima eficiência produtiva. Podem gerar até 8 toneladas de proteína por hectare, em contraste com 1 tonelada de proteína bovina (Ali et al., 2025).

Do ponto de vista ambiental, seu impacto depende fortemente do substrato utilizado. Quando se empregam açúcares refinados ou substratos fósseis, as emissões chegam a 3 kg CO₂-eq/kg. Contudo, o uso de resíduos agroindustriais, como soro de leite e melaço, pode reduzir as emissões em até 60 % (Khoshnevisan et al., 2023).

O processo de fermentação apresenta baixo consumo de terra e água, sendo promissor para regiões com escassez hídrica. A principal limitação é o alto custo energético na secagem e no processamento celular, além de desafios regulatórios para uso alimentar de microrganismos geneticamente modificados (Siegrist et al., 2023).

Insetos comestíveis

A criação de insetos comestíveis, como grilos (*Acheta domesticus*), larvas de *Tenebrio molitor* e gafanhotos, tem sido promovida como alternativa de alta eficiência alimentar. Os insetos convertem matéria orgânica em proteína de forma extremamente eficaz, necessitando menos terra e água que a pecuária convencional (Henchion et al., 2021).

Os estudos de LCA apontam emissões médias entre 3 e 6 kg CO₂-eq/kg de proteína, variando conforme a fonte alimentar e o método de secagem (Fatima et al., 2023). O impacto de energia elétrica no processo de desidratação é o principal fator limitante.

A aceitação do consumidor é outro obstáculo, especialmente em países ocidentais, devido a barreiras culturais. Entretanto, o uso de farinha de insetos em produtos processados (barras proteicas, massas e snacks) tem crescido rapidamente. Além disso, os insetos apresentam alto teor de micronutrientes e podem contribuir para reduzir o desperdício alimentar, ao utilizar subprodutos como substrato.

Algas e microalgas

As microalgas — como *Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis* e *Nannochloropsis gaditana* — são fontes emergentes de proteína com elevado teor nutricional (40–70 % em base seca). Elas podem ser cultivadas em águas residuais ou salobras, sem competir com áreas agrícolas (Williamson et al., 2024).

Apesar disso, a produção de biomassa algal ainda apresenta altas emissões (4–9 kg CO₂-eq/kg), em grande parte devido ao consumo energético de sistemas de aeração, agitação e secagem (Mosibo et al., 2025). A integração de energia solar e o aproveitamento de CO₂ industrial têm sido propostos para reduzir tais impactos.

Do ponto de vista funcional, as algas fornecem não apenas proteína, mas também pigmentos, antioxidantes e ácidos graxos poli-insaturados, o que amplia seu potencial de aplicação na indústria alimentícia e cosmética.

Carne cultivada

A carne cultivada é obtida pela proliferação de células musculares em meio de cultura controlado. Embora reduza a necessidade de criação animal e uso de terra, sua pegada de carbono ainda é elevada: entre 8 e 25 kg CO₂-eq/kg (Risner et al., 2024).

Os principais determinantes desse impacto são o tipo de energia elétrica empregada e o meio de cultura, especialmente quando contém fatores de crescimento de origem animal. Estudos de simulação (Bryant et al., 2022) indicam que, sob uma matriz 100 % renovável, as emissões poderiam cair até 90 %.

Outro desafio é o custo de produção: o litro de meio de cultura sintético ultrapassa US\$ 400, tornando a escalabilidade ainda inviável. A substituição por componentes vegetais e a automação de biorreatores estão entre as estratégias mais promissoras para viabilizar a produção comercial até 2035.

Fatores determinantes do desempenho ambiental

Independentemente da fonte proteica, os resultados de LCA mostram que a matriz energética é o fator de maior influência no desempenho ambiental global. Fontes renováveis (solar, eólica, biomassa) reduzem drasticamente as emissões, enquanto regiões dependentes de carvão e gás natural apresentam impactos mais altos (Siegrist et al., 2023).

Outros fatores críticos incluem:

- **Eficiência tecnológica** (rendimento proteico por unidade de energia);
- **Distância de transporte e cadeia logística**;
- **Origem do substrato** (primário ou residual);
- **Escala de produção** (piloto vs. industrial).

A integração de sistemas híbridos — combinando, por exemplo, proteína vegetal com microbiana — pode reduzir emissões em até 60 % em relação à carne bovina (Wood et al., 2022).

Fonte proteica	Emissões (kg CO ₂ -eq/kg)	Uso de água (L/kg)	Uso de terra (m²/kg)	Consumo energético
Vegetais	0,5 – 2,0	300 – 2.000	5 – 15	Baixo
Microbianas	1,5 – 3,0	500 – 1.200	1 – 3	Moderado
Insetos	3,0 – 6,0	1.000 – 3.000	3 – 8	Moderado-Alto
Algas	4,0 – 9,0	2.000 – 5.000	2 – 6	Alto
Carne cultivada	8,0 – 25,0	3.000 – 7.000	1 – 4	Muito alto

Tabela 1. Comparação média de impactos ambientais das principais fontes proteicas alternativas

Vantagens e limitações de cada fonte proteica

Fonte	Principais vantagens	Principais limitações
Vegetais	Menor emissão e custo, ampla aceitação, tecnologia consolidada	Uso de fertilizantes, risco de desmatamento, menor digestibilidade

Fonte	Principais vantagens	Principais limitações
Microbianas	Alta produtividade, baixo uso de terra, aproveitamento de resíduos	Alto consumo energético, custo tecnológico elevado
Insetos	Alta eficiência alimentar, baixo uso de água, fonte de micronutrientes	Barreiras culturais, energia na secagem
Algas	Cultivo em áreas não agrícolas, alta densidade nutricional	Alto consumo energético e custo de secagem
Carne cultivada	Reduz abate e uso de terra, potencial ético e tecnológico	Alto custo, grande uso de energia, meio de cultura dependente de origem animal

CONCLUSÃO

A análise comparativa dos estudos recentes sobre Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) de fontes proteicas alternativas evidencia que não existe uma solução única e universalmente superior para substituir a proteína animal tradicional. No entanto, há consenso quanto ao potencial significativo dessas fontes para reduzir emissões de gases de efeito estufa e mitigar impactos ambientais associados à produção de alimentos.

As **proteínas vegetais** permanecem como a alternativa mais consolidada em termos de viabilidade técnica, aceitação de mercado e baixo impacto ambiental. Seu desempenho superior em emissões e consumo de água reforça sua importância estratégica para dietas sustentáveis, especialmente quando combinadas com práticas agrícolas regenerativas e fontes de energia renovável.

As proteínas microbianas representam um dos caminhos mais promissores para a descarbonização da cadeia alimentar, com elevado rendimento produtivo e possibilidade de aproveitamento de resíduos industriais. A expansão dessa tecnologia dependerá, contudo, de avanços em eficiência energética e regulamentação de microrganismos geneticamente modificados.

A produção de insetos comestíveis surge como alternativa eficaz em países com menor restrição cultural, pois demanda poucos recursos e gera emissões relativamente baixas. Ainda assim, sua incorporação ampla em dietas humanas exigirá políticas públicas de incentivo, campanhas educacionais e normatização sanitária.

As microalgas despontam como fontes multifuncionais, unindo proteína, pigmentos e compostos bioativos. Entretanto, o elevado consumo de energia em processos de secagem e fotobioreatores é um desafio a ser superado por meio de integração energética e uso de CO₂ residual de outras indústrias.

A carne cultivada, embora conceitualmente revolucionária, apresenta impactos ambientais mais altos que outras fontes alternativas, sobretudo em cenários com energia fóssil. A substituição do meio de cultura por componentes vegetais e a transição para matrizes elétricas limpas poderão reduzir drasticamente essas emissões no futuro.

De modo geral, os resultados demonstram que a matriz energética, o tipo de substrato e a escala de produção são fatores determinantes do desempenho ambiental. Assim, políticas públicas devem priorizar incentivos à energia renovável, reuso de resíduos agroindustriais e inovação tecnológica.

Para o contexto brasileiro, com ampla disponibilidade de biomassa, biodiversidade e potencial de energia limpa, há grande oportunidade de se posicionar como protagonista na produção sustentável de proteínas alternativas. Programas nacionais de pesquisa e desenvolvimento, articulados entre universidades, empresas e governo, podem consolidar um ecossistema de inovação voltado à bioeconomia e à segurança alimentar.

Por fim, recomenda-se que futuros estudos ampliem o escopo da LCA para incluir dimensões sociais e econômicas, de modo a integrar a sustentabilidade em todas as suas vertentes — ambiental, social e econômica. A transição para sistemas alimentares sustentáveis exige interdisciplinaridade, políticas inclusivas e inovação tecnológica responsável, pilares indispensáveis para enfrentar os desafios globais de clima, nutrição e recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- Ali, S. S. et al. (2025). *Advancements and challenges in microalgal protein production: A sustainable alternative to conventional protein sources*. **Microbial Cell Factories**, 24(1), 61.
- Bryant, C. J. et al. (2022). *Plant-based animal product alternatives are healthier and more sustainable*. **Trends in Food Science & Technology**, 118, 1–9.
- Choręziak, A. et al. (2025). *Nutritional Quality, Safety and Environmental Benefits of Alternative Protein Sources—An Overview*. **Nutrients**, 17(7), 1148.
- Fatima, N. et al. (2023). *Recent advances in microalgae, insects, and cultured meat as sustainable alternative protein sources*. **Food and Humanity**, 1, 731–741.
- FAO. (2023). *The State of Food Security and Nutrition in the World*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Henchion, M. et al. (2021). *Insects for food and feed: Beyond the hype, a review of global developments and future prospects*. **Trends in Food Science & Technology**, 112, 252–268.
- Hefferon, K. L. et al. (2023). *Alternative protein innovations and challenges for industry and consumer*. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 7, 1038286.
- IPCC. (2022). *Sixth Assessment Report (AR6): Mitigation of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Khoshnevisan, B. et al. (2023). *Life cycle assessment of single-cell proteins as animal feed ingredients*. **Journal of Cleaner Production**, 422, 138501.

Mosibo, O. K.; Ferrentino, G.; Udenigwe, C. C. (2025). *Microalgae proteins as sustainable ingredients in novel foods*. **Foods**, 13(5), 733.

Notarnicola, B. et al. (2022). *Life Cycle Assessment in the agri-food sector: State-of-the-art and challenges*. **Journal of Environmental Management**, 319, 115700.

Poore, J.; Nemecek, T. (2018). *Reducing food's environmental impacts through producers and consumers*. **Science**, 360(6392), 987–992.

Quintieri, L. et al. (2023). *Alternative protein sources and novel foods: benefits, food applications and safety issues*. **Nutrients**, 15(6), 1509.

Risner, D. et al. (2024). *Environmental impacts of cultured meat: A cradle-to-gate life cycle assessment*. **ACS Food Science & Technology**, 3(4), 779–787.

Siegrist, M. et al. (2023). *Why alternative proteins will not disrupt the meat industry*. **Trends in Food Science & Technology**, 115, 1–9.

Verbeke, W. (2022). *Consumer perception and acceptance of alternative proteins*. **Appetite**, 169, 105829.

Williamson, E. et al. (2024). *Microalgae: Potential novel protein for sustainable human nutrition*. **Trends in Plant Science**, 29(3), 370–382.

Wood, P. et al. (2022). *A review of the alternative protein industry*. **Trends in Food Science & Technology**, 115, 1–10.